

Љубица Маркудова
Валентина Тренчевска

Автоматика



Електротехничка струка
Електротехничар за
електроника и
телекомуникации

Трета година

Љубица Маркудова
Валентина Тренчевска

Автоматика

III година

Скопје

2023

Рецензенти:

проф. д-р Горјан Наџински, дипл. елек. инж., УКИМ - Факултет за електротехника и информациски технологии - Скопје

Билјанка Христовска, дипл. елек. инж., СОТУ „Ѓорѓи Наумов" – Битола

Катерина Малова Младеновска, дипл. елек. инж., СУГС „Владо Тасевски" - Скопје

Наслов на учебникот: АВТОМАТИКА за III година

Сектор/ струка: ЕЛЕКТРОТЕХНИКА / ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКА

Квалификации/образовни профили:

електротехничар за електроника и телекомуникации

Автори: Љубица Маркудова, дипл. елек. инж.
Валентина Тренчевска, дипл. елек. инж.

Лектор: Елена Саздовска

Компјутерска обработка: Љубица Маркудова

Илустрација за насловна страна: Vecteezy.com

Издавач: МИНИСТЕРСТВО ЗА ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА НА РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА Со одлука на Националната комисија за учебници за основно и средно образование при Министерството за образование и наука на Република Северна Македонија, со дел. бр. 26-1913/1 од 19.07.2023 година, се одобрува употребата на овој учебник

Предговор

Овој учебник е наменет за учениците од трета година во средните стручни училишта, електротехничка струка, за образовниот профил електротехничар за електроника и телекомуникации. Учебникот е работен според модуларно дизајнираната наставна програма и е во согласност со наставните содржини по предметот Автоматика во трета година. Цел на новата наставна програма е осовременување на наставата и наставните програми во стручното образование и целосно задоволување на барањата на пазарот на труд.

Наставниот предмет Автоматика во трета година е застапен со фонд од 4 часа неделно, или 144 часа годишно. Половина, или 72 часа од вкупниот фонд на часови треба да се реализираат како практична настава или вежби. Часовите за практична настава или вежби се реализираат во групи, во специјално опремени кабинети, согласно Упатството на Министерството за образование и наука. Ваквиот концепт нуди можност стекнатите теоретски знаења да се применат практично. Со цел учениците да ги согледаат моќта и принципите на автоматизираните процеси во реални услови се препорачуваат организирани посети на индустриски погони. Од таа причина потребно е да постои корелација меѓу наставните предмети Автоматика и Учење преку работа во трета година, електротехничка струка, за образовниот профил електротехничар за електроника и телекомуникации.

Учебникот опфаќа седум модуларни единици.

Првата модуларна единица, Основни поими во автоматиката, ќе ги запознае учениците со основната структура на системот за автоматско управување, функцијата на секој негов елемент, математичките модели и критериумите за испитување на стабилност на систем.

Втората модуларна единица, Сензори и мерни претворувачи, ги опишува карактеристиките и принципот на работа на мерните претворувачи. Тие се сетилни органи на системите за автоматско управување. Според видот на мерниот метод електричните мерни претворувачи можат да се поделат во неколку групи: отпорнички, индуктивни, капацитивни, фотоелектрични, ултразвучни, тахометарски, магнетостриктни, пиезоелектрични, жироскопски и други.

Детектори на сигнал на грешка е насловот на третата модуларна единица. Во зависност од физичката природа на сигналите, детекторите на сигнали на грешка можат да бидат електрични, механички, пневматски и хидраулични.

Четвртата модуларна единица, Регулатори, ги опишува неkontинуираните и континуираните регулатори. Учениците за првпат ќе се запознаат со правопрпорционалните, интегралните и диференцијалните регулатори, нивното дејствување и преносни карактеристики.

Во петата модуларна единица, Извршни единици, учениците ќе се запознаат со електричните, хидрауличните и пневматските актуатори, кои ја претвораат електричната енергија и енергијата на флуиди во механичка енергија.

Шестата модуларна единица, Комутациони елементи, ја објаснува примената на рачните прекинувачи и електромагнетните прекинувачи. Посебен акцент е ставен на контакторите и термомагнетните прекинувачи кои се користат при пуштање во работа на трофазни асинхрони мотори.

Седмата модуларна единица, Пренос на сигнали во индустријата, ги опишува индустриските протоколи и конфигурацијата на индустриските комуникациски мрежи.

За авторите изработката на овој учебник беше предизвик бидејќи автоматиката е наука која во себе спојува неколку научни дисциплини како што се: електроника, механика, пневматика, хидраулика. И покрај обемот и тежината на наставниот материјал, авторите на овој учебник се обидоа да го презентираат истиот на колку што е можно поедноставен и разбирлив начин, со прецизни објаснувања на постапките и процесите и изработка на јасни цртежи и слики. Сликите се изработени во апликацијата Microsoft Visio. Во учебникот, по секоја тема има прашања, задачи и активности, со што се настојува да се применат знаењата и да се направи проверка на постигнувањата на учениците.

Им се благодариме на нашите семејства и на колегите, за несебичната и сестрана поддршка во изработката на овој учебник. Исто така, се благодариме на рецензентската комисија, која со своите корисни сугестии придонесе за подобра реализација на овој учебник.

Од авторите

Содржина

1. Основни поими во автоматиката	1
1.1. Предмет и задача на автоматиката и кибернетиката.....	1
1.2. Поим за систем и негови карактеристики.....	3
1.3. Структура на систем.....	5
1.4. Врски на системот и околината.....	7
1.5. Поделба на системите за автоматско управување	8
1.5.1. Континуирани и дискретни системи.....	8
1.5.2. Линеарни и нелинеарни системи.....	9
1.5.3. Детерминистички и стохастички системи.....	10
1.6. Физички и математички модел на систем.....	10
1.6.1. Статички и динамички модел на систем.....	11
1.6.2. Блокиска алгебра како математички модел.....	15
1.7. Постапки на управување и регулација.....	17
1.8. Отворен систем.....	18
1.9. Затворен систем.....	19
1.10. Поим за точност и стабилност на систем.....	21
1.11. Стационарна и преодна состојба на систем за автоматско управување и регулација.....	24
1.12. Критериуми за стабилност на систем за автоматско управување и регулација.....	25
1.13. Снимање на преносна карактеристика на неинвертирачки засилувач..	28
1.14. Снимање на амплитудно-фреквентна и фазно-фреквентна карактеристика на пасивен RC филтер со симулатор „Livewire”.....	32
Прашања и задачи за повторување на материјалот.....	35
2. Сензори и мерни претворувачи	41
2.1. Мерно сетило и мерен претворувач.....	41
2.2. Електрични и неелектрични мерни претворувачи.....	43
2.3. Активни и пасивни сензори.....	46
2.4. Основни параметри на мерните претворувачи.....	47
2.5. Отпорнички претворувачи.....	49
2.5.1. Отпорнички претворувачи за температура.....	50
2.5.2. Термистори.....	51
2.5.3. Термопарови.....	53
2.5.4. Отпорнички мерни ленти.....	54
2.5.5. Отпорнички претворувачи за механички поместувања.....	55
2.6. Индуктивни претворувачи.....	56

2.7.	Трансформаторски претворувачи.....	58
2.8.	Капацитивни претворувачи.....	58
2.9.	Фотоелектрични претворувачи за механичко поместување.....	60
2.10.	Дигитални претворувачи на механичко поместување.....	62
2.11.	Ултразвучни претворувачи.....	63
2.12.	Магнетостриктни претворувачи.....	64
2.13.	Халов сензор.....	65
2.14.	Жироскопски претворувачи на механичко поместување.....	66
2.15.	Тахометарски претворувачи.....	68
2.16.	Фреквенциски претворувач.....	69
2.17.	Пиезоелектричен претворувач.....	70
2.18.	Тестирање на мерен претворувач: потенциометарски сензор за механички поместувања.....	71
2.19.	Практична примена на мерен претворувач: мерење температура со помош на NTC или PTC термистор.....	74
2.20.	Изработка на мерен претворувач: мерен претворувач за аголна брзина.....	76
	Прашања и задачи.....	80
3.	Детектори на сигнал на грешка.....	85
3.1.	Поим и функција на детектор на сигнал на грешка.....	85
3.2.	Електрични детектори на сигнал на грешка.....	85
3.2.1.	Потенциометарски детектор на сигнал на грешка.....	85
3.2.2.	Операциски засилувачи и компаратор.....	86
3.2.3.	Отпорнички детектор на сигнал на грешка.....	88
3.2.4.	Струен детектор на сигнал на грешка.....	89
3.3.	Механички детектор на сигнал на грешка.....	90
3.4.	Пневматски детектор на сигнал на грешка.....	91
3.5.	Хидрауличен детектор на сигнал на грешка.....	92
3.6.	Практична употреба на детектор на сигнал на грешка: демонстрација и анализа на работа на напонски компаратор.....	93
3.7.	Изработка на електричен детектор на сигнал на грешка (Витстонов мост).....	96
	Прашања и задачи за повторување на материјалот.....	100
4.	Регулатори.....	103
4.1.	Структура на регулатор во регулаторски круг.....	103
4.2.	Регулатори со неконтинуирано дејствување.....	104
4.2.1.	Двополжбени и троположбени регулатори.....	104
4.2.2.	Импулсни регулатори.....	106
4.3.	Регулатори со континуирано дејствување.....	107
4.3.1.	Пропорционален регулатор.....	107
4.3.2.	Интегрален регулатор.....	109
4.3.3.	Диференцијален регулатор.....	112
4.4.	Електронски регулатори.....	113
4.4.1.	P (правопропорционален) регулатор.....	113
4.4.2.	I (интегрален) регулатор.....	113

4.4.3. D (диференцијален) регулатор.....	114
4.4.4. PI (правопропорционален интегрален) регулатор.....	115
4.4.5. PD (правопропорционален диференцијален) регулатор.....	116
4.4.6. PID (правопропорционален интегрален диференцијален) регулатор.....	117
4.5. Мртво време и време на доцнење.....	118
4.6. Поврзување на електронски регулатори со континуирано дејствување	121
4.6.1. Сериско поврзување на електронски регулатори со елемент на доцнење од прв ред.....	122
4.6.2. Паралелно поврзување на електронски регулатори со континуирано дејствување.....	123
4.7. Лабораториска вежба: снимање на пилеста и импулсна побуда на електричен диференцијален регулатор.....	124
4.8. Лабораториска вежба: снимање на импулсна побуда на електричен интегрален регулатор.....	127
Прашања и задачи за повторување на материјалот.....	129
5. Извршни елементи.....	135
5.1. Извршни органи и актуатори.....	135
5.2. Извршен погон и извршен елемент.....	136
5.3. Поделба на извршните елементи во зависност од енергијата што ја користат.....	137
5.4. Електрични актуатори.....	139
5.5. Хидраулични и пневматски актуатори.....	142
5.6. Микроактуатори.....	145
5.7. Практична примена на електромотор на еднонасочна струја.....	146
5.8. Асинхрони мотори како извршни органи.....	149
5.9. Софт стартери и фреквенциски регулатори.....	152
5.10. Електромагнетни извршни органи.....	154
5.11. Практична примена и ракување со хидраулични и пневматски извршни елементи.....	155
Прашања и задачи за повторување на материјалот.....	158
6. Комутациони елементи.....	161
6.1. Поим и значење на комутационите елементи.....	161
6.2. Видови комутациони елементи.....	162
6.3. Рачни прекинувачи.....	163
6.4. Релеи.....	165
6.5. Електромагнетен релеј.....	167
6.6. Контактори.....	169
6.7. Временски релеи.....	171
6.8. Термомагнетни прекинувачи.....	173
6.9. Практична примена на комутациони елементи.....	175
6.9.1. Снимање на статичка карактеристика на електромагнетен релеј.....	175
6.9.2. Директно пуштање во работа на асинхрон електромотор со примена на контакттор и термомагнетен прекинувач.....	176

6.9.3. Промена на насока на вртење на асинхрон мотор со контакторска комбинација.....	178
Прашања и задачи за повторување на материјалот.....	180
7. Пренос на сигнали во индустријата.....	183
7.1. Вовед во индустриски комуникациски мрежи.....	183
7.2. Типови на комуникациски мрежи.....	185
7.2.1. Стандарди за сериска комуникација.....	185
7.2.2. Modbus протоколи.....	187
7.2.3. CAN протоколи.....	188
7.2.4. PROFIBUS протоколи.....	189
7.2.5. PROFINET протокол.....	191
7.2.6. Ethernet IP (Ethernet Industrial Protocol).....	191
7.3. Медиуми за пренос во индустриските комуникациски мрежи.....	192
7.4. Стандардни мрежно-комуникациски уреди за работа во индустриски услови.....	194
7.5. Жичени и безжични индустриски комуникациски мрежи со сензори.....	197
Прашања за повторување на материјалот.....	199

1. Основни поими во автоматиката

1.1. Предмет и задача на автоматиката и кибернетиката

Современиот начин на живеење наметнува автоматизација на сите процеси. Во минатото, производството се одвивало без употреба на машини, односно механички, рачно или со употреба на алати. Овие процеси биле примитивни, непродуктивни, напорни за човекот, нестабилни, со нееднаков квалитет на производите. Поради тоа во производството се воведува механизацијата, а подоцна и автоматизацијата. Со **механизацијата**, човекот се ослободува од тешката физичка работа преку примена на машини во процесот на производството. Со автоматизацијата значително се намалува улогата на човекот во производството. Машината го заменува човекот не само како извор на сила, туку и во функциите на паметење и одлучување. Ако механизацијата била повикана да ја замени физичката работа на човекот, тогаш **автоматизацијата има за цел да ја замени умствената човечка работа**. Значи улогата на човекот се сведува на организирање на работата на автоматскиот систем, негово проектирање, поврзување и одржување.

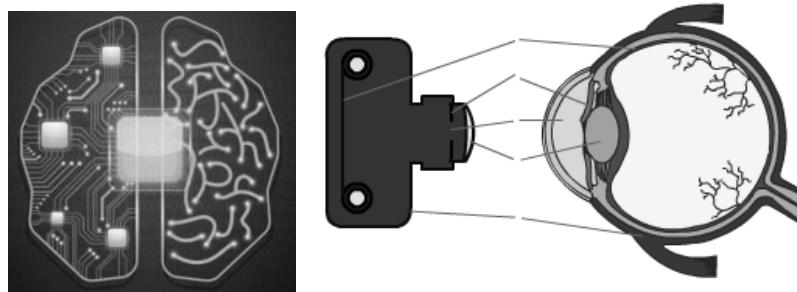
Постојат многу причини зошто автоматиката е навлезена во сите сфери на човековото живеење.

- Човековите сетилни органи се со ограничени можности во однос на примањето и реагирањето на дразбите од околната средина. Во одредени производни процеси, вообичаена брзина на движење на транспортната лента е 20 m/s , што е преголемо оптоварување за човекот. Во современите производни процеси се употребуваат машини кои се карактеризираат со стотици параметри, чишто вредности треба да се набљудуваат и да се мерат во процесот на управување. Човекот не е во состојба да регистрира толкав број на информации.
- Човекот не може да работи во услови кои се опасни по неговиот живот и здравје, како што се: силни вибрации, екстремно високи или ниски температури, хемиски активна средина и др., кои се неминовно присутни во металургијата, хемиската индустрија, нуклеарните центри итн.

- Во областа на економијата, финансиите, трговијата, транспортот, неопходно е да се примаат и обработуваат огромен број податоци. Тоа предизвикува големо оптоварување на работниот персонал и бара потреба од користење на компјутерска опрема.

Придобивки од автоматиката се: поголема брзина на работа и поголема ефикасност, безбедност и заштита, намалување на бројот на грешки, заштеда на време итн.

Кибернетика е научна специјалност што ја споредува **работата на машините и работата на живите суштества**, особено во однос на комуникациските и регулаторните механизми. Познато е дека живите суштества се приспособуваат кон условите на средината. Принципот на повратна врска е природен феномен, но тој се користи и во автоматиката. Терминот повратна врска значи враќање на излезната големина на влез, нејзино споредување со посакуваната вредност и преземање дејства за нивно изедначување. Голем број од човековите витални функции се одржуваат благодарение на влијанието на биолошките регулатори: температура, притисок, ритам на срце, зениците на окото и др. Слика 1.1. претставува споредба меѓу два природни процеси и нивните еквивалентни кибернетички процеси. На пример, при силна светлина зениците се собираат, а при слаба светлина се шират. На ист принцип функционираат камерите со автоматска бленда. Споредба може да се направи помеѓу градбата на човечкиот мозок и структурата на микропроцесорите. Човечкиот мозок има 12-15 милијарди неурони, а денешните микропроцесори содржат речиси две милијарди транзистори.



Слика 1.1. Концепти на кибернетиката

Автоматиката започнала да се развива кон почетокот на 18 век и се применувала, пред сè, на механички процеси. Во првата половина од 20 век настанува експанзија на електричните системи со повратна врска. Во 1927 година е конструиран првиот електронски засилувач со повратна врска и првиот диференцијален анализатор. Во 1932 година Најквист (Nyquist), американски научник со шведско потекло, ги објаснува критериумите за стабилност на засилувачите со повратна врска. Појавата и брзиот развој на микропроцесорите одиграле незапамтена улога во развојот на автоматиката. Во производството сè повеќе се користат работи кои се брзи, неуморни, прецизни, со софистицирани протоколи за комуникација. Сепак, човечката креативност е незаменлива и човекот е господар во областа на автоматиката.

1.2. Поим за систем и негови карактеристики

Во секојдневниот живот многу често се сретнуваме со поимот систем. Постојат биолошки, политички, општествени, технолошки, компјутерски системи итн.

Системот е комбинација од физички компоненти, поврзани по точно определен редослед, кои извршуваат одредени операции. За да се постигне функционална целина потребно е да се обезбеди компатибилност (усогласеност) на компонентите и непрекинат тек на информации и енергија.

Системите за автоматско управување вршат мерење на сигналот на грешка, односно отстапувањето на реалната од посакуваната вредност и врз основа на добиениот резултат вршат приспособување, со цел да се постигне посакуваната состојба. Ако отстапувањата се преголеми или се случуваат пребрзо, тогаш системот за автоматско управување е несоодветен и не може да изврши приспособување. Процесните инженери дизајнираат системи кои работат на одреден начин. Инженерството на системите на управување бара широк сет на вештини, вклучително и познавање на електрични и механички уреди и примена на софтверски алатки.

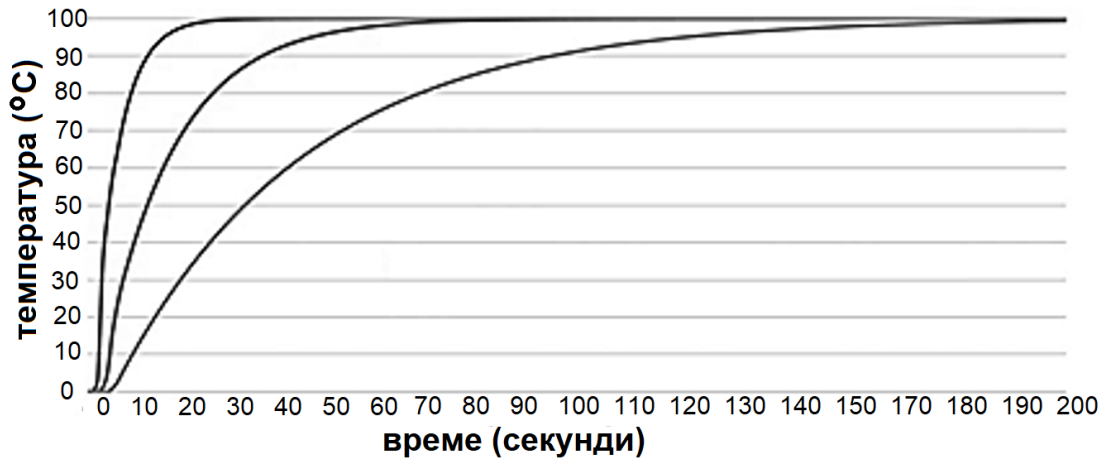
Основни карактеристики на системите за автоматско управување се: точноста и прецизноста, бројот на влезни и излезни големини, брзината на реакција, стабилноста, чувствителноста, линеарноста, меморијата, флексибилноста, финансиската оправданост.

Ефикасните системи за автоматско управување генерираат точни информации и податоци. Тие се од суштинско значење за донесување на вистински одлуки. Неточните информации би ги насочиле напорите и енергијата на проблеми кои не постојат или имаат низок приоритет. **Точноста** значи системот да генерира вредности блиски до вистинската вредност. **Прецизноста** значи генерирање исти излезни вредности при ист влез, односно повторување на резултатите. На пример, ако бесконтактниот сензор за телесна температура покажува 37°C , а вистинската температура е 38°C , тогаш сензорот е неточен. Но и покрај неточноста, доколку по пет-шест мерења се добие иста вредност од 37°C , сензорот се смета за прецизен.

Системите со една влезна и една излезна големина се нарекуваат скаларни системи, а оние со повеќе влезни или излезни големини се нарекуваат мултиваријабилни. Пример за мултиваријабилен систем за управување е резервоар за течност со две излезни големини: температура и ниво на течност

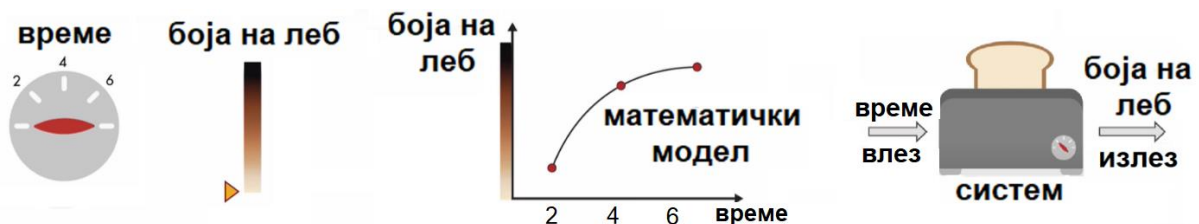
Времето на реакција е исто така важен фактор за ефикасен систем. Ако времето на доцнење е преголемо, тогаш добиените податоци може да станат бескорисни и да настанат штети. Времето на реакција е времето што му е потребно на системот да реагира на влезната побуда. Вообичаено тоа е времето потребно одзвонот да постигне 90 проценти од својата максимална вредност.

За системот велиме дека е чувствителен доколку тој ги детектира најмалите промени на влезната големина и реагира на нив.



Слика 1.2. Одзиви на три температурни сензори со различно време на реакција

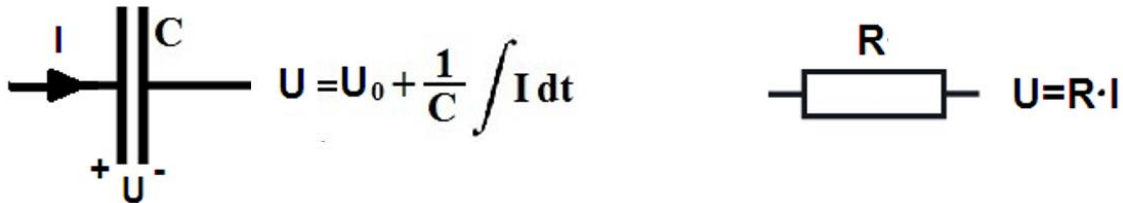
Зависноста на излезната големина од влезната се опишува преку таканаречената **преносна карактеристика**. Таа е можеби најважна карактеристика на системите за автоматско управување. Анализата на преносната карактеристика открива и некои други карактеристики на системите, како што е нивната стабилност. За да може подобро да се усвои терминот преносна карактеристика ќе земеме едноставен пример. Речиси сите ние секојдневно го користиме тостерот, го нагудуваме тајмерот, чекаме и по истекот на времето, парчето леб отскокнува. Бојата на лебот зависи од времето на тајмерот. Тостерот е отворен систем, времето на тајмерот е влезна големина, а бојата на лебот е излезна големина. Доколку го користиме тостерот за првпат, нема да знаеме да го нагодиме тајмерот на вистинското време за да добиеме леб по своја желба. Можеме да експериментираме. Тајмерот ќе го поставиме на различни вредности и ќе ја набљудуваме бојата на лебот. Резултатите од експериментот ќе ги запишеме во графикон. Ако тајмерот го поставиме на второ ниво, ќе добиеме малку запечен, на ниво 3 – средно запечен и на ниво 4 – многу запечен тост. Ако повлечеме линија низ добиените точки, ќе добиеме математички модел за системот тостер.



Слика 1.3. Преносна карактеристика на тостер

Времето на тајмерот е независна големина и се бележи со буквата x , а бојата на лебот е зависна променлива и се бележи со буквата y . Запишуваме математичка функција $y = f(x)$ и преку неа можеме да ја „пресметаме“ бојата на лебот, во зависност од времето. Функцијата $y = f(x)$ се нарекува преносна карактеристика на системот и таа може да биде зададена графички или аналитички, со равенка.

Наједноставен математички модел имаат **линеарните системи** за автоматско управување, бидејќи линеарноста подразбира правопрпорционална зависност на излезната големина од влезната. На пример, ако влезната големина се зголеми за петпати, тогаш и излезната големина ќе се зголеми за петпати. Пример за линеарен систем е отпорникот, бидејќи напонот на неговите краеве зависи правопрпорционално од јачината на струјата. Омовиот закон е типична линеарна функција и коефициентот на линеарност е еднаков на електричната отпорност изразена во оми.



а. Кондензатор

б. Отпорник

Слика 1.4. Пример за нелинеарен и линеарен систем

Пример за **нелинеарен систем** е кондензаторот, бидејќи напонот на неговите краеве се опишува со интегрална равенка. Освен за нелинеарен систем, кондензаторот е пример и за систем со меморија. Напонот на неговите краеве зависи не само од моменталната јачина на електричната струја туку и од неговата почетна вредност.

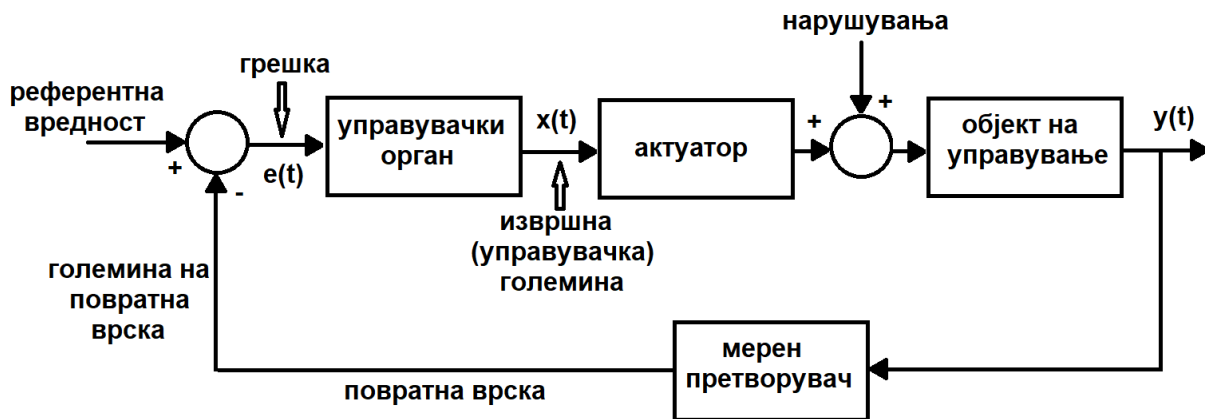
Нарушувања кои доаѓаат од околината или скоковитите промени на некоја влезна големина можат да предизвикаат нестабилност во работата на системот. Излезната големина почнува да осцилира или таа почнува нагло да се зголемува, без можност да се сопре нејзиниот раст.

Процесите на управување по природа можат да бидат многу динамични. Крут, непроменлив систем би бил несоодветен за променлива средина. Системот треба да биде флексибилен и лесно да се приспособува кон настанатите промени во неговата околина. Иста така, системот треба да биде разбирлив и прифатлив за оние кои ќе работат со него. Инженерскиот пристап подразбира рационалност и едноставност. Автоматиката треба да се приспособи кон средината, а не средината кон автоматиката.

1.3. Структура на систем

Генерално, системите за автоматско управување се поделени на два дела, **управуван и управувачки дел**. Управуваниот дел се нарекува објект на управување, а управувачкиот дел – орган за управување и тој може да биде хардвер или софтвер.

Структурата на системот за автоматско управување најлесно може да се опише преку **блок-шема**. На слика 1.5. е прикажана блок-шема на систем со повратна врска. Секој блок претставува елемент, модул, компонента со точно определена функција.



Слика 1.5. Блок-шема на систем со повратна врска

Влезот на блокот се нарекува побуда, а излезот одзив. Блоките се поврзани меѓу себе со стрелки кои го опишуваат текот на енергија и информација.

Секој елемент може да се разложи на други поедноставни делови. На пример, **управувачкиот орган** може да содржи регулатор, засилувач или модулатор во својот состав. Главна задача на регулатор е извршување на алгоритам кој го одржува регулираниот процес во согласност со барањата на корисникот. Самиот процес може да биде константен во текот на времето или да се менува во зависност од промената на влезната големина на системот. Во првиот случај, регулаторот го одржува процесот, а во вториот го води процесот.

Вообичаено е објектот на управување да содржи **извршен орган или актуатор** кој делува врз објектот во зависност од управувачките сигнали што ги прима од органот на управување. Актуаторот е уред или машина која предизвикува физички движења со претворање на електричната, воздушната или хидрауличната енергија во механичка. Едноставно кажано, тоа е компонентата што овозможува движење. За да се одговори на прашањето што прави актуаторот, процесот се споредува со функционирањето на човечкото тело. Мускулите во телото ја претвораат хемиската енергија од храната во механичка енергија, односно движење на рацете или нозете. Активаторите се „мускулите“ на машините, без оглед дали е тоа некое возило, бела техника или робот.

Најчесто, повратната врска содржи **мерен претворувач** кој врши претворање на физичките големини во електрични. Во зависност од природата на физичката големина што претворувачот ја мери и ја конвертира, тие се делат на: механички, термички, оптички или некои други претворувачи. Според принципот на работа, постојат отпорнички, капацитивни, индуктивни, електромагнетни, пиезоелектрични, механички, хидраулични, пневматски претворувачи итн. Според излезната големина, мерните трансдуктори се делат на: електрични и механички.

Детекторот на сигнал на грешка се бележи со круг, наместо со блок, и тој врши споредба на посакуваната и реалната големина. Овие големини се влезови на детекторот на грешка, а излезната големина е побуден сигнал за регулаторот. Детекторите за сигнали на грешка или компараторите, како што се нарекуваат,

можат да бидат механички, пневматски, хидраулични и електрични, што зависи од физичката природа на влезните големини. За откривање грешки во електричните сигнали се користат: потенциометри, Витстонови мостови, мали еднонасочни генератори со независно возбудување, операциски засилувачи итн. Операцискиот засилувач е диференцијален засилувач со два влеза и еден излез и големината на излезниот сигнал се одредува според разликата помеѓу влезните напони U_1 и U_2 , како и засилувањето A .

1.4. Врски на системот и околината

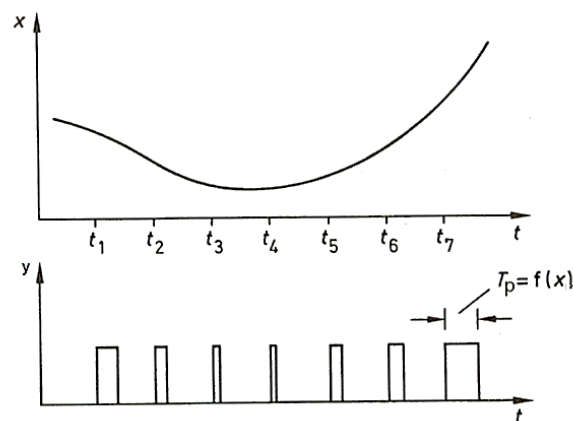
Системот е секогаш во некаков однос со околината. Од него ја добива енергијата и информациите потребни за квалитетна работа, а резултатот од својата работа го испраќа до околината. Според тоа, можеме да кажеме дека постојат две групи на врски помеѓу системот и околината. Околината влијае на системот и неговото функционирање, а системот влијае на околината преку својата работа. **Влијанието на околината врз системот** се опишува преку влезни големини, а **влијанието на системот врз околината** преку излезни големини. При управување со системот, сите влезни сигнали можеме да ги поделиме во две групи. Во првата група спаѓаат управувачките сигнали и на нив може непосредно да се дејствува, односно преку нив се управува. Во блок шемата на слика 1.5. управувачкиот сигнал е обележан со буквата $x(t)$. Разликата помеѓу референтната и реалната вредност се нарекува грешка (error). На излез од управувачот, а на влез од извршниот орган се наоѓа управувачкиот сигнал и неговата вредност зависи од големината на грешката. Втората група влезни сигнали се непредвидливи, надвор од нашата контрола и овие сигнали се наречени **пречки или нарушувања** и обележани се со буквата $d(t)$ што е почетна буква од англискиот збор disturbance, што во превод значи нарушување. Тоа се несакани влезови, надворешни случајни настани кои штетно влијаат на стабилноста на системот. Во примерот со системот автомобил, нарушувања се условите на патот. Референтна вредност (set point) беше максимално дозволената брзина, управувана големина е фактичката брзина и управувачки сигнал е напонот кој ја одредува брзината на вртење на моторот. Со буквата $y(t)$ ја бележиме излезната променлива која се нарекува управувана големина. Всушност цел на сите системи за автоматско управување е управуваната големина, колку што е можно повеќе, да се доближи до референтната вредност. Поради тоа управуваната излезна големина се враќа на влез и се споредува со референтната вредност во компараторот. Подоцна ќе бидат објаснети повеќе примери за отворен и затворен систем и ќе се идентификуваат сите блокови и сигнали во нивната структура.

1.5. Поделба на системите за автоматско управување

Веќе нагласивме дека дизајнирањето на системите за автоматско управување е комплексна работа. Делумно тоа се должи на нивната разноликост. Системите ќе ги набљудуваме од три аспекти: видот на сигналите, видот на преносната карактеристика и видот на процесот кој го претставуваат.

1.5.1. Континуирани и дискретни системи

Човекот добива информации за средината која го опкружува преку своите сетила. Кога се работи за електричен систем под информација подразбираме текст, слика, видео, звук. На пример, за претворање на звукот во електричен сигнал се користи микрофон. На излез од микрофонот добиваме електричен сигнал чиј облик одговара на обликот на звучниот сигнал. Овој сигнал е **континуиран** и истиот е прикажан на слика 1.6.. Тој е **непрекинат во текот на времето и може да прима бесконечно различни вредности** во опсегот од неговиот максимум до неговиот минимум. Но, во автоматиката ретко кои процеси се следат нон-стоп во текот на времето туку истите се дискретизираат односно се земаат примероци во точно определени временски интервали. Потоа измерените вредности се втиснуваат како информација во периодичната поворка од импулси чија периода одговара на периодата на земање примероци. Оваа постапка се нарекува **импулсна модулација**. На слика 1.6. е прикажан импулсно широчинско модулиран сигнал.



Слика 1.6. Дискретизација на континуиран сигнал

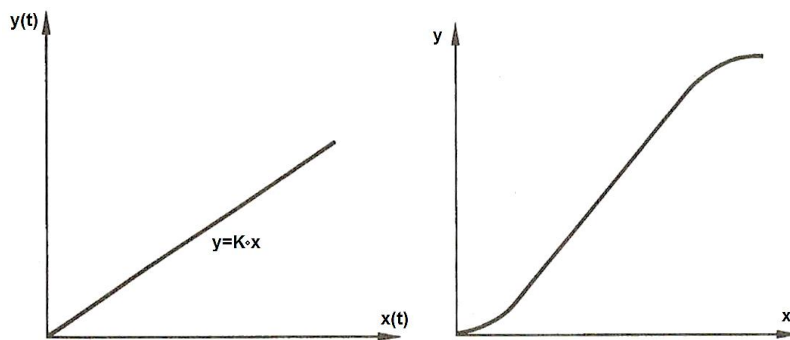
Освен ширинатаа може да се менува и амплитуда на импулсите во зависност од големината на сигналот на излез од микрофонот и таа модулација се нарекува импулсно амплитудна модулација. Дискретизираниот сигнал лесно може да се претвори во континуиран ако истиот се пропушти ни нискофреквентен филтер. Извршни уреди со континуирано дејство се транзисторите, засилувачите,

електричните вентили, а со дискретно дејство се релеите, тиристорите и другите видови конектори.

Значи самата **дискретизација значи земање на примероци** од континуираниот сигнал во точно определени временски интервали. Ако земените примероци се заокружат на цели вредности и се кодираат (претстават како комбинации од нули и единици) ќе се добие **дигитален сигнал**.

1.5.2. Линеарни и нелинеарни системи

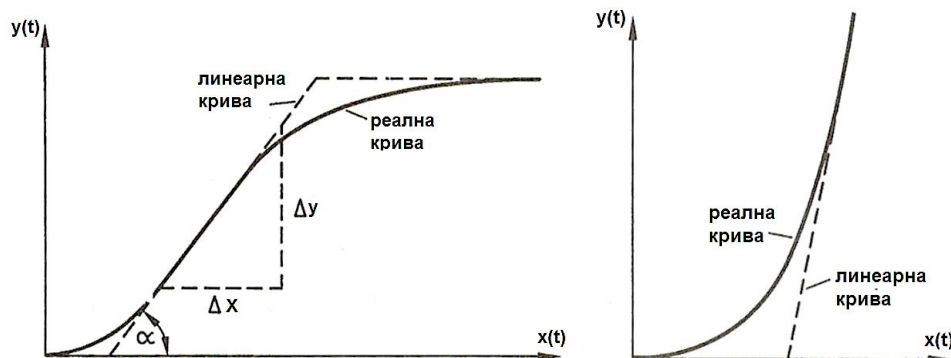
Линеарноста значи колку пати ќе се зголеми влезот толку пати да се зголеми излезот односно излезот зависи правопрпорционално од влезот. Преносната карактеристика на линеарен систем е линеарна равенка $y=K \cdot x$ при што K се нарекува константа на правопрпорционалност и ни покажува колку пати излезот е поголем или помал од влезот.



Слика 1.7. Линеарна и нелинеарна преносна карактеристика

Графички преносната карактеристика е права. Колку е поголема **константата на правопрпорционалност** толку ќе биде поголем наклонот на правата, односно излезот побрзо ќе расте во однос на влезот, но нивниот количник останува константен.

Реалните процеси најчесто се нелинеарни и преносната карактеристика е сложена. Поради тоа се врши поедноставување на преносната карактеристика така што графикот се дели на повеќе делови и секој дел се линеаризира. За секој дел посебно се пресметува константа на правопрпорционалност како количник од промената на излезот Δy и промената на влезот Δx .

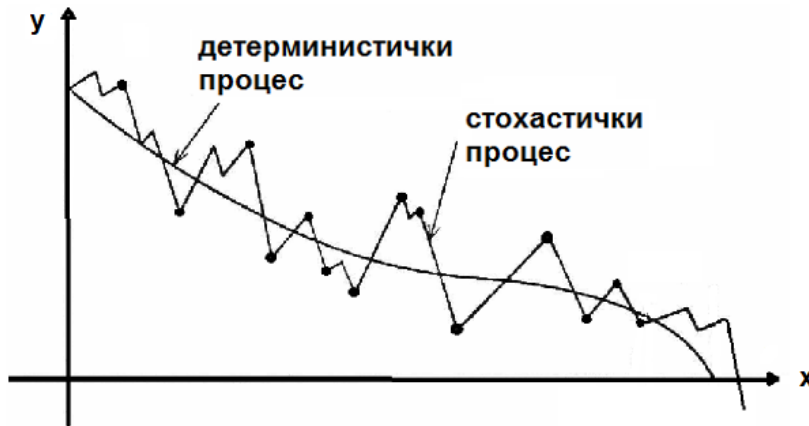


Слика 1.8. Линеаризација на преносна карактеристика

На слика 1.8. со полна линија се нацртани реалните преносни карактеристики, а со испрекинатата преносните карактеристики после **линеризацијата**.

1.5.3. Детерминистички и стохастички системи

Веќе истакнавме дека графикот на преносната карактеристика може да се добие експериментално при што за различни вредности на влезот се мери вредноста на излезот.



Слика 1.9. Добивање на преносна карактеристика по експериментален пат

Ако ги поврземе овие точки ќе добиеме график. Но, што ќе се случи доколку точките не лежат на една линија туку се расфрлани околу линијата? Ваквиот систем се нарекува стохастички систем. Во случај на **стохастичен систем не може прецизно да се дефинира преносна карактеристика**. Поради тоа цртаме приближна линија така што точките да бидат рамномерно распоредени од двете страни. Оваа постапка е прикажана на слика 1.9.

Откако ќе се добие преносната карактеристика може да се изврши нејзино поедноставување или линеаризација.

Понекогаш причина за стохастичните процеси се нарушувањата. Нарушувањата се случајни надворешни настани кои дејствуваат врз системот без наше знаење и го менуваат текот на процесот. Доколку сме свесни за постоењето на овие нарушувања тие мора да бидат земени предвид при дизајнирањето на математичкиот модел бидејќи може да се појават грешки со несакани последици.

1.6. Физички и математички модел на систем

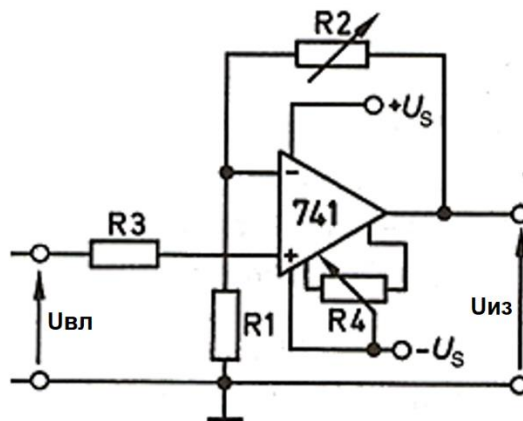
Модел на систем е заменски систем кој се однесува слично како системот што го анализираме. Моделот е воведен за да поудобно, полесно, побрзо и поевтино експериментираме на него. Постојат различни типови на модели: аналитички, симулациски, физички односно лабораториски. Системот може да биде опишан со една равенка или систем од равенки. Преносните карактеристики и блок шемите исто така претставуваат математички модели.

1.6.1. Статички и динамички модел на систем

Математичките модели се делат на статички и динамички. **Статички модели** се оние во кои моменталните вредности на излезните големини се последица на тековните вредности на влезните големини. Во статичните модели, тековните излезни вредности не зависат од некои претходните влезни вредности, ниту од некои скриени, внатрешни променливи.

Динамични модели се модели со меморија. При анализата на зависноста на излезот од влезот се земаат предвид промените на фреквенцијата или времето. За претставување на динамички модели се користат диференцијални равенки и Лапласови трансформации. Бидејќи ваквата математичка анализа е многу сложена, ние ќе се задржиме на системи со едноставни преносни карактеристики и ќе се запознаеме со алгебрата на блокови.

Пример 1. На слика 1.10. е прикажан физички модел на неинвертирачки засилувач. Да се потсетиме влезната отпорност на операцискиот засилувач е бесконечна, влезната струја е приближно еднаква на нула и напонот помеѓу инвертирачкиот и неинвертирачкиот влез е еднаков на нула.



Слика 1.10. Неинвертирачки засилувач со потенциометар

Со примена на Кирхофовите закони ги изведуваме равенките за влезниот и излезниот напон.

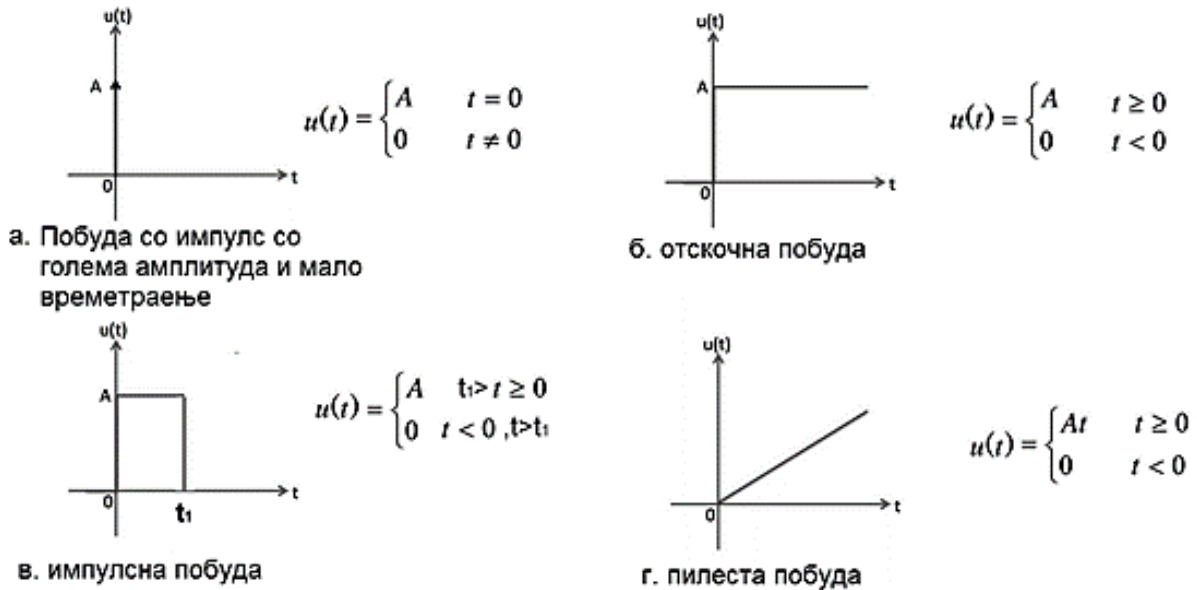
$$U_{\text{вл}} = I \cdot R_1 \quad U_{\text{из}} = I(R_1 + R_2) \quad (1.1)$$

$$G = \frac{U_{\text{из}}}{U_{\text{вл}}} = \frac{I(R_1 + R_2)}{I \cdot R_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (1.2.)$$

Добиената функцијата F е всушност преносна карактеристика на неинвертирачкиот засилувач и таа претставува константа. Доколку ги замениме отпорниците тогаш ќе се промени вредноста на преносната карактеристика односно засилувањето. Бидејќи преносната карактеристика на неинвертирачкиот засилувач не зависи од времето или фреквенцијата овој модел е пример за статички модел.

Анализата на **динамичките системи** може да се врши во **временски или фреквентен домен**. Во временски домен преносната карактеристика е функција

во зависност на времето и најчесто претставува временски одзив на отскочна побуда. На слика 1.11. освен отскочната побуда се прикажани уште три други тест сигнали кои се користат за анализа во временско подрачје и кои се користат за креирање на математички модели.

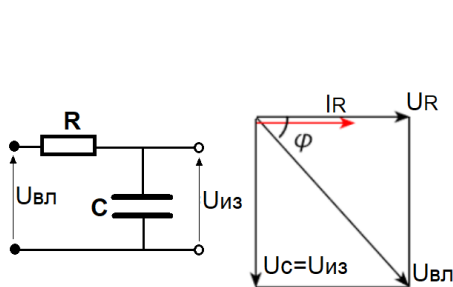


Слика 1.11. Тест сигнали за анализа во временско подрачје

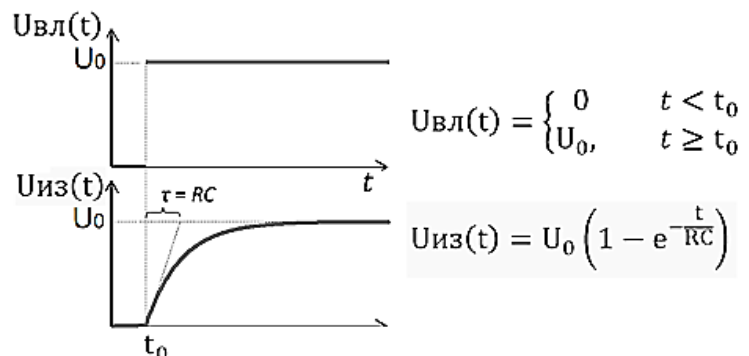
Во фреквентно подрачје преносната карактеристика е функција во зависност од фреквенцијата и се користи синусна побуда $x = X \sin \omega t$. После смирувањето на преодниот процес, на излез од системот се добива исто така синусоида, ама со различна амплитуда и со фазно поместување, $y = Y \sin(\omega t + \varphi)$.

Пример 2.

Динамички систем претставува нискофреквентниот филтер. На слика 1.12. е прикажано RC коло и неговиот векторски дијаграм. Преодните процеси во RC колото веќе се изучени и тука само ќе се потсетиме на нив. Всушност преодните процеси претставуваат математички модел на ова коло во временско подрачје.



Слика 1.12. RC коло и векторски дијаграм



Слика 1.13. Математички модел на RC филтер во временско подрачје

Сега ќе ја изведеме преносната карактеристика на RC колото во фреквентно подрачје. Да се потсетиме импедансата на кондензаторот се пресметува со

равенката $X_c = \frac{1}{j\omega C}$ каде j е имагинарна единица $j = \sqrt{-1}$. Согласно Омовиот закон за кола со наизменична струја пресметуваме

$$U_{\text{вл}} = I \left(R + \frac{1}{j\omega C} \right), \quad U_{\text{из}} = I \cdot \frac{1}{j\omega C} \quad (1.3.)$$

Преносната карактеристика ќе ја добиеме ако ја поделиме равенката за излезниот напон со равенката на влезниот напон.

$$F = \frac{U_{\text{из}}}{U_{\text{вл}}} = \frac{I \cdot \frac{1}{j\omega C}}{I \left(R + \frac{1}{j\omega C} \right)} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} \cdot \frac{j\omega C}{j\omega C} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_g}} = \frac{1}{1 + \frac{f}{f_g}} \quad (1.4.)$$

Заклучуваме дека преносната карактеристика зависи од фреквенцијата. Графичкото прикажување на фреквентниот одзив има задача да ја покаже промената на амплитудата и фазното поместување во зависност од кружната фреквенција како независна променлива. Ќе анализираме два графички прикази, **Бодев и Најквистов дијаграм**.

Бодевите дијаграми се состојат од амплитудно-фреквентен и фазно фреквентен дијаграм, кои се цртаат еден под друг. Овие дијаграми се познати и под **амплитудно-фреквентна и фазно фреквентна карактеристика**. На апцисната оска на двата дијаграми е прикажана кружната фреквенција во логаритамска скала. На ординатната оска на амплитудно-фреквентна карактеристика (АФК) се прикажува амплитудата во линеарна или логаритамска скала. Гледаме дека моменталната вредност на напонот е поделена со максимално дозволената вредност и оваа постапка се нарекува нормализација. На ординатната оска на фазно фреквентна карактеристика (ФФК) се прикажува фазното поместување или пократко фазата, во линеарна скала. Фреквенцијата за која важи $U_{\text{из}}=0,707 U_{\text{вл}}$ се нарекува **гранична фреквенција**. Нискофреквентниот филтер не ги пропушта фреквенциите поголеми од граничната фреквенција. Граничната фреквенција се пресметува според равенката $f_g = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$.

За да ги нацртаме Бодевите дијаграми потребно е да се пресмета **амплитудата и фазата на преносната карактеристика**.

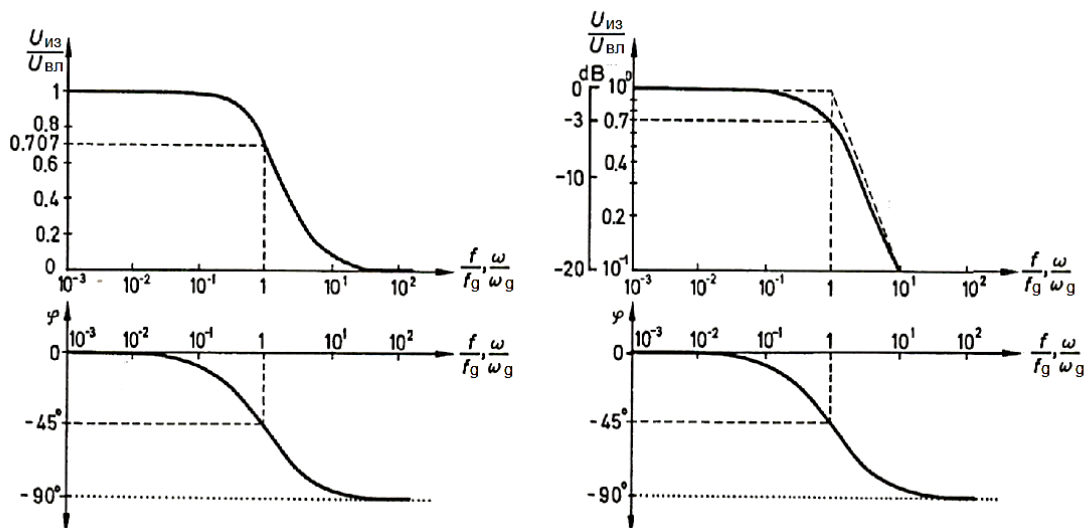
$$G(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega RC} \cdot \frac{1-j\omega RC}{1-j\omega RC} = \frac{1}{1+\omega^2 R^2 C^2} - j \frac{\omega RC}{1+\omega^2 R^2 C^2} = \text{Re}[G(j\omega)] + j \text{Im}[G(j\omega)] \quad (1.5.)$$

Амплитудата се пресметува како квадратен корен од квадратите на реалниот и имагинарниот дел на преносната карактеристика.

$$|G(j\omega)| = \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2} = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 R^2 C^2}} \quad (1.6.)$$

Фазата се пресметува со равенката

$$\varphi = -\arctg \frac{\text{Im}[G(j\omega)]}{\text{Re}[G(j\omega)]} = -\arctg \omega RC \quad (1.7.)$$

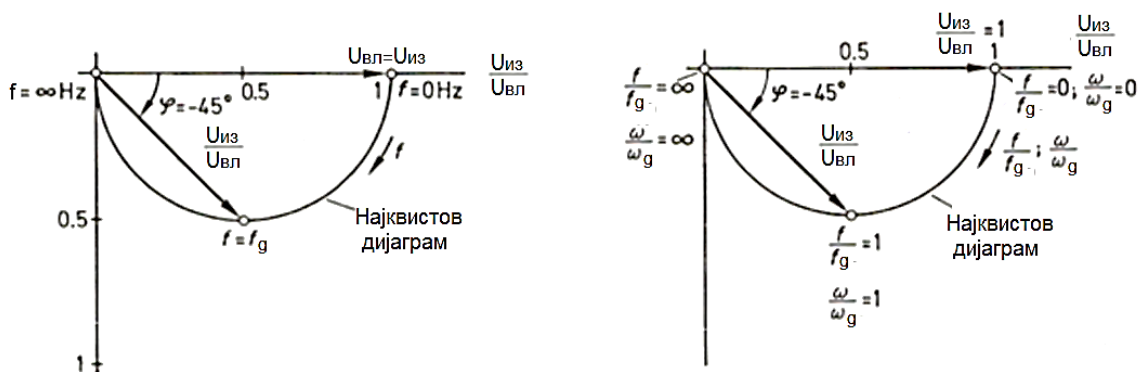


б) Линеарна скала

б) Логаритамска скала

Слика 1.14. Бодев дијаграм на нискофреквентен филтер

Бодевите дијаграми може да се нацртаат со вметнување на различни кружни фреквенции во равенките за пресметка на амплитудата и фазата на преносната карактеристика односно равенките (1.6.) и (1.7.). На тој начин се добива прецизна фреквентна карактеристика. Баш тоа едноставно и брзо скицирање на фреквентните карактеристики на некој систем се голема предност на Бодевите дијаграми.

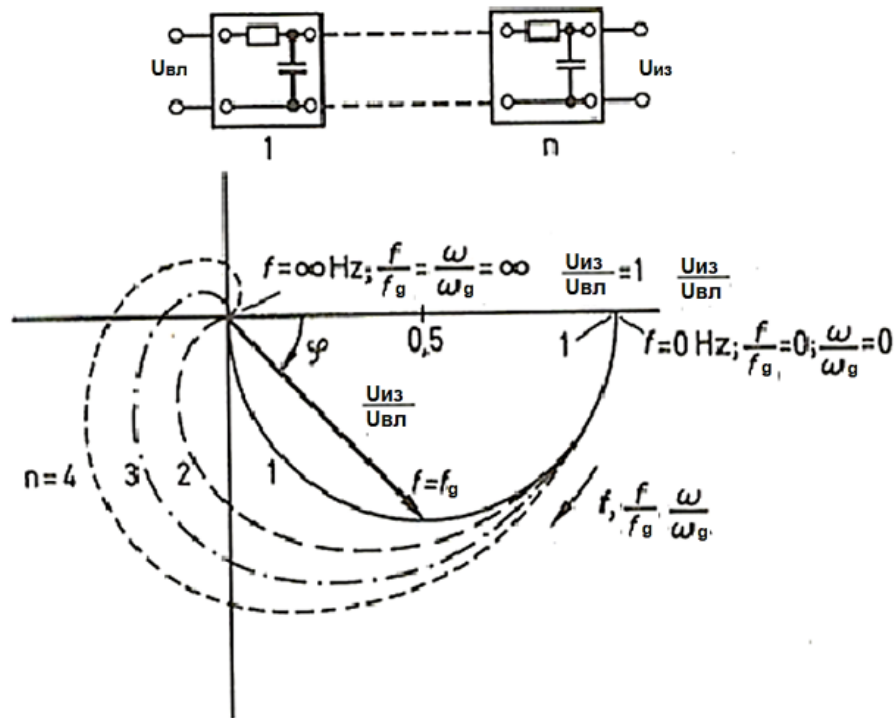


Слика 1.15. Најквистови дијаграми за нискофреквентен филтер

Фреквентните карактеристики на системот може да се опишат и преку Најквистовиот дијаграм, кој е поларен координатен систем. На апцисната оска се нанесуваат вредностите на **реалниот дел** од преносната карактеристика, а на ординатната оска се нанесуваат вредностите на **имагинарниот дел од преносната карактеристика** (равенка 1.5.) Растојанието од координатниот почеток до некоја случајно избрана точка од Најквистовата крива е еднакво на амплитудата на преносната карактеристика за дадената фреквенција, а фазното поместување е аголот со позитивната насока на реалната оска.

На слика 1.16. се прикажани Најквистовите дијаграми за системи составени од повеќе сериски врзани нискофреквентни филтри. Може да се заклучи дека почетната точка е останата иста, а фазните поместувања се собираат. Кога се

работи за еден нискофреквентен филтер, за бесконечна фреквенција амплитудата е еднаква на нула, а фазата изнесува $\varphi = -90$ степени. Ако се работи за две сериски нискофреквентни филтри тогаш фазата изнесува -180 степени, за три -270 степени итн.

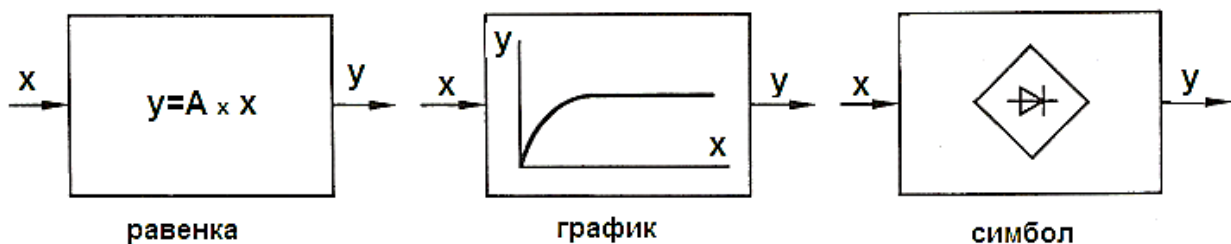


Слика 1.16. Најквистови криви за сериски поврзани нискофреквентни филтри

1.6.2. Блокиска алгебра како математички модел

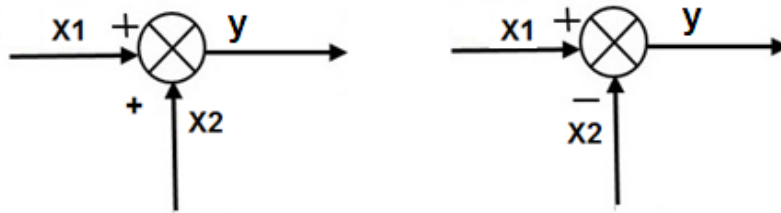
Веќе истакнавме преносната карактеристика е најважна карактеристика на системите за автоматско управување. Преносната карактеристика може да се добие по експериментален или аналитички пат (со пресметка). Секој елемент (компаратор, регулатор, актуатор, мерен претворувач) во составот на системот има своја преносна карактеристика. **Преносната карактеристика** на секој елемент односно блок **може да биде обележана со: график, равенка или симбол**. Ова е прикажано на слика 1.17.

Реалните блок-шеми содржат многу елементи, најразлични комбинации и начини на поврзување. За да се пресмета вкупната преносна карактеристика потребно да се познаваат основните операции за работа со блок шеми.



Слика 1.17. Обележување на блокови

За комбинирање на сигнали служат суматорите и компараторите. Тие се бележат со круг како што е прикажано на слика 1.18.

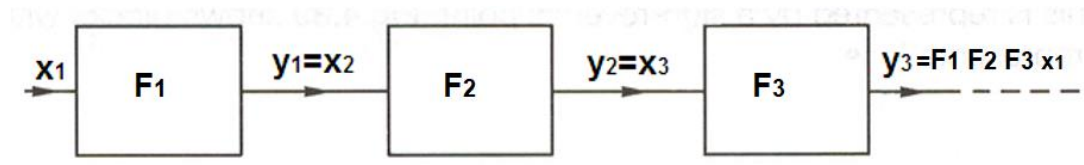


Слика 1.18. Символи за суматор и компаратор

Дали се работи за **суматор** или **компаратор** можеме да заклучиме од знаците на влезните сигнали. Излезот на суматорот е еднаков на збирот на неговите влезови, а излезот на компараторот е еднаков на разликата на неговите влезови. Најчесто компараторите се наоѓаат на почетокот од блок шемата на системот и служат за споредување на посакуваната и реалната вредност.

Постојат три основни блок структури: **сериска, паралелна и структура со повратна врска.**

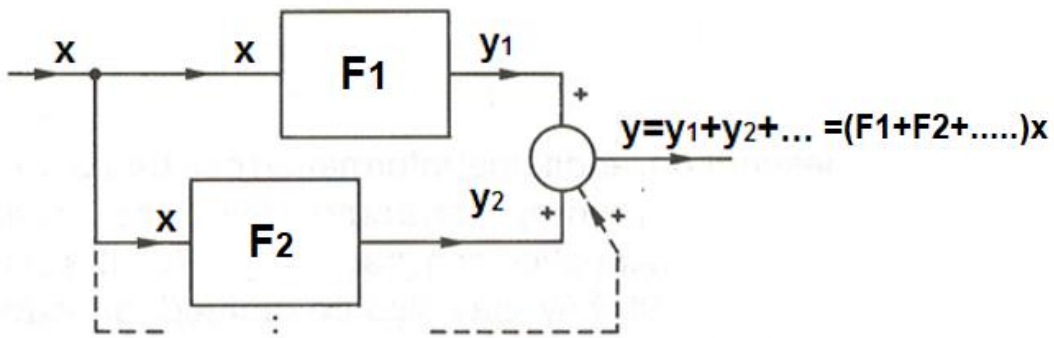
- Кај сериската структура излезот од првиот блок претставува влез за вториот. **Резултантната преносна карактеристика** претставува производ од поединечните преносни карактеристики.



Слика 1.19. Сериска врска на блокови

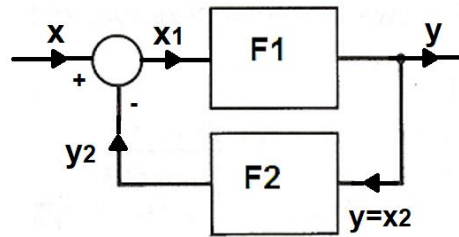
На пример, вкупното засилување на два сериски поврзани засилувачи е еднакво на производот од поединечните засилувачи.

- Кај паралелната структура влезниот сигнал побудува повеќе блокови, а нивните излези се собираат со суматор. Резултантната преносна карактеристика претставува збир на поединечните функции.



Слика 1.20. Паралелна врска на блокови

- Кај структурата со повратна врска излезниот сигнал се враќа на влез и се споредува со референтната вредност. Подоле се дадени пресметките за добивање на резултанта преносна карактеристика.



Слика 1.21. Систем со негативна повратна врска

$$y_1 = F_1 \cdot x_1, \quad y_2 = F_2 \cdot x_2$$

$$x_1 = x - y_2 = x - F_2 \cdot x_2 = x - F_2 \cdot y_1 = x - F_2 \cdot y \text{ бидејќи } y_1 = y = x_2$$

$$y = F_1 \cdot x_1 = F_1 \cdot (x - F_2 \cdot y) = F_1 \cdot x - F_1 F_2 \cdot y$$

Членот $F_1 F_2 \cdot y$ го префрламе од десната на левата страна на равенката

$$y + F_1 F_2 \cdot y = F_1 \cdot x$$

Во левата страна од равенката излезниот сигнал го вадиме пред заграда.

$$y(1 + F_1 F_2) = F_1 \cdot x, \quad y = \frac{F_1}{1 + F_1 F_2} \cdot x$$

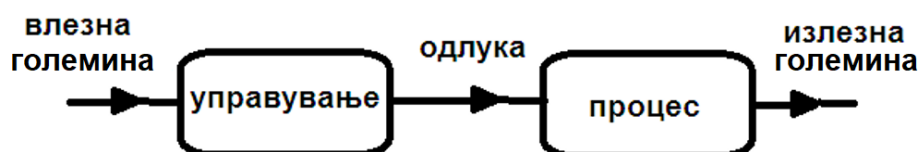
$$F_{\text{вкупно}} = \frac{y}{x} = \frac{F_1}{1 + F_1 F_2} \quad (1.8)$$

Подетално со негативната и позитивната повратна врска ќе се запознаеме подоцна кога ќе зборуваме за затворен систем.

1.7. Постапки на управување и регулација

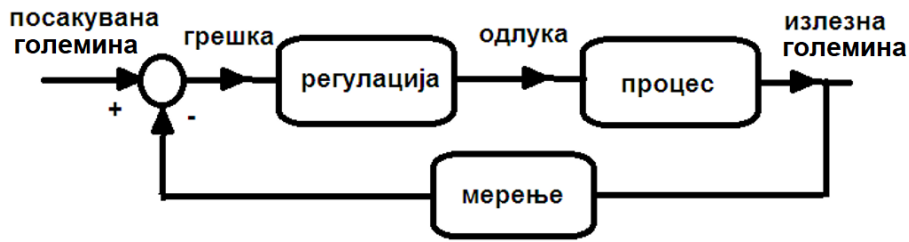
Постои разлика меѓу поимите регулација и управување. Во зависност од информацијата која е потребна и доволна за правилно управување со објектот постојат два основни видови системи: отворен систем или систем за управување и затворен систем или систем за регулација. Системот се нарекува отворен систем ако се користи само информацијата за посакуваната големина на излезот, а затворен ако се користи само информацијата за отстапувањето на реалната големина на излезот во однос на неговата посакувана вредност.

Кај автоматското управување или отворениот систем вистинската и посакуваната вредност не се споредуваат туку според вредноста на влезната големина и однапред дефинирани закони се донесува одлука за дејствување и нагодување на излезната големина. Излезната големина не се контролира односно не се мери. Кај автоматското управување не постои можност за подобрување на управувачките одлуки врз основа на набљудување на процесот.



Слика 1.23. Блок шема на систем за автоматско управување

Системот за автоматска регулација или затворениот систем има за задача да ги одржува (стабилизира) избраните големини на посакуваната вредност, без оглед на дејствувањето на надворешните и внатрешните нарушувања.



Слика 1.22. Блок шема на систем за автоматска регулација

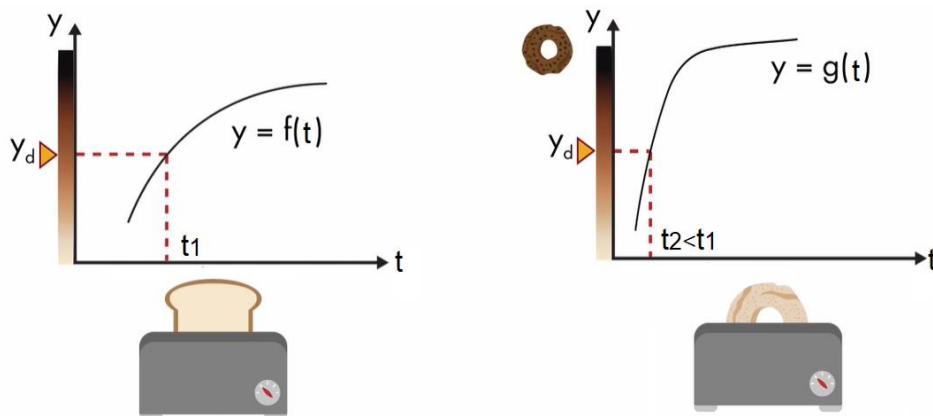
Кај автоматската регулација имаме двонасочно движење на енергија и информации и токму повратната информација дозволува корекција на донесените одлуки.

Заклучок е дека автоматската регулација е постапка која дава подобри резултати, системот е постабилен и посигурен, а недостатоци се поголемата сложеност, поголема цена на чинење и склони се кон појава на осцилации. Системи со автоматското управување се економски поисплатливи, поедноставни, но почувствителни се на внатрешни и надворешни нарушувања, не постои можност за приспособување.

1.8. Отворен систем

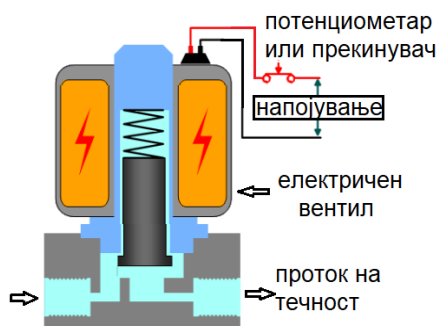
Наједноставно е да погледнеме во нашите домови и ќе забележиме многу **примери за отворен систем** за автоматско управување. На пример, системи за автоматско управување претставуваат: машината за перење или сушење алишта, машина за миење садови, алармни системи, кафемати, тостери, проточни бојлери итн.

Тостерот и неговата преносна карактеристика, прикажани на слика 1.3. ни послужија како пример за полесно разбирање на концептот на отворен систем за автоматско управување.



Слика 1.24. Варијациите на влезот предизвикуваат варијации на преносната карактеристика

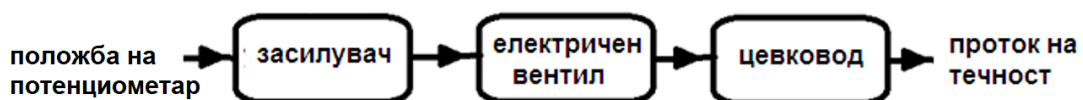
Концептот на отворен систем е едноставен и лесен математичкиот модел, се определува преку експеримент, но доколку постојат одредени варијации во системот и неочекувани настани, тогаш отворениот систем не е доверлив. Што ќе се случи доколку го промениме видот на леб? Зависноста на бојата на тостот од времето на тајмерот е различна за различни видови на леб. На слика 1.24. прикажани се два графикона и ако ги споредиме ќе видиме дека за да се постигне посакуваната боја на тостот ќе ни треба помалку време кај вториот графикон во однос на првиот. Заклучокот е дека за различни видови леб добиваме различни преносни карактеристики, што, се разбира, не е прифатливо. Следниот пример е систем за управување со проток на течност. Управувачки орган може да биде прекинувач или неинвертирачки засилувач со потенциометар (слика 1.10.) Електричниот вентил претставува актуатор. Објект на управување претставува цевководот со течност. Најважни делови на електричниот вентил се соленоидот и клипот.



Слика 1.25.1. Физички модел на систем за управување со проток

Кога прекинувачот е затворен и низ соленоидот протекува струја се создава магнетно поле кое го привлекува металниот клип, вентилот се отвора и течноста протекува. Наместо прекинувач може да се постави електронски засилувач. Со помош на потенциометарот P се менува излезниот напон што влијае врз положбата на вентилот и протокот на течност.

Електронскиот засилувач претставува регулатор, а објект на управување е електричниот вентил. Положбата на потенциометарот е влезна независна големина, а протокот на течност е зависна излезна големина.



Слика 1.25.2. Математички модел на систем за управување со проток на течност

Семафорот е уште еден лесно разбирлив пример за отворен систем. Тајмингот, односно времињата кога се палат и се гаснат светлата на семафорот се нагудуваат со помош на тајмер. Доколку светлата се палат и се гаснат со помош на сензор што го мери бројот на возила кои поминуваат во дадена насока, тогаш веќе не станува за отворен туку затворен систем.

1.9. Затворен систем

Затворениот систем е познат под името **систем со повратна врска**. Повратната врска значи враќање на излезната големина на влез и нејзина споредба со влезната големина, со цел утврдување на евентуалната грешка.

На пример, кога го возиме автомобилот со максимално дозволена брзина применуваме систем со повратна врска. Кога притискаме на педалот ја зголемуваме брзината. Го гледаме брзиномерот за да дознаеме со која брзина се движиме. Таа брзина ја споредуваме со максимално дозволената брзина. Разликата помеѓу посакуваната вредност и измерената се нарекува грешка. Ако грешката е поголема, посилно се притиска педалот за гас. Кога ќе се постигне посакуваната брзина, ја тргеме ногата од педалот за гас.

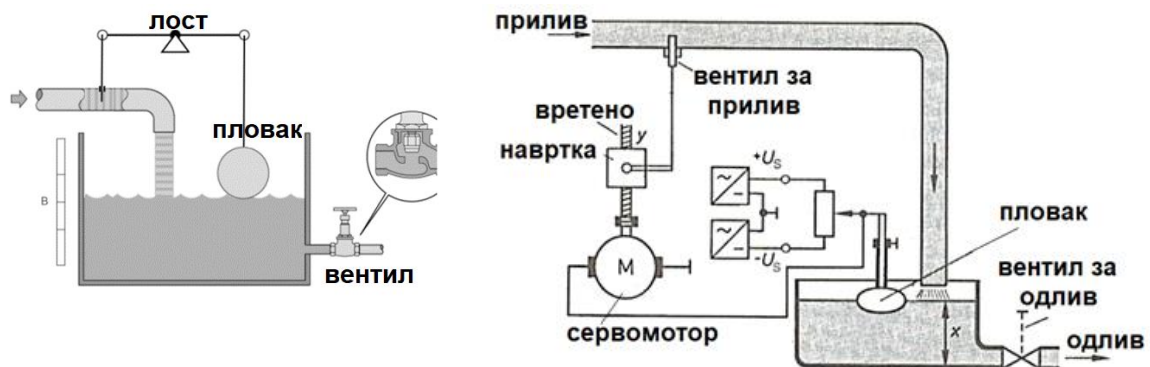


Слика 1.26. Управувањето со брзината е затворен систем

Во реалноста, системите не се идеални. Брзината на движење зависи од товарот што го носи возилото. Исто така, ако автомобилот се движи по нагорнина, тогаш брзината ќе се намали и педалот за гас треба дополнително да се притисне. Брзината зависи и од условите на патот како што се дожд и снег. Без повратна врска, системот не може да се справи со овие нарушувања.

На слика 1.27. се прикажани два затворени система, со механичка и електрична регулација на доводот на течност. Механичката регулација се реализира со употреба на пловка и лост. Кога резервоарот е празен, пловката е спуштена надолу и вентилот за довод е отворен. Кога резервоарот е полн, пловката се крева нагоре, а вентилот се спушта надолу. Пловката и вентилот за довод се поврзани преку лост.

Кај електричниот систем со повратна врска, пловката ја одредува позицијата на лизгачот на потенциометарот. Потенциометарот е дел од напонски мост. Кога лизгачот е на средината, моторот не добива напојување.



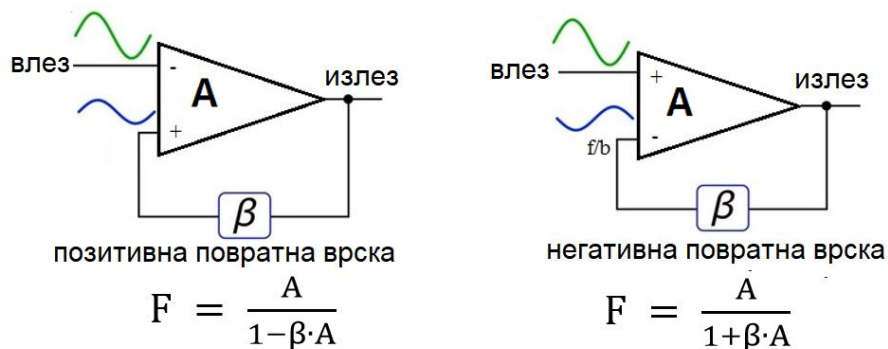
Слика 1.27. Механички и електричен затворен системи за регулација на довод на течност

Од позицијата на пловката, односно од лизгачот на потенциометарот зависи во која насока ќе врти моторот. Од насоката на вртење на моторот ќе зависи дали вентилот за прилив на течност ќе се отвора или затвора. Кај електричниот систем за автоматска регулација на ниво на течност на објект на управување е влезниот вентил, актуатор е електромоторот, регулатор е напонскиот мост и мерен претворувач е потенциометарот.

Горните примери се примери за затворен систем со негативна повратна врска и компаратор. Затворениот систем со негативна повратна врска е најчесто користен систем, бидејќи тој обезбедува најголема стабилност и брзо отстранување на евентуалните грешки.

Спротивно на негативната повратна врска, затворените системи со позитивна врска предизвикуваат нестабилност и штетно влијаат на автоматската регулација. Овие системи содржат суматор кој врши собирање на референтната и излезната големина и овие две големини се во фаза. Иако се ретки, сепак постојат случаи на примена на системите со позитивна повратна врска.

Таков случај е операцискиот засилувач со позитивна повратна врска. На слика 1.28. е прикажан операциски засилувач со позитивна и негативна врска и нивните преносни функции. Преносните функции претставуваат вкупно засилување. Доколку биде исполнет условот $\beta \cdot A = 1$, тогаш вкупното засилување на засилувачот со негативна повратна врска ќе се преполови, а на засилувачот со позитивна повратна врска ќе стане бесконечно.



Слика 1.28. Споредба на затворен систем со негативна и позитивна повратна врска

Со враќање на аудиосигналот со позитивна повратна врска, сигналот се засилува во тесен фреквентен опсег, се јавува резонанца и засилувачите со позитивна повратна врска се користат како осцилатори, најчесто во радиопреносот.

1.10. Поим за точност и стабилност на систем

Најважна карактеристика на системите за автоматско управување е нивната стабилност. Само ако е исполнет условот за стабилност може да се анализираат

и другите важни карактеристики на системот, како што се точноста и брзината на одзив.

Точноста е разлика помеѓу вистинската вредност и измерената вредност на системот.

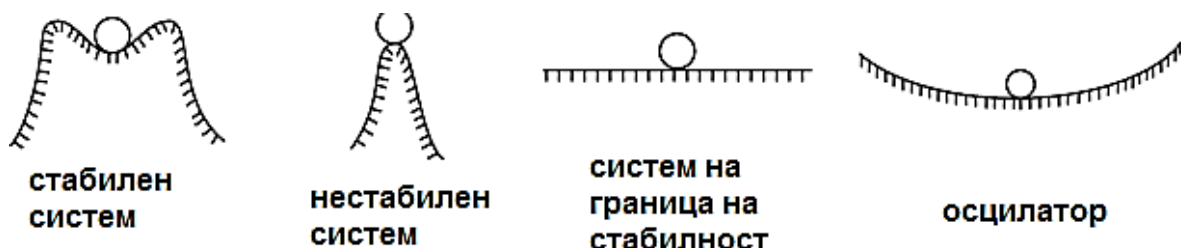


Слика 1.29. Разлика меѓу точност и прецизност на систем

Точноста се изразува во проценти или во апсолутни вредности. За различни мерни подрачја точноста може да биде различна. За да ја провериме точноста на некој мерен инструмент или сензор, најдобро е да извршиме мерење на некоја веќе позната вредност и да ги споредиме вистинската со измерената вредност. Постои разлика помеѓу термините точност и прецизност. Најдобро објаснување дава слика 1.29. Точноста е мала кога погодоците се далеку од центарот на кругот, а прецизноста е голема кога погодоците се блиску еден до друг, односно добиени се слични вредности

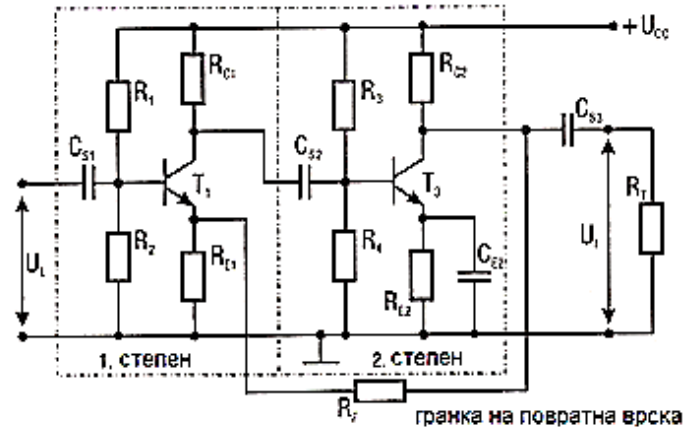
Стабилниот систем има ограничен одзив за секоја ограничена побуда. За системот нормално да функционира, потребно е тој да биде нечувствителен на случајни нарушувања и пречки во текот на неговото работење. Системот е **стабилен** ако по завршувањето на нарушувањето се врати во стабилна, стационарна состојба, придушувајќи ги можните осцилации. Системот е **на граница на стабилност** ако осцилира со константна амплитуда со неговата сопствена фреквенција. Системот е **нестабилен** доколку осцилациите се зголемуваат наместо да се придушуваат. Последици од нестабилноста се: уништување, заситување или исклучување на напојувањето како заштитна мерка.

Пример 1: Илустрација за стабилност е дадена на слика 1.30., при што како објект на управување е земена топка врз која дејствува сила. Стабилноста зависи од обликот на подлогата.



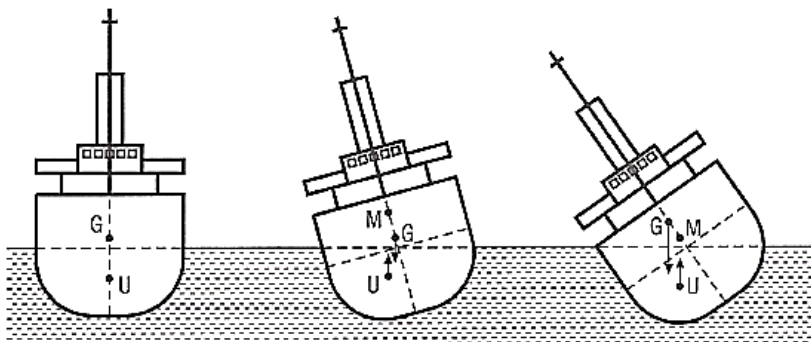
Слика 1.30. Физичко значење на стабилноста

Пример 2: Транзисторскиот засилувач со негативна повратна врска, прикажан на слика 1.31., може да стане нестабилен поради RC-членовите кои внесуваат фазно доцнење. Кога фазното доцнење изнесува 180° степени, односно влезниот и излезниот сигнал се со спротивни фази, тогаш негативната повратна врска станува позитивна и наместо да се одземаат, двата сигнала ќе се собираат, што може да доведе до самоосцилации.



Слика 1.31. Транзисторски засилувач со негативна повратна врска

Пример 3: Дека испитувањето на стабилноста е мошне сложена работа, може да се заклучи и од примерот прикажан на слика 1.32. Стабилноста на бродот зависи од влијанието на многу надворешни фактори, пред сè, брановите и ветерот. Ако бродот се помести во однос на рамнотежната положба, ќе дојде до осцилации. За системот да биде стабилен, силата на Земјината тежа треба да биде еднаква со силата на подигање на водата. Тежиштето на бродот во кое делува Земјината тежа е непроменливо. Но кога бродот се навалува, точката на дејствување на силата на подигање се менува, бидејќи се менува обликот на потопениот дел од бродот. Системот станува нестабилен ако таканаречената точка-метацентар на бродот се спушти под тежиштето.

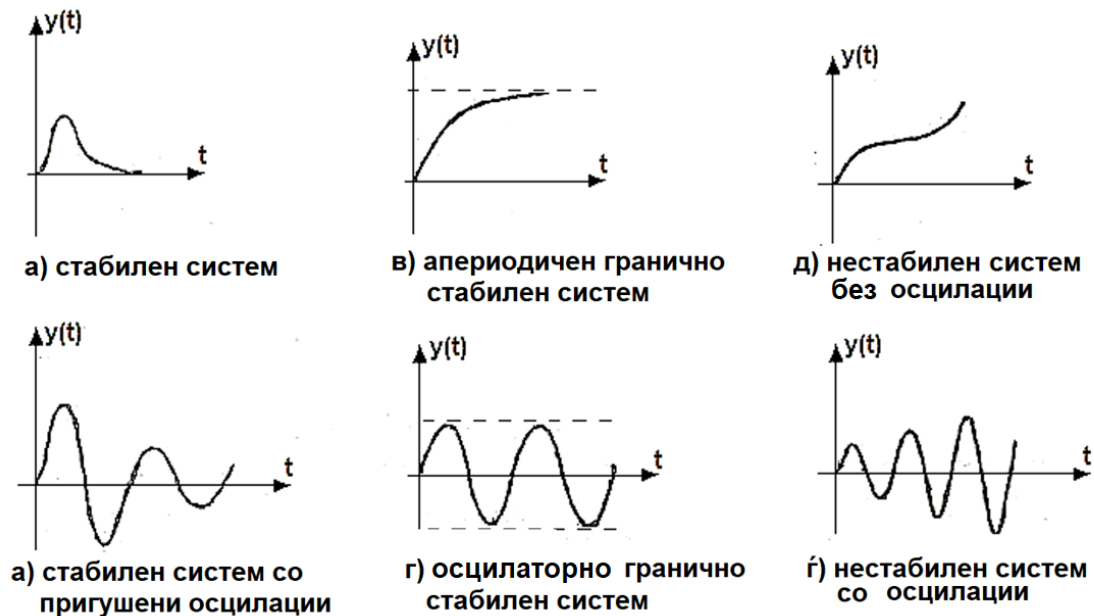


Слика 1.32. Стабилност на брод: исправен, наведнат и стабилен, наведнат и нестабилен

Секој брод има периода на сопствени осцилации. Доколку периодата на осцилации на бродот се изедначи со периодата на осцилациите, доаѓа до резонанција и бродот може да се преврти.

1.11. Стационарна и преодна состојба на систем за автоматско управување и регулација

Стабилноста на системот може да се испита ако се менува вредноста на влезниот сигнал и се следи промената на излезниот сигнал. Кога влезниот и излезниот сигнал се константни, не се менуваат, тогаш системот се наоѓа во стабилна состојба. Преминот од една во друга стационарна состојба се нарекува преодна состојба. На слика 1.11. се прикажани тест-сигналите кои се користат и за анализа на системот. Стабилноста најчесто се испитува преку скоковита или импулсна побуда. На слика 1.33. се прикажани импулсните одзиви на шест системи со различна стабилност. На слика 1.33. под а. и б. се претставени импулсните одзиви на два стабилни система. Случајот под б се разликува во однос на случајот под а, бидејќи на излез од системот се јавуваат осцилации, но тие се придушени. И во случајот под б. системот се стабилизира, но потребно му е подолго време.



Слика 1.33. Импулсни одзиви на системи со различна стабилност

На истата слика, под в. и г. се прикажани на импулсните одзиви на системи кои се наоѓаат на граница на стабилност. По завршувањето на импулсната побуда, излезниот сигнал нема да се намали и падне на вредност нула. Во случајот под в. излезниот сигнал ќе има константна вредност, а во случајот под г. излезниот сигнал ќе осцилира со константна вредност. Импулсните одзиви прикажани на слика 1.33., под д. и ѓ., покажуваат дека системите се нестабилни. Излезниот сигнал постојано се зголемува, што е крајно неповолно бидејќи може да дојде до самоуништување. Разликата меѓу последните два случаја е што под ѓ. се јавуваат и осцилации.

Доколку системот е стабилен, тој може да се анализира преку утврдување на неколку параметри. На слика 1.33. е прикажан одзивот на стабилен систем во

временски домен при скоковита побуда на неговиот влез. Параметри според кои се проценува стабилноста на системот се:

t_c – време на воспоставување или времетраење на преодна состојба

t_M – време на првиот максимум

t_p – време на пораст од 10 % до 90 % од вредноста на излезната големина во стационарна состојба

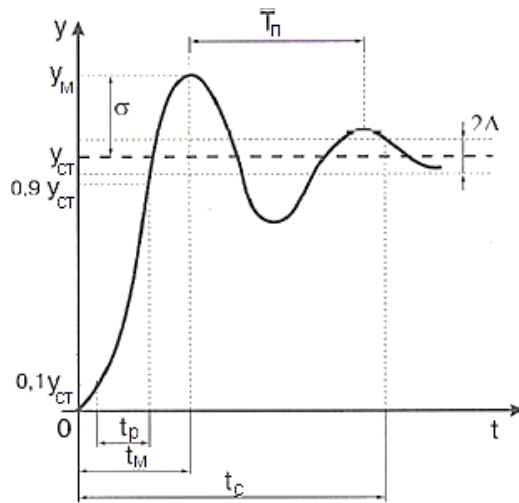
$y_{ст}$ – вредност на излезната големина во стационарна состојба

y_M – максимална вредност на излезната големина

σ – отстапување (вообичаено изнесува 19 % до 30 %)

T_n – периода на придушени осцилации
 N – број на осцилации за време на преодна состојба

D – коефициентот на придушување (количник од две последователни отстапувања)



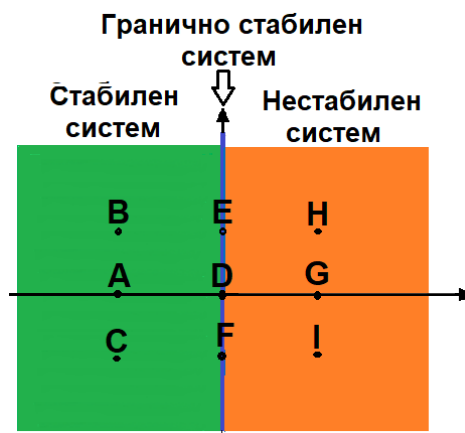
Слика 1.34. Скоковит одзив на стабилен систем

Системот е постабилен доколку преодната состојба трае пократко, отстапувањето е помало и бројот на осцилации е исто така помал.

1.12. Критериуми за стабилност на систем за автоматско управување и регулација

За анализа на стабилност на систем се користат најразлични критериуми и истите можат да бидат алгебарски или графички.

За испитување на стабилноста со алгебарски критериум потребно е да се пресметаат половите на преносната карактеристика и истите да се прикажат во поларен координатен систем. Полови на преносната карактеристика се решенијата на равенката во именителот на преносната карактеристика. Ќе ги разгледаме шесте системи со различна стабилност чии импулсни одзиви се прикажани на слика 1.33.



Слика 1.35. Поларен координатен систем и полови на преносна карактеристика

- **Линеарниот систем е стабилен ако и само ако сите негови полови лежат во левата полурамнина од поларниот дијаграм** односно сите полови на преносната карактеристика имаат негативен реален дел.
 - а) Стабилен систем без осцилации е систем чија преносната карактеристика има полови кои се негативни реални броеви. Точката А на слика 1.35. претставува еден ваков пол (решение).
 - б) Стабилен систем со придушени осцилации е систем чии полови се комплексно коњукивни броеви со негативен реален дел. Такви полови се точките В и С.
- Системот е на граница на стабилност доколку половите лежат на имагинарната оска односно реалниот дел на половите е еднаков на нула.
 - в) Апериодичен гранично стабилен систем е систем чија преносна карактеристика има барем еден пол еднаков на нула. Таков пол е точката D на слика 1.35.
 - г) Осцилаторно гранично стабилен систем е систем чија преносната карактеристика има полови кои немаат реален дел односно се чисто имагинарни броеви, како точките Е и F.
- Доколку системот има барем еден пол во десната полурамнина од поларниот координатен систем тогаш тој е нестабилен.
 - в) Нестабилан систем без осцилации е систем чија преносна карактеристика има барем еден пол кој е позитивен реален број. Таков пол е точката G.
 - г) Нестабилан систем со осцилации е систем чија преносната карактеристика има полови кои се коњугирано комплексни броеви со позитивен реален дел, како што се точките H и I.

Најдобро би било испитувањето на стабилноста да го илустрираме преку пример. Но, пред да ги објасниме примерите да споменеме дека при анализа на системите во фреквентен домен се воведува помошна променлива $s=jw$ каде што j е имагинарна единица, а w е кружната фреквенција. Согласно ова за преносната карактеристика на RC колото можеме да запишеме $G(jw) = \frac{U_{из}}{U_{вл}} =$

$\frac{1}{1+jwRC}$ односно $G(s) = \frac{1}{1+s \cdot RC} = \frac{\frac{1}{RC}}{\frac{1}{RC}+s}$. Можеме да заклучиме дека преносната карактеристика на RC колото има еден пол ($s_1 = -\frac{1}{RC}$) и истиот е реален негативен број што значи системот е стабилен.

Пример 1: Полот на преносната карактеристика $G(s) = \frac{1}{s-1}$ е позитивен реален број ($s=1$) и системот е нестабилен. Импулсниот одзив на овој систем би одговарал на слика 1.33. под точка д.

Пример 2: Преносната карактеристика $G(s) = \frac{1}{s^2+4}$ има два чисто имагинарни полови ($s_{1/2} = \pm j2$) односно реалниот дел е еднаков на нула што значи системот е на граница на стабилност. На овој систем импулсниот одзив одговара на слика 1.33. под точка г.

Графички критериум за испитување на стабилност на линеарни системи е **Најквистовиот критериум**. Анализата ќе ја поделиме во неколку чекори.

- За да ја нацртаме Најквистовата крива треба да се изведе преносната карактеристика во фреквентен домен.
- Посебно се изведуваат реалниот и имагинарниот дел.
- За различни вредности на кружната фреквенција, почнувајќи од нула па до бесконечност, се пресметува нумеричката вредност на реалниот и имагинарниот дел.
- Добиените вредности за реалниот и имагинарниот дел се нанесуваат во поларен координатен систем.

За да затворениот систем биде стабилен, **Најквистовата крива** $G(j\omega)$, за $\omega = [0, \infty)$, **треба да ја опфати критичната точка $(-1, j0)$ за агол $P \cdot \pi$ во позитивна насока. P е број на полови на преносната карактеристика со позитивен реален дел.** Позитивна насока е насока која е спротивна на насоката на движење на стрелката на часовникот. Ако Најквистовата крива поминува низ критичната точка тогаш системот е на граница на стабилност.

На слика 1.36. се прикажани три Најквистови криви за функцијата $G(j\omega) = \frac{K}{(j\omega \cdot T_1 + 1)(j\omega \cdot T_2 + 1)(j\omega \cdot T_3 + 1)}$ при што $K > 0$ и $T > 0$. Во зависност од вредноста на константата K ќе добиеме три различни криви и три системи со различна стабилност.



Слика 1.36. Најквистови криви за системи со различна стабилност

Очигледно е дека функцијата има три пола и сите се со негативен реален дел, што значи $P=0$.

1.13. Практична вежба: Снимање на преносна карактеристика на неинвертирачки засилувач

1. Цел на вежбата

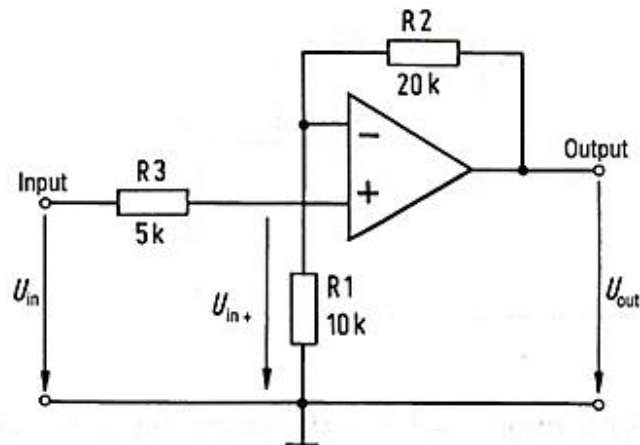
Измерена преносна карактеристика на неинвертирачки засилувач ќе се добие ако се следи излезниот напон во зависност од промените на амплитудата на влезниот напон при константна фреквенција и добиените резултати се претстават графички. Втор начин е со примена на X-Y режим на работа на осцилоскоп. Измерените преносни карактеристики треба да се споредат со теоретски добиената карактеристика.

2. Потребни инструменти, материјали и прибор

- Двоен стабилизирачки извор на еднонасочен напон
- Двоканален осцилоскоп
- Функциски генератор
- Електронски волтметри
- Макета со неинвертирачки засилувач
- Приклучни кабли

3. Опис на макетата

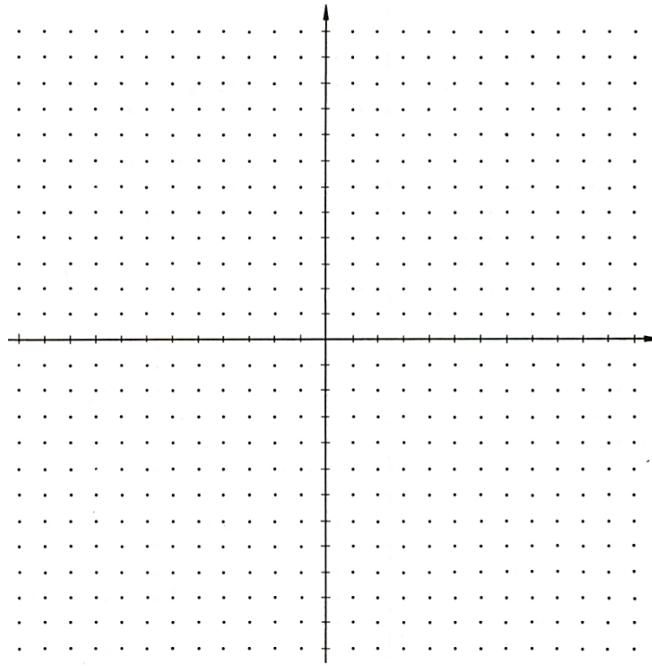
За изработка на макетата се потребни се следниве материјали: операциски засилувач LM741, три отпорници со отпорност 5K, 20K, и 10K и протоплочка. Макетата се изработува според електричната шема прикажана на слика 1.37.



Слика 1.37. Електрична шема на неинвертирачки засилувач

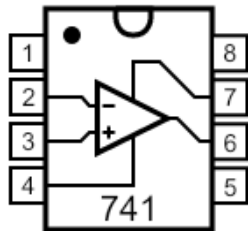
4. Подготовка за вежба

Пред да се започне со изведба на вежбата потребно е да се добие теоретската преносна карактеристика. Ќе ја искористиме равенката со реден број 1.2. односно $G = \frac{U_{из}}{U_{вл}} = \frac{I(R_1+R_2)}{I \cdot R_1} = \frac{R_1+R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ каде што вредноста $1 + \frac{R_2}{R_1}$ претставува коефициент на правопрпорционалност. Теоретски добиената преносна карактеристика да се нацрта на график на слика 1.38.



Слика 1.38. График на теоретски добиена преносна карактеристика

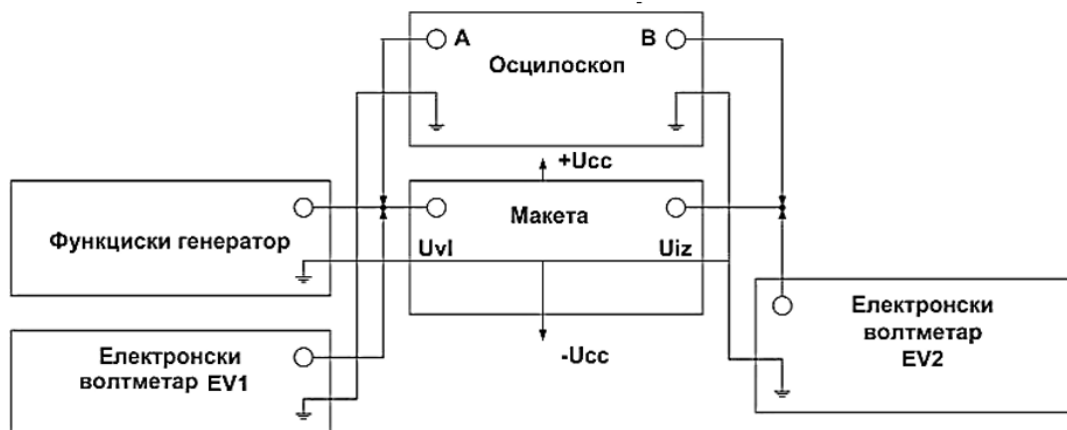
Учениците треба да се потсетат на основните карактеристики на засилувачот LM741 (напонот за напојување, пресметка на засилување, максимален влезен и излезен напон, осетливост на засилувачот) и неговиот пин дијаграм. Значењето на пиновите да се напише во табелата на слика 1.39.



Значење на пинови на операциски засилувач LM741			
Пин 1		Пин 5	
Пин 2		Пин 6	
Пин 3		Пин 7	
Пин 4		Пин 8	

Слика 1.39. Пин дијаграм на интегрирано коло

5. Поврзување на макетата и мерење



Слика 1.40. Блок шема за поврзување на макетата со инструментите

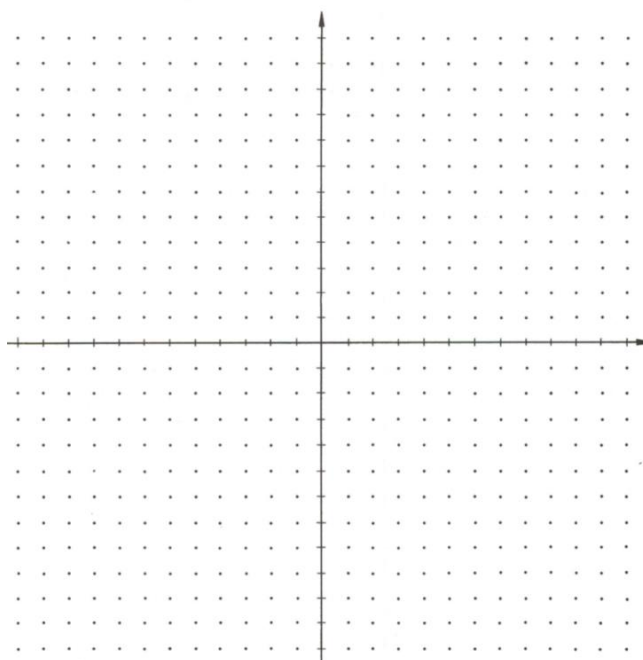
Макетата со неинвертирачки засилувач се поврзува со еднонасочен извор на напојување $U_{cc}=\pm 12V$, односно се користи симетрично напојување при што четвртиот пин на интегрираното коло LM741 се поврзува со позитивно напојување $+12V$, а седмиот пин со негативното напојување $-12V$. Потоа се поврзува макетата со инструментите според блок шема дадена на слика 1.40. Се повикува наставникот за да го провери направениот спој. Се нагодува функцискиот генератор на синусен напон со $f=1KHz$ и се менува амплитудата на влезниот сигнал според табела. Електронскиот волтметар EV1 ја покажува вредноста на амплитудата на влезниот напон, а електронскиот волтметар EV2 амплитудата на излезниот напон. Измерените вредности се запишуваат во табела.

$f=1KHz$

Увл [V]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Уиз[V]												

Табела 1.1 Мерење на излезен напон при промена на влезен напон и константна фреквенција

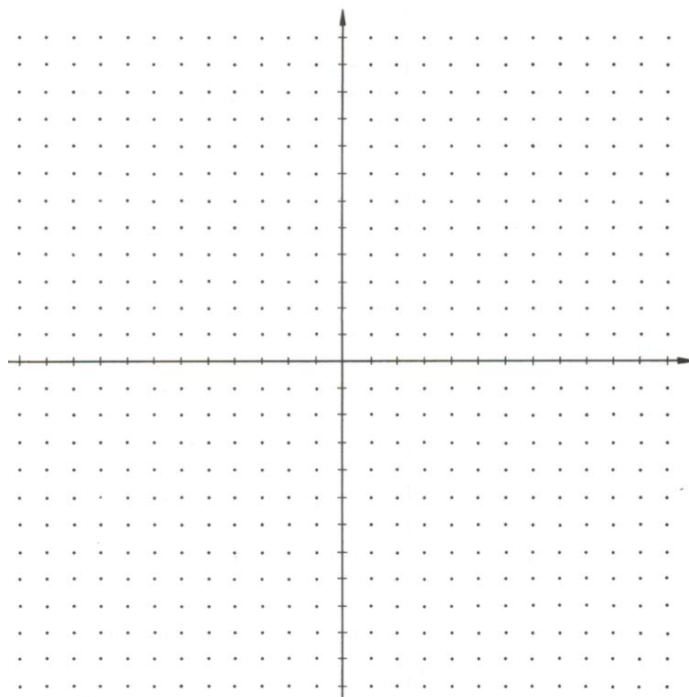
Вредностите од табелата 1.1. се внесуваат во графикот на слика 1.41., се спојуваат добиените точки и се добива измерената преносна карактеристика.



Слика 1.41. График на преносна карактеристика според измерени вредности од табела 1.1.

6. X-Y режим на работа

Осцилокопот се префрла во X-Y режим на работа. На екранот од осцилокопот се добива преносната карактеристика на неинвертирачкиот засилувач и истата треба да се нацрта во графикот на слика 1.42.



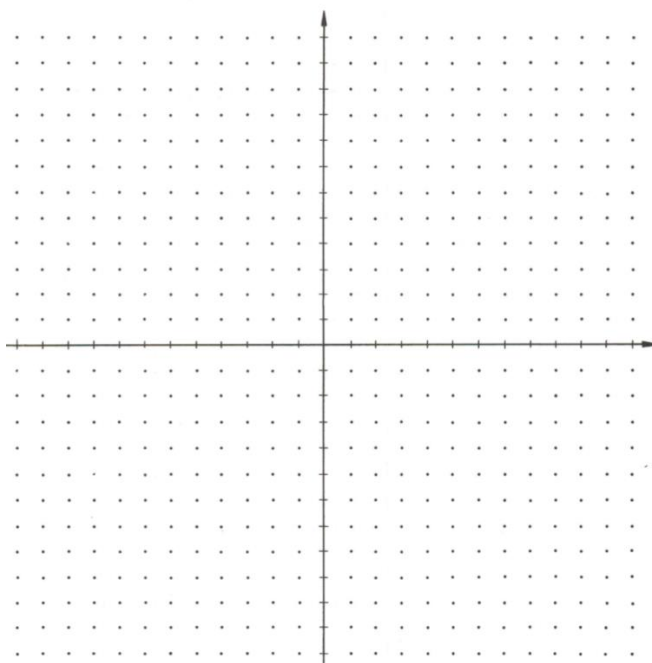
Слика 1.42. График на преносна карактеристика според X-Y режим

7. Споредба на графици

Се споредуваат графици на слика 1.38., слика 1.41. и слика 1.42.

Заклучок:

8. Замена на отпорник во повратна врска



Слика 1.43. График на преносна карактеристика според X-Y режим со променета отпорност во повратна врска

Отпорникот R_2 во повратната врска со отпорност од $20\text{K}\Omega$ да се замени со отпорник со отпорност $100\text{K}\Omega$ и да се повтори вежбата од точка 6. Преносната карактеристика да се прецрта во графикот на слика 1.43.

Заклучок: _____

1.14. Практична вежба: Снимање на амплитудно-фреквентна карактеристика и фазно-фреквентна карактеристика на пасивен RC-филтер со симулатор „Livewire“

1. Цел на вежбата

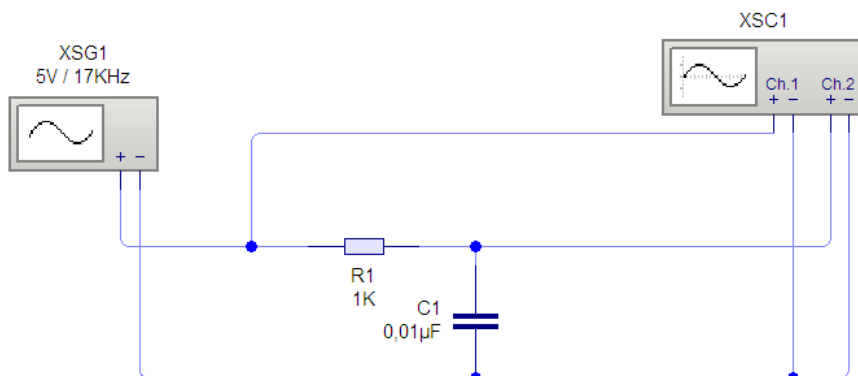
Измерена амплитудно-фреквентна и фазно-фреквентна карактеристика на пасивен RC-филтер ќе се добие ако се следи излезниот напон во зависност од промените на фреквенцијата на влезниот напон при константна амплитуда, се пресмета засилувањето и добиените резултати се претстават графички. Измерените амплитудно-фреквентна карактеристика и фазно-фреквентна карактеристика треба да се споредат со теоретски добиените карактеристики.

2. Потребни инструменти, материјали и прибор

Инсталирана компјутерска симулација „Livewire“, „Circuit Wizard“ или друга симулација за електрични кола.

3. Опис на макетата

Макетата се изработува согласно блок-шемата на пасивен RC-филтер прикажана на слика 1.44.



Слика 1.44. Блок-шема за испитување на пасивен RC-филтер со симулатор „Livewire“

Елементите ги пронаоѓаме од понуденото мени на галеријата и со методот „повлечи и пушти“ (drag and drop) ги поставуваме елементите на работната

површина. На пример, отпорниците и кондензаторите се во паѓачкото мени на пасивни компоненти. Функцискиот генератор е во менито на влезни компоненти, а двоканалниот осцилоскоп е во менито на мерења. По поставувањето на елементите со нивна селекција се отвора прозорец за менување на нивните вредности.

4. Подготовка за вежбата

Учениците да се потсетат за равенките за пресметка на гранична фреквенција на пасивен RC-филтер и графиконот на амплитудно-фреквентна и фазно-фреквентна карактеристика. Заради поголема едноставност на графиконите, ќе користиме линеарни скали.

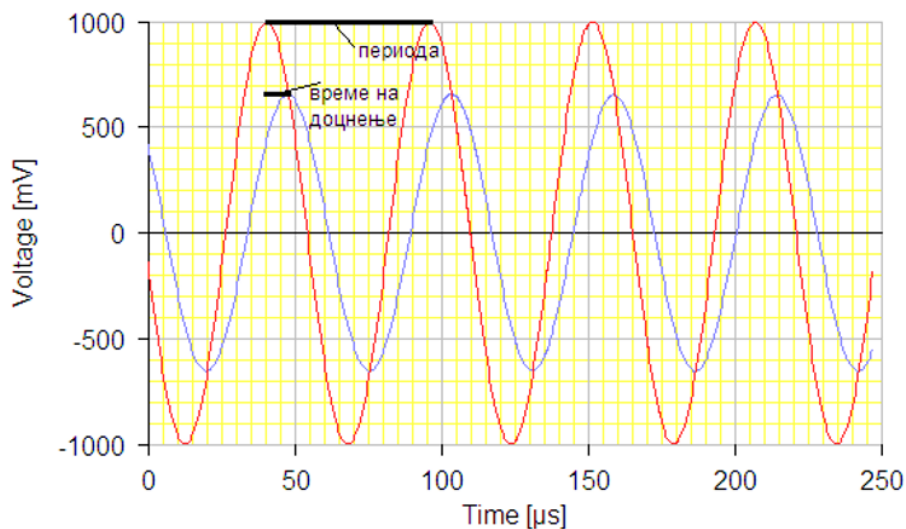
5. Поврзување на макетата и мерење

Макетата ја поврзуваме со функциски генератор и со осцилоскоп, како што е прикажано на слика 1.43. Функцискиот генератор е во менито на влезни компоненти, а двоканалниот осцилоскоп е во менито на мерења.

Го нагудуваме функцискиот генератор на синусен напон со константна амплитуда $U_{вл} = 1V$ и ја менуваме фреквенцијата според податоците дадени во табела 1.2. Се мери амплитудата на излезниот напон и измерените вредности се внесуваат во табела 1.2. Потоа се пресметува слабеењето и фазната разлика помеѓу излезниот и влезниот напон. Формулите за пресметка на слабеењето и фазната разлика се дадени во самата табела 1.2.

f/f_g	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10^1	10^2
$U_{из} [V]$						
$A = \frac{U_{из}}{U_{вл}}$						
$\varphi = \frac{\text{време на доцнење}}{\text{периода}} \cdot 360^\circ$						

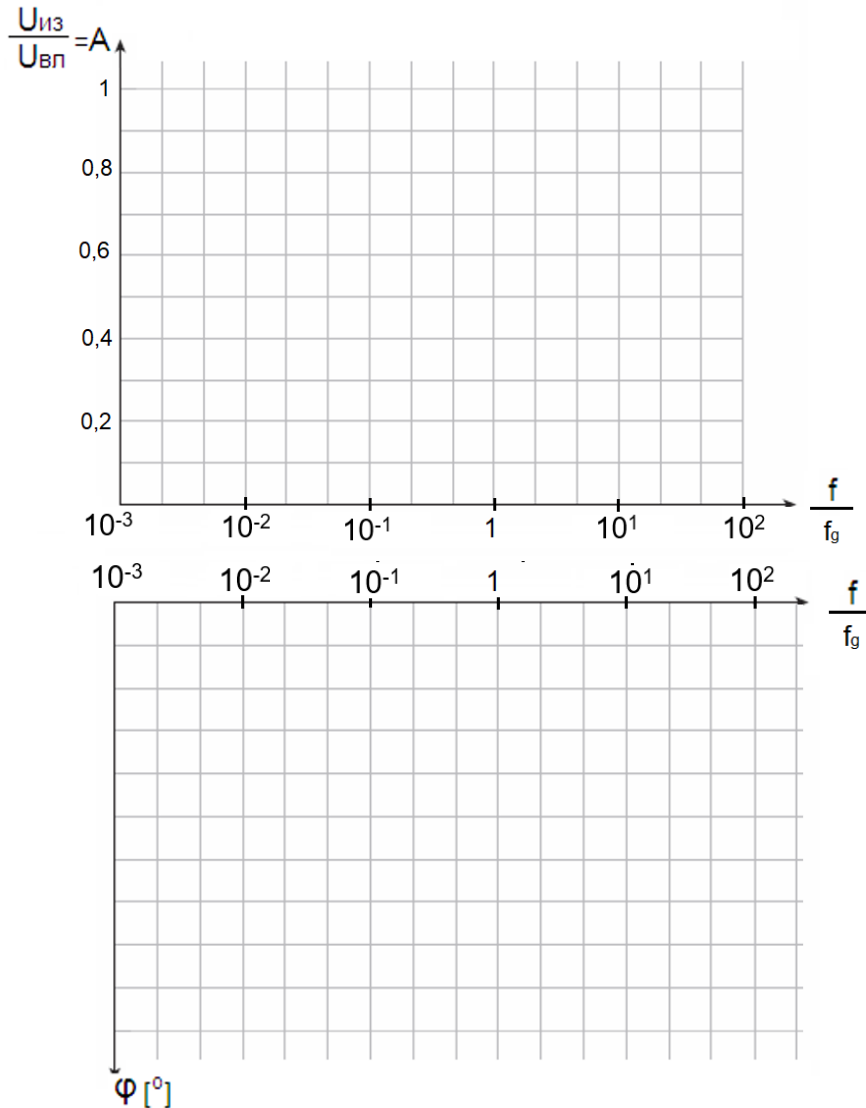
Табела 1.2. Пресметка на слабеење и фазна разлика на филтер во зависност од фреквенцијата



Слика 1.45. Графикон на влезен и излезен напон на пасивен RC-филтер

На слика 1.45. прикажани се графиконите на влезниот и излезниот напон и обележани се периодата и времето на доцнење. Времето се отчитува на х-оската, при што едно мало квадратче е $5 \mu\text{s}$.

Пресметаните вредности се внесуваат во графиконот на слика 1.46., се поврзуваат добиените точки и се добиваат амплитудно-фреквентната карактеристика и фазно-фреквентната карактеристика.



Слика 1.46. Графикон на амплитудно-фреквентната и фазно-фреквентната карактеристика за пасивен RC-филтер

6. Споредба на графикони

Измерените амплитудно-фреквентна и фазно-фреквентна карактеристика на пасивниот RC-филтер на слика 1.45 да се споредат со теоретските амплитудно-фреквентна карактеристика и фазно-фреквентна карактеристика на слика 1.14.

7. Заклучок: _____

Прашања и задачи за повторување на материјалот

1. Направи споредба меѓу поимите механизација, автоматизација и кибернетика!

2. Кои се придобивките од автоматизацијата?

3. Наброј ги основите карактеристики на системите за автоматско управување!

4. Каква функција е преносната карактеристика?

5. Наведи пример за линеарен и нелинеарен систем!

6. Наброј ги блоковите од кои е составена блок-шемата на системот со повратна врска!

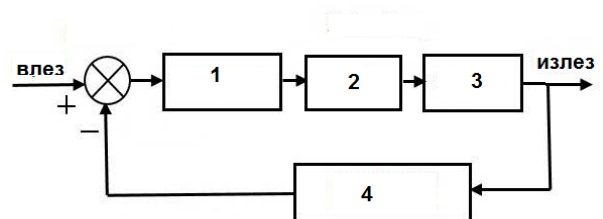
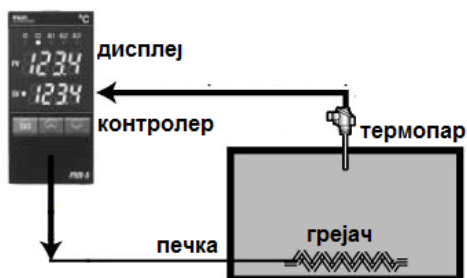
7. Што претставува објект на управување и управувачки орган?

8. Која е функцијата на мерниот претворувач и кое е неговото место во блок-шемата на системот за автоматско управување?

9. Наброј неколку уреди кои се користат како детектори на сигнал на грешка!

10. Со кои големини е опишана врска меѓу системот и околината?

11. На слика 1.47 е прикажан систем за автоматска регулација на температура. Во празните блокови од шемата внеси ги називите на точните елементи.



Слика 1.47. Систем за автоматска регулација на температура

12. Кои сигнали ги нарекуваме континуирани сигнали?

13. Објасни ја постапката на дискретизација и дигитализација на континуиран сигнал?

14. Кои системи ги нарекуваме линеарни системи?

15. Кои процеси ги викаме стохастички процеси и која е причината за нивно појавување?

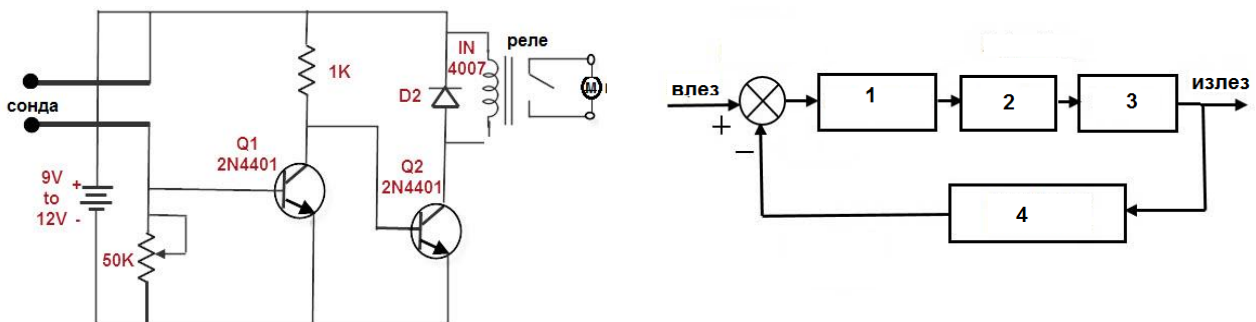
16. Која е разликата меѓу поимите регулација и управување?

17. Наведи неколку примери за отворен систем!

18. Наведи неколку примери за затворен систем!

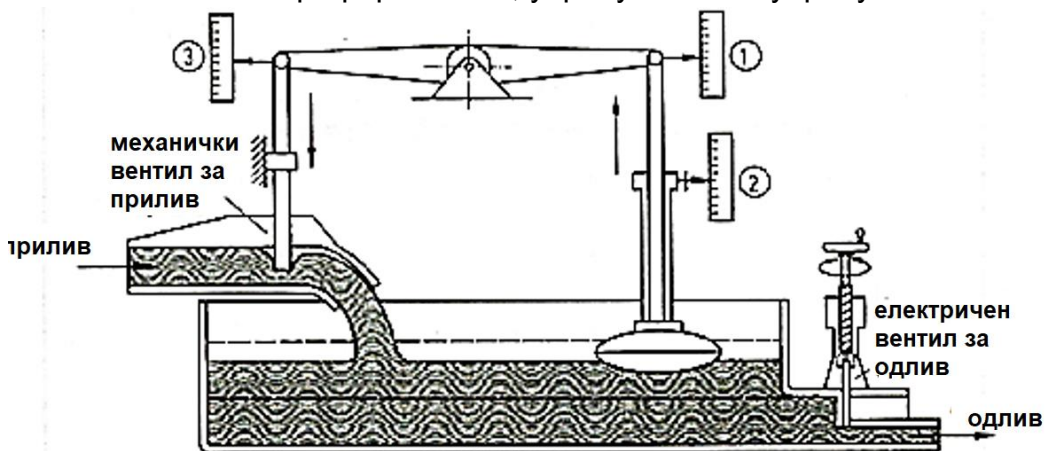
19. Објасни ја разликата меѓу поимите точност и прецизност!

20. На слика 1.48. е прикажан систем за автоматска регулација на температура. Во празните блокови од шемата внеси ги називите на точните елементи.



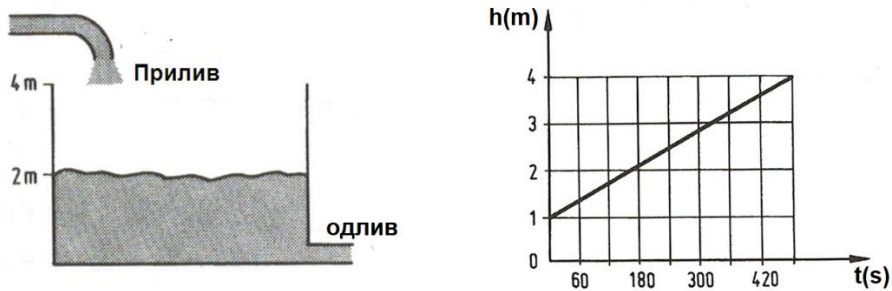
Слика 1.48. Систем за автоматска регулација на температура

21. На слика 1.49. е прикажан механички систем за регулација на ниво на течност. Означи ги референтниот, управуваниот и управувачкиот сигнал.



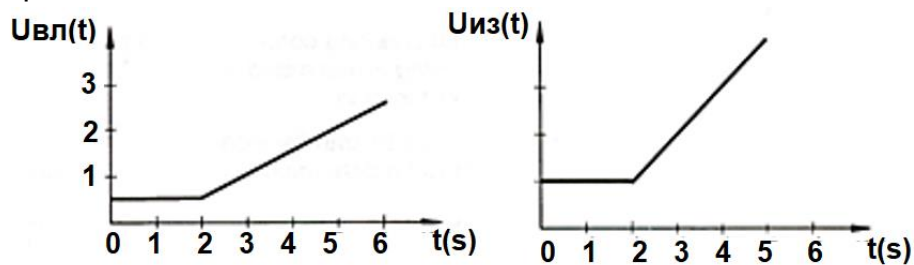
Слика 1.49. Систем за регулација на ниво на течност.

22. На слика 1.50. е прикажан резервоар со довод и одвод на течност и неговиот скоковит одзив. Во моментот вредноста на течноста изнесува 2 метра. По колку време резервоарот ќе се наполни до врв ако приливот и одливот на течност останат исти?



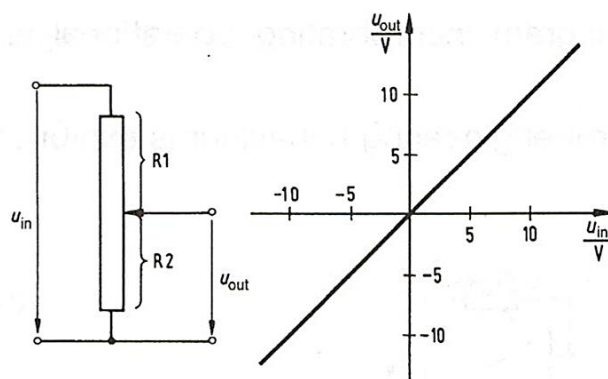
Слика 1.50. Преносна карактеристика на систем за автоматско полнење на резервоар со течност

23. На слика 1.51. е прикажан одзивот на систем со пилеста побуда. Одреди го коефициентот на правопрпорционалност на преносната карактеристика.



Слика 1.51. Пилеста побуда и одзив на систем за автоматско управување

24. На слика 1.52. е прикажан напонски делител и неговата линеарна преносна карактеристика. Колку изнесува коефициентот на правопрпорционалност?



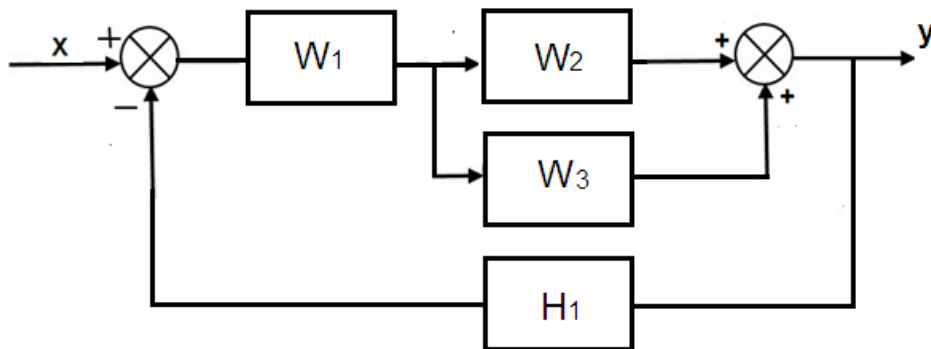
Слика 1.52. Преносна карактеристика на напонски делител

25. Амплитудно-фреквентната и фазно-фреквентната карактеристика се графикони. Објасни што прикажуваат тие?

26. Кои вредности се наоѓаат на реалната и имагинарната оска во поларниот координатен систем за да се добие Најквистова крива за испитување стабилност на систем?

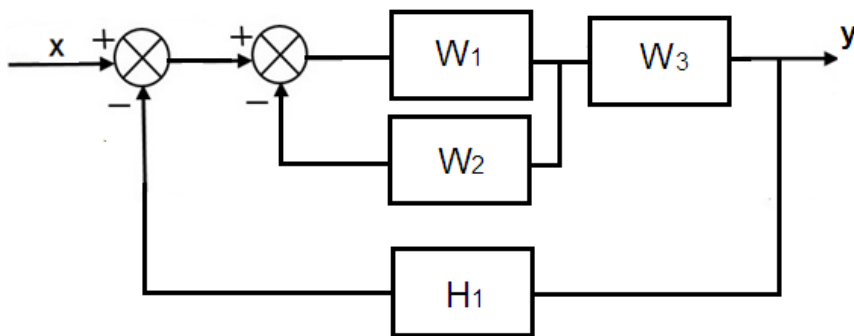
27. Како се пресметува резултантна преносна карактеристика кај сериска, паралелна структура на блокови и структура со повратна врска?

28. Пресметај ја преносната карактеристика за системот прикажан на слика 1.53. !



Слика 1.53. Блок-шема на систем за автоматско управување

29. Пресметај ја преносната карактеристика за системот прикажан на слика 1.54. !



Слика 1.54. Блок-шема на систем за автоматско управување

30. За кој систем велиме дека е на граница на стабилност?

31. Која е најчеста причина за појава на нестабилност во работењето на системите за автоматско управување?

32. Нацртај импулсен одзив на стабилен систем со придушени осцилации!

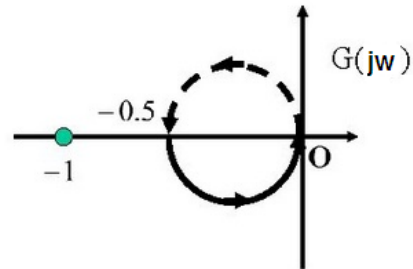
33. Што подразбираме под поимите стационарна и преодна состојба на систем?

34. Објасни ја постапката за испитување стабилност на систем со алгебарски критериум!

35. За што служи Најквистовиот критериум и како гласи тој?

36. Дадени се два математички модела на системот: преносна карактеристика и Најквистова крива. Одреди ја стабилноста на системот, аналитички и според Најквистовиот критериум!

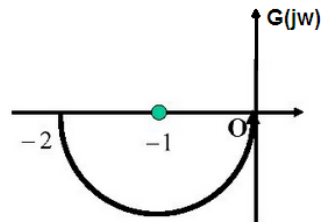
$$G(j\omega) = \frac{0,5}{j\omega - 1}$$



Слика 1.55. Преносна карактеристика и Најквистова крива на систем

37. Дадени се два математички модела на системот, преносна карактеристика и Најквистова крива. Одреди ја стабилноста на системот според Најквистовиот критериум!

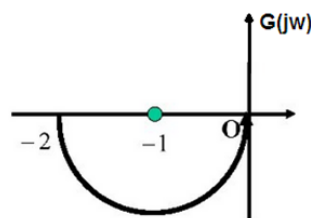
$$G(j\omega) = \frac{2}{j\omega - 1}$$



Слика 1.56. Преносна карактеристика и Најквистова крива на систем

38. Дадени се два математички модела на системот: преносна карактеристика и Најквистова крива. Одреди ја стабилноста на системот според Најквистовиот критериум!

$$G(j\omega) = \frac{100}{(j\omega + 1)(0,1 \cdot j\omega + 1)}$$

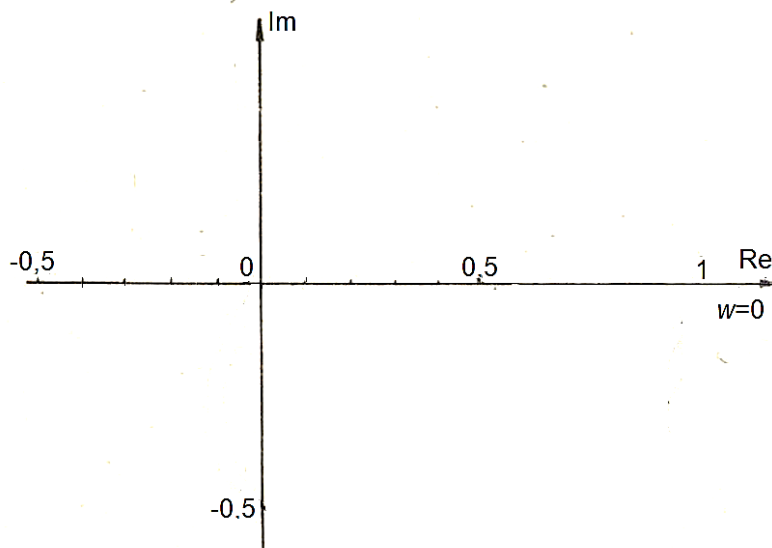


Слика 1.57. Преносна карактеристика и Најквистова крива на систем

39. Дадени се преносните функции на два сериски поврзани елемента $W_1 = \frac{K_1}{1+s \cdot T_1}$ и $W_2 = \frac{K_2}{1+s \cdot T_2}$, каде што $T_1 = 0,05s$ и $T_2 = 0,12s$. Да се пресмета резултантна преносна карактеристика, потоа да се пополни табела 1.4. и да се нацрта Најквистовата крива. Да се испита стабилноста на системот, аналитички и графички. Да се искористат равенките 1.5. ; 1.6. и 1.7.

ω	$Re(\omega)$	$Im(\omega)$	$A(\omega)$	$\varphi(\omega)$
0				
1				
5				
10				
20				
50				
100				
∞				

Табела 1.4. Пресметка на амплитуда и фаза за различни вредности на фреквенцијата



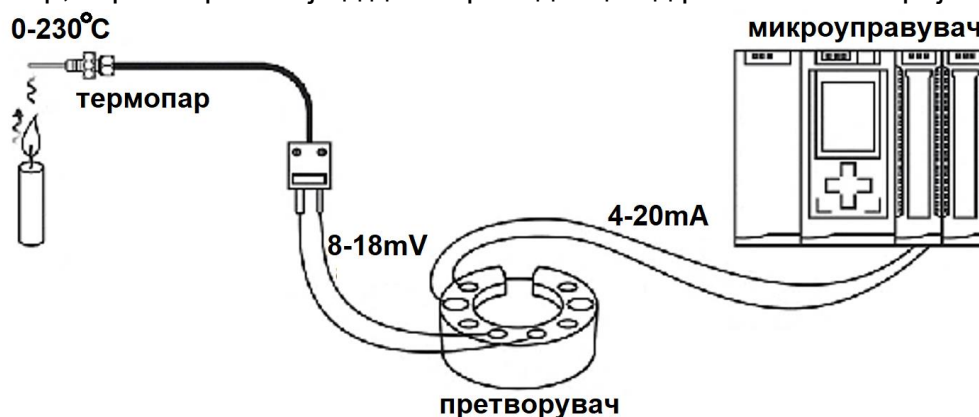
Слика 1.58. Најквистова крива на систем од два паралелно врзани елемента

2. Сензори и мерни претворувачи

2.1. Мерно сетило и мерен претворувач

Честопати поимот сензор се изедначува со поимот мерен претворувач, бидејќи и едните и другите ги детектираат промените кои се случуваат во околината. Сензорите се дел од нашиот секојдневен живот, дома и на работа. Човекот добива информации за средината што го опкружува преку своите сетилни органи: очите, ушите, јазикот, кожата, носот. Сетилни органи за системите за автоматско управување се сензорите. Самото име сензор доаѓа од англискиот збор „senses“, што во превод значи сетило. Едноставно кажано, **сензор е елемент кој е чувствителен на одредена физичка големина** и сензорот реагира секогаш кога ќе се промени таа физичката величина. Физички величини се: температурата, поместувањето, светлината, силата, брзината и др. На пример, фотодиодата е оптички сензор. Кога се зголемува интензитетот на светлината, фотодиодата реагира така што се ослободуваат електрони, односно се генерира електрицитет. Друг пример за мерно сетило, односно сензор е пиезо кристалот кој генерира електрични полнежи под дејство на механички притисок. Речиси нема физичка големина за која не постои сензор. **Всушност, сензорот е материја** која генерира електрицитет и на таков начин врши мерење на физичката големина. Сензорот само детектира, чувствува. За да се постигне определен ефект, одредено механичко или електрично дејство, **за добиените сигнали да се обработат и да се пренесат на далечина, потребен е мерен претворувач.**

На пример, термопар е спој од два спроводници од различен материјал.



Слика 2.1. Температурен сензор со мерен претворувач

На местото на допир се создава електромоторна сила која зависи од видот на материјалите и температурата. Излезниот напон на термопарот се менува во опсегот од 8 до 18 mV при промена на температурата од 0 до 230°C. Бидејќи така добиениот сигнал не е погоден за понатамошна примена и не е компатибилен со останатите компоненти, на сензорот му се додава елемент за претворање кој сигналот од сензорот го претвора во стандарден облик на струен сигнал (0 – 20 mA или 4 – 20 mA), односно во напонски сигнал (0 – 5 V или 0 – 10 V). Кога се изведуваат мерења, вообичаено се користат инструменти кои содржат сензор и мерен претворувач и тие претставуваат единствена функционална и конструкциска целина.

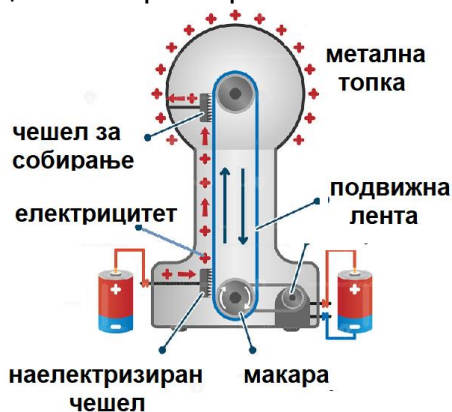
Всушност, **мерен претворувач е уред кој ја претвора влезната енергија во излезна, менувајќи го нејзиниот облик.** Во зависност од видот на енергијата, претворувачите можат да се поделат во неколку групи.

Многу често користени претворувачи се **термоелектричните** претворувачи. Постојат температурно отпорнички сензори, термопарови, термистори, силициумски температурни сензори, пироелектрични инфрацрвени сензори и др.

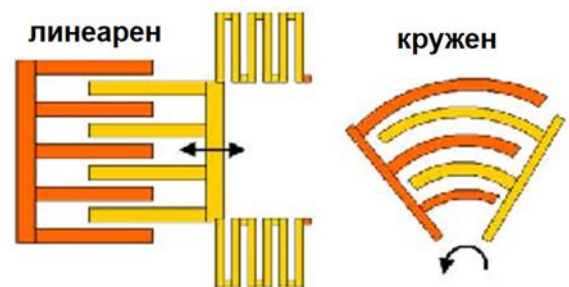
Електрохемиски претворувачи се батериите и акумулаторите кои хемиската енергија ја претвораат во електрична. На секој микросензор му е потребна микробатерија. Микробатериите се тридимензионални низи од електроди со дијаметар од неколку нанометри. Моќноста на батериите може да се зголеми со додавање на повеќе слоеви.

Микрофоните, хидрофоните и звучниците се примери за **електроакустични** претворувачи. Микрофоните ја претвораат звучната енергија во електрична.

Електростатички претворувач е Ван де Графовиот генератор кој статичкиот електрицитет го претвора во висок напон (слика 2.2.).



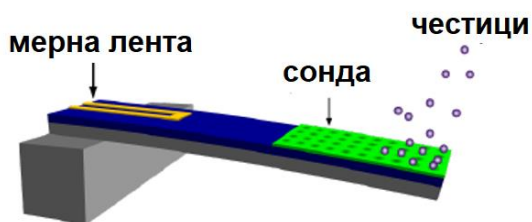
Слика 2.2. Генераторот на Ван де Граф



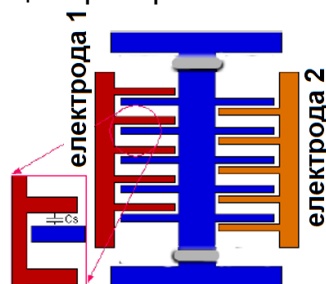
Слика 2.3. Погонски чешли

Таканаречените погонски чешли (анг. comb drive) ја претвораат енергијата на електростатичкото поле во кинетичка енергија (слика 2.3.). Чешлите се поставени во пар и секој чешел од парот е наелектризиран со спротивно количество електричество. Кога чешлите се под напон, поради одбивната сила меѓу спротивно наелектризираните чешли доаѓа до поместување. Погонските чешли се користат во оптичките телекомуникации, биомедицината,

нанотехнологиите. **Електромеханички** претворувачи се мерните ленти, галванометрите, генераторите, моторите, микроакцелераторите итн.



Слика 2.4. Мерна лента



Слика 2.5. Микроакцелератор

На слика 2.4. е прикажана мерна лента која се користи за мерење на маса на честички. Честичките паѓаат на еластичната лента на која е прицврстена сонда. Под дејство на нивната тежина лентата се деформира и мерната лента се растегнува и се менува нејзината отпорност. Според конструкцијата, микроакцелераторите се слични со погонските чешли. Погонските чешли ја претвораат електричната енергија во механичка, а микроакцелераторите ја претвораат механичката енергија во електрична. Микроакцелераторот е составен од две електроди, подвижна и неподвижна. Неподвижната електрода е заземјена, а подвижната електрода е поврзана со напојувањето. Всушност, самите електроди претставуваат кондензатор со променлива капацитивност. Капацитивноста се менува кога врз подвижната електрода дејствува сила или тежина.

Фотодиодите, ЛЕД-диодите, катодните цевки, плазмата, ласерите, флуоресцентните светилки, фотоотпорниците, фототранзисторите се примери за **оптоелектрични** претворувачи.

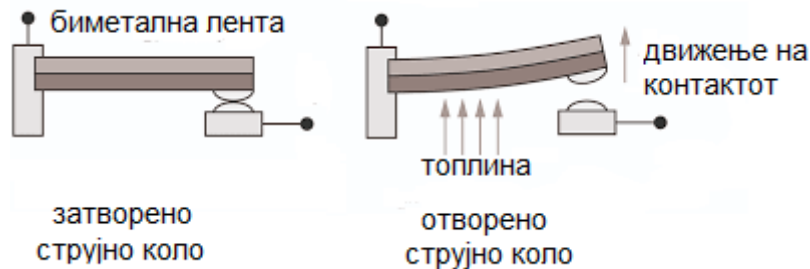
Денес мерната техника се развива со многу голема брзина. Собирањето на податоци се врши без влијание на текот на набљудуваниот процес, се користат софистицирани засилувачи кои дозволуваат мерење на многу мали сигнали, мерењата се вршат на далечина и добиените резултати можат да се пренесуваат на големи растојанија, податоците едноставно се снимаат и се меморираат.

2.2. Електрични и неелектрични мерни претворувачи

Мерните претворувачи можат да се поделат во неколку групи, според различни критериуми. Веќе ја спомнавме поделбата на мерните претворувачи според промената на видот на енергијата: термоелектричните, електрохемиски, електроакустични, електростатички, електромеханички и оптоелектрични претворувачи. Мерните претворувачи се разликуваат **според видот на влезната физичка големина** и најчесто мерени величини се: температура, поместување, должина, позиција, аголна брзина, сила, притисок и др. **Според**

видот на излезната големина, мерните претворувачи се делат на неелектрични и електрични. Неелектричните величини можат да бидат хемиски и механички.

Кај механичките мерни претворувачи, излезната големина може да биде: поместување, истегнување, притисок и сила. Примери за **механички мерни претворувачи** се: биметалната лента, Бурдоновата цевка и Питотовата цевка.



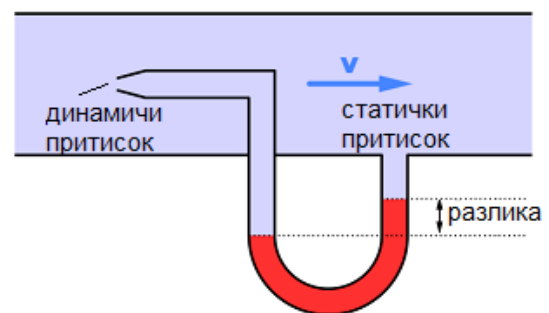
Слика 2.6. Примена на биметална лента

Биметалната лента е неелектричен уред за мерење на температурата и се користи во едноставни системи за управување. Се состои од два или повеќе метални слоја кои имаат различни коефициенти на температурно ширење. Лентата може да биде права или извиткана заради покомпактен дизајн. Овие слоеви се меѓусебно трајно врзани, па при промена на температурата, структурата ќе се деформира.

Најпознат механички уред за мерење на притисок е Бурдоновата цевка и тој е прикажан на слика 2.7. Притисокот делува на еластичната цевка која се деформира и ја поместува мерната стрелка. Овој мерен уред е патентиран во 1849 година, но и денес се користи поради неговото широко мерно подрачје од неколку илјади паскали.



Слика 2.7. Бурдонова цевка



Слика 2.8. Питотова цевка

Питотовата цевка е инструмент за мерење на брзината на струење на течност, односно проток врз основа на разликата меѓу динамичкиот и статичкиот притисок.

Електричните мерни претворувачи се најчесто користени. Тие генерираат електрични сигнали на својот излез како резултат на промената на влезната физичка големина. **Според видот на мерниот метод** електричните мерни претворувачи можат да се поделат во неколку групи: отпорнички, индуктивни,

капацитивни, фотоелектрични, ултразвучни, тахометарски, магнетостриктни, пиезоелектрични, жироскопски и други. Во табела 2.1. се дадени најчесто користените мерни методи и мерени физички величини.

Мерни методи									
Физички величини	Пиезо ефект	Халов ефект	Легури	Ултра-звук	Фотое ефект	Индуктивен метод	Капацитивен метод	Термо електричен	Термо отпорнички
Температура	○	○			●			●	●
Положба		●		●	●	●	●		
Поместување		●		●	●	●	●		
Брзина		●		○	●	●			
Забрзување	○	●		○	○	●	●		
Агол		●			●	●	○		
Аголна брзина		●			●	●	○		
Притисок	●	○				○			
Проток	●	●			○	○			●
Ниво на полнење	●	○		●	●	○			○
Сила	●	●			○	●			
Интензитет на магнетен флуks		●	●						
Струја		●	●						

● - најчесто користен метод, ○ - можен метод

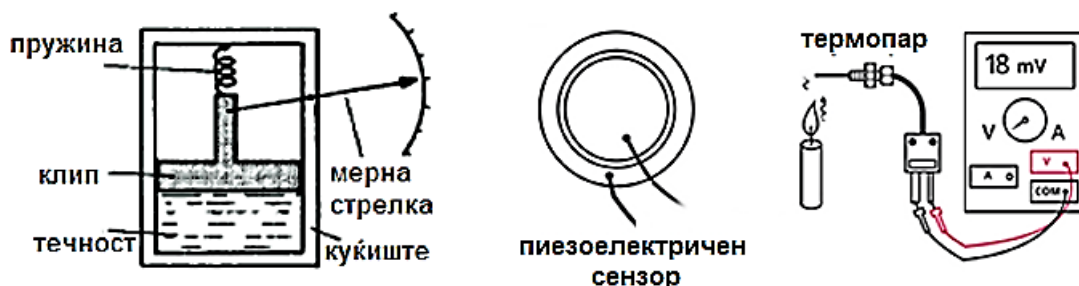
Табела 2.1. Поделба на сензорите според физичките величини

При изработката на табелата не беше земена предвид цената на чинење. Сензорите кои го користат термоелектричниот, термоотпорничкиот и Халовиот ефект се релативно поевтини, додека ултрасоничните и ласерско-оптичките сензори се поскапи. Од табелата се гледа дека фотоелектричните, термоелектричните и фотоотпорничките сензори се најпогодни за мерење на

температура. На пример, термопаровите ги користат принципите на термоелектрониката и тие се користат веќе многу долго време. Денес постојат термопарови чиј температурен опсег достигнува вредности до 2000°C . За мерење на механички величини се користат фотоелектрични, индуктивни и сензори кои се засноваат на Халовиот ефект. Понатамошниот развој на сензорите се гледа во оптоелектричните сензори, особено во областа на роботското инженерство. Во третата група на физички величини (притисок, проток, ниво на полнење, сила) доминантно место имаат пиезо сензорите. Тие се засноваат на силиконската и полупроводничката технологија. Денес сè повеќе се користат капацитивните сензори кои спаѓаат во таканаречените паметни сензори на допир.

2.3. Активни и пасивни сензори

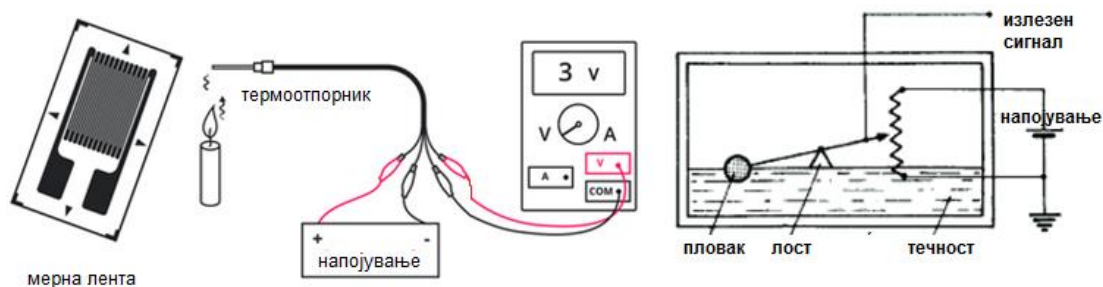
Според напојувањето, сензорите се класифицираат во две категории: активни и пасивни сензори. Пасивните сензори генерираат излезен сигнал без дополнителен надворешен извор на енергија. **Пасивните сензори самите создаваат електромоторна сила** и такви сензори се: термопаровите, силициумските пиранометри и фотоелектричните сензори кои се прикажани на слика 2.9. На слика 2.9. е прикажан пасивен сензор за мерење притисок на течност, кој енергијата потребна за генерирање и пренос на излезни сигнали ја добива од самиот објект на управување. Притисокот на течноста се пренесува преку клипот кој врши поместување на мерната стрелка. Резолуцијата на сензорот може да се зголеми ако се зголеми должината на мерната стрелка, но, се разбира, треба да се води сметка за стабилноста и точноста на системот.



Слика 2.9. Пасивните сензори користат сопствен извор на енергија

Активните сензори бараат дополнителна надворешна енергија за генерирање на излезен сигнал, односно не можат да работат без извор на напојување и засилувач. Надворешниот извор на енергија може да биде: електричен, пневматски или хидрауличен. Активни сензори се: термистори, отпорнички претворувачи за поместување, сензори за влажност со променлива капацитивност. На слика 2.10. е прикажан сензор за мерење на ниво на гориво во резервоар. Промената на нивото преку пловката се пренесува до лизгачот на потенциометарот. Лизгачот ја менува вредноста на излезниот напон во

согласност со промената на нивото. Активните сензори вообичаено генерираат излезни сигнали кои се полесни за следење и за прибирање податоци.



Слика 2.10. Активните сензори користат надворешен извор на енергија

Предности на пасивните сензори се едноставноста и ниската цена, а недостаток се малите излезни сигнали кои бараат дополнителни електрични кола.

2.4. Основни параметри на мерните претворувачи

Постојат статички и динамички карактеристики на мерните претворувачи на сигнали. Статичките карактеристики се однесуваат на перформансите на мерниот претворувач кога сензорот работи во стабилна состојба, без да се менува физичката величина на влез. Важни статички спецификации вклучуваат точност, прецизност, резолуција, чувствителност, линеарност и хистерезис.

Точноста се дефинира како разлика меѓу измерената вредност и вистинската вредност на физичката величина и генерално е прикажана како максимална грешка што може да се очекува. Точноста најчесто се изразува како процент од вкупниот излез (најголемиот излез) на мерниот претворувач. На пример, ако се користи температурен сензор со точност од 1 % од максималниот излез кој е 50°C, тогаш мерниот претворувач треба да ја мери температурата до 0,5°C (1 % од 50°C).

Прецизноста се дефинира како варијација во излезот на мерниот претворувач кога се повторуваат мерните вредности на влезот. Инструментот со висока прецизност генерира мала варијација во излезот. Прецизноста често се меша со точноста, но двата параметри се разликуваат. Прецизноста се однесува само на варијацијата на излезните вредности од инструментот и не укажува дали вредностите се точни.

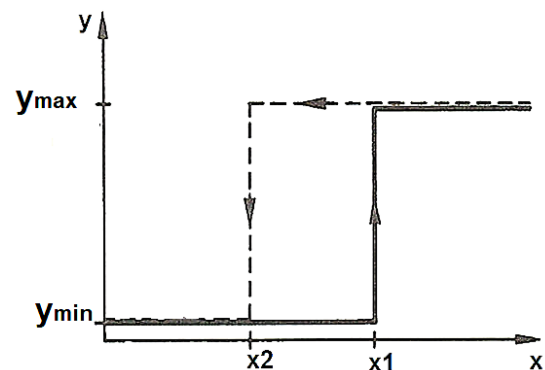
Резолуцијата е дефинирана како најмала промена на физичката величина што може да се детектира од страна на мерниот претворувач. Резолуцијата може да биде претставена или како апсолутна вредност или процент од целосната вредност. На пример, кај температурниот сензор со максимален излез од 50°C, резолуција од 1 % би значела најмалата промена која мерниот претворувач може да ја детектира е 1 % од 50°C или 0,5°C.

Чувствителноста е дефинирана како промена во излезот на мерниот претворувач што се јавува како одговор на промената на мерната променлива на влез. На пример, чувствителноста на термопар од бакар-константан е $40\text{mV}/1^\circ\text{C}$ кога се користи за мерење на температури во амбиенталниот опсег.

Пожелно е сензорот да генерира линеарен излез како одговор на промените на мерната големина. Повеќето сензори се конструирани и обезбедуваат линеарен одзив на промените на мерната променлива, но сите помалку или повеќе отстапуваат од посакуваната линеарност. Отстапувањето најчесто се претставува како процент од максималната измерена вредност. Да претпоставиме дека за температурен сензор максималното отстапување од очекуваниот линеарен излез е $0,20^\circ\text{C}$, при максимален излез од 50°C .

Линеарноста се пресметува на следниот начин: $(100 \% * [0,2^\circ\text{C}/50^\circ\text{C}])$, што е еднакво на $0,4 \%$ од максималната вредност.

Хистерезисот се дефинира како разлика во излезните вредности кои одговараат на истите мерења, во зависност од тоа дали мерната променлива се зголемува или се намалува. Хистерезисот е прикажан на слика 2.11. Испрекинатата линија го покажува излезот на сензорот, кога мерната променлива се намалува, а полната линија кога мерната променлива се зголемува.



Слика 2.11. Хистерезис

Динамичките спецификации се однесуваат на перформансите на сензорот кога мерната големина се менува, односно тој не е во стабилна состојба. Најважна динамичка карактеристика е **динамичкиот опсег** со кој се определува минималната и максималната вредност на физичката величина која може да ја детектира сензорот. Две динамички спецификации кои најчесто се среќаваат на спецификацискиот лист се: **времето на одзив** и **временската константа**. Времето на одзив е дефинирано како време потребно сензорот целосно да реагира на промената во случај на отскочен влез во мерната променлива. Времето на одзив е претставено како време потребно за излезот на мерниот претворувач да достигне 95% – 98% од референтната влезна промена. Временска константа е времето потребно за излезот на сензорот да изнесува $63,2 \%$ од референтната влезна промена. Често се зема оваа вредност наместо време на одзив. Друга поважна динамичка карактеристика на сензорите е **фреквентниот опсег** во кој тие работат.

Одлуката кој сензор ќе се избере зависи од голем број фактори, вклучително: потребна точност, резолуција, прецизност, условите во околината, начинот на прибирање податоци, цената на сензорот. Првиот чекор е да се одреди потребната точност, резолуција и прецизност на предложеното мерење, бидејќи поголемата точност, прецизност и резолуција вообичаено значат зголемени

трошоци. Ако е целта да се измери температура со точност од $0,5^{\circ}\text{C}$, би било непотребно да се купи поскап сензор со точност до $0,01^{\circ}\text{C}$. Следниот чекор е да се одреди средината во која ќе се користи сензорот. Треба да се земат предвид условите што можат да влијаат врз мерењето, како што се температурата, влажноста, вибрациите и загаденоста. Ако мерниот претворувач треба да се користи на непристапно место, без можност за замена на напојувањето, тогаш треба да се изберат мерни претворувачи со ниска потрошувачка на енергија. Производителите применуваат серија тестови за калибрирање и оценување на перформансите на мерните претворувачи при различни надворешни услови. Резултатите од овие тестови се сумирани во документ кој се нарекува спецификации на мерниот претворувач. Разбирањето на информациите содржани во спецификацискиот лист во голема мера може да ги подобри шансите за правилно мерење.

Четири најважни **спецификации на сензорот од аспект на животна средина** се температура, влажност, притисок и вибрации.

Влијанието на температурата на перформансите на сензорот може да се изрази на неколку начини. Во спецификацијата е наведен температурниот опсег при кој мерниот претворувач ќе работи со пропишаните грешки на мерење. Работен опсег може да биде од -40°C до 50°C . Меѓутоа, дури и во рамките на работниот опсег, кај сензорот може да се појават грешки поголеми од пропишаните поради промената на температурата.

Ако сензорот е поставен на отворено или во влажна внатрешна средина, особено е важно да се забележи дали сензорот може да толерира кондензирана средина. Спецификациите вклучуваат работен опсег за влажност и етикета „кондензирачки“ или „некондензирачки“, за да се знае дали сензорот е дизајниран да издржи работа во вода. На пример, спецификацијата за влага може да биде прикажана како релативна влажност од 0 % до 95 %, без кондензација.

Притисокот може да има влијание врз перформансите на сензорот, особено ако сензорите треба да се потопат во вода или да се инсталираат во услови на низок притисок, како, на пример, при високи надморски височини. Вибрациите може да имаат сериозно влијание врз перформансите на сензорот кога се користат во авиони, возила и машини. Спецификациите за вибрација генерално ја покажуваат амплитудата и фреквенцијата на вибрациите кои може да се толерираат или грешката која произлегува од влијанието на вибрациите врз мерниот претворувач.

2.5. Отпорнички претворувачи

Отпорниците се основни и најчесто користени електронски компоненти и се направени од материјал кој го блокира течењето на струјата. Отпорниците се користат најчесто за намалување или прераспределба на напонот, ограничување на струјата и обезбедување на соодветни напони и струи за

работа на останатите електронски компоненти. Во зависност од материјалот од кој се изработени **отпорниците може да се користат и како мерни претворувачи на различни физички величини**. Термоотпорниците и термисторите се температурни отпорнички претворувачи. Потенциометрите се користат како претворувачи на механички поместувања, фотоотпорниците се оптоелектрични претворувачи, а електро-отпорничките мерни ленти се често користени мерни претворувачи за притисок, сила или вибрации.

2.5.1. Отпорнички претворувачи за температура

Кај **термоотпорниците** е искористена зависноста на отпорноста на металите од температурата. Како ќе се менува отпорноста на металот зависи од таканаречениот температурен коефициент α . Подоле е дадена равенката за пресметка на отпорноста во зависност од температурата.

$R_T = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$ каде што

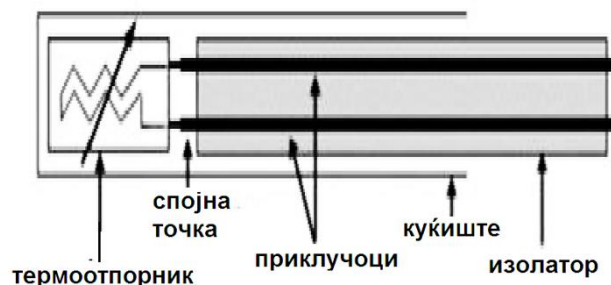
R_T – отпорност на температура T

R_0 - отпорност на температура 0°C
(референтна вредност)

α – температурен коефициент ($1/\text{K}$)

ΔT – промена на температурата
изразена во келвини

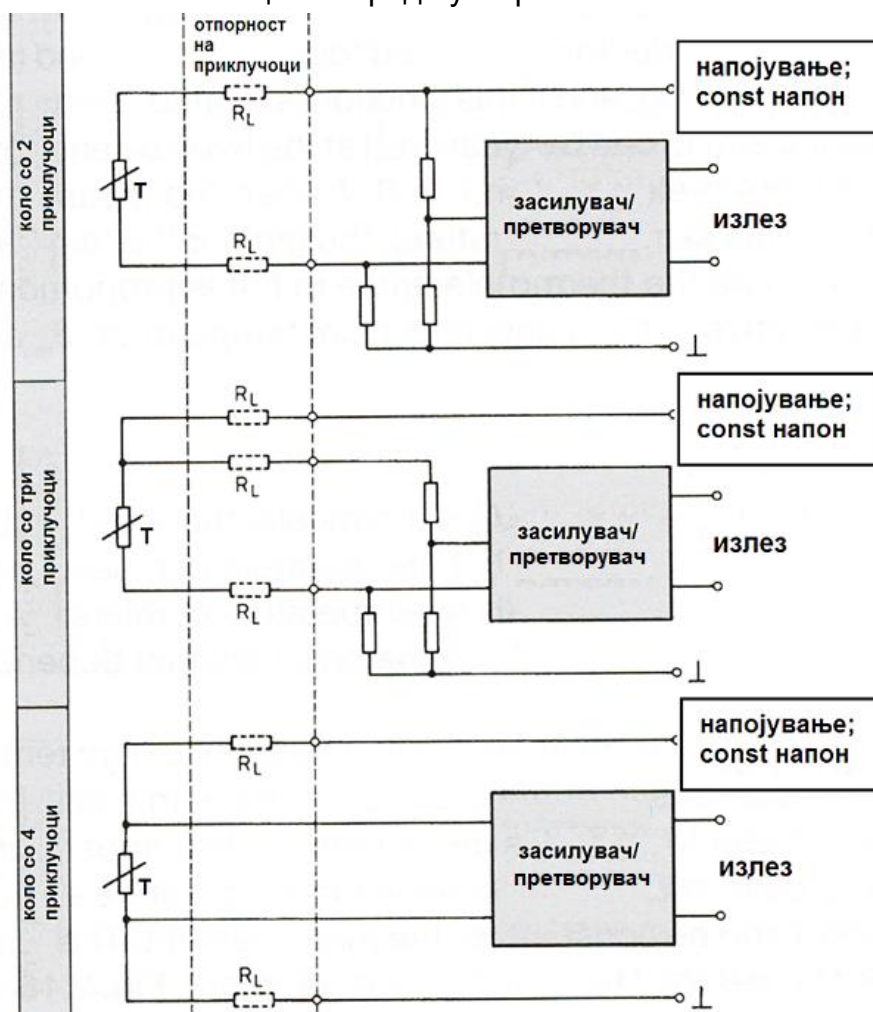
Термоотпорниците имаат **најлинеарни карактеристики** и за да се задржи линеарноста температурниот коефициент α треба да биде независен од промените на температурата и тој најчесто е зададен за температурниот опсег од 0°C до 100°C . За полесно детектирање на промените на температурата, температурниот коефициент α треба да има што е можно поголема вредност. Најчесто користени материјали за изработка на температурни сензори се **никелот и платината**. Номиналната отпорност при температура 100°C изнесува $R_0=100\Omega$ и поради тоа истите се бележат со ознаките Ni-100 и Pt-100.



Слика 2.12. Конструкција на мерен претворувач со термоотпорник

Термоотпорникот изработен од никел има температурен коефициент $\alpha=0,00618(1/\text{K})$, со температурен опсег од -60°C до 180°C . Платината има температурен коефициент $\alpha=0,003865(1/\text{K})$, со температурен опсег од -200°C до 850°C . На слика 2.12. е прикажан температурен отпорнички сензор. Во поглед на конструкцијата, термоотпорникот се изведува во облик на намотка од тенка

жица или тенок метален филм на керамичка подлога. Други **карактеристики** на овие сензори се долгото време на одзив, слабата осетливост, склоноста кон самозагревање и високата цена поради употребата на платина.



Слика 2.13. Поврзување на термоотпорник со напонски мост

Поради големата должина на спроводниците кои се користат за поврзување на термоотпорникот со мерниот инструмент, нивната отпорност штетно делува врз резултатите од мерењето. Поради тоа се користат различни начина за поврзување на термоотпорниците со мерните инструменти. На слика 2.13. се прикажани три начина за поврзување на термоотпорникот со напонски мост. Кога се користи електрично коло со две жици мерниот инструмент целосно ја детектира отпорноста на спроводниците за поврзување, а ова е целосно надминато кај колото со четири жици. Се разбира четвртото коло е многу погодно за мерење на поголеми растојанија.

2.5.2. Термистори

Слично како термоотпорниците и термисторите се отпорници со температурно зависна отпорност, но за разлика од нив кои се изработени од метал, термисторите се изработени од полупроводници или поточно од

полупроводнички метал оксид затворен во стаклено куќиште. Постојат два основни видови термистори, **NTC (negative temperature coefficient)** и **PTC (positive temperature coefficient)**. NTC термисторите се со негативен температурен коефициент што значи отпорноста се намалува со зголемување на температурата. За PTC термисторите важи обратното. NTC термисторите имаат широка примена кога се работи за мерење на температура, а PTC најчесто се користат како елементи за ограничување на струјата во електричните кола. Преносната карактеристика на термисторите е експоненцијална функција и може да се опише со равенката:

$$R_T = R_0 \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

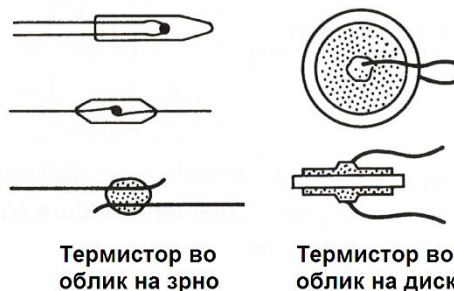
каде што:

R_T =отпорноста на термисторот на температура $T(^{\circ}\text{C})$

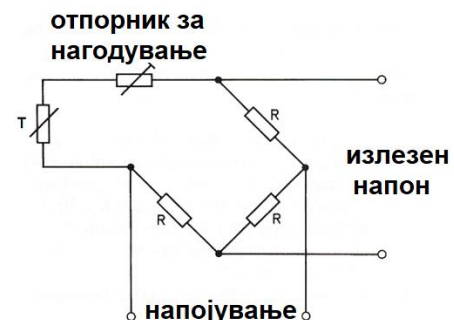
R_0 = отпорноста на термисторот на температура $T_0(20^{\circ}\text{C})$

B =температурниот коефициент на материјалот

Термисторите имаат значајно поголема номинална вредност, од $2\text{K}\Omega$ до $10\text{K}\Omega$ и за нивна побуда се потребни струи со помала јачина. Се одликуваат со многу голема осетливост $200\Omega/^{\circ}\text{C}$ и голема брзина на реакција. Од друга страна нивниот температурен опсег е помал и ограничен до 300°C .

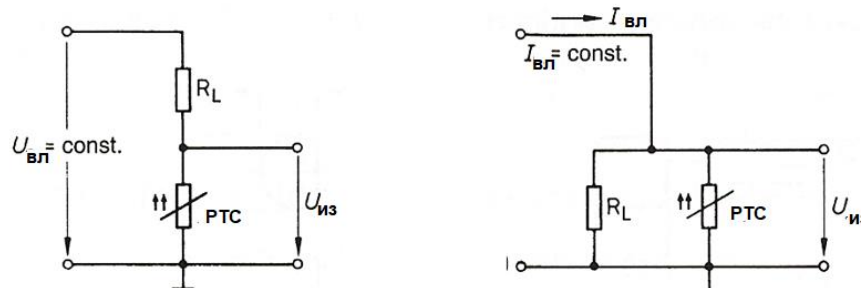


Слика 2.14. Изведби на термистори



Слика 2.15. Витстонов мост со термистор

Термисторите се со многу мали димензии и можат да бидат во облик на зрно или диск како што е прикажано на слика 2.14.. На слика 2.15. е прикажано електричното коло за мерење на температура со термистор. Термисторот е сензор, а Витстоновиот мост е мерен претворувач. **Зависноста на отпорноста од температурата е нелинеарна, експоненцијална функција.**



Слика 2.16. Коло за линеаризација на преносна карактеристика на термистор

За да се линеаризира преносната функција се користи напонски делител при што термисторот е поврзан паралелно со температурен независен отпорник како што е прикажано на слика 2.16. .

2.5.3. Термопарови

Ако два спроводници од различен материјал се спојат во една точка се добива термопар. На местото на допир се создава електромоторна сила која зависи од видот на материјалите и се разбира температурата. Ова може да се согледа од следната равенка.

$$e_T = k \cdot (T - T_0)$$

каде што

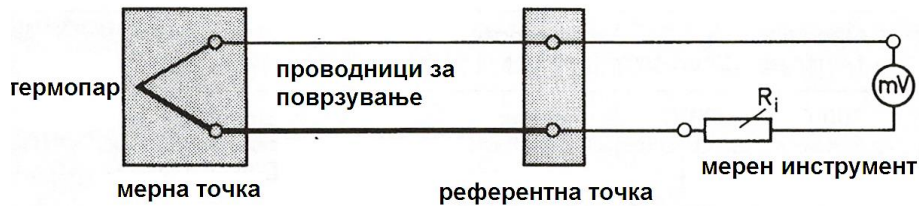
e_T - електромоторна сила на термопарот

T - температура во мерна точка

T_0 - температура во референтна точка (најчесто 0°C)

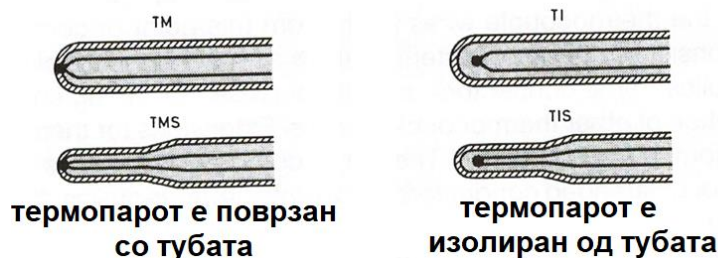
k - коефициент кој зависи видот на материјалот

На слика 2.17. е прикажано коло за мерење на температура со термопар



Слика 2.17. Конструкција на термопар

За да измерениот напон зависи правопрпорционално од температурата услов е температурата во референтната точка да биде константна. Порано оваа температура се одржувала на константна вредност од 0°C со употреба на мраз, а денес се користат специјални засилувачи кои вршат компензација на температурата во референтната точка. Предност на термопаровите е што **не е потребен надворешен извор за напојување.**



Слика 2.18. Контакт меѓу термопарот и средината

Недостаток е што за поголеми температури, преносната функција ја губи линеарноста, но може да се изврши линеаризација за мали температурни

опсези. Брзината на реакција на сензорот се намалува бидејќи за заштита од надворешни влијанија термопарот е ставен во пластична туба. Контактот меѓу средината и термопарот е подобар доколку самиот термопар е залепен за пластичната туба, како што е прикажано на слика 2.18.

Термопаровите се едноставни сензори со големи димензии, но треба да се користат посебни мерни техники за да се изврши компензација на спроводниците за врска. Спроводниците на термопарот завршуваат во мерната точка и е потребно истите да се продолжат до референтната точка. Овие продолжетоци се викаат спроводници за врска. Тие и спојните места треба да бидат изработени од ист материјал како и спроводниците од кој е направен термопарот.

Термопаровите се бележат со букви или бои. На пример термопаровите изработени од железо и константан се бележат со буквата J, а карактеристична боја е сината.

2.5.4. Отпорнички мерни ленти

Најчесто користен метод за **мерење на сила на еластичност** се мерните отпорнички ленти. Нивниот принцип на работа се заснова на Хуковиот закон според кој постои линеарна зависност помеѓу силата која дејствува и издолжувањето на еластичното тело.

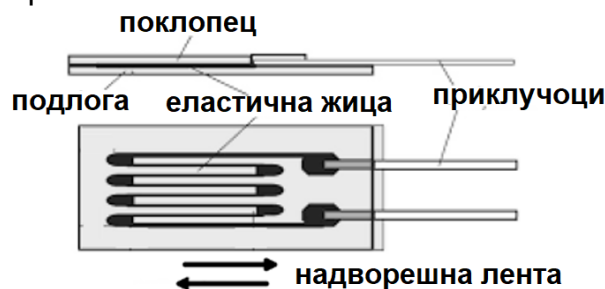
$$F = -k \cdot x$$

F – сила [њутни]

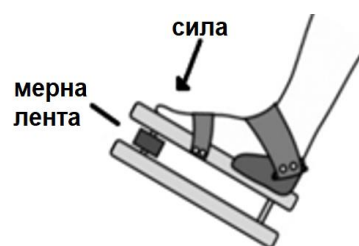
K – коефициент на еластичност

x – издолжување на еластичното тело [метри]

Мерните ленти користат **индиректен метод** на мерење бидејќи силата како физичка величина се претвора во линеарно или аголно поместување, а потоа поместувањето се претвора во променлива отпорност, односно електричен сигнал. Мерните ленти се изработуваат во облик на еластична отпорничка жица која по престанокот на силата се враќа во почетна состојба. Еластичната жица е **многу тенка, густо извиткана, во форма на филм**. Мерните ленти се поставуваат врз еластичното тело и тие верно ја следат промената на неговата должина. Кога се зголемува должината на телото, се зголемува и неговата отпорност.



Слика 2.19. Конструкција на мерна лента

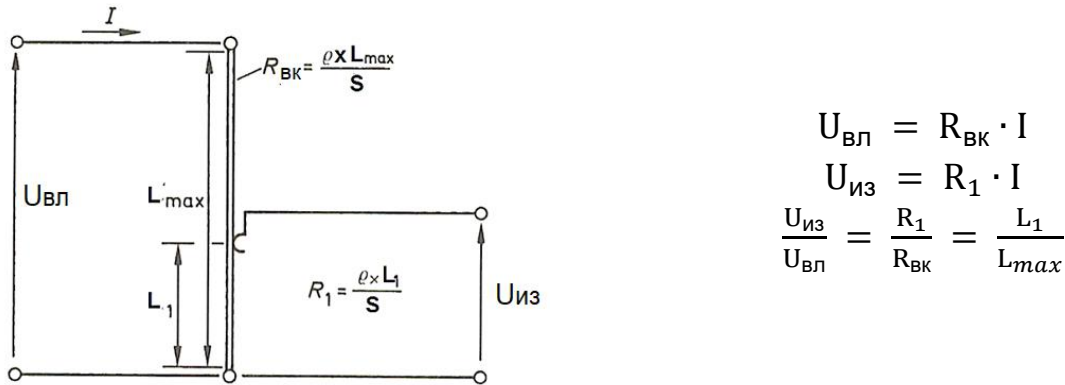


Слика 2.20. Мерна лента како претворувач на потисна сила

Освен за мерење на еластичност, мерните ленти може да се користат за мерење на потисна сила, како што е прикажано на слика 2.20. Мерната лента не е поставена врз телото туку под подлогата (педалот) и со нејзино притискање се менува отпорноста на мерната лента.

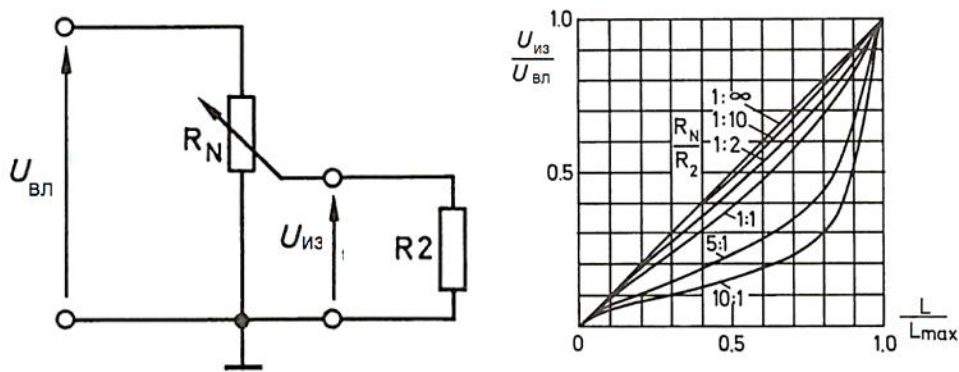
2.5.5. Отпорнички претворувачи за механички поместувања

Потенциометриските сензори се контактни отпорнички сензори чија отпорност зависи од положбата на лизгачот. Искористена е зависноста на отпорноста од должината на спроводникот, од кој е изработен отпорникот. **Потенциометарот го анализираме како делител на напон**, како што е прикажано на слика. 2.21.



Слика 2.21. Потенциометар како делител на напон

Потенциометриските сензори се евтини, отпорни на шум, со голема точност, максималната должина може да достигне вредност до 2,5 метри.

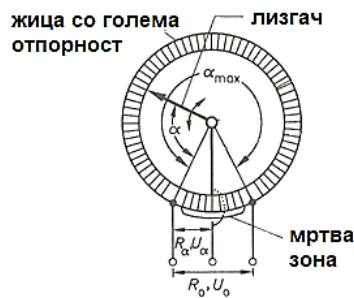


Слика 2.22. Зависност на линеарноста од приклучената отпорност

Линеарната зависност се намалува кога ќе се поврзе потрошувач со мала отпорност.

За мерење на аголно поместување важат истите принципи како и за линеарни поместувања, само што сензорите се разликуваат во обликот. На слика 2.23. е прикажан кружен потенциометриски сензор. Потенциометриските сензори мерат агли од 0 до 350°, а со користење на мултиплексни потенциометри можат да се

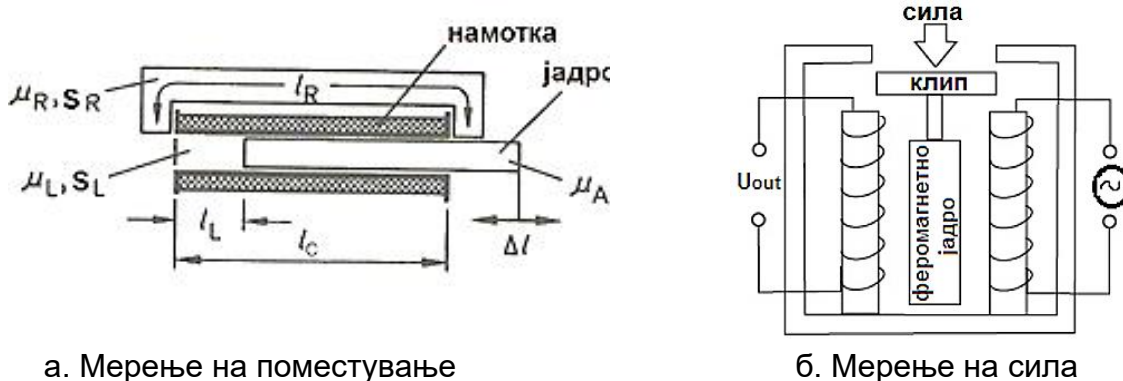
мерат многу поголеми агли од 2, 5, 10 и 20 x 360°. Индуктивниот сензор е со помал мерен опсег, од ±45°, со чувствителност од 60 mV на еден аголен степен.



Слика 2.23. Потенциометриски сензор за аголно поместување

2.6. Индуктивни претворувачи

Калемот е елемент кој во својата внатрешност создава магнетно поле. Кога калемот ќе се постави во променливо магнетно поле, во неговите намотки се индуцира електромоторна сила и оваа појава се нарекува **електромагнетна индукција**. Најважна карактеристика на калемот е неговата индуктивност. Од индуктивноста зависи јачината на индуцираната струја и интензитетот на електромоторната сила. Индуктивноста на калемот се определува според равенката $L = \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot S}{l}$ каде што μ_0 е магнетна пермеабилност на феромагнетното јадро, N е број на навивки, S е плоштина на напречен пресек и l е должината на калемот. Појавата на електромагнетна индукција се користи кај индуктивните сензори. Најчесто промената на индуктивноста, односно електромоторната сила се должи на **промената на обликот на феромагнетното јадро**. Индуктивните сензори можат да бидат контактни и бесконтактни. На слика 2.24. се прикажани индуктивните сензори за мерење на поместување и потисна сила.



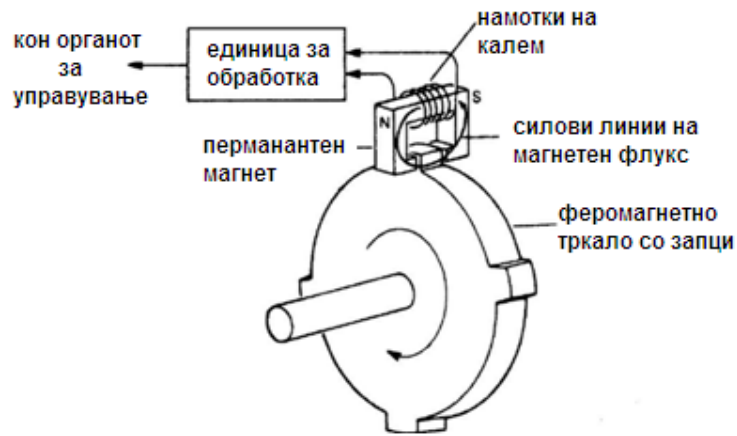
а. Мерење на поместување

б. Мерење на сила

Слика 2.24. Контактни индуктивни мерни претворувачи

Овие сензори се контактни. На слика 2.24.а, подвижниот објект е поврзан со феромагнетно јадро и негово вовлекување во внатрешноста на намотката се менува индуктивноста и излезниот напон. На слика 2.24.б се користи клип врз кој дејствува сила и го притиска јадрото.

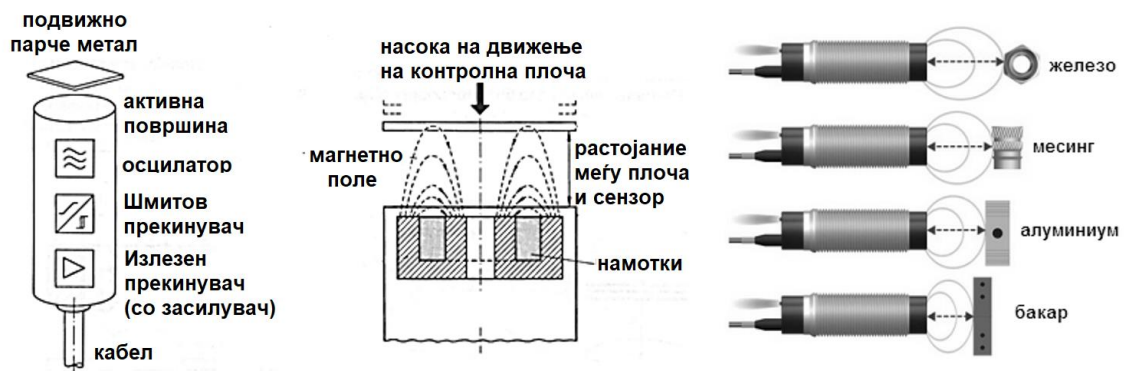
На слика 2.25. е прикажана конструкција на **индуктивен сензор за мерење** на аголна брзина. Составни делови на индуктивниот сензор се: феромагнетно тркало со запци, перманентен магнет со воздушен процеп и калем.



Слика 2.25. Индуктивен сензор за мерење аголна брзина

Феромагнетното тркало е прицврстено на ротирачкото вратило. Кога во процепот од перманентниот магнет ќе влезе некој од запците, се врши пренос и насочување на магнетниот флуks. Калемот е намотан околу перманентниот магнет. Поради промената на магнетниот флуks се генерира електромоторна сила во намотките на калемот. Индуцираниот напон е право пропорционален со брзината на промена на флуksот, односно брзината на вртење на вратилото. Недостаток на овие сензори е што за мали брзини се добиваат мали амплитуди кои не можат да се измерат.

Индуктивниот **сензор за блискост** е бесконтактен сензор. Составни делови се: осцилатор, Шмитов прекинувач и излезен засилувач.



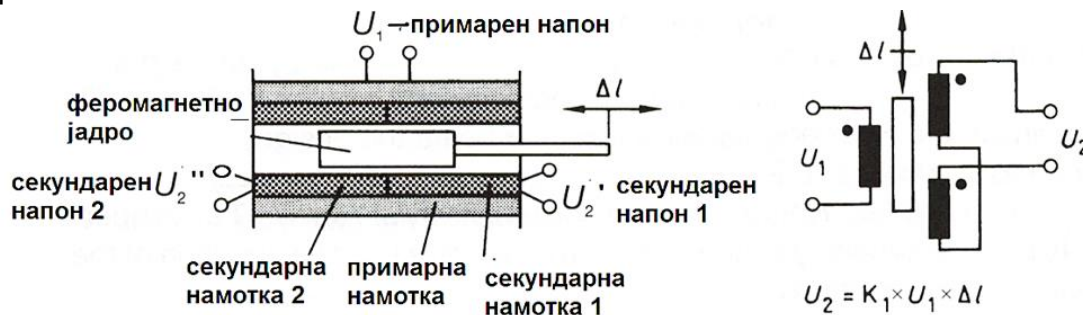
Слика 2.26. Индуктивен сензор за блискост

Кога до сензорот се доближува метален предмет, во предметот се јавуваат вителни струи кои создаваат свое електромагнетно поле. Индуцираното поле ја намалува енергијата на осцилаторот. Кога енергијата ќе падне под нивото на праг се активира Шмитовиот прекинувач и тој го исклучува излезот. Индуктивниот сензор за блискост може да детектира различни видови метални предмети, но се менува растојанието на реакција. На пример, индуктивниот сензор детектира железни предмети на растојание од 12 mm, но доколку

предметот не е железен, тогаш тоа растојание треба да се помножи со факторот на корекција, и тоа за месинг со 0,5, за алуминиум 0,4 и за бакар 0,3.

2.7. Трансформаторски претворувачи

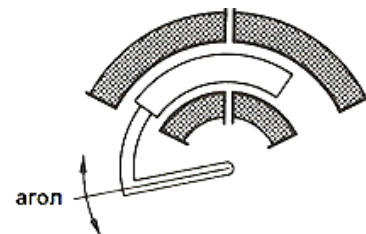
Диференцијалниот трансформаторски претворувач е уште еден посебен вид на индуктивен претворувач. Тој се состои од три калеми намотани околу железно јадро.



Слика 2.27. Линеарен променлив диференцијален трансформатор

Централната намотка е примарна, а другите две се идентични секундарни намотки, сериски поврзани, така што нивните излези се со спротивни фази. Поради тоа, вкупната електромоторна сила во секундарот е еднаква на разликата на двете индуцирани електромоторни сили. Со поместување на јадрото во една или друга насока се јавува магнетна нееднаквост и промена на двете индуцирани електромоторни сили.

За мерење на аголно поместување важат истите принципи како и за линеарни поместувања, само што сензорите се разликуваат во обликот. На слика 2.28. е прикажан кружен индуктивен сензор. Трансформаторскиот претворувач има голем број предности.



Слика 2.28. Кружен трансформаторски претворувач

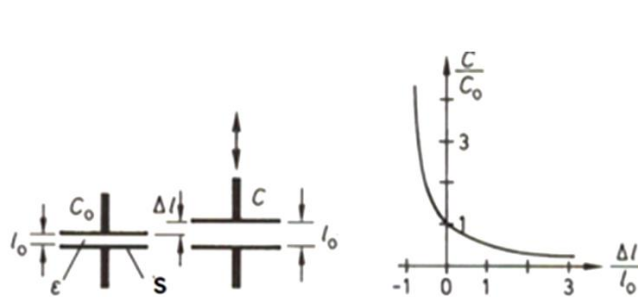
Меѓу намотката и јадрото не постои физички контакт и поради тоа не постои триење, механичко оштетување. Преносната функција е прилично линеарна и вообичаено се користи за мерење на поместувања до ± 200 mт. Трансформаторските претворувачи имаат многу **голема резолуција**, што значи дека може да детектираат и најмали промени. Исто така, овие сензори имаат **брза реакција**.

2.8. Капацитивни претворувачи

Заедно со калемот и отпорникот, кондензаторот е најчесто користена електронска компонента. Основна негова карактеристика е капацитивноста и таа

зависи од плоштината на плочите, растојанието меѓу нив и видот на диелектрикот поставен меѓу плочите. Капацитивните сензори се користат за мерење на **притисок, сила, поместување, ниво на течност и друго.**

На слика 2.29. е прикажан капацитивен сензор кој го претвора физичкото поместување директно во електричен сигнал. Искористена е зависноста на капацитивноста од растојанието меѓу плочите на кондензаторот. Недостаток е нелинеарната преносна карактеристика и таа треба да се линеаризира. Бидејќи промената на капацитивноста е многу мала (помала од 10 pF), потребно е сензорот да се поврзе сериски со засилувач.



$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{l}$$

$$\frac{C_1}{C_0} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta l}{l_0}}$$

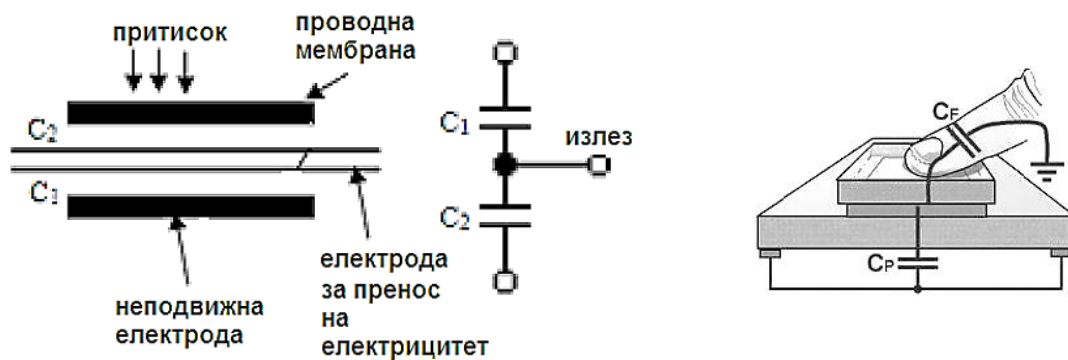
ϵ_r – диелектрична константа на диелектрикот меѓу плочите

S – плоштина на плочи

L – растојание меѓу плочите

Слика 2.29. Зависност на капацитивноста од растојанието меѓу плочите

Сензорите за притисок можат да бидат капацитивни и пиезоелектрични. Притисокот е физичка величина која се дефинира како сила што дејствува на единица површина, односно $p = \frac{F}{S}$ каде што p е притисок, F е сила и S е плоштина на површината. Единица мерка за притисок е паскал, што одговара на сила од еден њутн која делува на површина од 1 m².



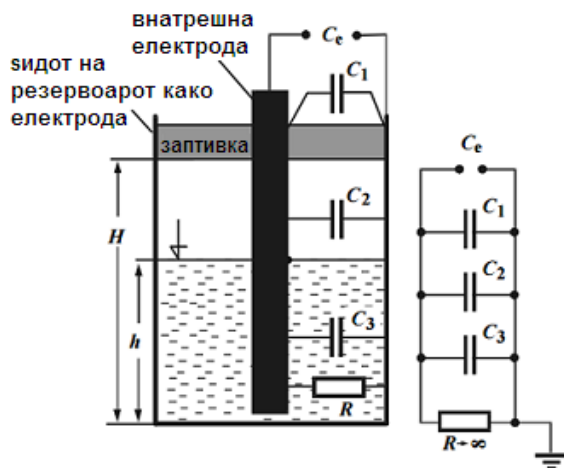
Слика 2.30. Капацитивен сензор на допир

Капацитивниот сензор содржи еластична мембрана и со нејзино притискање се менува растојанието меѓу плочите на кондензаторот.

Во групата сензори за притисок спаѓаат и **сензорите на допир.** Тие можат да бидат капацитивни и отпорнички. Кај капацитивните сензори на допир искористена е спроводливоста на човечкиот организам. Самиот екран е составен од минијатурни кондензатори изработени во нанотехнологија. Кога ќе се допре екранот истекува дел од електрицитетот насобран на плочите од

кондензаторите и уредот добива информација кој дел од екранот е допрен. Ова е прикажано на слика 2.30. и треба да се направи разлика меѓу капацитивен сензор за притисок и капацитивен сензор за допир.

Капацитивните сензори за ниво на течност се изработуваат како плочести или цилиндрични кондензатори, при што меѓу електродите се наоѓа течноста чие ниво се мери.



Слика 2.31. Капацитивен сензор за мерење на ниво на течност

$$C_e = C_1 + C_2 + C_3$$

C_1 – капацитивност меѓу електродите во делот на капакот, кој е изработен од диелектричен материјал

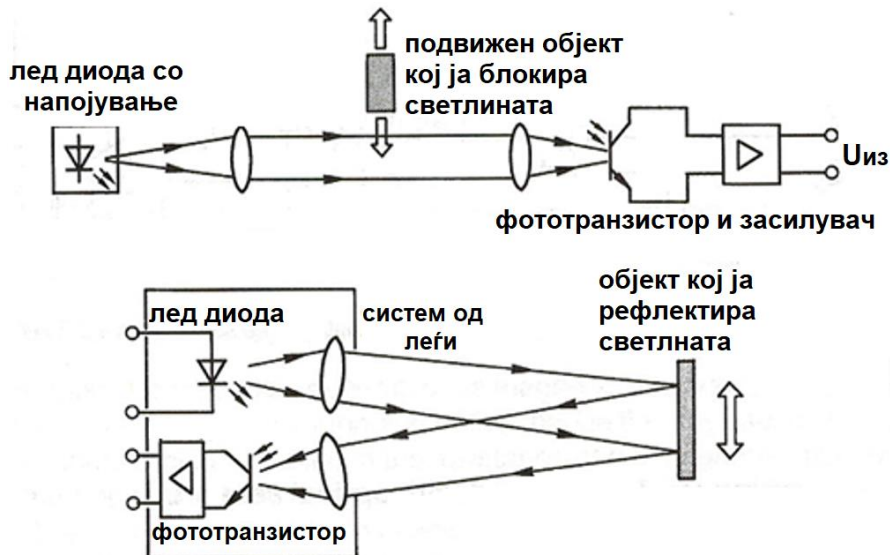
C_2 – капацитивност меѓу електродите во делот исполнет со воздух

C_3 – капацитивност меѓу електродите во делот исполнет со воздух

На слика 2.31 е прикажана конструкцијата на капацитивен сензор за мерење ниво на неспроводна течност, на пример нафта и неговата еквивалентна електрична шема. Постои разлика во пресметката на вкупната капацитивност, во зависност од тоа дали течноста е спроводна или неспроводна материја. Доколку се работи за спроводна течност, тогаш внатрешната електрода е обложена со квалитетен цврст изолатор, како пластика или тефлон.

2.9. Фотоелектрични претворувачи на механичко поместување

Најшироко користени сензори се оптичките сензори. На слика 2.32. се прикажани два метода за емитување, рефлексија и прием на светлина. Системот од ЛЕД-диода и фотоотпорник се нарекува **оптокаплер**. Изворот на светлина ја претвора електричната енергија во светлина, а фотоприемникот врши претворање на светлосната во електрична енергија, само ако е исполнет условот за оптичка видливост. Доколку меѓу изворот на светлина и приемникот постои пречка, тогаш електричниот светлински зрак ќе биде прекинат, во фотоприемникот ќе престане да тече струја и предметот ќе биде детектиран. Како извори на светлина се користат флуоресцентни ламби, ЛЕД-диоди, ласерски диоди, а фотоприемници се фотоотпорниците, фотодиодите, фототранзисторите.



Слика 2.32. Детекција на објект и примена на оптокаплери

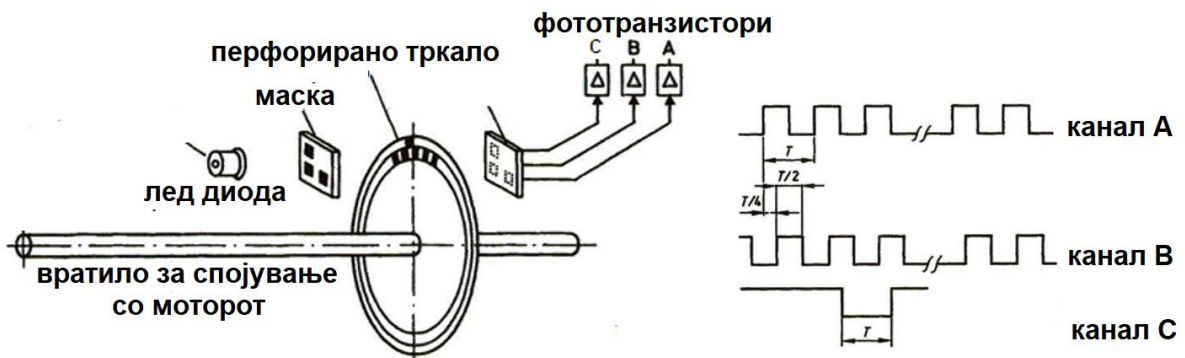
На слика 2.33. е прикажан изгледот на три вида фотоелектрични сензори. Сите три вида сензори користат исто напојување (еднонасочен напон од 6 до 36 V и струја од 200 mA) и имаат иста работна температура. Се разликуваат според димензиите, типот на спојување (NPN со четири жици или PNP со три жици), контактите (нормално отворен или нормално затворен) и оддалеченост на активирање (од 10 m до 3 cm)



а. со процеп б. рефлектирачи в. дводелен

Слика 2.33. Фотоелектрични сензори

Оптичките сензори се користат за **детектирање на блискост, мерење линеарни и аголни поместувања, аголна и линеарна брзина**. На слика 2.34. е прикажан оптички сензор за мерење аголна брзина.



Слика 2.34. Мерење на аголна брзина со оптички сензор

Маската служи за добивање на два светлосни зраци кои се фазно поместени за 90° , што овозможува определување на насоката на вртење на вратилото. Ако импулсите од канал В предничат во однос на импулсите од канал А, тогаш вратилото се врти во насока на стрелката на часовникот. Зраците минуваат низ отворите на перфорираното тркало кое ротира заедно со вратилото. На излез од оптичкиот сензор добиваме поворка од импулси чија фреквенција е правопропорционална на аголната брзина.

На слика 2.34. се прикажани поворките од импулси добиени од двата канала, А и В. Каналот С генерира само еден импулс по вртеж и тој ја дефинира нултата позиција.

2.10. Дигитални претворувачи на механичко поместување

Периодичната поворка од импулси, добиена на излез од фотоелектричниот сензор, е влезен сигнал за **инкрементираниот кодер**. Овој кодер е бинарен бројач и неговата вредност се зголемува со доаѓањето на секој нов импулс од сензорот. Називот инкрементирачки доаѓа од англискиот збор „increment“ што во превод значи зголемување. **Апсолутниот кодер** се разликува од инкрементирачкиот по изведбата на перфорираното тркало, како што е прикажано на слика 2.35.



Слика 2.35. Споредба меѓу инкрементирачки и апсолутен кодер

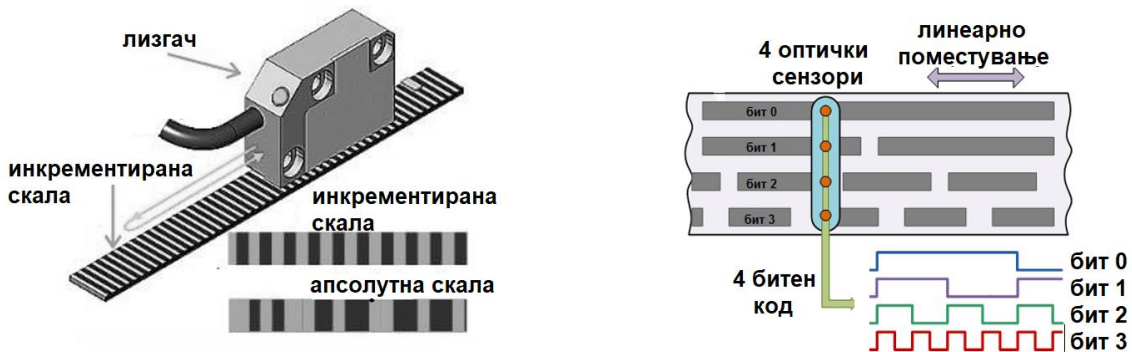
Кај инкрементирачкиот кодер, отворите на перфорираното тркало се рамномерно распоредени и се со иста широчина. Кај апсолутниот кодер отворите се распоредени во неколку редови и секоја дијагонална комбинација од отвори, всушност, претставува еден код. Во примерот на слика 2.35., отворите се распоредени во три редици и направени се вкупно 8 комбинации, од 0 до 7. За да се прочита кодот, потребни се три оптички сензори.

За споредба, кодерот на слика 2.36. има четири оптички сензори, отворите се распоредени во четири редици и има вкупно 16 комбинации. На истата слика дадени се бинарните комбинации кои одговараат на броевите од 0 до 15. Бројот на можни комбинации, односно кодови, бројно е еднаков на степенот 2^n , каде што n е број на редици од отвори.



Слика:2.36. Апсолутен кодер со бинарни комбинации

За мерење на **линеарни поместувања** може да се користат оптички сензори со инкрементирачки или апсолутен кодер. Наместо перфорирано тркало, кодери содржат перфорирана лента.



Слика 2.37. Оптички сензор за мерење линеарни поместувања

Во случај на инкрементирачки кодер, потребно е да се определи времето на броење на импулси за бројот на импулси да одговара на вредноста на линеарното поместување. Апсолутниот кодер директно ја дава таа вредност, но во бинарен броен систем. Бројот на редици на лентата зависи од големината на кодовите.

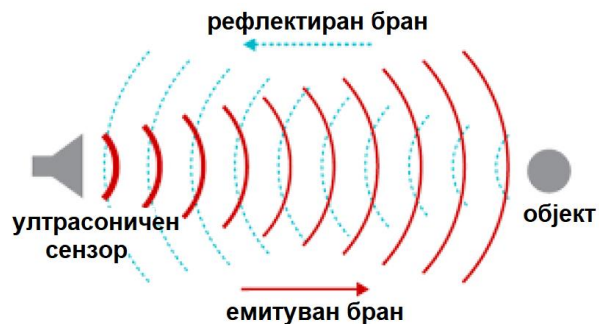
2.11.Ултразвучни претворувачи

Ултрасоничните сензори користат **звучни бранови** со фреквенција поголема од 200 KHz за **детекција на објекти**. Емитуваниот бран од предавателот се рефлектира од објектот поставен пред сензорот и се враќа во приемникот. Растојанието до објектот може да се пресмета според равенката:

$$x = \frac{v \cdot T_{\text{пренос}}}{2}$$

каде што v е брзина на звук, x е растојание $T_{\text{пренос}}$ е време.

Времето на пренос е времето поминато од моментот кога предавателот го емитува бранот до моментот кога приемирот го прима рефлектираниот бран, односно времето што е потребно за бранот да го помине патот предавател – приемир – предавател.

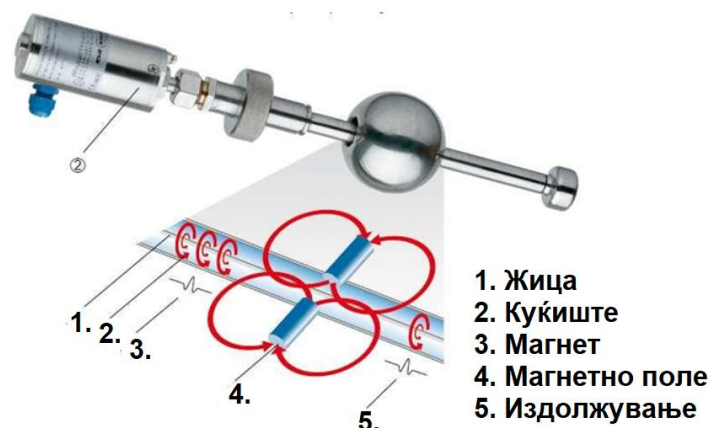


Слика 2.38. Принцип на работа на ултразвучен сензор

Освен за мерење на блискост на објект, ултразвучните сензори се користат за мерење на ниво, проток, дебелина или состав на некои материјали.

2.12. Магнетостриктни претворувачи

Магнетостриктниот претворувач е уред кој се користи за **претворање на механичката енергија во магнетна енергија** и обратно. Уредот може да се користи како сензор, но и како актуатор, бидејќи истиот ефект може да биде спротивен, односно промената на магнетната состојба на материјалот може да предизвика појава на вибрации или сила со право пропорционална големина. Магнетостриктцијата е промена во должината по единица должина, произведена како резултат на магнетизација. Материјалот треба да има магнетостриктен карактер. Никелот е најчесто користен магнетостриктен материјал. Мерењето на поместување со магнетостриктен претворувач е понов метод. Има голем опсег на мерење, до неколку метри, вообичаено до два метри, одлична точност, добра резолуција, отпорни се на удари и вибрации и се температурно независни.



Слика 2.39. Магнетостриктен претворувач на ниво на течност

Тоа е бесконтактен метод и поради тоа не постои абење, па теоретски имаат неограничен век на употреба. За мерење се користи магнетостриктен ефект, односно карактеристиката на некои материјали да се деформираат во присуство на магнетно поле. На слика 2.39. прикажана е мерна магнетостриктна сонда која се состои од магнетостриктна жица и електроника со ултразвучен приемник. Жицата се става во метална шипка на која е поставен лебдечки перманентен магнет. Во еден момент низ жицата се испраќа краток струен импулс кој создава магнетно поле. Магнетното поле се движи заедно со импулсот.

Постои интеракција меѓу тоа поле и полето од перманентниот магнет и тоа резултира во торзиона деформација на жицата на местото каде што е поставен магнетот. Оваа деформација произведува ултразвучен бран кој патува низ цевката до ултразвучниот приемник. Се мери времето поминато меѓу моментот на генерирање на струен импулс и моментот кога е примен ултразвучниот бран. Оваа постапка се повторува многупати и се пресметува средна вредност.

2.13.Халов сензор

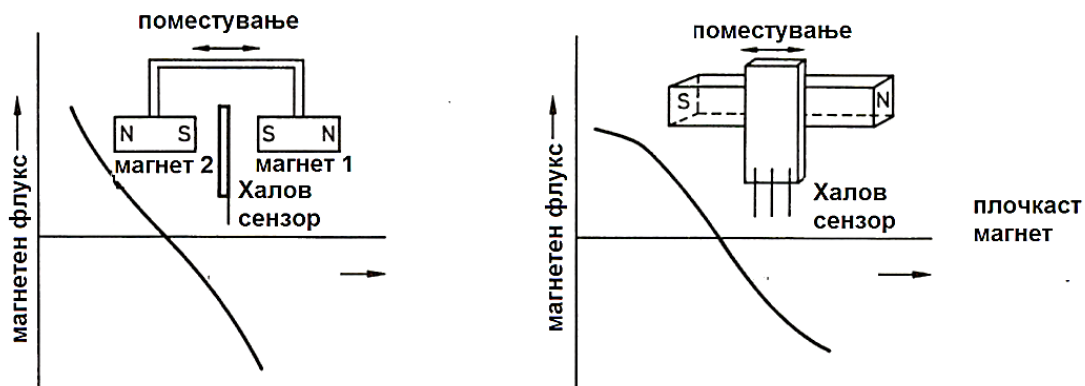
Халовиот сензор генерира напон под дејство на магнетно поле. Составен е од тенка полупроводничка плочка низ која тече струја. Типичен материјал за Халов сензор е силициумот.



Слика 2.40. Принцип на работа на Халов сензор

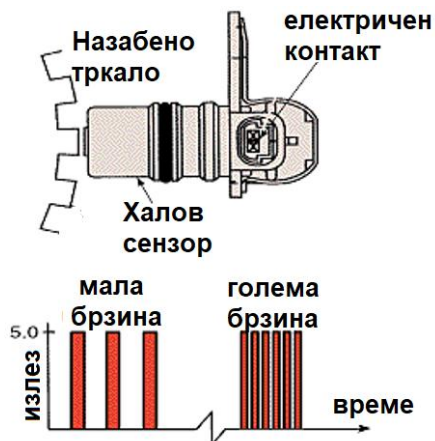
Ако силовите линии на магнетното поле паѓаат нормално на плочката тогаш во истата ќе се појави електромоторна сила со правец нормален на силовите линии на магнетното поле и на струјата која тече низ сензорот односно трите вектори за струја, поле и сила ќе бидат заемно нормални. Под дејство на оваа сила, електроните се придвижуваат и се собираат на една страна од плочката.

Таа страна ќе биде негативно наелектризирана, а спротивна страна ќе биде позитивно наелектризирана. Интензитетот на добиената електромоторна сила зависи од јачината на струјата, јачината на магнетната индукција и материјалот од кој е изработен сензорот.



Слика 2.41. Халов сензор за мерење на линеарни поместувања

Ако Халовиот сензор се постави меѓу два перманентни магнети тој може да се искористи како мерен претворувач за поместување. Ова е прикажано на слика 2.41. Со халовиот сензор може да се мерат аголни брзини и се користи во автомобилските АВС системите. Конструкцијата на АВС сензорот е прикажана на слика 2.42..



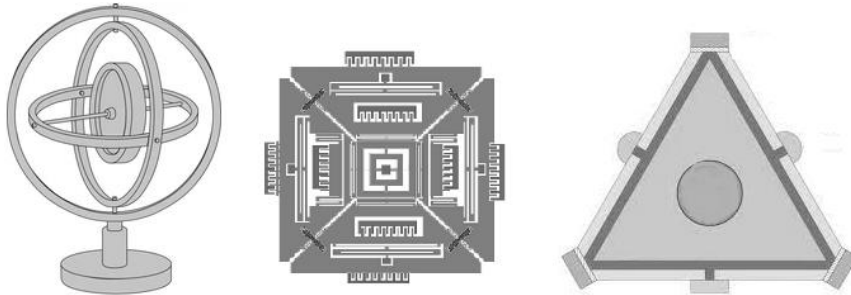
Слика 2.42. Халов сензор како АВС сензор

Предност е што амплитудата на излезниот сигнал не зависи од брзината на ротација туку само од јачината на магнетното поле. Од брзината на ротација зависи само фреквенцијата на излезниот сигнал. Поради тоа магнетните сензори се погодни за мерење и на мали брзини. Друга предност е што магнетните сензори дозволуваат поголем воздушен процеп меѓу сензорот и ротирачкото тркало и негова варијација.

2.14. Жироскопски претворувачи на механичко поместување

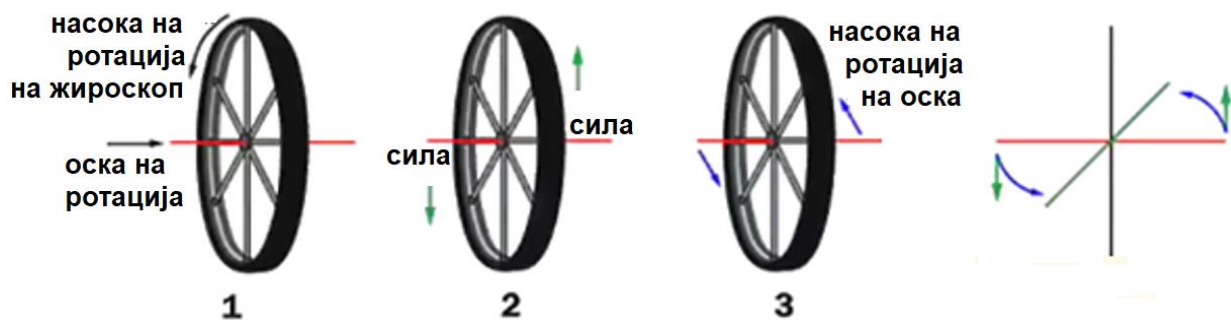
Жироскопот е уред кој се користи за **навигација, мерење на просторна ориентација и мерење на аголна брзина**. Постојат жироскопи кој можат да ја мерат аголната брзина во еден, два или три правци. Жироскопите се користат во комбинација со акцелерометри, кои вршат мерење на линеарното поместување. На ваков начин може да се следи движењето на објектот на

управување во сите три правци, линеарно и аголно. Според принципот на работа разликуваме три основни видови на жirosкопи: ротирачки, вибрациски и оптички и истите се прикажани на слика 2.43..



Слика 2.43. Механички, вибрациски и оптички

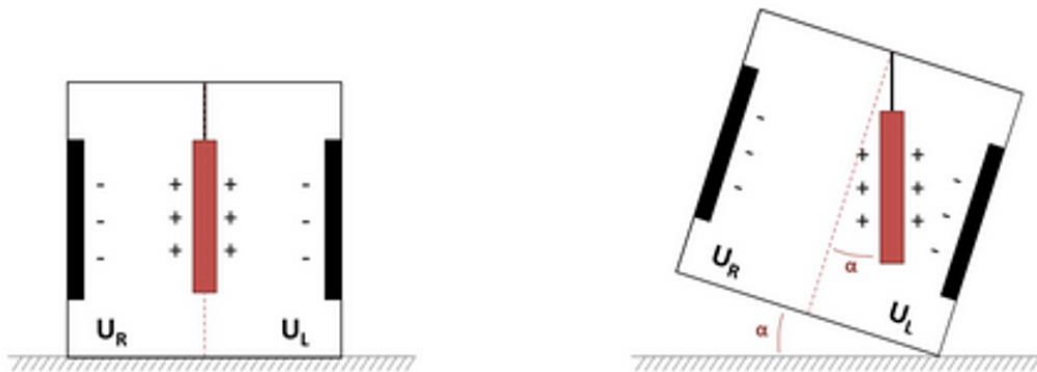
Работата на механичкиот ротирачки жirosкоп се заснова на Њутновите закони и законите за гравитација. Составни делови се: диск (ротор) прицврстен на оска на ротација и неколку прстени. Прстените овозможуваат ротација без дејствување на надворешна сила при што оската на ротација не го менува својот правец. За полесно разбирање на принципот на работа на жirosкопот ќе го користиме цртежот прикажан на слика 2.44.



Слика 2.44. Принцип на работа на жirosкоп

Во случајот под 1. на дискот не делува сила и оската на ротација има правец како x- оската. Во случајот под 2. делува сила, таа е нормална во однос на оската на ротација, има правец како y-оската и оваа оска се нарекува влезна оска. Во случајот под 3. прикажана е реакцијата на жirosкопот и стрелката го покажува правецот на ротација на самата оска на ротација. Всушност истовремено се случуваат две ротации: ротација на диск и ротација на самата оска на ротација. Оската на ротација ротира околу z- оската од координатниот систем која е нормално поставена во однос на x и y оските. Оваа оска се нарекува излезна оска. Аголното поместување на оската на ротација и нејзината аголна брзина зависат правопрпорционално од надворешната сила која го предизвикала поместувањето. Ако оската на симетрија се поврзе со еластична пружина или кондензатор со променлива капацитивност тогаш може да се измери оваа сила и да се дејствува на дискот со друга сила со ист интензитет и правец, но спротивна насока и на таков начин може оската на симетрија да се

врати во својата првобитна положба. Механичките жirosкопи се користат за стабилизација на движењата на автомобилите, авионите, бродовите. Вибрациските жirosкопи се **MEMC уреди и претставуваат посебен вид на чип технологија**. Нивниот принцип на работа е прикажан на слика 2.45.



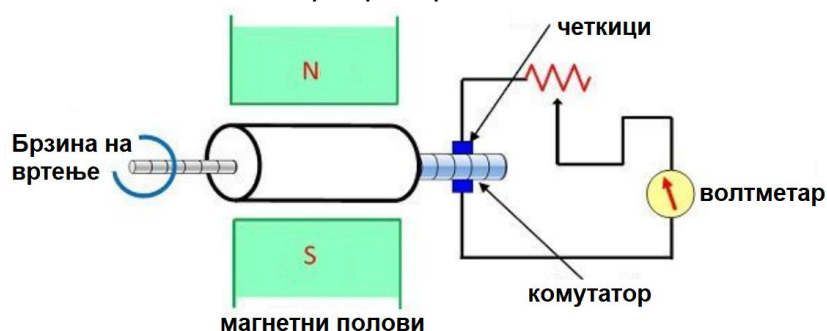
Слика 2.45. Принцип на работа на MEMC

Кратенката MEMC значи микро електро-механички систем. Сензорите се составени од течност во која се растворени ситни микроскопски честички од цврста материја сместена меѓу пар кондензаторни плочи. Кога се врши навалување честичките од цврста материја создава разлика во електричниот потенцијал и истата се мери како промена на кондензаторот. Се карактеризираат со мала резолуција, но поради нивната ниска цена и малите димензии се многу често користени.

2.15. Тахометарски претворувачи

За мерење аголни брзини се користат различни уреди: тахогенератори, магнетни сензори, електромагнетни сензори, оптички сензори и други.

Тахогенераторот работи на ист принцип како и генераторот на наизменична струја. Составни делови се статор и ротор.

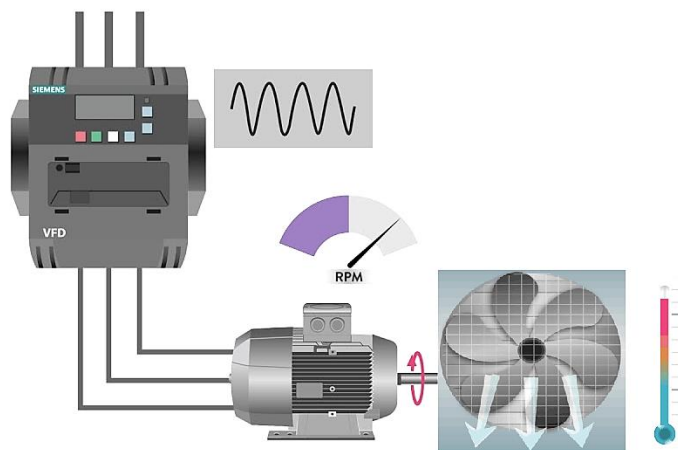


Слика 2.46. Конструкција на тахометарски претворувач

Статорот е неподвижен постојан магнет. Роторот е намотка која ротира во магнетното поле. Бидејќи намотката ротира, јачината на магнетниот флуks се менува, поради што во неа се индуцира наизменична електромоторна сила. Амплитудата на овој наизменичен напон се користи како мерка за аголната брзина.

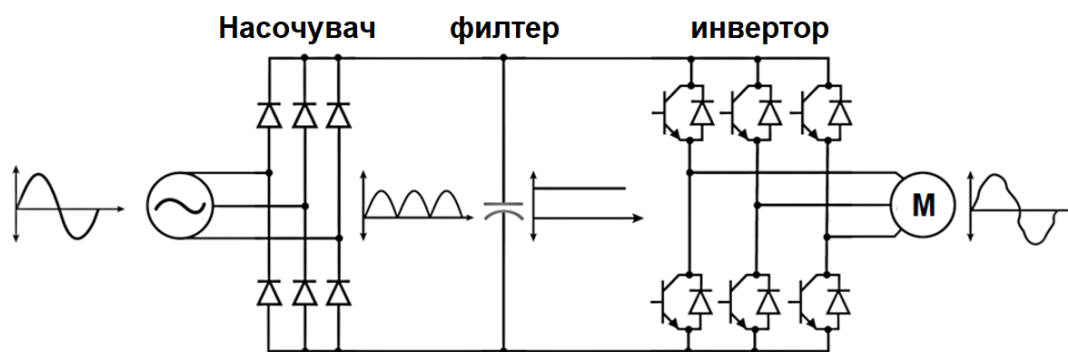
2.16. Фреквенциски претворувачи

Фреквенцискиот претворувач е електронски уред кој ја менува фреквенцијата на наизменичната струја. Во зависност од дизајнот, може да се менуваат амплитудата и бројот на фази на наизменичниот напон. Фреквенциските претворувачи најчесто се користат за **управување со електромотори и обезбедуваат промена на брзината и насоката на вртење**, константен момент на оптоварување и потребната заштита на моторот со кој се управува. На слика 2.47. е прикажан пример за примена на фреквенциски претворувач. Излезот на асинхрониот мотор е поврзан со вентилатор. Брзината на вртење на моторот, т.е. вентилаторот зависи од фреквенцијата на излезниот напон на фреквенцискиот претворувач. Температурниот сензор ја мери амбиенталната температура и ја претвора во променлив напон, кој преку повратна врска управува со фреквенцискиот претворувач и ја одредува фреквенцијата на неговиот излезен напон.



Слика 2.47. Фреквенциски регулатор на брзина и насока на вртење на мотор

Денешните фреквенциски претворувачи се убаво дизајнирани кутии со тастери и дисплеј, со можности за вмрежување и управување од далечина. Накратко ќе го објасниме нивниот принцип на работа. На слика 2.48. е прикажана електрична шема на фреквенциски претворувач.

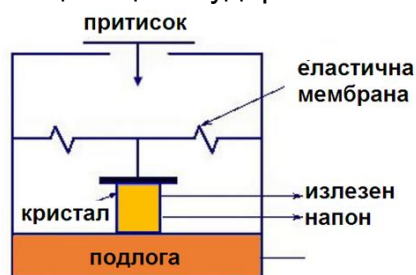


Слика 2.48. Составни елементи на фреквенциски претворувач

Тој е составен од четири основни компоненти: насочувач, филтер, инвертор и управувачко коло. Насочувачот е поврзан со главното напојување кое, всушност, претставува трофазен или монофазен напон со константна фреквенција, $3 \times 400 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ (400 V е меѓуфазен напон) или $1 \times 240/50 \text{ Hz}$. На излез од насочувачот се добива импулсен еднонасочен напон. Филтерот го стабилизира (израмнува) импулсниот напон од насочувачот и се добива напон со константна вредност. Инверторот е последно коло во составот на фреквенцискиот претворувач чија функција е генерирање на наизменичен напон со точно определена фреквенција, во опсег од 300 Hz до 20 KHz . Составни елементи на инверторот се три пара високофреквентни транзистори поставени во три гранки, по една гранка за секоја фаза. Транзисторите брзо се вклучуваат и се исклучуваат под дејство на управувачките сигнали од управувачкото коло.

2.17. Пиезоелектрични претворувачи

Најчесто користени сензори за притисок се пиезоелектричните сензори. Пиезоелектричниот сензор може да биде директен или инверзен. Директниот ефект е појава на создавање на електрицитет на површината на кварцен кристал кога на него дејствува сила или притисок. Овој ефект е опишан со равенката $Q = d \cdot F$ каде што Q е количество електричество, d е константа и зависи од видот на материјалот и F е сила. При промена на насоката на силата се менува знакот на количеството електричество. Пиезоелектричниот напон може да достигне вредност до 100 mV . Инверзен пиезоелектричен ефект е појава на механички осцилации под дејство на електрично поле. За разлика од мерните ленти кои можат да мерат статички сили, пиезоелектричните сензори се користат за динамички сили како што се осцилации и удари.



Слика 2.49. Конструкција на пиезо сензор

Секој удар предизвикува издвојување на полнежите во внатрешноста на кристалот генерирајќи електричен напон. Во сендвич меѓу двата кварцни сигнала се наоѓа електрода за собирање на полнежот. Потоа електричниот сигнал се засилува.

2.18. Тестирање на мерен претворувач: потенциометриски сензор за линеарни поместувања

1. Цел на вежбата

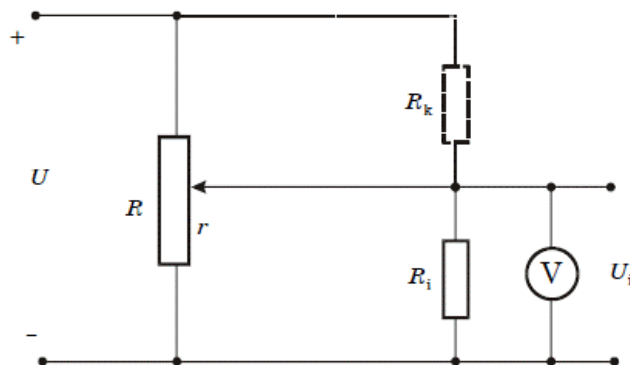
Цел на вежбата е по експериментален пат да се испита зависноста на линеарноста на преносната карактеристика на потенциометриски сензор од отпорноста на поврзаниот потрошувач. Потребно е да се извршат мерења на излезниот напон, без оптоварување, со оптоварување и со компензациски отпорник поврзан на неговиот излез и да се споредат трите преносни карактеристики на потенциометриски сензор за линеарни поместувања

2. Потребни инструменти, материјали и прибор

- Стабилизирачки извор на еднонасочен напон
- Универзален мерен инструмент
- Макета со потенциометриски сензор
- Приклучни кабли

3. Опис на макетата

Макетата е едноставна и се изработува според електричната шема прикажана на слика 2.50. За изработка на макетата потребни се: протоплочка, потенциометар со лизгач, со вкупна отпорност $10\text{ K}\Omega$ и два отпорника $R_{\text{из}} = R_{\text{к}} = 2\text{ K}\Omega$, од кои едниот $R_{\text{из}}$ ќе се поврзе на местото од потрошувач, а вториот $R_{\text{к}}$ како компензациски отпорник. На почетокот од вежбата отпорниците $R_{\text{из}}$ и $R_{\text{к}}$ не се поврзани.



Слика 2.50. Едноставна електрична шема на потенциометриски сензор

4. Подготовка за вежба

Пред да се започне со изведба на вежбата, ученикот треба да се потсети на основните карактеристики на потенциометрискиот сензор. Уште еднаш да се разгледа графиконот на слика 2.22. за ученикот да добие претстава какви резултати да очекува.

5. Поврзување на макетата и мерење

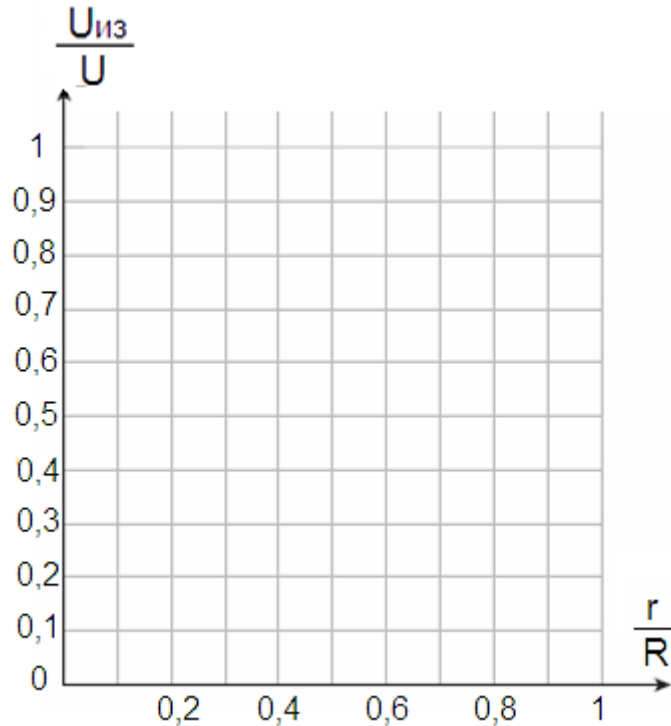
- На почетокот, потенциометарот не е оптоварен, односно неговиот лизгач не е поврзан со потрошувач (отпорник). Потенциометарот го поврзуваме со извор на еднонасочен напон, избираме положба на лизгачот и го мериме излезниот напон $U_{из1}$, односно напонот на лизгачот во однос на маса и се пресметува релативниот излезен напон $\frac{U_{из1}}{U}$. Без да се менува положбата на сензорот се мери моменталната положба на сензорот r и се пресметува односот меѓу моменталната и вкупната отпорност на сензорот r/R . Резултатите се запишуваат во табела 2.2.

Број на мерење	Положба на лизгачот		Неоптоварен Потенциометар		Оптоварен потенциометар			Оптоварување и компензација		
	$r[\Omega]$	$\frac{r}{R}$	$U_{из1}[V]$	$\frac{U_{из1}}{U}$	$U_{из2}[V]$	$\frac{U_{из2}}{U}$	$\frac{U_{из2}-U_{из1}}{U}$	$U_{из3}[V]$	$\frac{U_{из3}}{U}$	$\frac{U_{из3}-U_{из1}}{U}$
1										
2										
3										
4										
5										
6										

Табела 2.2.

- Без да се менува положбата на лизгачот, на излезот од потенциометарот се поврзува отпорникот $R_{из} = 2 \text{ K}\Omega$. Вредноста на отпорникот може да се промени, но треба да се внимава да биде исполнет условот $\frac{R_{из}}{R} < 1$. Се мери излезниот напон. Се пресметува релативниот излезен напон $\frac{U_{из2}}{U}$ и сигналот на грешка $\frac{\Delta U_{из}}{U} = \frac{U_{из2}-U_{из1}}{U}$, односно релативната разлика меѓу излезните напони со и без оптоварување на излезот. Резултатите се запишуваат во табела 2.2.
- На крајот, со иста положба на лизгачот, се поврзува компензацискиот отпорник, се мери излезниот напон $U_{из3}$. Се пресметува релативниот излезен напон $\frac{U_{из3}}{U}$ и сигналот на грешка $\frac{\Delta U_{из}}{U} = \frac{U_{из3}-U_{из1}}{U}$, односно релативната разлика меѓу излезните напони без оптоварување на излезот и со компензациски отпорник. Резултатите се запишуваат во табела 2.2.
- Горната постапка треба да се повтори најмалку шестпати за различни положби на лизгачот и добиените резултати да се запишат во истата табела 2.2.

- Врз основа на податоците од табела 2.2. да се нацртаат трите преносни карактеристики на потенциометрискиот сензор, без оптоварување, со оптоварување и со оптоварување и компензациски отпорник.



Слика 2.51. Преносни карактеристики на неоптоварен, оптоварен и компензиран излез на потенциометриски сензор

6. Споредба на графикони

Да се споредат трите преносни карактеристики од претходната точка

Заклучоци:

- Која од трите преносни карактеристики покажува најголема линеарност?

- За која положба на лизгачот и кај која преносна карактеристика сигналот на грешка е најмал и колку изнесува тој?

- Што се постигнува со постапката на компензација?

2.19. Практична примена на мерен претворувач: мерење температура со помош на NTC или PTC термистор

1. Цел на вежбата

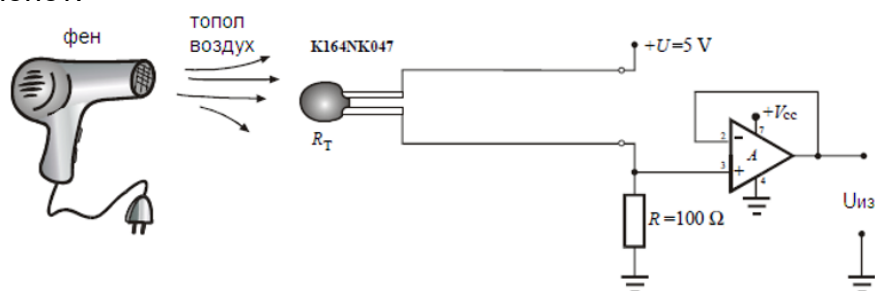
Цел на вежбата е снимање на преносна карактеристика на температурен сензор, NTC или PTC термистор и одредување на неговиот температурен коефициент.

2. Потребни инструменти, материјали и прибор

- Двоен стабилизирачки извор на еднонасочен напон
- Дигитален универзален мерен инструмент
- Дигитален термометар
- Макета со термистор
- Приклучни кабли
- Извор на топлина (фен)

3. Опис на макетата

На слика 2.52. е прикажана принципиелна шема на поврзување на термистор во електрично коло. За изработка на макетата се потребни следните елементи: протоборд, операциски засилувач LM741, отпорник $R = 100 \Omega$, термистор K164NK047-10 од $10K \pm 10\%$ и извор на еднонасочен напон од 10 V. Термисторот и отпорникот R формираат напонски делител. Отпорникот $R = 100 \Omega$ има многу помала отпорност од термисторот и затоа струјата зависи само од отпорноста на термисторот. Операцискиот засилувач со единечно засилување има улога на меѓустепен разделник. Поради неговата бесконечна влезна отпорност тој не влијае врз јачината на струјата што тече низ напонскиот делител и дозволува наместо струјата, излезен сигнал да биде напонот.



Слика 2.52. Шема за поврзување на NTC термистор во електрично коло

4. Подготовка за вежбата

Учениците да се потсетат на основните карактеристики на термисторите, обликот на преносната карактеристика и формулата што ја дава зависноста на отпорноста од температурата.

5. Поврзување на макетата и мерење

- Напонскиот делител и операцискиот засилувач се поврзуваат со извори на еднонасочен напон.
- Со дигитален омметар се мери отпорноста на термисторот K164NK047-10 на собна температура $T = 20^{\circ}\text{C}$, $R_0 = \dots\Omega$. Измерената отпорност е потребна за пресметка на релативната температура на термисторот.
- Со дигитален термометар се мери температурата на топлиот воздух за различни растојанија од феноот до температурниот сензор. Ова растојание се менува од максималната температура $T_{\max} = 100^{\circ}\text{C}$ до претходно измерената собна температура. При секоја промена на температурата се мери излезниот напон со волтметар. Измерените вредности се внесуваат во табела 2.3.

Мерења	Измерени вредности		Пресметани вредности		
	реден број	$T[^{\circ}\text{C}]$	$U_{\text{из}} [V]$	$U_T = U - U_{\text{из}} [V]$	$R_T = \frac{U_T}{U_{\text{из}}} \cdot 100[\Omega]$
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				

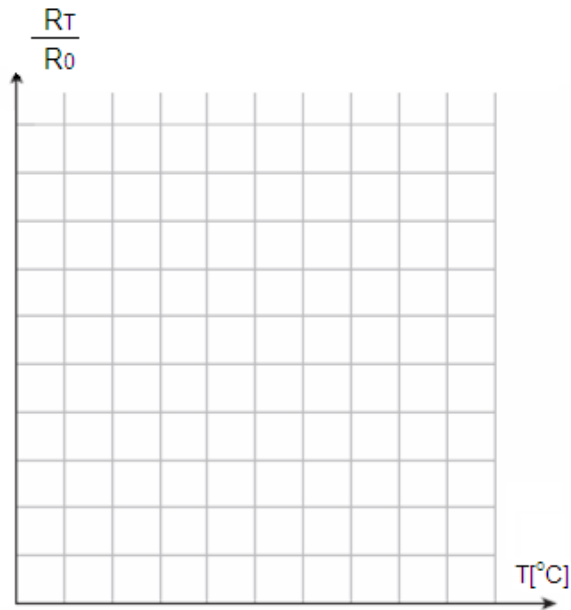
Табела 2.3. Мерење на излезен напон и пресметка на апсолутна и релативна отпорност на термистор

- По извршените мерења се вршат пресметки. Се пресметува напонот на краевите од термисторот според формулата дадена во табела 2.3. Исто така се пресметува апсолутната и релативната отпорност на термисторот.
- Врз основа на податоците од табелата да се нацрта преносната карактеристика на термисторот во графиконот прикажан на слика 2.53.

Заклучок:

Дали преносната карактеристика на термисторот е линеарна или експоненцијална?

Дали преносната карактеристика на термисторот е опаѓачка или растечка функција? -



Слика 2.53. Преносна карактеристика на термистор

2.20. Изработка на мерен претворувач: мерен претворувач на аголна брзина

1. Цел на вежбата

Цел на вежбата е изработка на мерен претворувач на аголна брзина со примена на фотоелектричен сензор и тајмер NE555 како моностабилен мултивибратор.

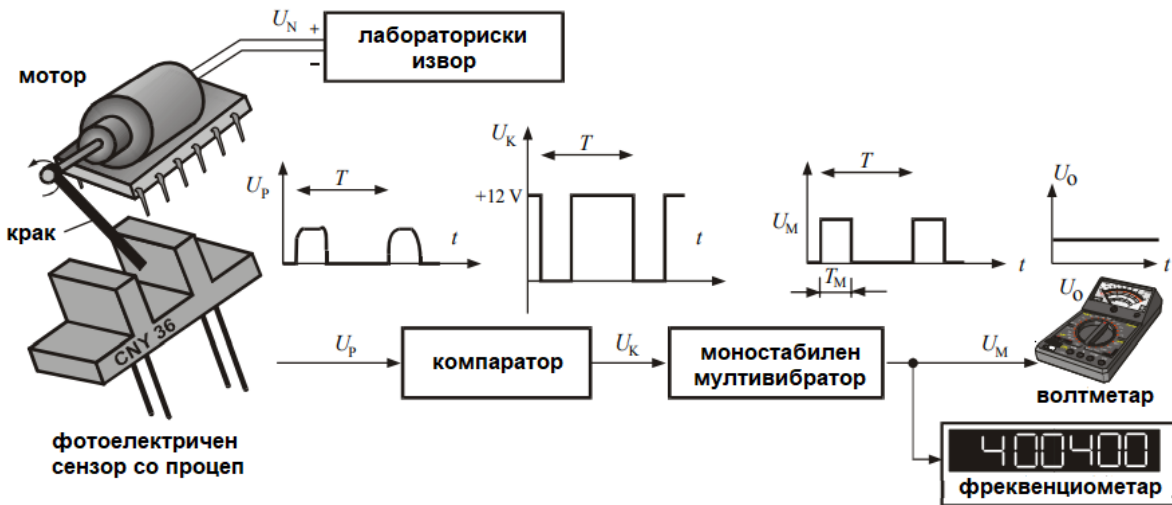
2. Потребни инструменти, материјали и прибор

- DC-мотор
- Компоненти и интегрирани кола според приложената електрична шема
- Универзални мерни инструменти
- Лабораториски извор на еднонасочен напон
- Протоборд
- Осцилоскоп
- Фреквенциометар

3. Опис на макетата

На оската на минијатурен мотор за еднонасочна струја е прицврстен лост кој го прекинува светлинскиот зрак во процепот на фотоелектричниот сензор, односно

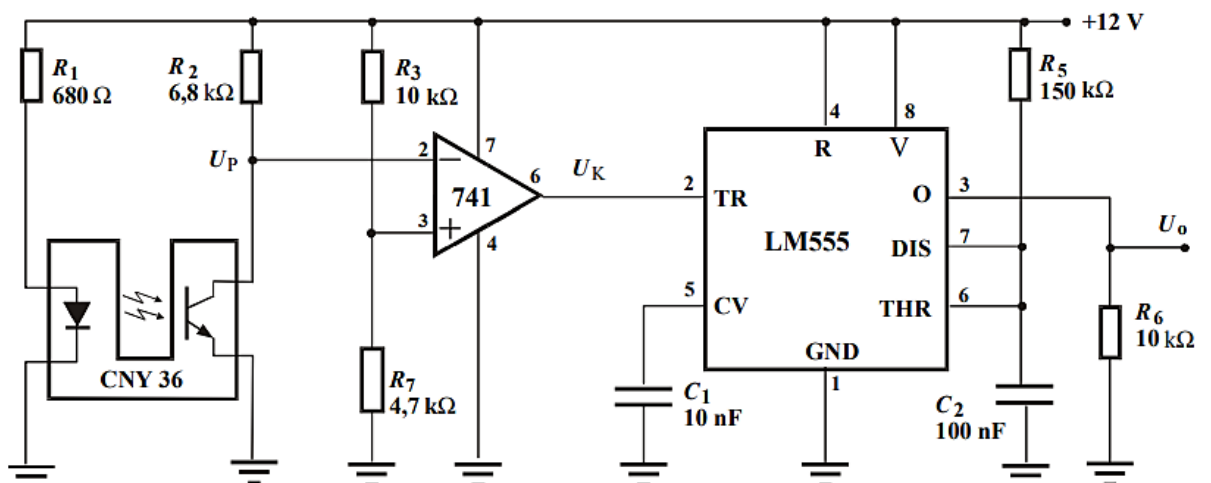
оптокаплерот CNY36. На излез од сензорот се добива поворка од неправилни импулси U_p чија фреквенција $f = 1/T$ зависи од аголната брзина на моторот $\omega = 2\pi/T \text{ rad/s}$, односно од брзината на вртење на моторот $n = 60/T$ вртежи во секунда.



Слика 2.54. Опис на макета за мерен претворувач на аголна брзина

Компараторот ги обликува импулсите во правилни правоаголни импулси. Негативните импулси на излез од компараторот го побудуваат моностабилниот мултивибратор кој генерира импулси U_M со точно определено времетраење T_M , но со иста фреквенција како и сигналите на излезите од фотоелектричниот сензор и компараторот. Средната вредност на овие импулси $U_0 = [U_M \cdot T_M + 0 \cdot (T - T_M)] / T = U_M \cdot T_M / T = k \cdot n$ е право пропорционална со брзината на вртење на моторот.

4. Поврзување на макетата и мерење

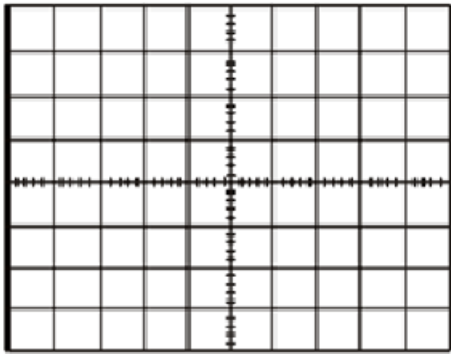


Слика 2.55. Електрична шема на мерен претворувач за аголна брзина

- На протоборд се поврзуваат компонентите и интегрираните кола според електричната шема прикажана на слика 2.55. (За полесно поврзување на моторот, тој може да се залепи на подножје за интегрирано коло.) Се

нагодува напонот за напојување на DC-моторот и се проверува функционалноста на шемата.

- Со помош на осцилоскоп се снимаат брановите облици на сигналите на излез од фотоелектронскиот сензор, компараторот и моностабилниот мултивибратор. Брановите облици да се нацртаат на графиконот прикажан на слика 2.56.



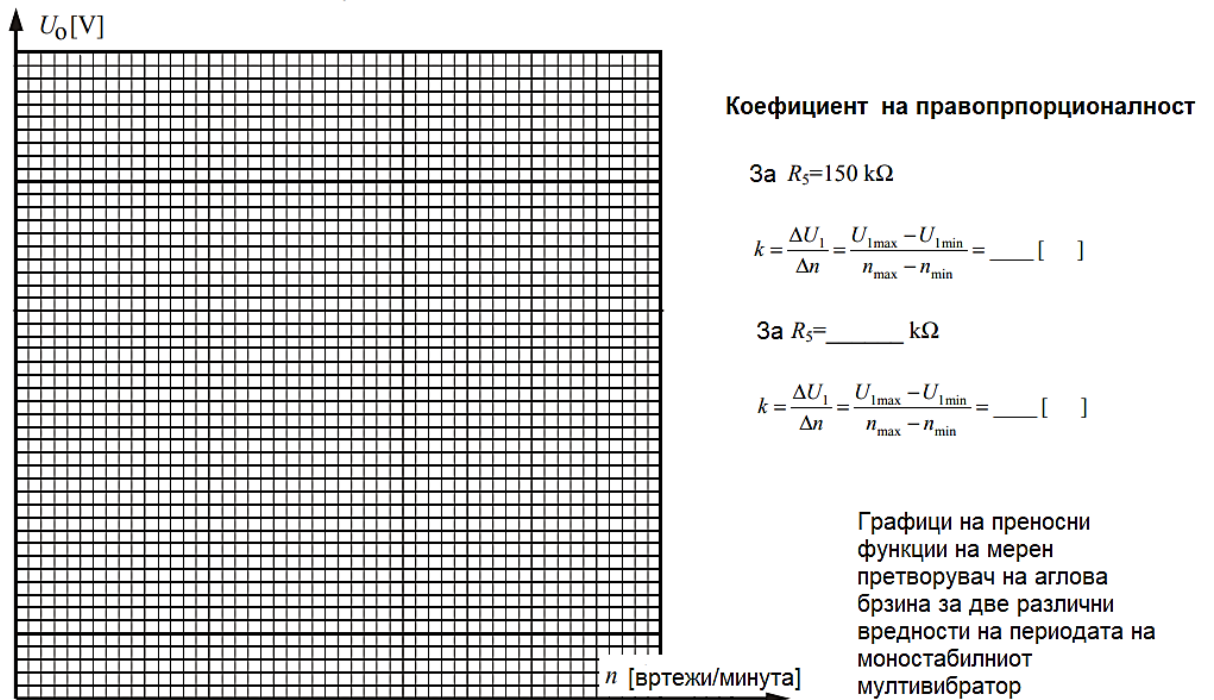
Размер:
 x оска, време _____
 y оска, напон _____

Слика 2.56. Бранови облици на сигналите на излез од фотоелектронскиот сензор U_p , компараторот U_T и моностабилниот мултивибратор U_M .

- Постапката за снимање на преносна карактеристика на мерен претворувач на аголна брзина $U_o = k \cdot n$ е следната:
 - На излез од моностабилниот мултивибратор се приклучува дигитален волтметар и фреквенциометар (фреквенциометарот се нагодува за мерење на периода)
 - Се менува напонот на напојување на моторот U_N и се мери периодата на излез од моностабилниот мултивибратор и средната вредност на излезниот напон U_{O1}
 - На местото од отпорникот $R_5 = 150 \text{ K}\Omega$ се поставува отпорник $R_5 = \dots\Omega$ и се мери соодветниот излезен напон U_{O2} при исти вредности на напонот за напојување на моторот U_N .

Отпорност $R_5=150 \text{ k}\Omega$					Отпорност $R_5=\dots\dots\dots \text{ k}\Omega$				
напон за напојување на мотор $U_N [\text{V}]$	периода на излезни импулси $T [\text{s}]$	пресметана брзина на вртење $n = \frac{60}{T} [\text{в/мин}]$	пресметана аглова брзина $\omega = \frac{2\pi}{T} [\text{rad/s}]$	излезен напон $U_{O1} [\text{V}]$	напон за напојување на мотор $U_N [\text{V}]$	периода на излезни импулси $T [\text{s}]$	пресметана брзина на вртење $n = \frac{60}{T} [\text{в/мин}]$	пресметана аглова брзина $\omega = \frac{2\pi}{T} [\text{rad/s}]$	излезен напон $U_{O2} [\text{V}]$

Табела 2.4. Внесување на резултати од извршените мерења



Слика 2.57. Преносни карактеристики на мерен претворувач за аголна брзина

- Преносните функции $U_{o1} = f(n)$ и $U_{o2} = f(n)$ се цртаат на слика 2.57. и од графиконот се одредува коефициентот на правопрпорционалност k за двата случаја.

5. Баждарење на мерниот претворувач на аголна брзина

Баждарењето овозможува директно отчитување на вредноста на аголната брзина од дисплејот на дигиталниот волтметар. Постапката е следна:

- Отпорникот R_5 го заменуваме со потенциометар $P_5 = \text{____} \text{ K}\Omega$ и со него ја нагодуваме ширината на излезните импулси U_M .
- Напонот за напојување на моторот U_M го нагодуваме така што фреквенциометарот да покаже периода $T = \text{____} \text{ ms}$ што одговара на брзина на вртење $n = \text{____}$ вртежи/минута.
- Со потенциометарот P_5 се нагодува излезниот напон на мерниот претворувач $U_o = \text{____} \text{ V}$

Добиените резултати се внесуваат во табела 2.5.

брзина на вртење	n [вр./мин]						
излезна периода	T [ms]						
вредност на волтметарот	U_o [V]						

Табела 2.5. Резултати од извршеното баждарење на мерниот претворувач на аголна брзина

Прашања и задачи за повторување на материјалот

1. Објасни ја разликата меѓу поимите сензор и мерен претворувач!

2. Како се поделени мерните претворувачи според видот на енергијата?

3. Како се поделени мерните претворувачи според видот на излезната или влезната големина?

4. Наброј неколку видови на неелектрични мерни претворувачи!

5. Како се поделени мерните претворувачи според видот на мерниот метод?

6. Кои сензори се активни, а кои пасивни? Наведи неколку примери!

7. Како се дефинирани точноста, прецизноста, резолуцијата и чувствителноста на мерните претворувачи?

8. Наброј неколку динамички карактеристики на мерните претворувачи!

9. Кои се четирите најважни спецификации на сензорите од аспект на животната средина?

10. Кои физички големини можат да се детектираат со отпорничките мерни претворувачи?

11. Кои се предности и недостатоци на термоотпорниците, термисторите и термопаровите како мерни претворувачи на температура?

12. Какви мерни претворувачи се мерните ленти? Објасни ја нивната конструкција!

13. Како се менува линеарноста на потенциометрискиот сензор во зависност од отпорноста на потрошувачот?

14. Индукцискиот сензор може да се користи како мерен претворувач на аголна брзина. Објасни го принципот на работа!

15. Кои се составни елементи на индукцискиот сензор за блискост?

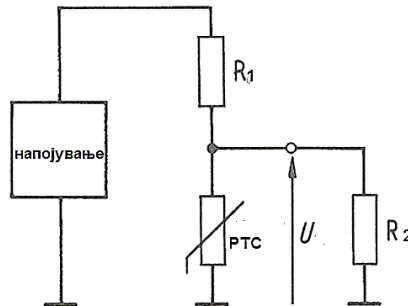
16. Кои се предностите на трансформаторскиот мерен претворувач во однос на индуктивниот?

17. Термоотпорник има температурен коефициент $200\frac{1}{K}$ и референтна отпорност $R_0 = 40 \Omega$. Колку ќе изнесува неговата отпорност на температура од $35^\circ C$?

18. Како ќе се промени отпорноста на отпорнички сензор ако должината на спроводникот се зголеми за двапати?

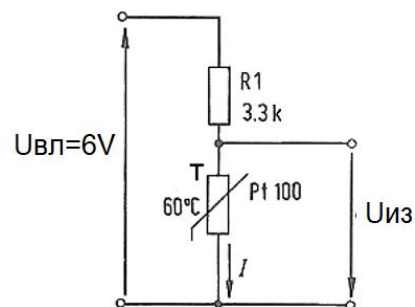
19. Објасни на кој начин плоштината на плочите и растојанието меѓу нив влијае врз капацитивноста на капацитивниот сензор?

20. На слика 2.58. е прикажано електрично коло кое често се користи во мерната техника. За што служи отпорникот R_1 ?



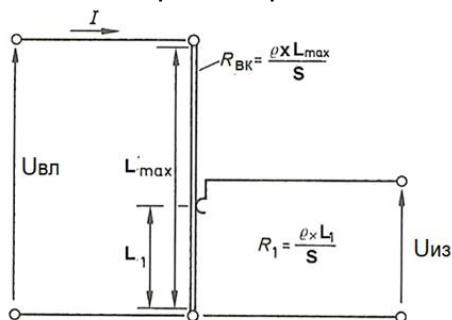
Слика 2.58. Електрично коло со термистор

21. На слика 2.59. е прикажано коло со термоотпорник Pt-100 ($\alpha = 0,00385K^{-1}$). Која е јачината на струјата I низ термоотпорникот и колку изнесува вредноста на излезниот напон?



Слика 2.59. Електрично коло со термоотпорник

22. На слика 2.60. е прикажан отпорнички сензор за линеарно поместување. За изработка на сензорот е употребена жица од константан ($\rho = 0,5 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$) и плоштина на напречен пресек $0,1 \text{ mm}^2$. Колку изнесува должината на жицата?



$$L_{\max} = 800 \text{ m}$$

$$U_{\text{вл}} = 1 \text{ V}$$

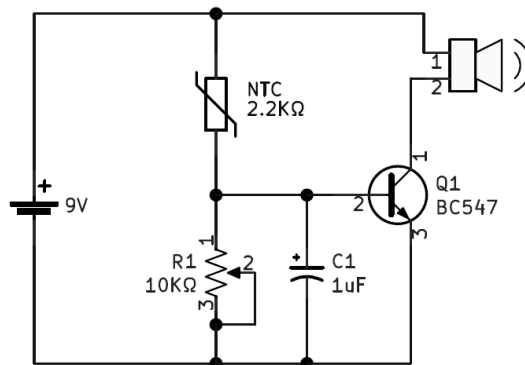
$$U_{\text{из}} = 0,3 \text{ V}$$

Слика 2.60. Потенциометриски сензор

23. На слика 2.60.е прикажан отпорнички сензор за линеарно поместување. Со цел полесно пресметување на поместувањето според равенката $L = U_1/K$ потребно е да се пресмета коефициентот на линеарност.

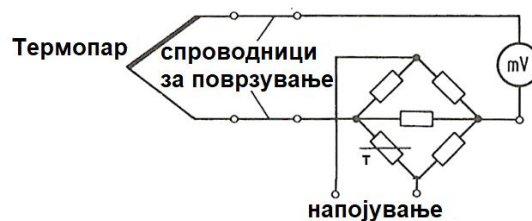
$$L_{\max} = 800 \text{ m}, U_{\text{in}} = 1 \text{ V}, U_1 = 0,3 \text{ V}$$

24. Каква намена има електричното коло прикажано на слика 2.61. ? Каков сензор е употребен и како се менува неговиот излезен напон? За што служи потенциометарот? Транзисторот се користи како прекинувач. Објасни како се вклучува и исклучува биперот!



Слика 2.61. Електрично коло за регулација на температура

25. На слика 2.62. е прикажан мерен метод за мерење температура. Која е функцијата на Витстоновиот мост со температурно зависен отпорник?



Слика 2.62. Електрично коло за мерење на температура

26. Објасни го принципот на работа на оптокаплерот!

27. Која е разликата меѓу инкрементирачки и апсолутен кодер?

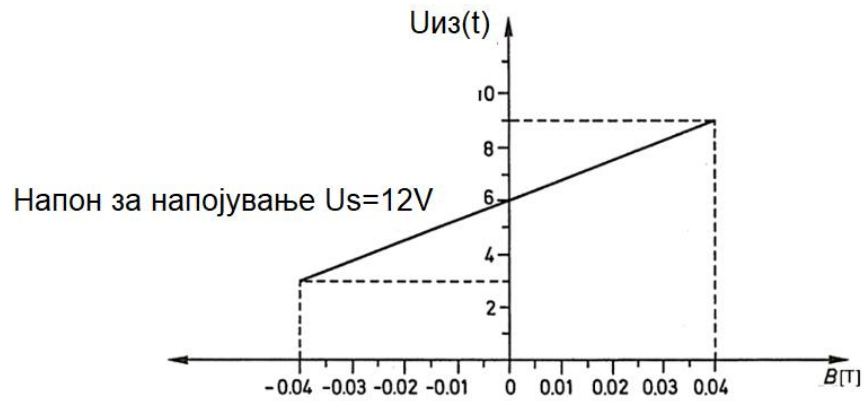
28. Објасни кои физички големини се мерат со оптички мерен претворувач!

29. Кој е најчесто користен магнетостриктен материјал?

30. Кој вид на сензор се користи во автомобилскиот автоматски систем за сопирање? Објасни го принципот на работа?

31. Која е намената на жироскопскиот мерен претворувач?

32. На слика 2.63. е прикажана преносната карактеристика на Халов сензор за линеарно поместување. За колку пати ќе се промени напонот ако векторот на магнетна индукција се зголеми за двапати?

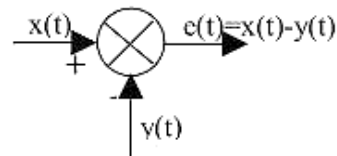


Слика 2.63. Преносна карактеристика на Халов сензор

3. Детектори на сигнал на грешка

3.1. Поим и функција на детектор на сигнал на грешка

За да функционира системот со повратна врска, потребно е излезниот сигнал од објектот на управување постојано да се следи, мери и споредува со влезната референтна големина заради утврдување на отстапувањето, односно грешката. Детекторот на сигнал на грешка е уред или комбинација од уреди кои го одредуваат **отстапувањето на реалната од референтната (посакуваната) големина**. Во блок-шемата на системот за автоматско управување, детекторот на сигнал на грешка е претставен со симболот прикажан на слика 3.1.



Слика 3.1. Симбол за детектор на грешка

Ако излезната големина во однос на референтната е од друга физичка природа, детекторот врши претворање во иста физичка големина со цел да изврши споредба. Сигналот на грешка добиен на излез од детекторот се носи на влез од регулаторот кој дејствува врз објектот на управување и на тој начин се намалува или се отстранува отстапувањето.

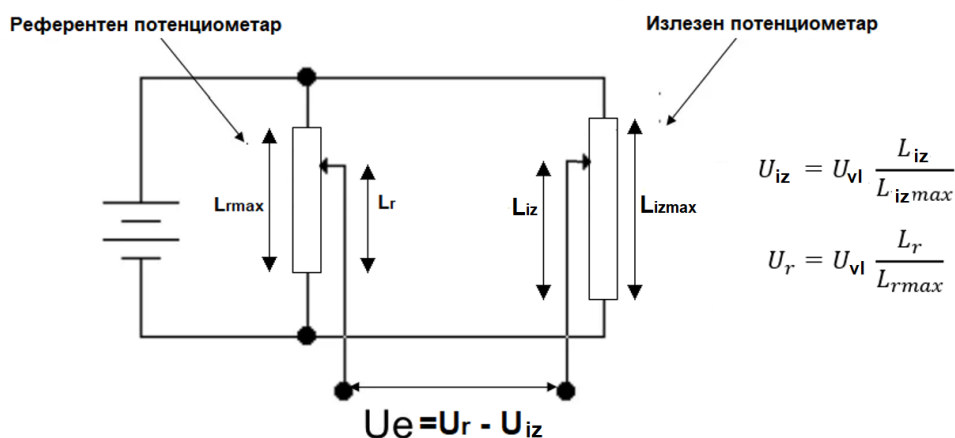
Во зависност од физичката природа на сигналите, детекторите на сигнали на грешка можат да бидат **електрични, механички, пневматски и хидраулични**. Најраспространети се електричните детектори на сигнали на грешка и во понатамошниот текст ќе бидат објаснети неколку видови од овие детектори: потенциометриски, напонски, струјни, отпорнички.

3.2. Електрични детектори на сигнал на грешка

3.2.1. Потенциометриски детектор на сигнал на грешка

Кога **регулираната величина е механичко поместување**, наједноставен начин за добивање на електричен сигнал, кој ќе одговара на разликата меѓу посакуваното и реалното поместување, е употреба на потенциометриски мост и тој е прикажан на слика 3.2. Двата потенциометри се поврзани на ист влезен

напон. Во претходната тема се запознаваме со потенциометрските сензори за линеарни и аголни поместувања и истакнавме дека напонот на излез од сензорот зависи правопрпорционално од поместувањето, слика 2.21.



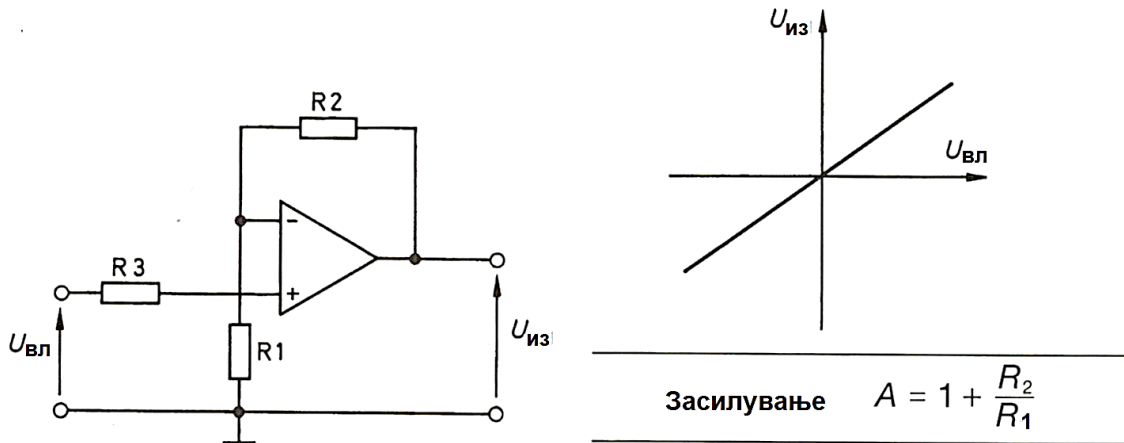
Слика 3.2. Потенциометрски детектор на грешка

Лизгачот на референтниот потенциометар се поставува во посакуваната положба. Лизгачот на излезниот потенциометар механички е поврзан со објектот на управување. Како се поместува објектот, така се поместува и лизгачот. **Сигналот на грешка е еднаков на разликата меѓу напоните на двата потенциометри, референтниот и излезниот потенциометар, $U_e = U_r - U_{iz}$.** Индексот „e“ доаѓа од англискиот збор „error“ што во превод значи грешка. Ако објектот е во саканата позиција, напоните на двата потенциометри ќе бидат еднакви, па нивната разлика ќе биде еднаква на нула. Важно е што двата потенциометри се приклучени на ист влезен напон и нивните напони зависат од положбата на лизгачите, а не од нивните должини. Напоните на потенциометрите се еднакви ако лизгачите се поставени на иста положба.

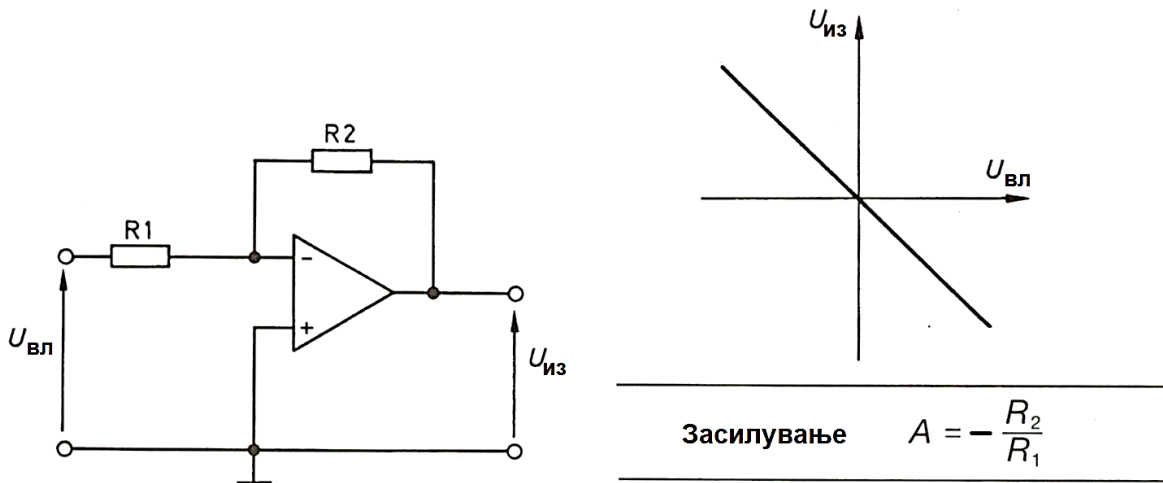
3.2.2. Операциски засилувачи и компаратори

Честопати сигналите на излез од сензорите се премногу мали и тие треба да се засилат. Засилувач може да биде транзистор, униполарен или биполарен, или операциски засилувач. Операцискиот засилувач го спомнавме уште во првата тема, во функција на управувачки орган, и тој е составен елемент од многу системи за автоматско управување. Тој претставува интегрирано коло во монолитна форма, со два влезни пинови и еден излезен. Идеалниот операциски засилувач ги има следниве **карактеристики**: бесконечно голема влезна отпорност и влезна струја еднаква на нула, бесконечно мала излезна отпорност, бесконечно засилување кога не постои повратна врска, кога влезовите не се поврзани, потенцијалната разлика меѓу нив е нула. Еден од влезовите се бележи со U+ (неинвертирачки влез), а другиот со U- (инвертирачки влез). Во зависност од видот на повратната врска, постојат **инвертирачки и неинвертирачки засилувачи**. Нивните електрични шеми, преносните функции и засилувањето се

дадени на слика 3.3. и слика 3.4. Гледаме дека излезниот напон кај инвертирачкиот засилувач е со спротивен знак во однос на влезниот.

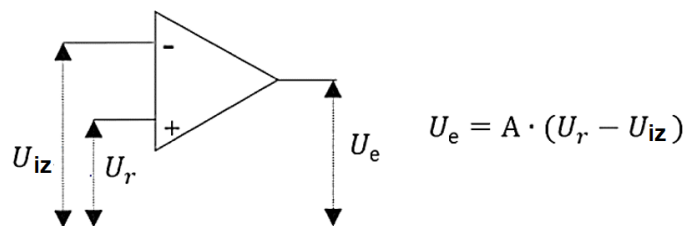


Слика 3.3. Електрична шема, засилување и преносна карактеристика на неинвертирачки засилувач



Слика 3.4. Електрична шема, засилување и преносна карактеристика на инвертирачки засилувач

Освен како засилувач, операцискиот засилувач се користи и како **компаратор**, односно напонски детектор на сигнал на грешка. **Излезниот напон зависи од засилувањето A (amplifier) и од разликата меѓу двата влезни напони U_- и U_+** . За да работи операцискиот засилувач, потребен е извор на напојување или поточно два извора за напојување – V_{cc} и $+V_{cc}$. Иако операцискиот засилувач теоретски има бесконечно засилување, сепак излезниот напон влегува во заситување, односно максималната вредност на излезот не може да биде поголема од вредноста на напоните на изворите за напојување.



Слика 3.5. Символ за компаратор како напонски детектор на сигнал на грешка

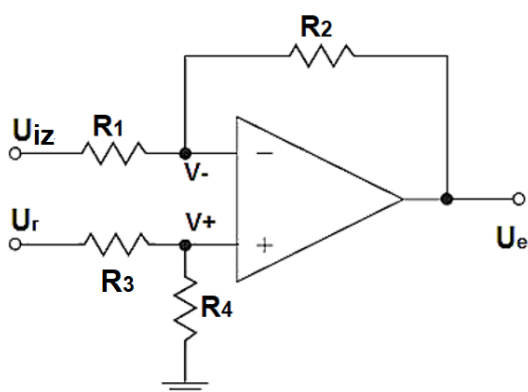
Излезот од инвертирачкиот влез е поврзан со објектот на управување и преку него се следат промените на излезната големина. Напонот на неинвертирачкиот влез претставува референтен напон.

Ако $U_r > U_{iz}$, тогаш $U_e = + V_{cc}$.

Ако $U_r < U_{iz}$, тогаш $U_e = - V_{cc}$.

Ако $U_r = U_e$, тогаш сигналот на грешка ќе биде еднаков на нула.

Кај напонскиот компаратор, сигналот на грешка не се менува право пропорционално со разликата меѓу референтниот и излезниот напон. Сигналот на грешка може да биде еднаков на нула или напонот за напојување. Зборот право пропорционален значи колку пати ќе се зголеми разликата, т.е. отстапувањето, толку пати да се зголеми сигналот на грешка на излез од детекторот на грешка. Напонски детектор на грешка кој го исполнува условот за право пропорционалност е **диференцијалниот операциски засилувач**. Тој не само што ја детектира грешката, туку ја утврдува и нејзината големина.



$$U_+ = U_r \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$I_{R_2} = \frac{U_{iz} - U_-}{R_1} = \frac{U_- - U_e}{R_2}$$

$$U_e = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_{iz} + \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_r$$

Ги изедначуваме коефициентите пред напоните U_r и U_{iz} со цел да добиеме разлика од излезниот и референтниот сигнал

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

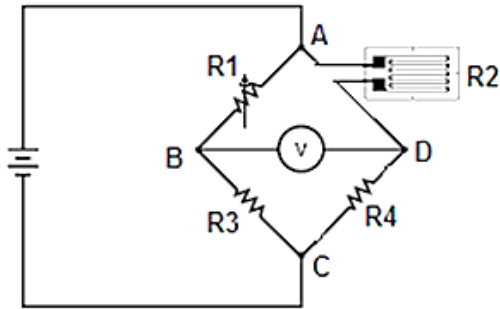
$$U_e = \frac{R_2}{R_1} (U_r - U_{iz})$$

Слика 3.6. Диференцијален операциски засилувач и основни релации

На слика 3.6. е прикажана електричната шема на диференцијалниот операциски засилувач и основните релации меѓу излезниот напон, референтниот сигнал и сигналот на грешка.

3.2.3. Отпорнички детектор на сигнал на грешка

Витстоновиот мост е пример за **отпорнички детектор на сигнал** на грешка и тој е прикажан на слика 3.7.. Тој се состои од четири гранки со отпорници, извор за напојување поставен во едната дијагонала AC и мерен инструмент поставен во другата дијагонала BD. Во гранката AB е поврзан потенциометар кој служи за избор на референтна отпорност.



Слика 3.7. Електрична шема на Витстонов мост

Во гранката AD се поставува отпорнички сензор и на слика 3.7. е избран сензор за мерење на еластична сила. Ако е исполнет условот за рамнотежа, волтметарот ќе покажува вредност нула, односно точките B и D ќе бидат со еднаков електричен потенцијал. Условот за рамнотежа зависи од односот меѓу отпорниците.

Ако волтметарот покаже одреден напон, тоа значи отпорноста на сензорот R₂ не е иста со референтната отпорност R₁.

$$U_{из} = U_3 - U_4 = U_e$$

$$U_e = U_{вл} \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4} \right)$$

Сигналот на грешка е еднаков на нула ако изразот во заградата е еднаков на нула.

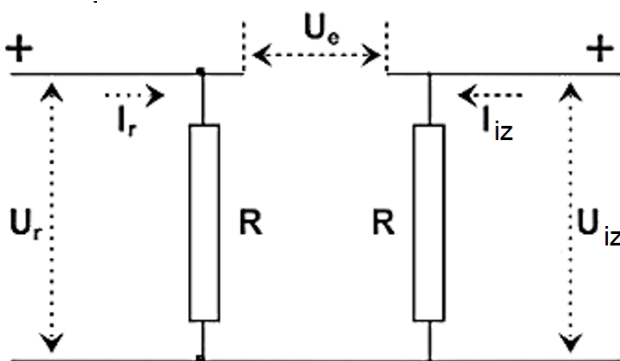
$$U_e = 0 \rightarrow \frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4} = 0$$

Од решавање на горната равенка го добиваме **условот за рамнотежа на Витстоновиот мост.**

$$R_1 \cdot R_4 = R_3 \cdot R_2$$

3.2.4. Струјни детектори на сигнал на грешка

Постојат два вида струјни детектори на сигнал на грешка. Првиот детектор се состои од две независни прости електрични кола, кои меѓусебе се споени со волтметар.



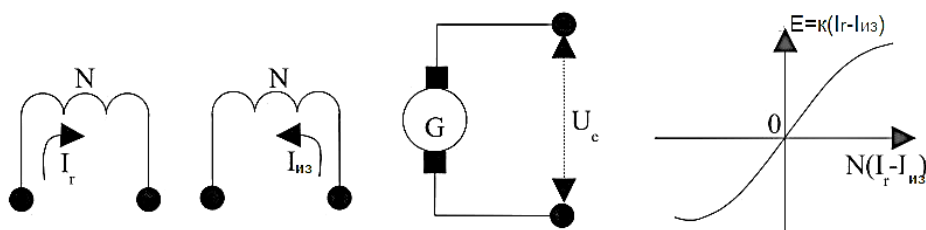
$$U_{из} = I_{из} \cdot R$$

$$U_r = I_r \cdot R$$

$$U_e = U_r - U_{из} = R(I_r - I_{из})$$

Слика 3.8. Електрична шема на струен детектор на сигнал на грешка и неговите основни релации

Струјата во првото коло е референтна струја и таа може да се регулира со помош на потенциометар. Всушност, струјата во второто коло е излезната струја од органот на управување. Волтметарот ќе покажува вредност нула кога струите во двете електрични кола ќе бидат еднакви. Споредбата на излезната струја со референтната струја се сведува на споредба на напоните на двата идентични отпорници. Вториот вид детектор на грешка на еднонасочни струјни сигнали претставува **генератор на еднонасочна струја**. Низ двете галвански изолирани намотки со ист број на намотки течат струи I_r и $I_{из}$, со спротивни насоки. Индукциониот флукс потекнува од разликата на овие две струи. Во роторот се индуцира електромоторна сила сразмерна на отстапувањето на излезната струја од референтната.

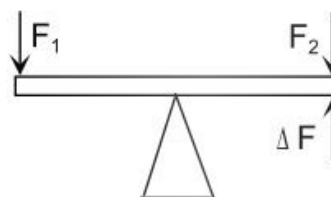


Слика 3.9. Генератор на електрична струја како струен детектор на сигнал на грешка

Напонот на приклучоците на генераторот е еднаков на електромоторната сила и претставува сигнал на грешка.

3.3. Механички детектори на сигнал на грешка

Механичкиот детектор на сигнал дава електричен сигнал на својот излез, сразмерен на разликата на две механички величини како што се поместувањето, брзината, забрзувањето итн. Наједноставен пример за **механички детектор е лостот**. Во примерот на слика 3.10. лостот се користи за споредба на сили.

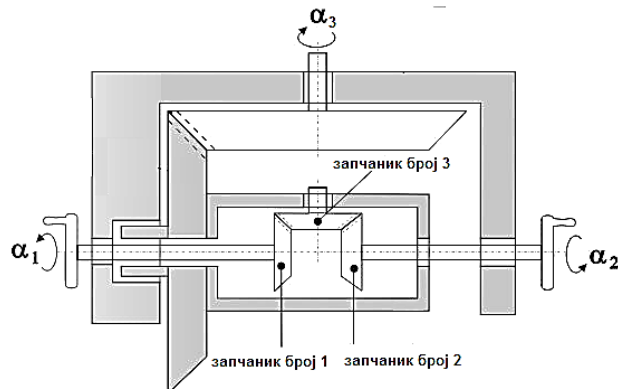


Слика 3.10. Лост како пример за механички детектор на сигнал на грешка

Да се потсетиме, на слика 1.27. беше прикажан затворен систем за механичка регулација на довод на течност. Токму во овој пример лостот е компаратор и тој врши споредба на висината на пловакот и висината на затвораот. Кога овие две величини се еднакви тогаш сигналот на грешка е еднаков на нула и вентилот е затворен.

На слика 3.11. е даден уште еден пример за механички детектор на сигнал на грешка. Составен е од три вратила кои се вртат со аголни брзини α_1 , α_2 и α_3 . Брзините α_1 и α_2 се влезни големини за детекторот на сигнал на грешка при што

α_1 е референтна брзина. Аголната брзина α_3 е сигнал на грешка и неговата големина и насока зависи од разликата меѓу аголните брзина α_1 и α_2 . Вратилата меѓу себе се поврзани со запчаници преку кои се пренесува механичката енергија. Запчаниците на вратилата α_1 и α_2 се вртат во спротивни насоки.

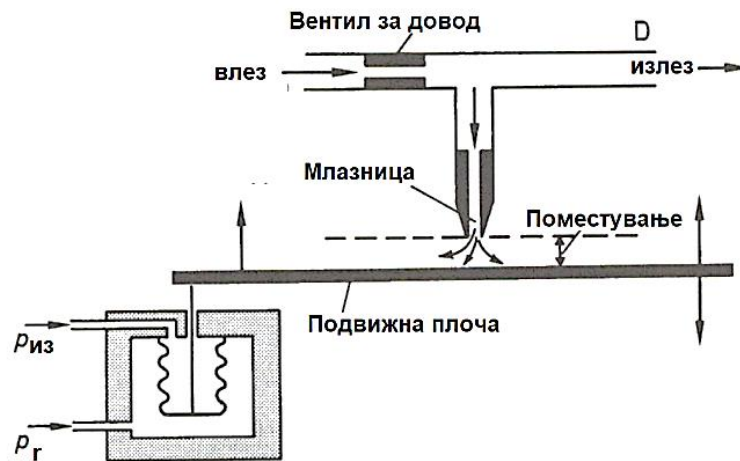


Слика 3.11. Систем од запчаници како механички детектор на сигнал на грешка

Ако $\alpha_1 > \alpha_2$ тогаш вратилото α_3 ќе се врти во насока на стрелката на часовникот со брзина еднаква на разликата на аголните брзина α_1 и α_2 . Ако $\alpha_1 < \alpha_2$ тогаш вратилото α_3 ќе се врти во насока спротивна на стрелката на часовникот.

3.4. Пневматски детектори на сигнал на грешка

Пневматските системи користат компримиран воздух како работен флуид, кој се обезбедува со компресор. Притисокот е од 5-10 bar, што е многу помал од притисоците со кои работат хидрауличните системи.



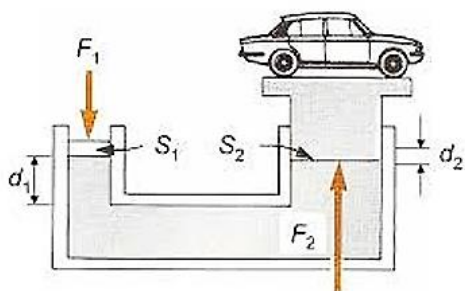
Слика 3.12. Пневматски детектор на сигнал на грешка

Со сензорите за притисок се запознавме во претходната тема. Да се потсетиме сензорите за притисок содржат мембрана која се вовлекува и извлекува. На слика 3.12. е прикажан систем кој во себе содржи пневматски детектор на сигнал на грешка. Детекторот содржи мембрана и врз неа дејствуваат притисоците p_r и $p_{из}$. Притисокот p_r е референтен (посакуван) притисок, а $p_{из}$ е притисок на излез

од објектот на управување. Притисоците дејствуваат на различни страни од внатрешната мембрана. Кога притисоците се изедначени мембраната нема да биде ни вдлабната ни испакната. Всушност мембраната има улога на компаратот. Таа е механички поврзана со плочата која може да се поместува горе-долу и на таков начин влијае врз работата на млазницата. Вредноста на поместувањето зависи правопрпорционално од разликата меѓу притисоците p_1 и p_2 .

3.5. Хидраулични детектори на сигнали на грешка

Хидрауличните системи го користат притисокот на течностите за да извршат работа. Паскаловиот закон е основа на хидрауликата и пневматиката. Овој закон е познат под името принцип на пренос на притисок. Низ течностите или гасовите кои се наоѓаат во затворен сад, надворешниот притисок се пренесува во сите правци подеднакво. Овој закон наоѓа голема примена во хидрауличните уреди, како што се дигалки, кочници, пумпи, вентили. За да се разбере Паскаловиот закон ќе ја искористиме слика 3.13. Со притисокот како физичка величина се запознавме во претходната тема и кажавме дека притисокот се дефинира како сила која дејствува на единица површина. Помалата површина бара помала сила.



$$p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

Слика 3.13. Употреба на енергијата на течностите

Се разбира поголемиот цилиндар се поместува за многу помало растојание во однос на помалиот цилиндар, па извршената работа ќе биде еднаква.

На слика 3.14. подолу е прикажан хидрауличен цилиндар. Овој цилиндар има два влезни канали. Како ќе се движи клипот зависи од притисокот на двата канали. Каналот број 1 ја полни левата комора, а каналот број 2 ја полни десната комора.



Слика 3.14. Принцип на работа на хидрауличен детектор на сигнал на грешка

Кога $p_1 > p_2$ клипот се движи од лево кон десно, а кога $p_1 < p_2$ клипот се движи од десно кон лево. Притисокот на едниот клип може да биде референтен притисок, а притисокот на другиот клип да одговара на објектот на управување. Самиот клип може механички да се поврзе со лизгачот на потенциометар кој преку промена на струјата ќе го менува притисокот на излез од објектот (пумпата).

3.6. Практична употреба на детектор на сигнал на грешка: анализа и демонстрација на работа на напонски компаратор

1. Цел на вежбата

За реализација на вежбата ќе користиме симулатор на електрични кола, „Circuit Wizard“, или „Livewire“. Цел на вежбата е анализа на електрично коло за автоматско управување со мотор, со употреба на температурен мерен претворувач, напонски компаратор и релеј. Електричната шема може да се искористи и за практична реализација на уредот, на протоплочка или печатена плочка.

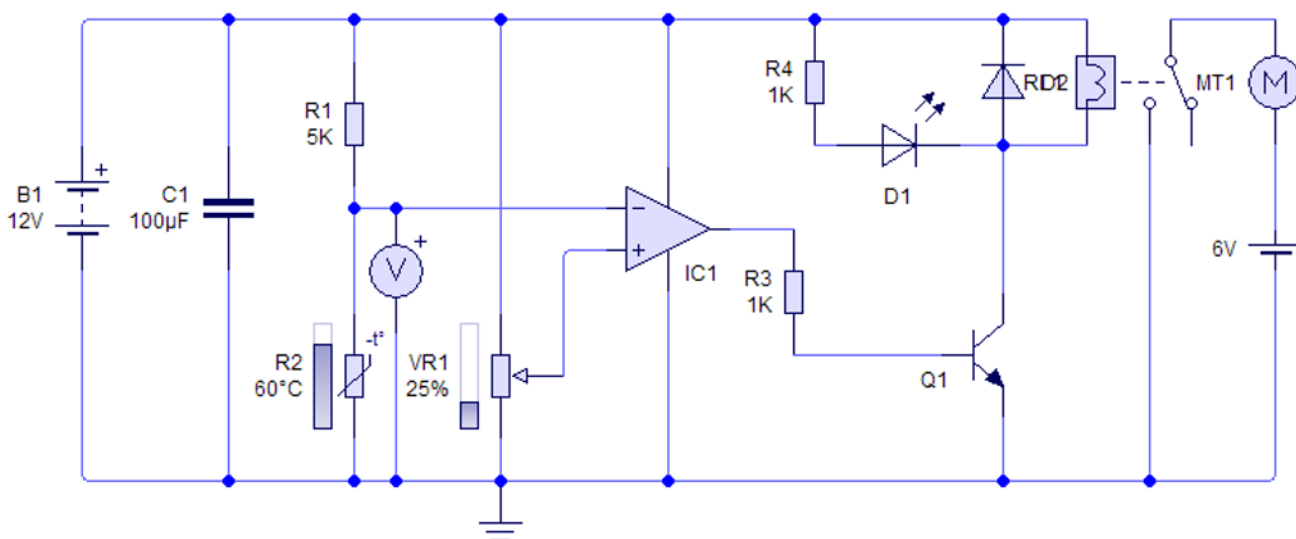
2. Потребни инструменти, материјали и прибор

- Компјутер
- Симулатор на електрични кола, „Circuit Wizard“ или „Livewire“.

3. Опис на колото

На слика 3.15. е прикажана електричната шема на коло за автоматско управување со мотор со помош на напонски компаратор. NTC сензорот му дава информација на компараторот за промените на температурата. Врз основа на таа информација, компараторот го затвора или го отвора преклопникот на релејот и се врши вклучување и исклучување на моторот. Двата влеза на компараторот се поврзани со напонски делители. Првиот напонски делител го одредува напонот на инвертирачкиот влез и претставува влезна големина за системот. Тој се состои од отпорник со константна отпорност (5 K Ω) и NTC термистор. Бидејќи термисторот е со негативен температурен коефициент, кога температурата се зголемува, отпорноста на термисторот се намалува. Помалата отпорност на термисторот значи помал напон на инвертирачкиот влез. Ова значи дека доколку сакаме моторот да се вклучи на пониска температура, тогаш и потенциометарот мора да го нагодиме на пониска вредност. Всушност, самиот потенциометар е напонски делител за вториот, неинвертирачки влез на компараторот и служи за наголдување на референтната вредност на системот. На пример, ако потенциометарот го поставиме во положба 25 %, тогаш и напонот на неинвертирачкиот влез ќе биде 25 % од напонот од напојувањето, односно 3

V. За да се активира излезот на компараторот, напонот на краевите од термисторот треба да биде поголем од референтниот напон. Транзисторот претставува засилувач и е неопходен за активирање на релејот.



Слика 3.15. Шема за поврзување на NTC термистор во електрично коло

Ова што е досега кажано може да се докаже со користење на симулаторот, но и со мерење и пресметки, пред сè на отпорноста и напонот на краевите на термисторот за различни вредности на температурата.

4. Подготовка за вежбата

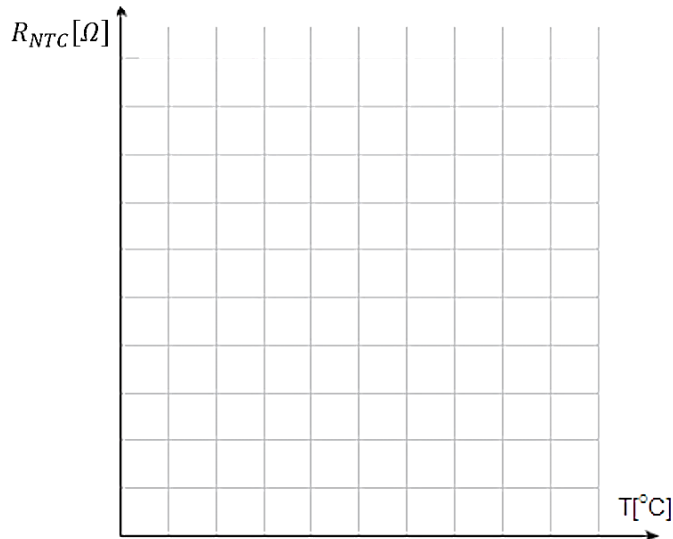
Учениците да се потсетат на основните карактеристики на напонскиот компаратор и зависноста на излезниот сигнал од вредноста на двата влезни сигнала.

5. Поврзување на електричното коло и мерење

- Откако ќе се состави електричното коло како што е прикажано на слика 3.15., тоа треба да се симулира со притискање на копчето „Play“.

Мерења реден број	Измерени вредности			Пресметани вредности $R_{NTC}[\Omega]$
	$T[^\circ\text{C}]$	$U_+[V]$	$I_{NTC}[A]$	
1	-20°C			
2	0°C			
3	+20°C			
4	+40°C			
5	+60°C			
6	+80°C			

Табела 3.1. Зависност на отпорноста на NTC термисторот од температурата



Слика 3.16. Преносна карактеристика на температурен сензор

Потоа со глумчето се менува температурата на сензорот и на одредена температура треба да се вклучи или исклучи ЛЕД-диодата и моторот. ЛЕД-диодата претставува индикатор.

- При секоја промена на температурата да се измерат напонот и струјата со мерен инструмент и добиените резултати да се запишат во табела 3.1. Резултатите од табела 3.1. да се пренесат во графиконот на слика 3.16. и да се нацрта преносната карактеристика на температурниот сензор $R_{NTC} = f(T)$

Заклучок:

Дали добиената преносна карактеристика е линеарна?

- Да се пресмета отпорноста на термисторот во моментот на вклучување на моторот за три различни положби на лизгачот на потенциометарот, 25 %, 50 % и 75 %.

Пресметка	Потенциометар	U ₊ [V] = U ₊ [V]	I _{NTC} [A]	R _{NTC} [Ω]	T [°C]
1	25 %				
2	50 %				
3	75 %				

Табела 3.2. Пресметка на отпорност на термистор за различни вредности на референтниот напон

Да се потсетиме, до вклучување или исклучување на моторот доаѓа во моментот кога двата влезни напони ќе се изедначат. Преносната

карактеристика ја користиме за определување на температурата. Резултатите од пресметката да се внесат во табела 3.2.

- Претходната постапка треба да се повтори со употреба на симулаторот на електрични кола

Мерење	Потенциометар	T[°C] на вклучување и исклучување
1	25 %	
2	50 %	
3	75 %	

Табела 3.3. Проверка на податоците добиени со пресметка и употреба на симулатор

3.7. Изработка на електричен детектор на сигнал на грешка (Витстонов мост)

1. Цел на вежбата

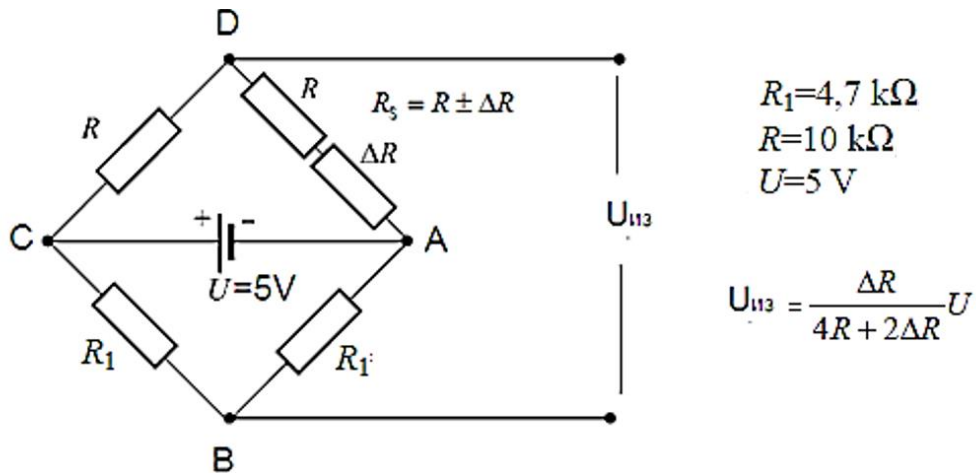
Витстоновиот мост многу често се користи како мерен претворувач или детектор на грешка во системите за автоматско управување. Цел на оваа вежба е да се испита преносната карактеристика на Витстоновиот мост, односно да се утврди дали зависноста на излезниот напон од промените на отпорноста е линеарна функција. По извршените мерења треба да се пресмета грешката, односно разликата меѓу релативната промена на излезниот напон во однос на релативната промена на отпорноста $\frac{U_{\text{из}}}{U} - \frac{\Delta R}{R}$. Доколку оваа разлика е помала, тогаш и линеарноста ќе биде поголема.

2. Потребни инструменти, материјали и прибор

- Стабилизиран извор на еднонасочен напон
- Универзален мерен инструмент
- Макета со Витстонов мост

3. Опис на макетата

Макетата се изработува според електричната шема прикажана на слика 3.17. Потребни елементи се два отпорника со отпорност 10 KΩ и мрежа од отпорници со вкупна отпорност од 10 KΩ. Потребни се десет мерења за десет промени на отпорноста. Вредноста на отпорникот постојано се зголемува, почнувајќи од номиналната вредност до двојно поголема вредност: $R_s = R$, $R_s = 1,1R$, $R_s = 1,2R$ $R_s = 2R$.



Слика 3.17. Електрична шема на Витстонов мост со променлив отпорник

4. Подготовка за вежбата

Да се истакне разликата меѓу поимите Витстонов мост во рамнотежна и нерамнотежна состојба. Учениците да се потсетат на формулата за излезен напон во случај кога Витстоновиот мост е во рамнотежа. Учениците треба да се потсетат на постапката на линеаризација на преносна карактеристика.

5. Поврзување на макетата и мерење

- Мостот да се приклучи на извор на еднонасочен напон.
- При секоја промена на отпорноста да се измери излезниот напон со универзален мерен инструмент и добиените резултати да се запишат во табела 3.4.

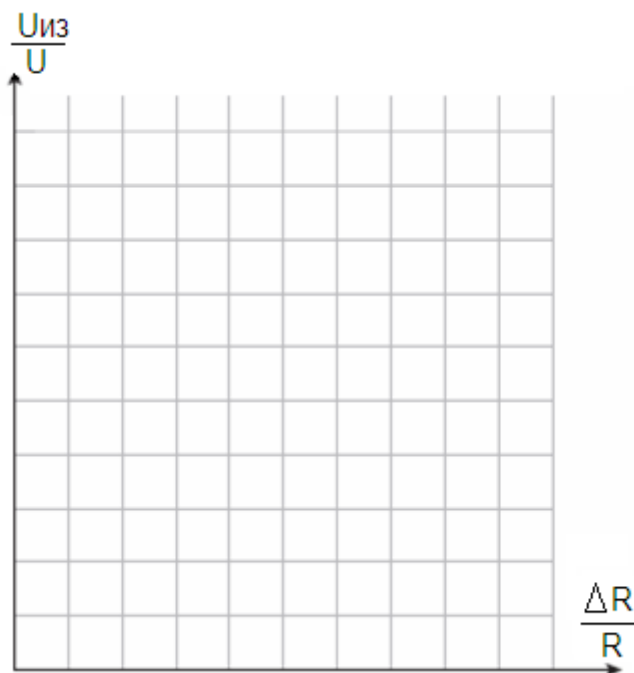
Мерења реден број	отпорност		Излезен напон		Отстапување $\Delta = \frac{U_{из}}{U} - \frac{\Delta R}{R}$
	$\Delta R[\Omega]$	$\frac{\Delta R}{R}$	$U_{из} [V]$	$\frac{U_{из}}{U}$	
1		0			
2		0,1			
3		0,2			
4		0,3			
5		0,4			
6		0,5			
7		0,6			
8		0,7			
9		0,8			
10		0,9			
11		1			

Табела 3.4. Мерење на излезен напон и пресметка на отстапување

- По извршените мерења да се пресмета релативната промена на отпорноста и релативната промена на излезниот напон и разликата меѓу нив (отстапувањето).

мерења реден број	отпорност		Излезен напон	
	$\Delta R[\Omega]$	$\frac{\Delta R}{R}$	$U_{из}[V]$	$\frac{U_{из}}{U}$
1		0		
2		0,1		
3		0,2		
4		0,3		
5		0,4		
6		0,5		
7		0,6		
8		0,7		
9		0,8		
10		0,9		
11		1		

Табела 3.5. Мерење на излезен напон и пресметка на отстапување по извршена линеаризација



Слика 3.19. Преносна карактеристика на Витстонов мост, со и без линеаризација

Прашања и вежби за повторување на материјалот

1. Кој сигнал го нарекуваме сигнал на грешка? Како се пресметува тој?

2. Како се поделени детекторите на сигнал на грешка според видот на физичките големини?

3. Објасни го принципот на работа на потенциометрискиот мост како детектор на сигнал на грешка! За какви физички големини се користи тој?

4. Кои се основните карактеристики на операциските засилувачи? Која е нивната намена во системите за автоматско управување?

5. Диференцијалниот операциски засилувач и компараторот се напонски детектори на сигнал на грешка? Објасни ја разликата меѓу нив!

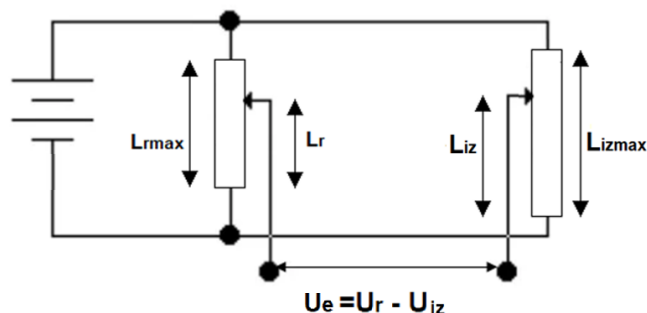
6. Опиши ја конструкцијата на Витстоновиот мост! Кој е условот за негова рамнотежа?

7. Објасни го принципот на работа на генератор на електрична струја како струен детектор на сигнал на грешка!

8. Наведи пример за механички детектор на сигнал на грешка!

9. Наведи пример за пневматски детектор на сигнал на грешка!

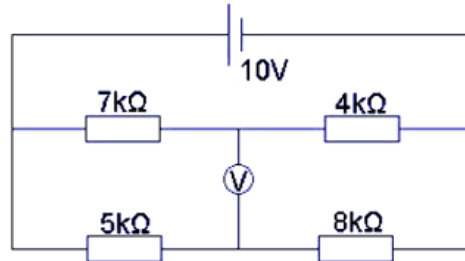
10. Кај потенциометрискиот детектор на сигнал на грешка прикажан на слика 3.20. , референтниот потенциометар е со должина 10 cm, а максималното поместување на објектот изнесува 1 m. Пресметај ја положбата на лизгачот на потенциометарот поврзан со излезот на објектот на управување ако лизгачот на референтниот потенциометар е во положба $L_r = 2\text{ cm}$ и $U_{вп} = 10\text{ V}$.



Слика 3.20. Потенциометарски детектор на сигнал на грешка

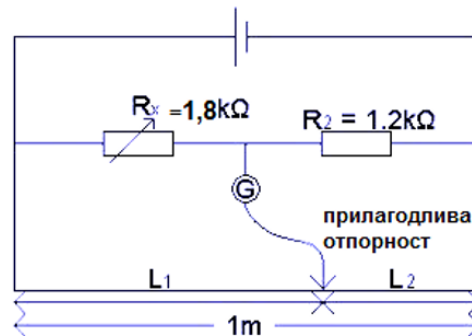
11. Кој закон е основа на хидрауличните детектори на сигнал на грешка? Како гласи тој?

12. Дали Витстоновиот мост на слика 3.21. е во рамнотежа? Пресметај го сигналот на грешка!



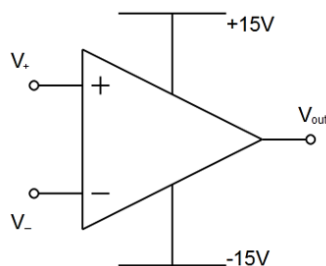
Слика 3.21. Витстонов мост

13. Пресметај во каков однос треба да бидат должините L_1 и L_2 за Витстоновиот мост да биде во рамнотежа!



Слика 3.22. Витстонов мост

14. Напонот на излез од компараторот може да биде еднаков на +13 V, -13 V и 0 V. Одреди ја неговата вредност за следните влезни напони:



- $U_+ = 6 \text{ V}, U_- = -4 \text{ V}$
- $U_+ = -3 \text{ V}, U_- = +3 \text{ V}$
- $U_+ = 6 \text{ V}, U_- = -4 \text{ V}$
- $U_+ = 6 \text{ V}, U_- = 6 \text{ V}$

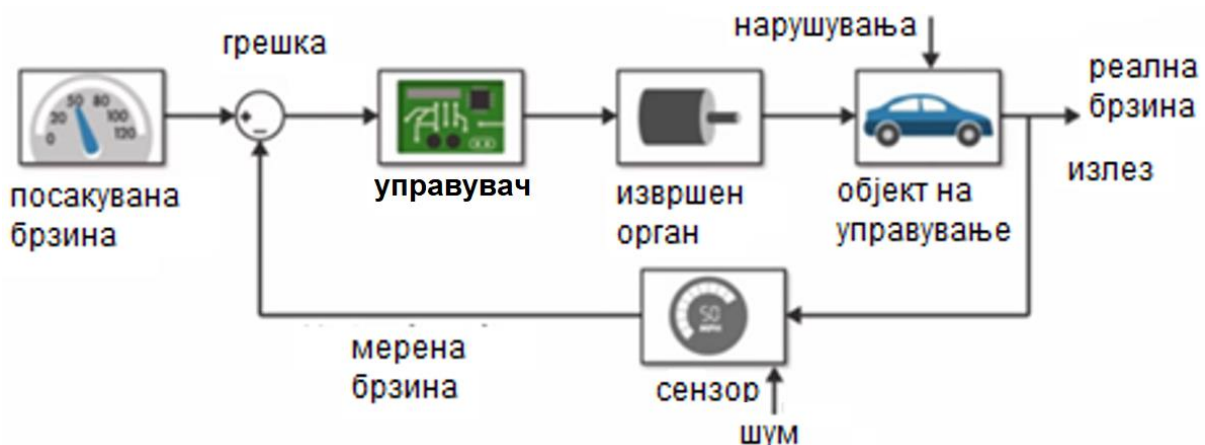
Слика 3.23. Компаратор

15. Колку треба да изнесува отпорноста на фотоотпорникот за сигналот на грешка во колото прикажано на слика 3.24. да биде еднаков на нула? Познати се вредностите на отпорниците $R_1 = 120 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 240 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 36 \text{ k}\Omega$.

4. Регулатори

4.1. Структура на регулатор во регулационен круг

Досега се запознавме со мерните претворувачи и детекторите на сигнали на грешка. Во оваа тема ќе ги проучиме регулаторите или управувачите кои се користат во системите за автоматско управување. Во блок-шемата на системот за автоматско управување, регулаторот се наоѓа помеѓу детекторот на сигнал на грешка и извршниот орган. **На влез од регулаторот доаѓа сигналот на грешка** и врз основа на неговата големина регулаторот одлучува какви дејства ќе бидат преземени со цел да се корегира грешката. Излезот на регулаторот е поврзан со влезот на извршниот орган. **Регулаторот генерира сигнали кои го побудуваат, активираат извршниот орган**, кој пак е поврзан со објектот на управување и на тој начин системот може да се справи со нарушувањата и разните варијации во системот. На слика 4.1. е претставен пример за затворен систем за автоматска регулација на брзина, односно одржување на константна брзина. Истиот систем е прикажан и на слика 1.26, но човекот кој размислува и притиска на педалот за гас е заменет со управувач кој влијае и ја одредува брзината на работа на моторот, односно автомобилот (објектот на управување).



Слика 4.1. Улогата на регулаторот во регулациониот круг

Наша цел е да извршиме поделба на регулаторите во зависност од нивните статички и динамички карактеристики. Акцент ќе ставиме на преносната функција и временските одзиви. При анализа во временски домен ќе користиме

три различни побуди: отскочна, пилеста и триаголна. Тие се прикажани на слика 1.11.

Во зависност од видот на сигналите, регулаторите се поделени на **континуирани и дискретни**. Кај регулаторите со континуирано дејствување, излезниот сигнал може да има една од бесконечно многу вредности во рамките на дозволеният опсег. Континуирани регулатори се превопропорционалните, интегралните и диференцијалните регулатори. Тие се дел од аналогната технологија и нивна основа се операциските засилувачи. Регулаторите со неконтинуирано дејствување се познати под името дискретни регулатори. Кај нив излезниот сигнал може да биде со две или три вредности, во зависност од големината на влезниот сигнал. Управувачите со неконтинуирано дејствување можат да се поделат во три групи: двоположбени и троположбени, импулсни и дигитални регулатори. Всушност, дигиталните регулатори се програмабилни микроуправувачи. Тие содржат меморија и микропроцесор во својот состав. Врз основа на податоците добиени од мерните претворувачи или детекторите на сигнал на грешка, микропроцесорот процесира и одлучува кои излезни уреди ќе бидат активирани.

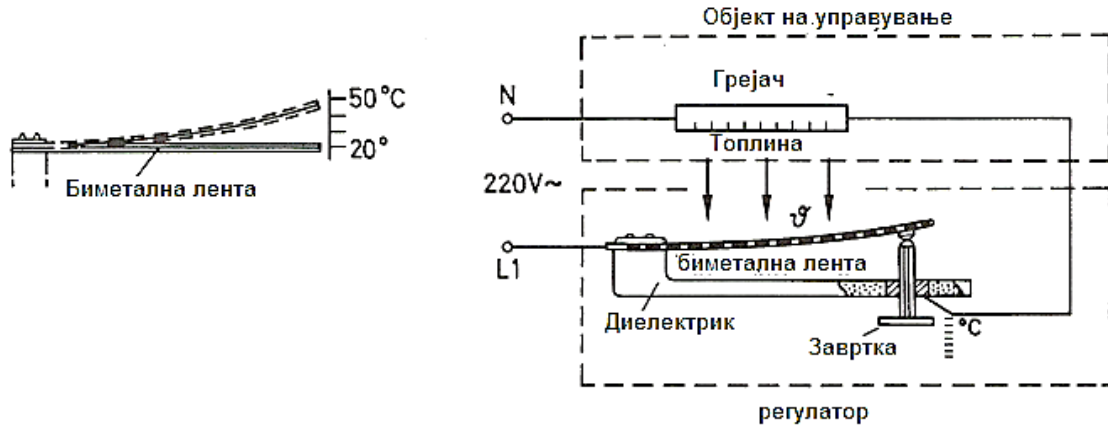
4.2. Регулатори со неконтинуирано дејствување

4.2.1. Двоположбени и троположбени регулатори

Кај двоположбените регулатори референтна вредност претставува **гранична вредност**. Кога влезниот сигнал е под граничната вредност излезот е вклучен, а кога е над граничната вредност тој е исклучен. **Двоположбени регулатори** се релеите, електронските прекинувачи, електромагнетните вентили и контакторите. Во **електронски прекинувачи** спаѓаат транзисторите и тријациите. Двоположбен регулатор претставува и компараторот со операциски засилувач (слика 3.5.). Двоположбените регулатори се евтини, едноставни по конструкција и поради нивните карактеристики се познати под името регулатори за вклучување и исклучување.

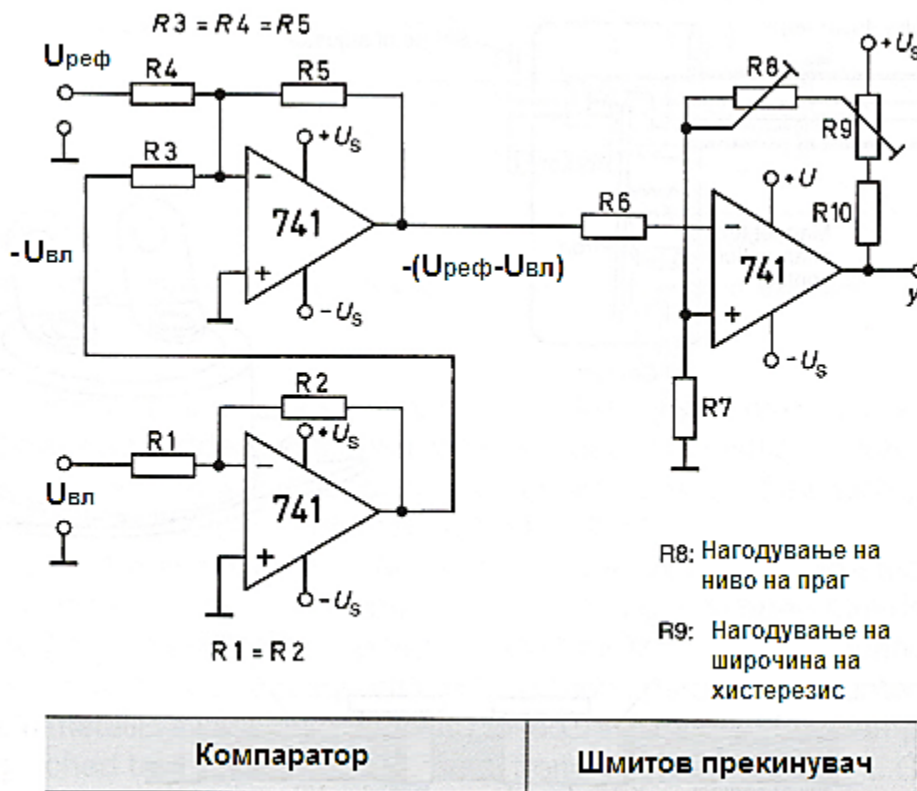
Двоположбените регулатори најчесто се користат за регулација на температура. На слика 4.2. е прикажан температурен **регулатор со биметална лента**. Биметалната лента се состои од две споени ленти, изработени од различен материјал. Бидејќи различните материјали имаат различни температурни коефициенти на линеарно ширење, кога се загреваат лентите различно се издолжуваат и биметалната лента се витка на страната на металот со помал коефициент на температурно ширење. Степенот на извитканост зависи од големината на температурата. Референтната вредност се нагодува со помош на завртка и со поместување на завртката се поместува контактот меѓу завртката и биметалната лента. Кога температурата е помала од референтната вредност контактот е затворен, а со покачување на температурата контактот се отвора и

низ електричното коло не тече струја. Недостаток на двоположбените регулатори е појавата на осцилации кога регулаторот работи на температура блиска до референтната вредност. Брзото вклучување-исклучување штетно влијае врз животниот век на регулаторот.



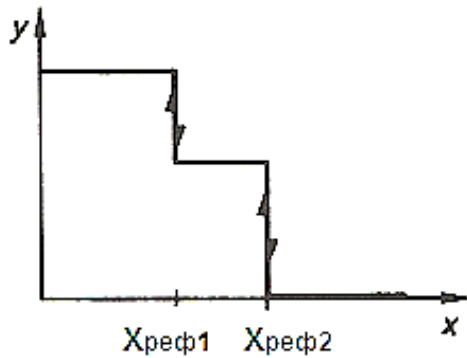
Слика 4.2. Биметален температурен регулатор (принцип на работа на електрична пегла)

На слика 4.3 е прикажан **електричен двоположбен регулатор** со операциски засилувачи. Влезниот сигнал $U_{вл}$ се засилува и во компараторот се споредува со референтната вредност $U_{реф}$. Добиениот сигнал на грешка претставува влез за Шмитовиот прекинувач кој всушност претставува двоположбен регулатор.



Компаратор	Шмитов прекинувач
------------	-------------------

Слика 4.3. Електронски двоположбен регулатор

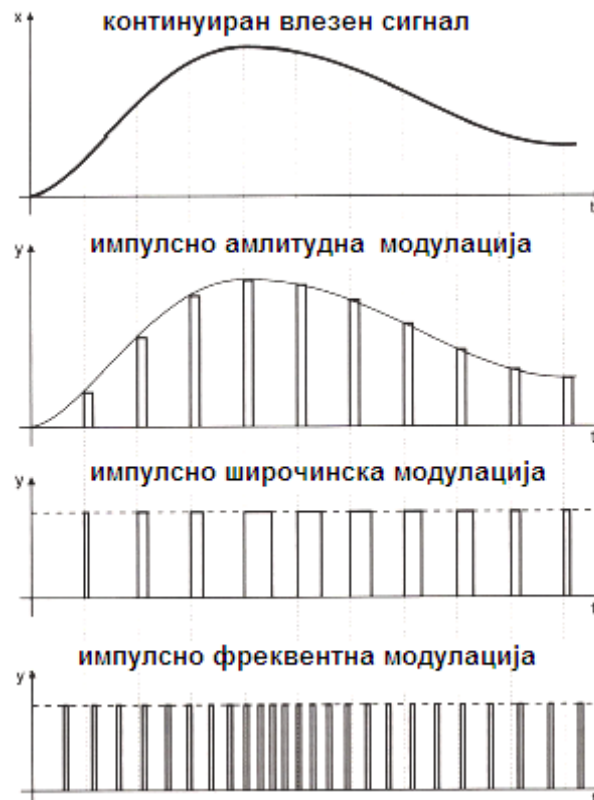


Слика 4.4. Преносна карактеристика на троположен регулатор

Кај троположените регулатори наместо една гранична вредност имаме граничен опсег од $X_{\text{реф1}}$ до $X_{\text{реф2}}$ (слика 4.4.). Наједноставен пример за троположен регулатор е регулаторот за климатизација. Кога температурата е под вредноста $X_{\text{реф1}}$ излезот вклучува греење, ако е меѓу двете референтни вредности излезот не е активен и кога температурата е над вредноста $X_{\text{реф2}}$ излезот вклучува ладење.

4.2.2. Импулсни регулатори

Импулсните регулатори користат импулсно модулирани сигнали. Во првата тема се запознаваме со поимот дискретизација на континуиран сигнал и добивање на импулсно модулирани сигнали. На слика 4.5 се прикажани повеќе видови на импулсно модулирани сигнали.



Слика 4.5. Импулсно модулирани сигнали

На пример, **импулсно ширински модулираните сигнали** може да управуваат со интензитетот на светлината или аголот на вртење на серво моторот. Колку се пошироки импулсите толку интензитетот на светлината или аголот на вртење ќе

бидат поголеми. Интензитетот на светлината и аголот на вртење се аналогни величини и за да се управува со нив импулсите треба да поминат низ нискофреквентен филтер, на чиј излез повторно се добива континуиран сигнал. Денес најраспространети регулатори се дигиталните регулатори што се должи на брзиот развој на микропроцесорската техника. Дигиталните регулатори се одликуваат со најголема прецизност, голема отпорност на шум, истовремено управување со неколку објекти, сложени управувачки алгоритми, автоматско откривање и отстранување на грешки, голема флексибилност поради нивната програмибилност, ниска цена, големина, маса и потрошувачка на енергија.

4.3. Регулатори со континуирано дејствување

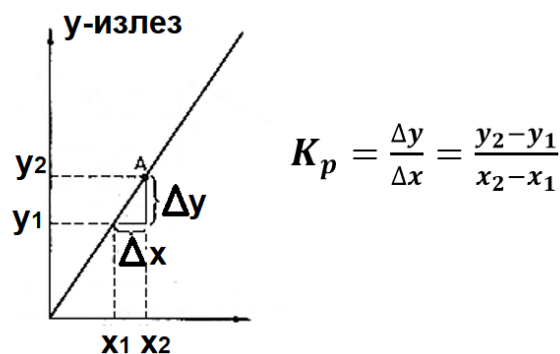
Основни регулатори со континуирано дејствување се пропорционалните, интегралните и диференцијалните регулатори. Всушност, тоа се математички модели и со нивно комбинирање може да се опише кој било регулатор во системот за автоматско управување. Во процесното управување може да се појави мртво време или време на доцнење и тие треба да бидат земени предвид при креирањето на математичкиот модел.

4.3.1. Пропорционални регулатори

Кај пропорционалниот регулатор, влезниот и излезниот сигнал се правопрпорционално зависни, што значи **колку пати ќе се намали или зголеми влезот толку пати ќе се намали или зголеми излезот**. Преносната функција е дадена со равенката

$$y = K_p \cdot x \quad \text{или} \quad \Delta y = K_p \cdot \Delta x$$

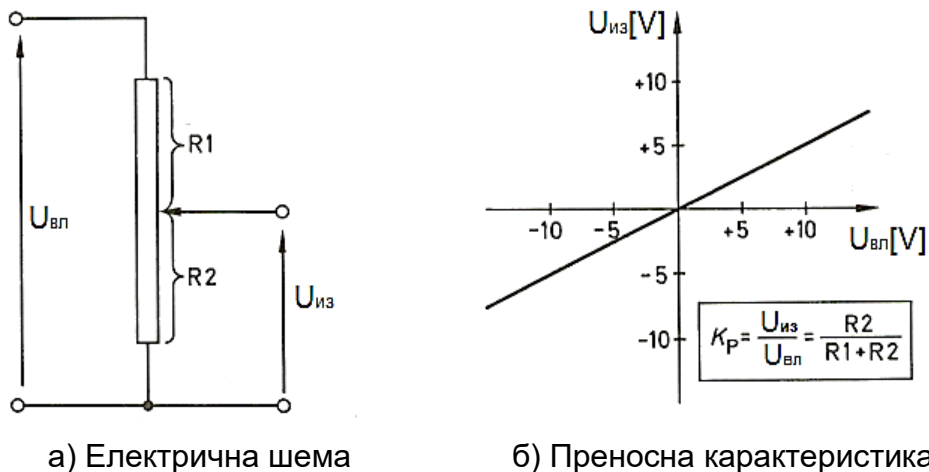
каде што Δx е промена на влезниот сигнал, Δy е промена на излезниот сигнал и K_p е константа на правопрпорционалност. Кај чисто пропорционалниот регулатор без време на доцнење не постои фазна разлика меѓу влезниот и излезниот сигнал.



Слика 4.6. Определување на коефициент на правопрпорционалност за пропорционален регулатор

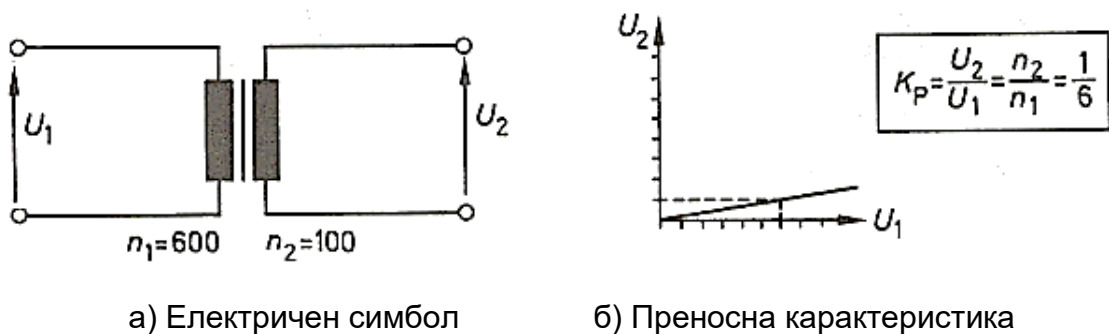
Коефициентот на правопрорционалност може да се определи графички, преку преносната функција на регулаторот. Ова е прикажано на слика 4.6. Доколку се работи за линеарна функција при изборот на почеток и крај на интервалот на вредности, $\Delta x = x_2 - x_1$, почетокот може да се избере случајно, почнувајќи и од вредност нула. Тоа не важи доколку функцијата е нелинеарна и тогаш треба да се изврши делумна линеаризација

Пример 1: Напонскиот делител е пропорционален регулатор. За разлика од инвертирачкиот засилувач, коефициентот на правопрорционалност кај напонскиот делител е помал од еден.



Слика 4.7. Напонски делител како правопрорционален регулатор

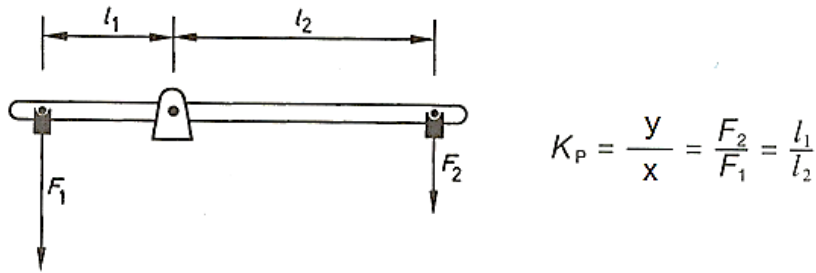
Пример 2: Доколку не дојде до заситување на магнетизирањето, трансформаторот за наизменична струја претставува пропорционален регулатор.



Слика 4.8. Трансформатор за наизменичен напон како правопрорционален регулатор

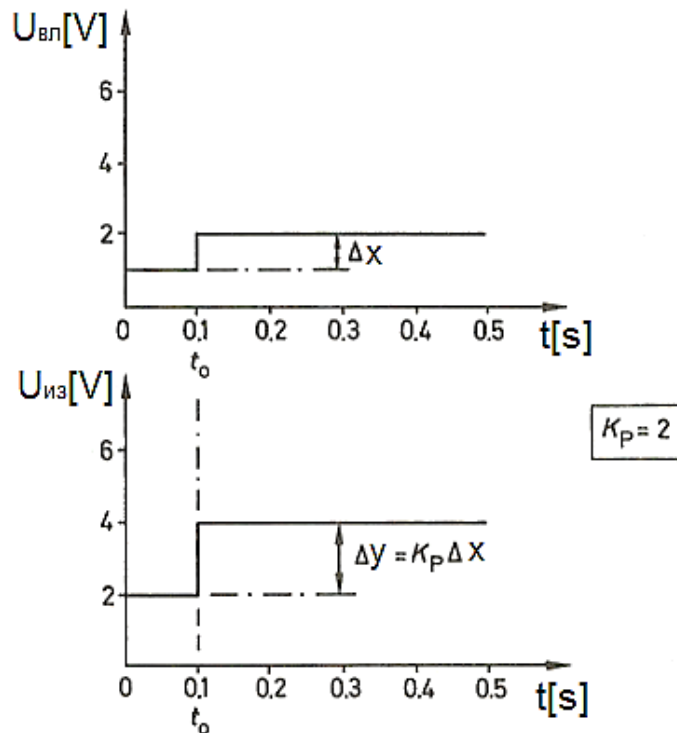
Коефициентот на правопрорционалност претставува количник од бројот на навивки во секундарната и бројот на навивки во примарната намотка.

Пример 3: Пример за механички пропорционален регулатор е лостот. Коефициентот на правопрорционалност е количник од должините на краците.



Слика 4.9. Лост како пропорционален регулатор

Отскочната побуда и одзив за правопрпорционален регулатор се прикажани на слика 4.10.

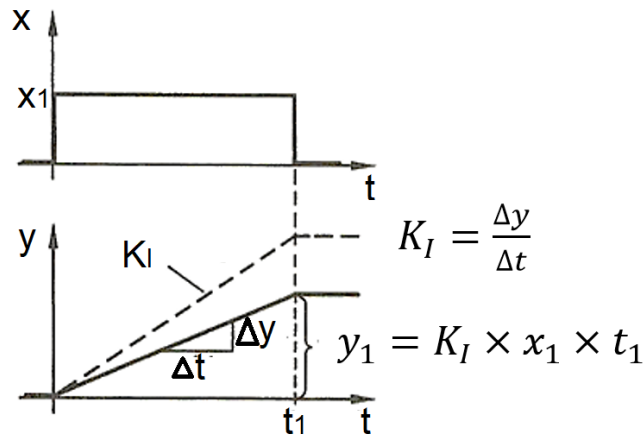


Слика 4.10. Отскочна побуда и одзив на пропорционален регулатор

Од временскиот дијаграм може да се пресмета коефициентот на правопрпорционалниот, кој ни покажува колкупати се намалил или се зголемил излезот во однос на влезот.

4.3.2. Интегрален регулатор

Интегрирањето е математичка операција која се користи за пресметка на должини, плоштини, волумени на неправилни линии, форми, фигури. **Со интегрирањето се врши сумирање, акумулација на мали делови** од една сложена целина. На слика 4.11 се прикажани отскочната побуда и одзив на интегрален регулатор.

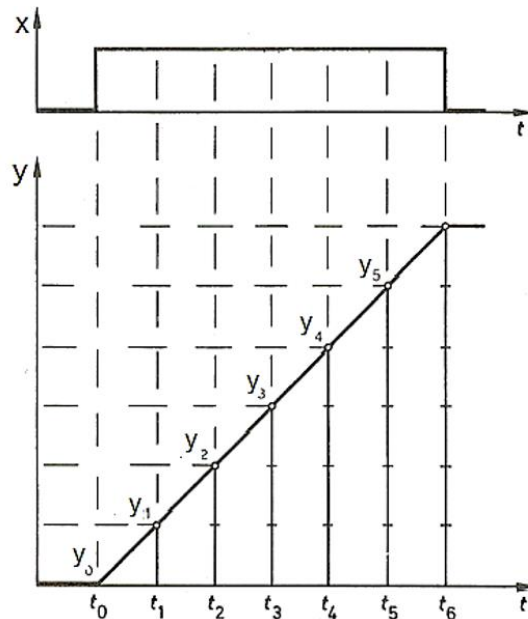


Слика 4.11. Отскачна побуда и одзив на интегрален регулатор

Излезниот сигнал зависи од влезниот сигнал и од времето на неговото дејствување. Преносната функција е дадена со равенката

$$y = K_I \cdot x \cdot t$$

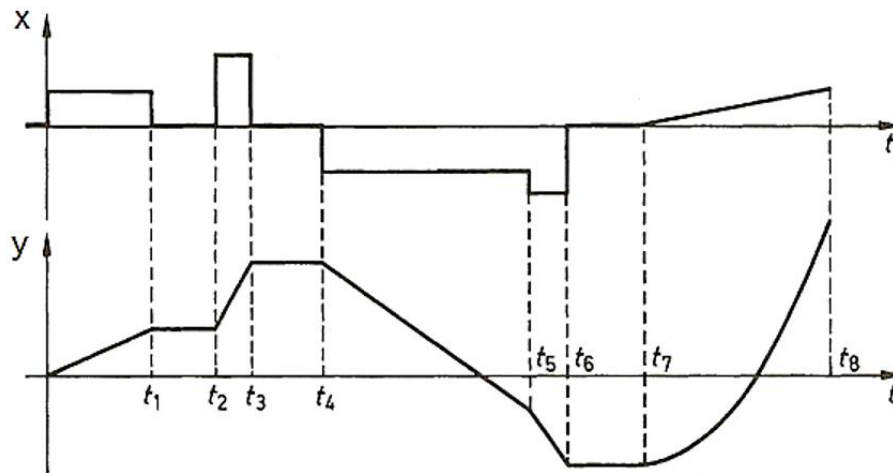
каде што y е излезен сигнал, x е влезен сигнал, t е изминато време и K_I е **интегрален коефициент**. Ако ја снема побудата, одзивот не исчезнува, туку едноставно престанува да се менува, односно ќе биде со константна вредност.



Слика 4.12. Графичко определување на излезниот сигнал на интегрален регулатор

Излезниот сигнал е еднаков на плоштината на површината опфатена со кривата на отскачната побуда и позитивната насока на x -оската. Излезниот сигнал ќе биде еднаков на влезниот кога изминатото време ќе биде реципрочна вредност од интегралниот коефициент.

На слика 4.13. е прикажан излезниот сигнал кога на влез од интегралниот регулатор се појавуваат позитивни импулси, негативни импулси и вредност нула.

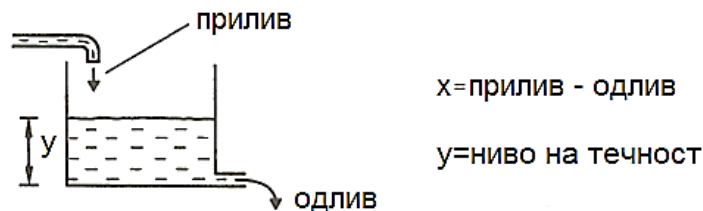


Слика 4.13. Одзив на интегрален регулатор за различни видови побудни сигнали

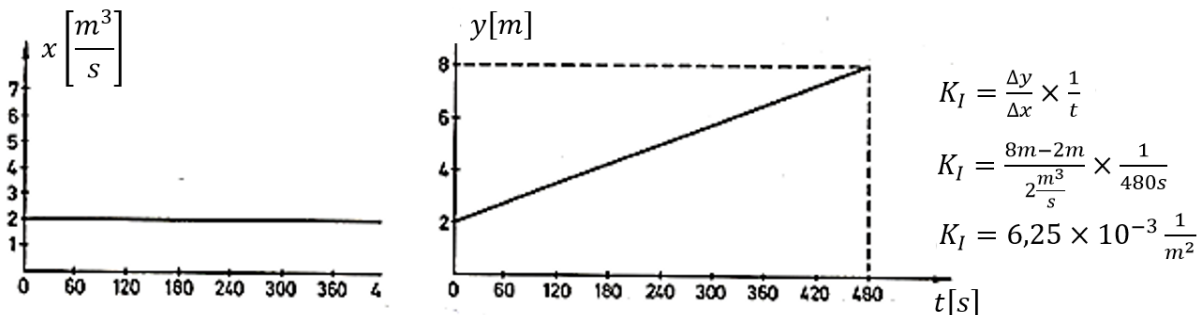
Досегашната анализа ја изведовме под **услов влезниот сигнал да биде константен**. Ако влезниот сигнал е временски зависен, тогаш пресметките се многу посложени.

Пример 1:

На слика 4.14. е прикажан пример за интегрален регулатор. Системот се состои од резервоар за течност со канали за довод и одвод. Влезниот сигнал е разлика меѓу количеството течност што влегува и излегува од системот, а излезен сигнал е висината на течноста.



Слика 4.14. Акумулација на течност како интегрален регулатор. На слика 4.15. се прикажани отскочната побуда и одзив кои се снимени по експериментален пат. Интегралниот коефициент е пресметан врз основа на добиените временски дијаграми. Влезниот и излезниот сигнал во моментот $t = 0$ s изнесуваат $x = 2 \text{ m}^2/\text{s}$ и $y = 2 \text{ m}$, а во моментот $t = 480$ s тие изнесуваат $x = 2 \text{ m}^2/\text{s}$ и $y = 8 \text{ m}$.



Слика 4.15. Пресметка на коефициент на интегратор

Пример 2: Брзината на едно тело може да се опише со равенката $V = v_0 \pm a \cdot t$ каде што a претставува забрзување ако знакот е плус, или забавување ако знакот е минус. Промената на брзината зависи од забрзувањето/забавувањето и од времето на дејствување на надворешната сила. Во идеални услови, за едно тело да се движи со константна брзина доволен е само пропорционален регулатор. Но доколку телото почне да се движи по угорнина, тогаш потребен е интегрален регулатор кој ќе ја одржува брзината константна, односно ќе го поништи забавувањето.

4.3.3. Диференцијален регулатор

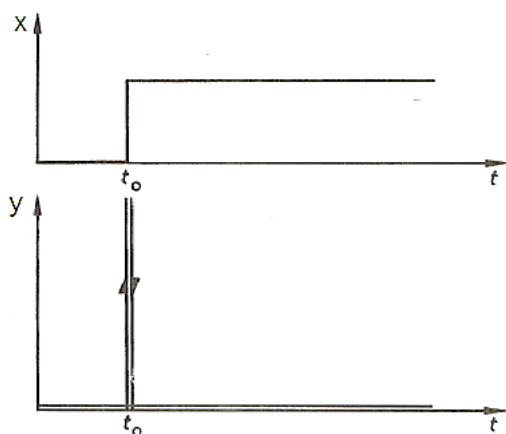
Регулаторот кај кој **излезниот сигнал зависи од брзината на промена на влезниот сигнал** се нарекува диференцијален регулатор.

$$y = K_D \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

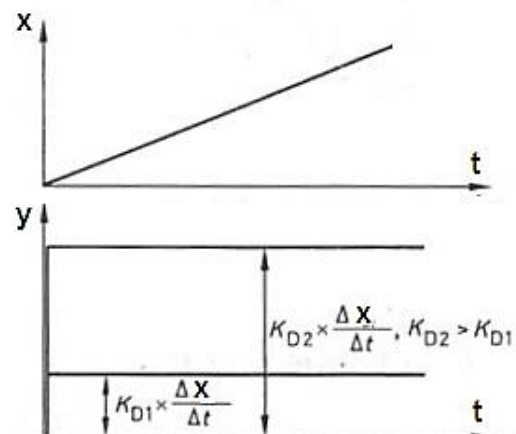
Брзината е претставена како количник од промената на влезниот сигнал и временскиот интервал за кој настанала таа промена.

За подобро разбирање на функцијата на диференцијалниот регулатор ќе се послужиме со примерот за тело кое се движи со константна брзина. Ако пред телото во движење случајно се појави некаква пречка, тогаш брзината на телото значително ќе се намали. За да се постигне посакуваната брзина, потребен е диференцијален регулатор кој на телото ќе му даде импулс на сила кој моментално ќе ја зголеми неговата брзина. Интегралниот регулатор не е погоден за брза регулација.

На слика 4.16. се прикажани отскочната побуда и одзив на диференцијалниот регулатор. Отскочниот одзив претставува импулс со многу голема амплитуда и многу кратко времетраење. Овој импулс се вика Дираков импулс.



Слика 4.16. Отскочна побуда и одзив на диференцијален регулатор



Слика 4.17. Пилеста побуда и пилест одзив

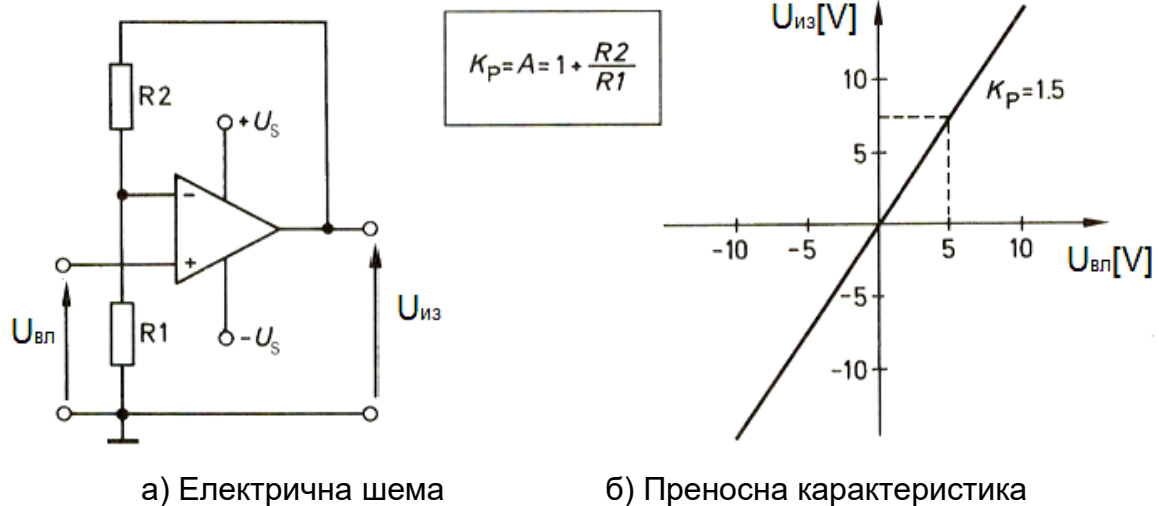
За испитување на диференцијалниот регулатор подобро е да се користи пилеста побуда. Ова е прикажано на слика 4.17. Колку е поголем наклонот на пилестата побуда, толку е поголема вредноста на одзивот.

Идеален диференцијален регулатор не постои. Диференцијалниот регулатор е потешок за анализа, но во комбинација со пропорционалниот и интегралниот регулатор може да се постигне многу подобра регулација.

4.4. Електронски регулатори

4.4.1. P (правопропорционален) регулатор

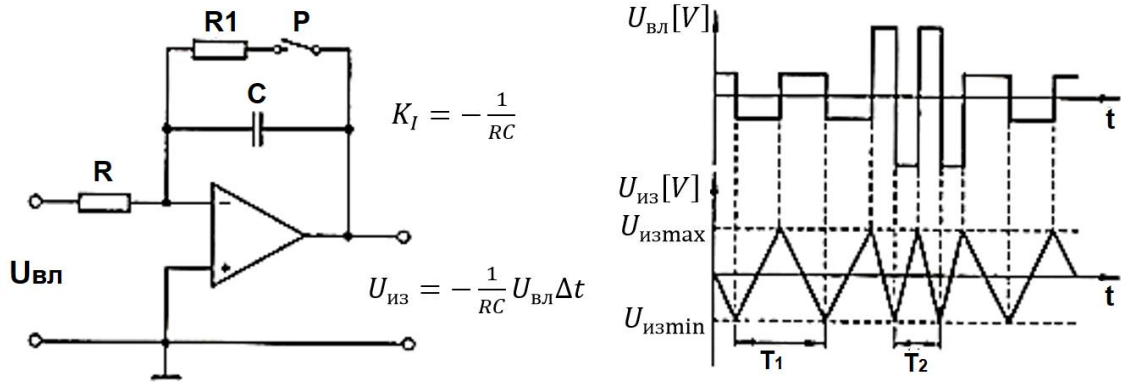
Неинвертирачкиот засилувач е пример за електричен правопропорционален регулатор. Коефициентот на правопропорционалност одговара на засилувањето и зависи од количникот на отпорностите. Кај инвертирачкиот засилувач коефициентот е секогаш поголем од еден.



Слика 4.18. Неинвертирачкиот засилувач како правопропорционален регулатор

4.4.2. I (интегрален) регулатор

На слика 4.19. е прикажан електричен интегрален регулатор. Тој се состои од операциски засилувач во чија повратна врска е поставен кондензатор. Кондензаторот е елемент на чии плочи се собира, акумулира електричен полнеж и излезниот напон е еднаков на потенцијалната разлика што се јавува поради насобраното количество електричество. Пред да се започне со снимање на одзивот, потребно е кондензаторот да се испразни преку затворање на прекинувачот P. Кога влезниот напон има поголема апсолутна вредност, кондензаторот побрзо се полни или празни бидејќи низ гранката протекува поголема струја.



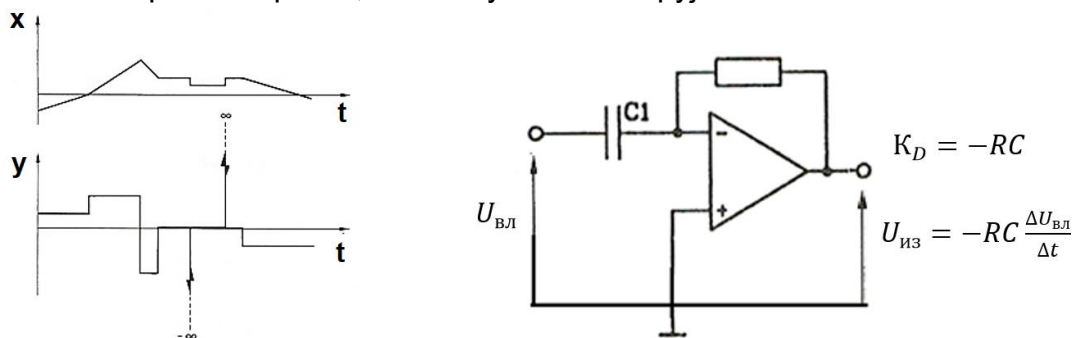
Слика 4.19. Интегратор со операциски засилувач и отскочен одзив

Брзината со која ќе се менува излезниот сигнал зависи од константата $T1 = RC = 1/K_I$ и колку е поголема оваа константа, толку побавно се менува излезниот сигнал.

На слика 4.19. е прикажан одзив на интегрален регулатор за различни вредности и времетраења на импулсните побуди. Одзивот е пилест напон. Влезниот и излезниот напон се инверзни. Ако влезниот напон расте, излезниот напон опаѓа. Пилестиот напон има поголем наклон кога влезните импулси се со поголема амплитуда.

4.4.3. D (диференцијален) регулатор

На слика 4.20. е прикажан електричен диференцијален регулатор реализиран преку операциски засилувач. Наместо во повратна врска, **кондензаторот е поврзан на инвертирачкиот влез од операцискиот засилувач**. Доколку влезниот напон на кондензаторот нагло се промени, низ кондензаторот и отпорникот ќе протече кратка, но многу голема струја.



Слика 4.20. Електрична шема на диференцијален регулатор

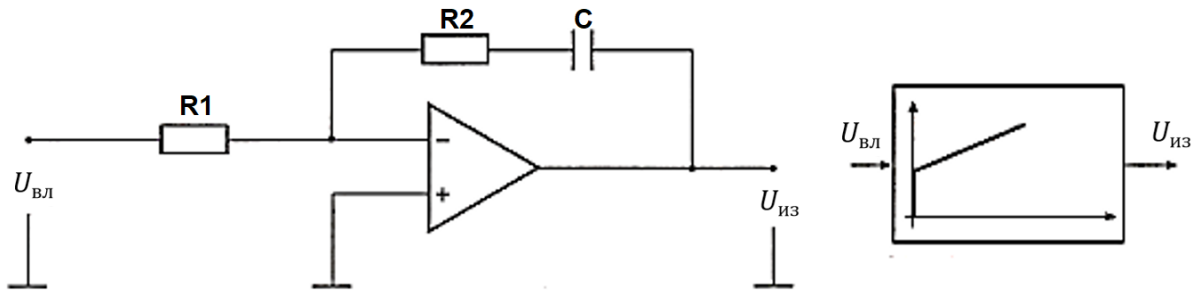
Анализата на регулаторите не мора секогаш да се врши со отскочна побуда. Поради сложеноста на Дираковиот импулс, за анализа на PD-регулаторот почесто се користи пилеста побуда. На слика 4.20. е прикажан одзивот на диференцијален регулатор за различни видови на побуда. Можеме да заклучиме дека кога $U_{вл} = \text{const}$ (нема промена на влезниот сигнал), тогаш $U_{из} = 0$. **Ако побудата е пилест напон, тогаш одзивот е константен и неговата вредност**

зависи од наклонот на пилата. Во одзивот се јавуваат Диракови импулси кога побудата е отскочна функција.

4.4.4. PI (првопропорционално - интегрален) регулатор

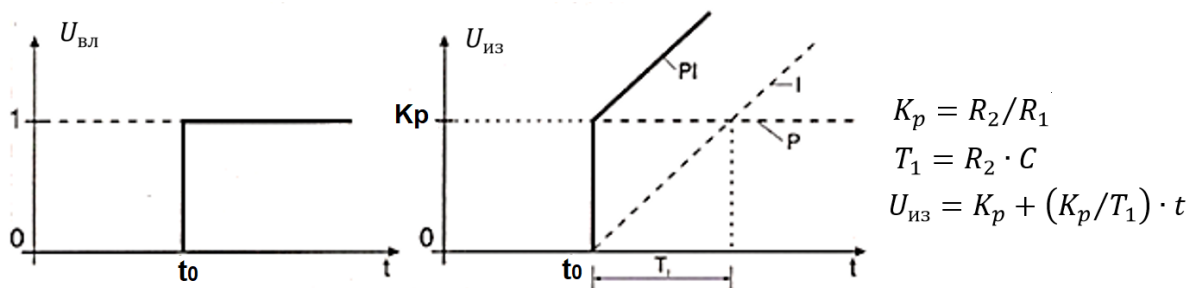
P регулаторот дејствува брзо, но се појавува регулациско отстапување. I регулаторот дејствува бавно, но го отстранува регулациското отстапување. Користењето на само P или само I регулаторите не е погодно за квалитетна регулација, туку најдобри резултати се постигнуваат со употреба на PI регулатори. P регулаторот обезбедува голема брзина на одзивот, а I регулаторот обезбедува точност на системот.

На слика 4.21. е прикажани електричната изведба со операциски засилувач на PI регулаторот и графичкиот симбол.



Слика 4.21. Електрична шема и графички симбол на PI регулатор

Може да се смета дека да **P и I регулаторот се споени паралелно. Со собирање на поединечните одзиви се добива вкупниот одзив** на регулаторот. Отскочниот одзив на PI регулаторот е прикажана на слика 4.22. Времето T_1 претставува интегрална временска константа и е еднаква на времето потребно одзивот од I регулаторот да се изедначи со одзивот од P регулаторот. Со испрекинати линии се обележани отскочните одзиви на P и I регулаторите.

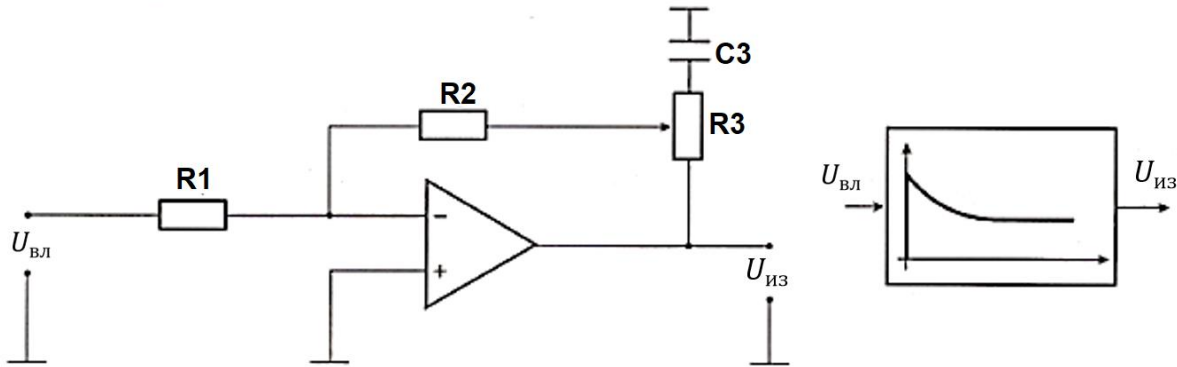


Слика 4.22. Отскочен одзив на PI регулатор.

Во областа на ниски фреквенции PI регулаторот работи како интегратор, а во областа на високи фреквенции како пропорционален засилувач. Со добар избор на временската константа PI регулаторот се однесува како линеарен систем во областа на средните фреквенции што значи I компонентата не влијае неповолно врз преодната состојба и стабилноста на системот.

4.4.5. PD (пропорционално диференцијален) регулатор

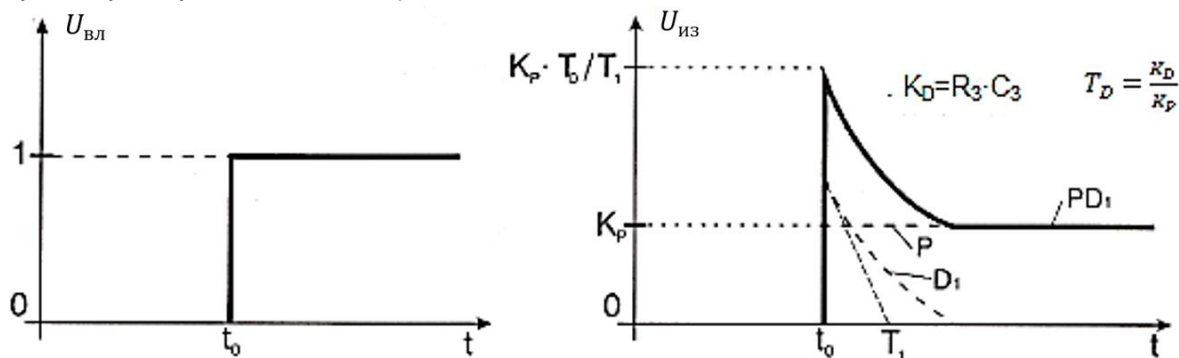
PD регулаторот може да се анализира како паралелна врска од P и D регулатор. Нивна најважна карактеристика е големата брзина на одзивот. D регулаторот дејствува на почетокот од преодната состојба, а во стационарна состојба дејствува само P регулаторот. На слика 4.23. се прикажани електричната изведба со операциски засилувач и графичкиот симбол на PD регулатор.



Слика 4.23. Електричната шема на PD регулатор и графичкиот симбол

За разлика од PI регулаторот, PD регулаторот се карактеризира со голема точност за време на преодната состојба. На слика 4.24. е прикажан отскочниот одзив. Големината на почетниот скок зависи од вредноста на диференцијалната временска константата $T_D = R_3 C_3$.

Во областа на високите фреквенции PD регулаторот има големо засилување, а во областа на ниските фреквенции засилувањето е еднакво на коефициентот на правопрпорционалност K_p .

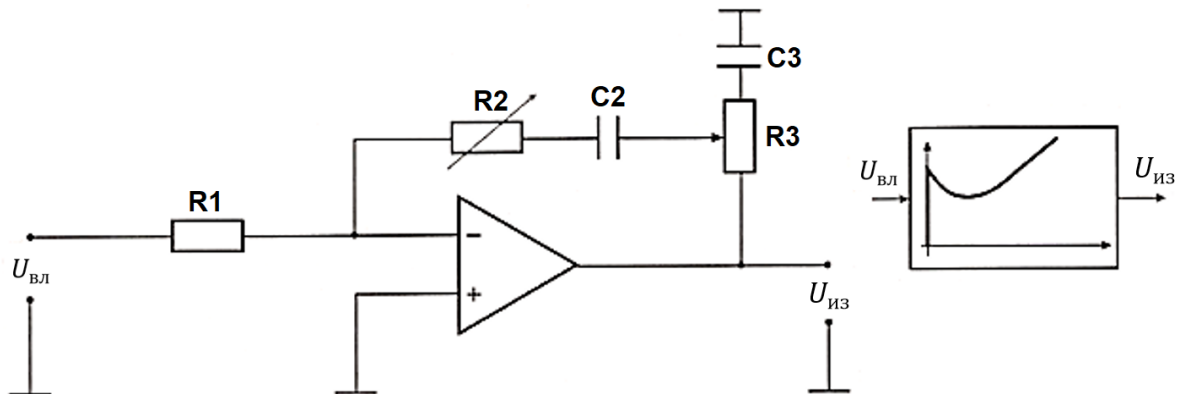


Слика 4.24. Отскочен одзив на PD регулатор

Електричниот PD регулатор нема голема примена поради неговата чувствителност на нарушувања. Тој се користи за регулација на процеси кај кои излезната големина расте по експоненцијален закон во однос на влезната. Примери за негова примена се одржување на насока на подвижни тела и одржување на позиција во просторот.

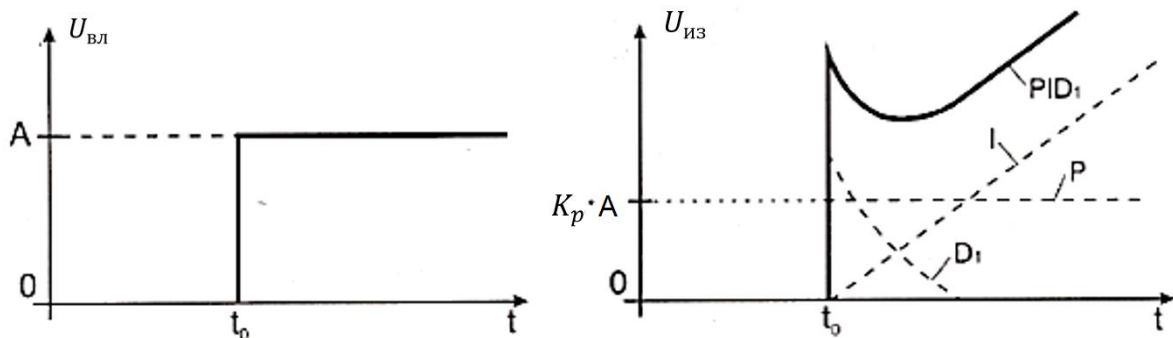
4.4.6. PID (пропорционално интегрално диференцијални) регулатори

Со добро нагодување на коефициентите и временските константи, со PID регулаторите може да се регулира кој било систем. **P** членот дава голема брзина и константно засилување, **I** членот дава точност и потполно отстранување на грешката во стационарен режим и **D** членот ја зголемува брзината и спречува појава на големо регулационо отстапување.



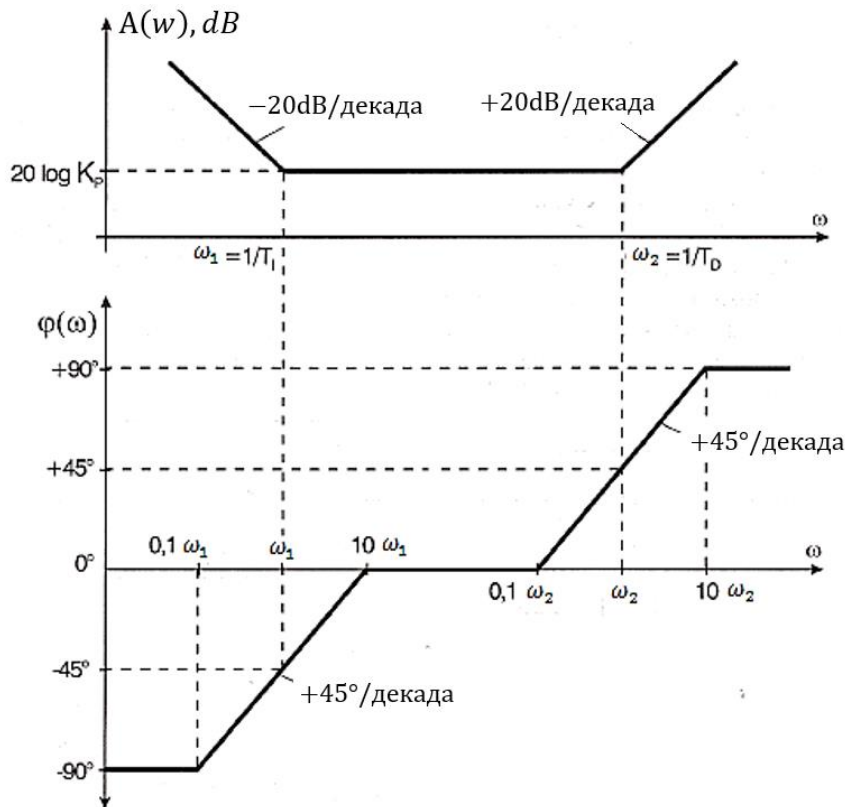
Слика 4.25. Електрична шема и графички симбол на електричен PID регулатор

На слика 4.25. е дадена една од електричните изведби со операциски засилувач, графичкиот симбол и отскочниот одзив на електричниот PID регулатор. Со помош на потенциометарот R_2 се нагодува интегралната временска константа T_I , а со помош на потенциометарот R_3 се нагодува диференцијалната временска константа T_D .



Слика 4.26. Отскочен одзив на електричен PID регулатор

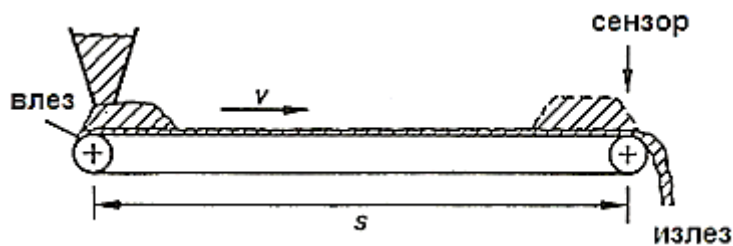
Временските константи влијаат врз граничните фреквенции во амплитудно фреквентната карактеристика на PID регулаторот, како што е прикажано на слика 4.27. ω_1 и ω_2 се долна и горна гранична фреквенција. Долната гранична фреквенција зависи од интегралната временска константа, а горната гранична фреквенција зависи од диференцијалната гранична фреквенција



Слика 4.27. Бодеови дијаграми за PID регулатор

4.5. Мртво време и време на доцнење

Мртвото време е присутно во реалните процеси каде што се пренесува енергија или маса. На пример, такви системи се: подвижните ленти во фабриките, цевководите за течност, магнетните ленти за чување на податоци, енергетските и телекомуникациските водови, сателитските електромагнетни бранови.



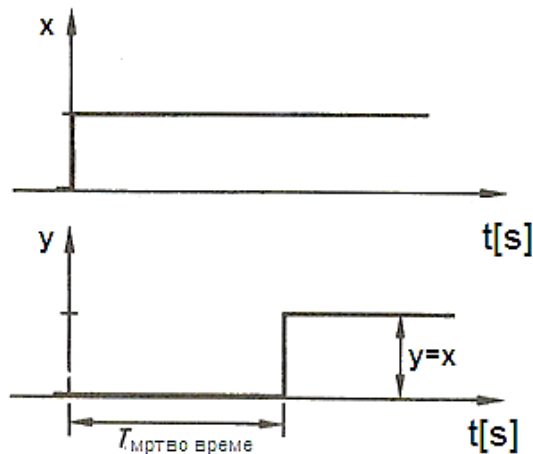
Слика 4.28. Подвижна лента како елемент со мртво време

Мртвото време може да се пресмета според равенката

$$T_{\text{мртво време}} = \frac{s}{v} = \frac{\text{растојание}}{\text{брзина на пренос}}$$

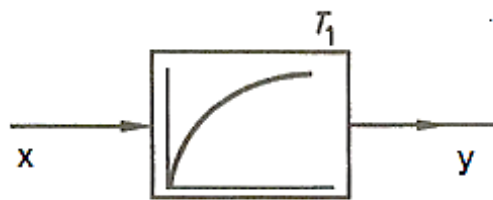
На слика 4.29. се прикажани отскочната побуда и одзивот за елемент со мртво време. Елементите кои складираат, акумулираат енергија или маса се нарекуваат елементи со време на доцнење. На излезниот сигнал му треба определено време за да ја достигне вредноста на влезниот сигнал. Системите

кои содржат само еден елемент со време на доцнење се нарекуваат системи од прв ред.



Слика 4.29. Отскочен одзив и побуда на елемент со мртво време

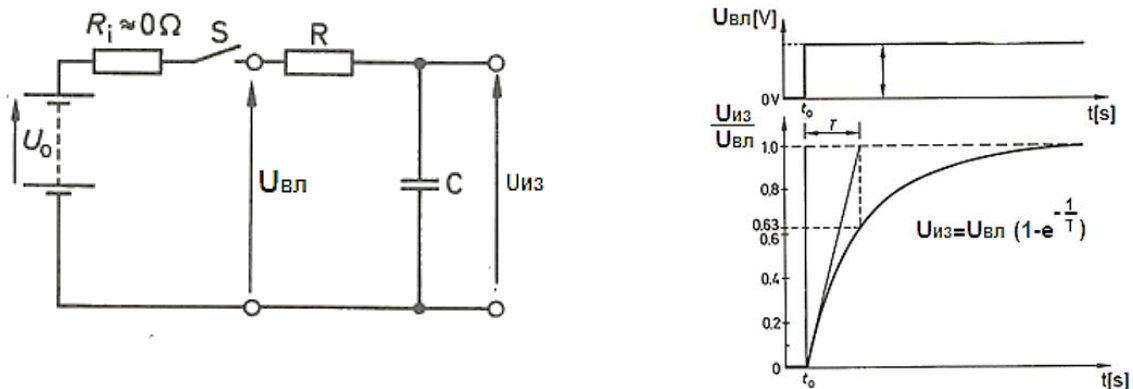
За системите со два или повеќе елементи кои вршат акумулација потребни се сложени математички постапки за нивна анализа. На сликата подоле е прикажан графичкиот симбол за систем од прв ред.



Слика 4.30. Графички симбол на систем од прв ред

Ознаката T_1 се однесува на временската константа, а индексот 1 дека се работи за елемент од прв ред. Временската константа е еднаква на времето кога ќе биде исполнет условот $y=0,63x$ каде y е излезен, а x влезен сигнал и се пресметува според равенката $T=RC$.

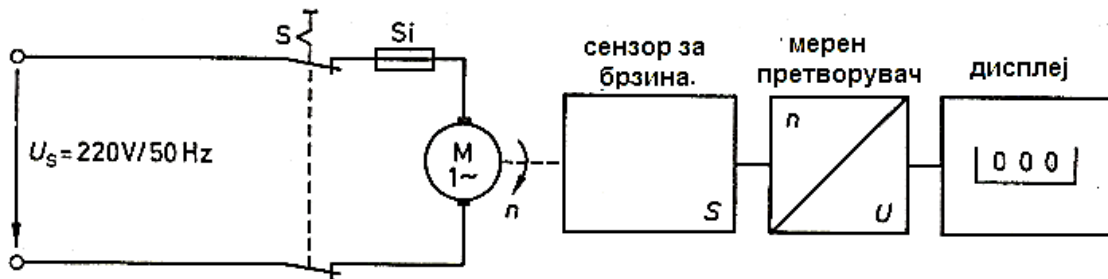
Пример 1: Наједноставен пример за елемент од прв ред е нискофреквентниот RC филтер.



Слика 4.31. Електрична шема, отскочна побуда и одзив на RC филтер

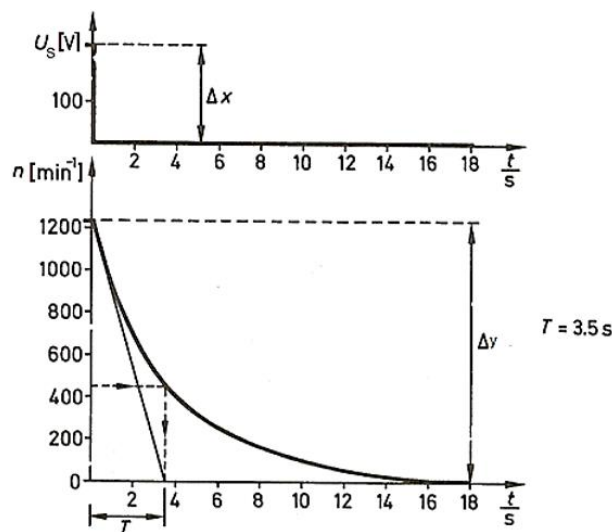
Претпоставуваме дека на почетокот кондензаторот е празен и кога ќе затвори прекинувачот влезниот напон нагло се менува од вредност нула до вредност U_0 . Кондензаторот е инертен и не може веднаш да се наполни односно му треба определено време за да ја достигне максималната вредност U_0 . Кога кондензаторот е празен или ја достигнал максималната вредност системот е стабилен и се наоѓа во стационарна состојба, а самото полнење е преоден процес. Електричната шема на нискофреквентниот RC филтер и неговите отскочна побуда и одзив се дадени на слика 4.31.

Пример 2: На слика 4.32. е прикажан уште еден систем со време на доцнење. Тој систем е всушност мотор за наизменична струја. Табелата прикажана во сликата е добиена по експериментален пат и ја дава зависноста на аголната брзина на моторот од времето кога истиот ќе се исклучи од напонот за напојување.



t [s]	0	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18
n [min^{-1}]	1240	940	715	390	230	180	135	75	25	15	5

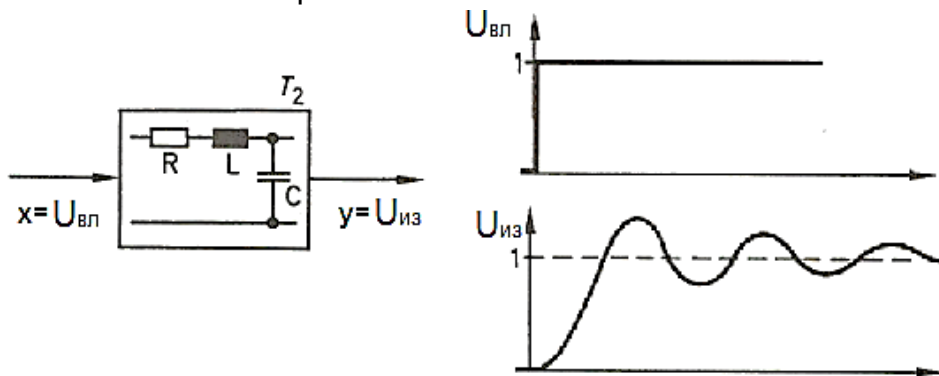
Слика 4.32. Мотор со електричен погон и аголна брзина при исклучување



Слика 4.33. Отскочна побуда и одзив на мотор со електричен погон

Овие податоци можат да се прикажат графички и на тој начин добиваме отскачен одзив кој е прикажан на слика 4.33.

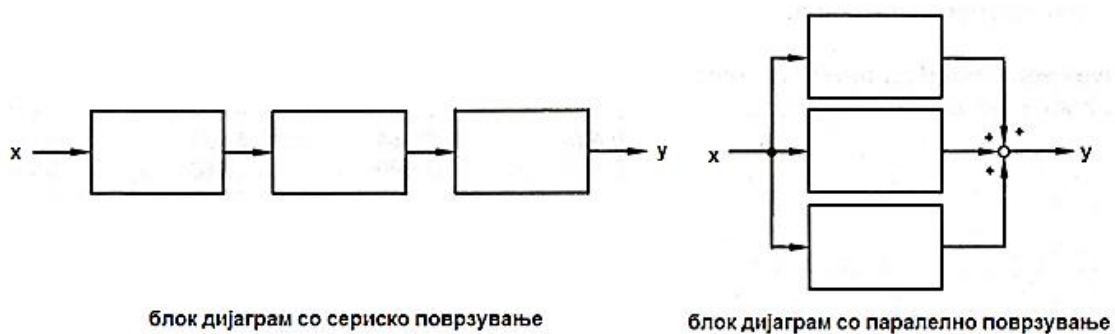
Пример 3: Ако системот содржи два елемента за складирање и чување на енергија или маса тогаш може да се појават осцилации што се должи на размената енергија од еден на друг елемент и обратно. Овие системи можат лесно да станат нестабилни и да дојде до загуба на енергија. На слика 4.34. е прикажан елемент со доцнење од втор ред. Тој во својот состав содржи два различни елемента, кондензаторот создава електрично поле, а калемот магнетно поле. На истата слика прикажан е отскочниот одзив во случај кога отпорникот има мала отпорност.



Слика 4.34. Електрична шема на елемент со доцнење од втор ред, отскочна побуда и одзив

4.6. Поврзување на електронски регулатори со континуирано дејствување

Веќе спомнавме дека со комбинирање на различни видови регулатори може да се врши анализа и синтеза на кој било систем за автоматско управување. На слика 4.35. се прикажани блок дијаграми за сериско и паралелно поврзување.

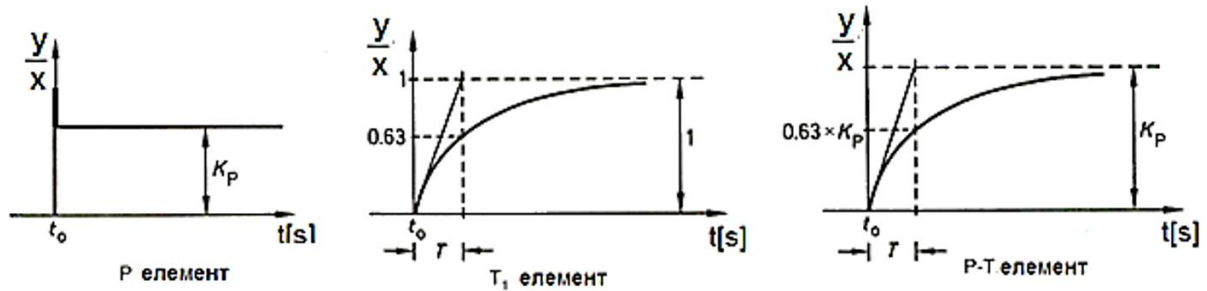


Слика 4.35. Поврзување на блокови

Да се потсетиме на блоковската алгебра со која се запознавме во првата тема. Во случај на сериско поврзување на елементи преносните карактеристики се множат, а во случај на паралелно поврзување тие се собираат.

4.6.1. Сериско поврзување на електронски регулатор со елементи со време на доцнење од прв ред

На слика 4.36. се прикажани отскочните одзиви на правопрпорционалниот регулатор, елементот со време на доцнење и елементот P-T₁. Всушност отскочниот одзив на P-T₁ елементот се добива ако одзивот на елементот со време на доцнење се помножи со константата на правопрпорционалност на P регулаторот.



Слика 4.36. Отскочен одзив на P, T₁, P-T₁ елемент

P-T₁ регулатор може да се реализира преку нискофреквентен филтер и сериски поврзан неинвертирачки засилувач.

Во табелата се прикажани графичките симболи, преносните функции и отскочните одзиви за P-T₁, I-T₁ и D-T₁ елементи.

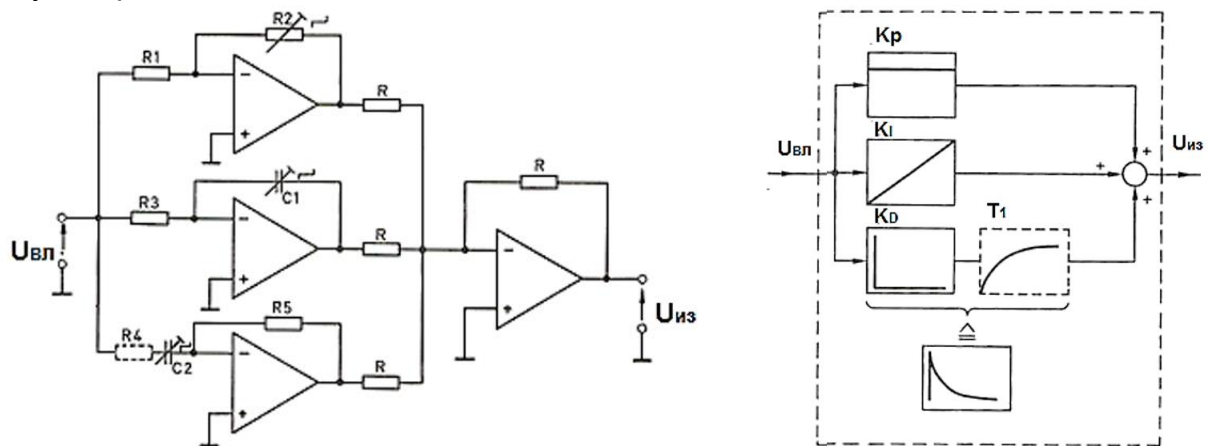
Регулатор	Графички симбол	Преносна карактеристика	Отскочен одзив
P-T₁		$K_p \times (1 - e^{-\frac{t}{T}})$	
I-T₁		$K_D \times \frac{1}{T} \times e^{-\frac{t}{T}}$	
D-T₁		$K_I \times T \times (e^{-\frac{t}{T}} + \frac{t}{T} - 1)$	

Табела 4.1. Преносни функции и отскочни одзиви за P-T₁, I-T₁ и D-T₁ елементи.

Исто како кај правопрпорционалниот така и кај интегралниот и диференцијалниот регулатор после истекот на времето T завршува влијанието на елементот на доцнење односно кондензаторот ќе се наполни до максималната вредност (што одговара на влезниот напон) и се поништува неговото влијание. $D-T_1$ регулаторот е математички најсложен. Поради доцнењето Дираковиот импулс ќе биде изобличен односно неговиот опаѓачки раб ќе има помал наклон.

4.6.2. Паралелно поврзување на електронски регулатори со континуирано дејствување

PI, PD и PID регулаторите можат да бидат во најразлични електронски изведби. Тие можат да се добијат со паралелно поврзување на правопрпорционалниот, интегралниот или диференцијалниот регулатор. На слика 4.37. прикажани се електричната шема и блок дијаграмот на PI ($D-T_1$) регулатор. P и I регулаторите можат да бидат идеално симулирани со употреба на операциски засилувач. Но тоа не е случај со **D регулаторот**. Тој може да биде условно симулиран како **сериска врска меѓу идеален D регулатор и T_1 елемент на доцнење**. Ваквото симулирање на D регулаторот влијае врз обликот на отскочниот одзив на PID регулаторот.



Слика 4.37. Електрична шема и блок дијаграм на PI ($D-T_1$) регулатор

Паралелно поврзаните регулатори имаат заеднички влез, а нивните излезни сигнали се собираат. Вкупната преносна карактеристика се добива со собирање на поединечните преносни карактеристики.

P регулатор: $U_{из} = K_P \cdot U_{вл}$ I регулатор: $U_{из} = K_I \cdot U_{вл} \cdot t$

D регулатор: $U_{из} = K_D \cdot \frac{\Delta U_{вл}}{\Delta t}$

PID регулатор: $U_{из} = K_P \cdot U_{вл} + K_I \cdot U_{вл} \cdot t + K_D \cdot \frac{\Delta U_{вл}}{\Delta t}$

4.7. Лабораториска вежба: снимање на пилеста и импулсна побуда на електричен диференцијален регулатор

1. Цел на вежбата

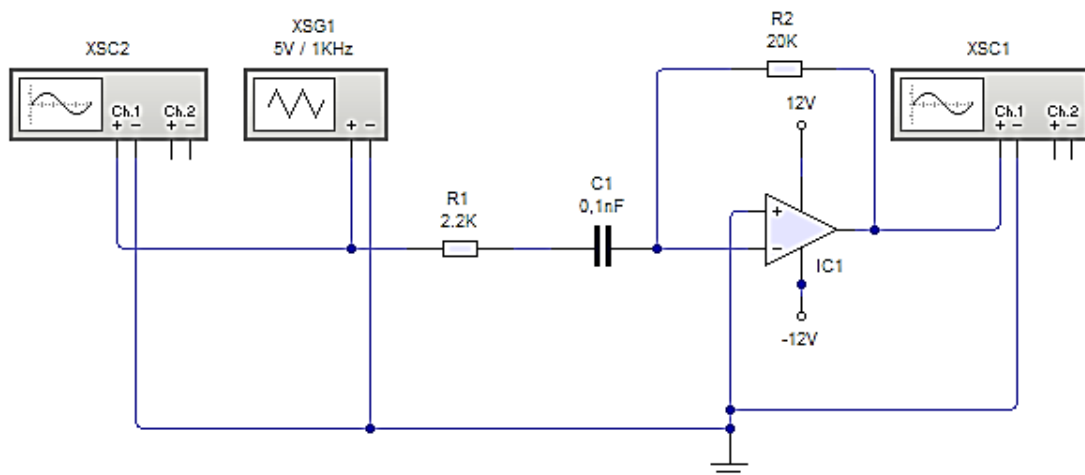
Пилеста и импулсна побуда на диференцијален регулатор ќе се добие ако се следи излезниот напон во зависност од времето за влезен напон со точно определен облик, фреквенција и амплитуда. Добиените резултати треба да се претстават графички. Добиените графици треба да се искористат за пресметка на диференцијалниот коефициент. Резултатите добиени со мерење треба да се споредат со теоретски добиените вредности.

2. Потребни инструменти, материјали и прибор

- Двоен стабилизирачки извор на еднонасочен напон
- Двоканален осцилоскоп
- Функциски генератор
- Макета со електричен диференцијален регулатор
- Приклучни кабли

3. Опис на макетата

Макетата се изработува според електричната шема прикажана на слика 4.38.. За изработка на макетата се потребни се следниве материјали: операциски засилувач LM358, два отпорници со отпорност $2,2\text{k}\Omega$ и $20\text{k}\Omega$, кондензатор со капацитивност од $0,1\text{nF}$ и протоплочка.



Слика 4.38. Електрична шема на диференцијален регулатор и негово поврзување со инструменти

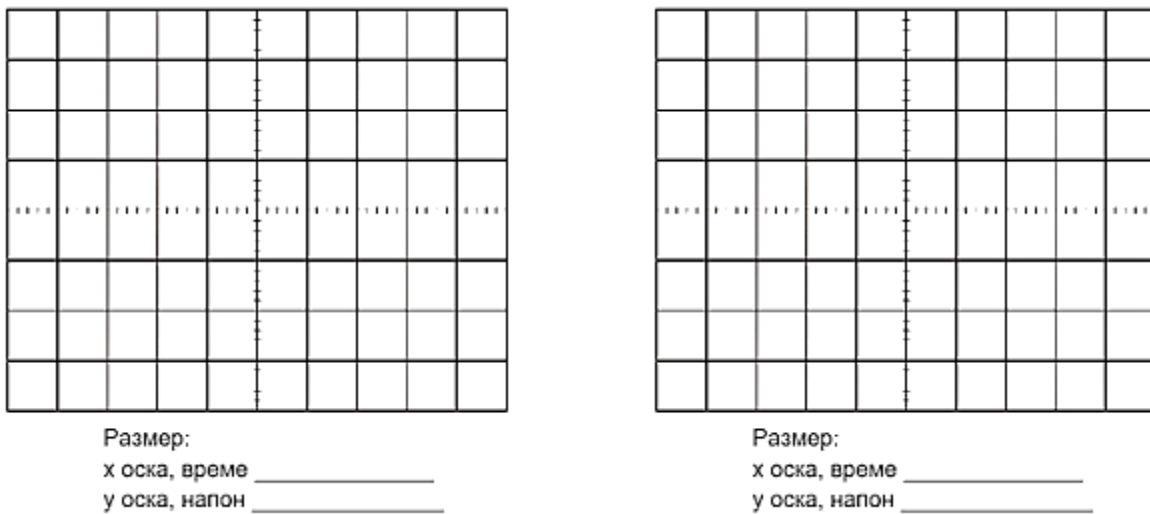
4. Припрема за вежба

Пред да се започне со изведба на вежбата потребно е диференцијалната константа да се пресмета теоретски според равенката дадена на слика 4.21.

Учениците треба да се потсетат на основните карактеристики на електричниот диференцијален регулатор и очекуваните облици на импулсниот и пилест одзив.

5. Поврзување на макетата и мерење

- Макетата се поврзува со еднонасочен извор $U_{cc}=\pm 12V$ за напојување на операцискиот засилувач. Се нагудува функцискиот генератор на пилест напон со $f=1\text{KHz}$ и амплитуда 5 V и се поврзува со влезот на регулаторот. Сондите на осцилоскопот се поврзуваат со влезот и излезот на диференцијалниот регулатор.
- Со помош на осцилоскоп се снимаат брановите облици на сигналите на влез и излез од диференцијалниот регулатор. Брановите облици да се нацртаат на граfiците прикажани на слика 4.39.

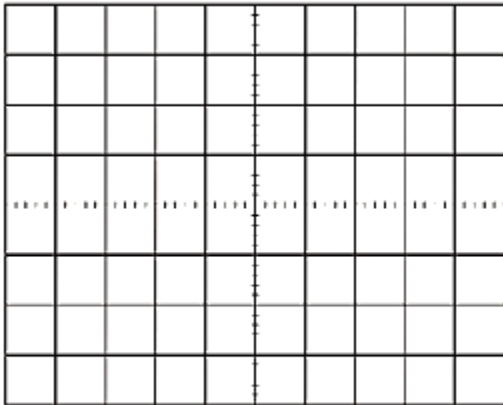


Слика 4.39. Бранови облици на сигналите на влез и излез од диференцијалниот регулатор во случај на пилеста побуда

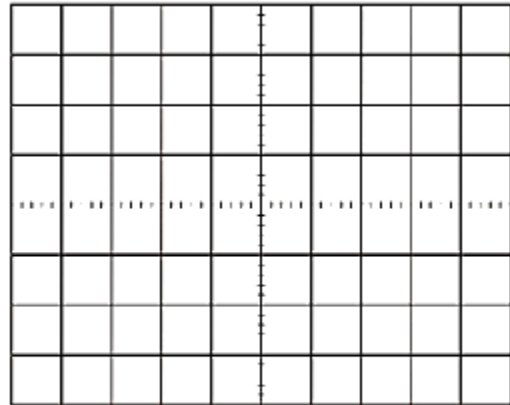
- Од графикот се одредува диференцијалниот коефициент и се споредува со неговата теоретски пресметана вредност.

Заклучок:

- Се нагудува функцискиот генератор на импулсен напон со $f=1\text{KHz}$ и амплитуда 5 V . Со помош на осцилоскоп се снимаат брановите облици на сигналите на влез и излез од диференцијалниот регулатор. Брановите облици да се нацртаат на граfiците прикажани на слика 4.40.



Размер:
 x оска, време _____
 y оска, напон _____



Размер:
 x оска, време _____
 y оска, напон _____

Слика 4.40. Бранови облици на сигналите на влез и излез од диференцијалниот регулатор во случај на импулсна побуда

За да се добие појасна слика на растечките и опаѓачките рабови треба да се зголеми временскиот размер на x оската

- Брановиот облик на импулсниот одзив да се спореди со одзивот прикажан на слика 4.20

Заклучок: _____

Напомена: Доколу не располагаме со протоборд и електронски компоненти вежбата може да се изведе и со симулатор.

4.8. Лабораториска вежба: снимање на импулсна побуда на електричен интегрален регулатор

1. Цел на вежбата

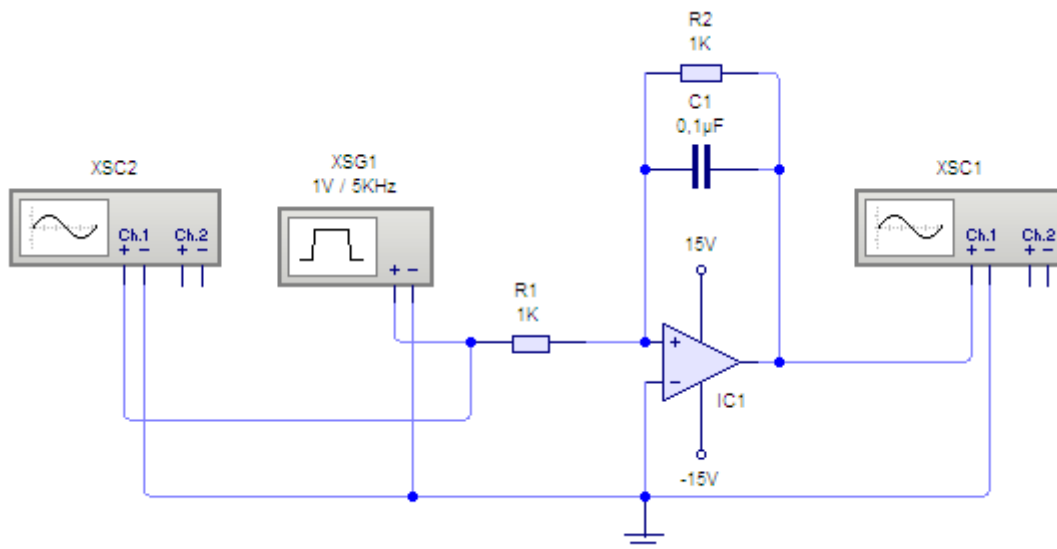
Целта на оваа вежба е одредување на интегралниот коефициент на електричен интегрален регулатор преку брановите облици на неговата импулсна побуда и одзив. Резултатите добиени со мерење треба да се споредат со теоретски добиените вредности.

2. Потребни инструменти, материјали и прибор

- Двоен стабилизирачки извор на еднонасочен напон
- Двоканален осцилоскоп
- Функциски генератор
- Макета со електричен интегрален регулатор
- Приклучни кабли

3. Опис на макетата

Макетата се изработува според електричната шема прикажана на слика 4.41. За изработка на макетата, потребни се следниве материјали: операциски засилувач LM358, два отпорници со отпорност 1 K, кондензатор со капацитивност од 0,1 μF и протоборд плочка.



Слика 4.41. Електрична шема на интегрален регулатор и негово поврзување со инструменти

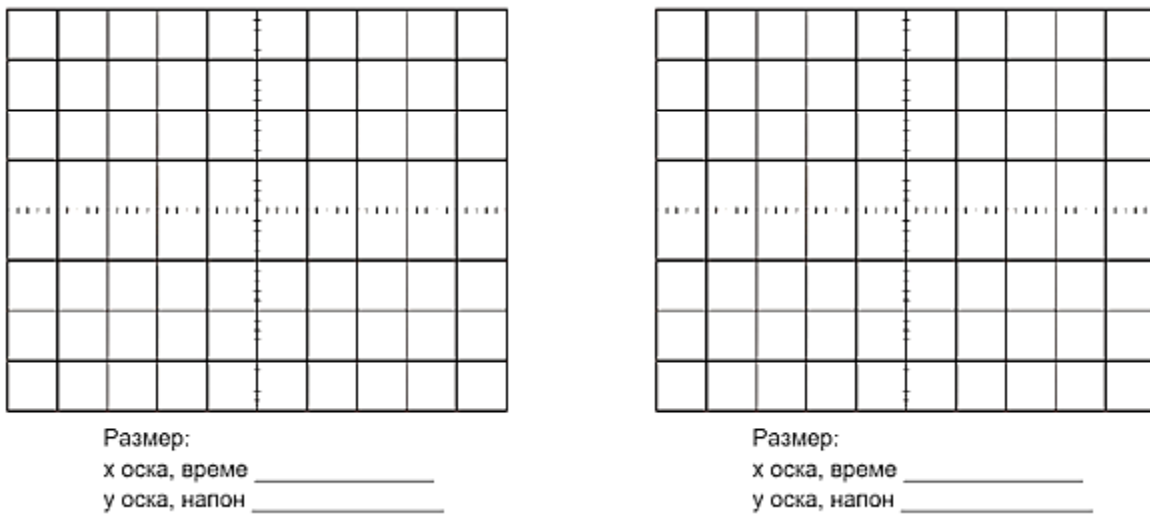
4. Подготовка за вежба

Пред да се започне со изведба на вежбата, потребно е интегралната константа да се пресмета теоретски, според равенката дадена на слика 4.19. Учениците

треба да се потсетат на основните карактеристики на електричниот интегрален регулатор и очекуваните облици на импулсниот одзив.

5. Поврзување на макетата и мерење

- Макетата се поврзува со еднонасочен извор $U_{cc} = \pm 15\text{ V}$ за напојување на операцискиот засилувач. Функцискиот генератор се нагодува на импулсен напон со $f = 5\text{ KHz}$ и амплитуда 1 V и се поврзува со влезот на регулаторот. Соңдите на осцилоскопот се поврзуваат со влезот и излезот на диференцијалниот регулатор.
- Со помош на осцилоскоп се снимаат брановите облици на сигналите на влез и излез од интегралниот регулатор. Брановите облици да се нацртаат на графиконите прикажани на слика 4.42.



Слика 4.42. Бранови облици на сигналите на влез и излез од интегралниот регулатор во случај на пилеста побуда

- Од графиконот се одредува интегралниот коефициент и се споредува со неговата теоретски пресметана вредност.

Заклучок: _____

Напомена: Доколу не располагаме со протоборд и електронски компоненти, вежбата може да се изведе и со симулатор.

Прашања и вежби за повторување на материјалот

1. Објасни која е функцијата на регулаторот во системот за автоматско управување и кое е неговото место во основната блок-шема?

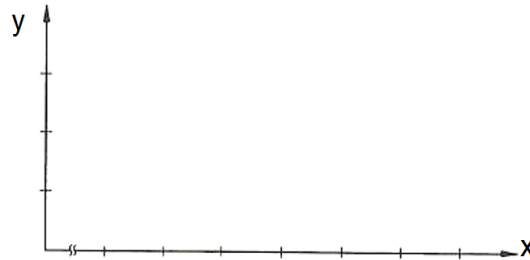
2. Кои регулатори спаѓаат во континуирани, а кои во дискретни регулатори?

3. Наведи пример за двоположен и троположен регулатор!

4. Кои се основни предности на импулсните регулатори?

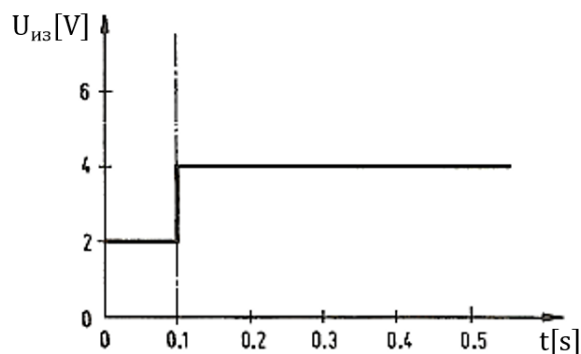
5. Напиши ги преносните функции за напонски делител, трансформатор на наизменични струи и механички лост кога тие се користат како правопрпорционални регулатори! Определи го коефициентот на правопрпорционалност за секој од нив!

6. Референтната вредност на двоположен температурен регулатор изнесува $w = 300^\circ\text{C}$. Мерниот опсег на регулаторот е од 0 до 800°C . Хистерезисот изнесува 5 % од вкупната скала. Нацртај ја преносната функција на регулаторот!



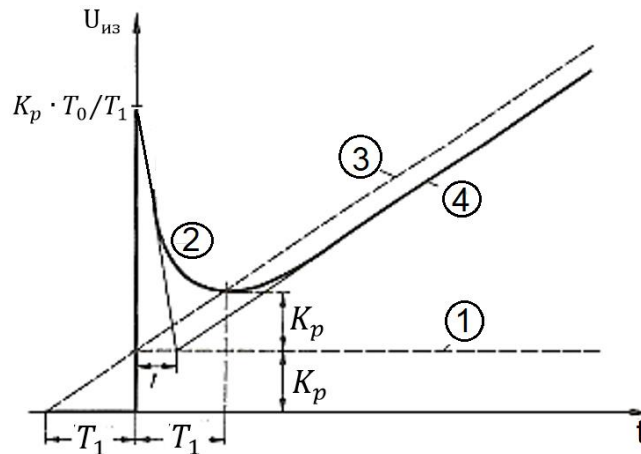
Слика 4.43.Преносна карактеристика на двоположен температурен регулатор

7. Графиконот прикажан на слика 4.44. претставува отскочен одзив на P-регулатор. Одреди ја вредноста на влезниот сигнал пред и по побудата ако $K_p = 4$!



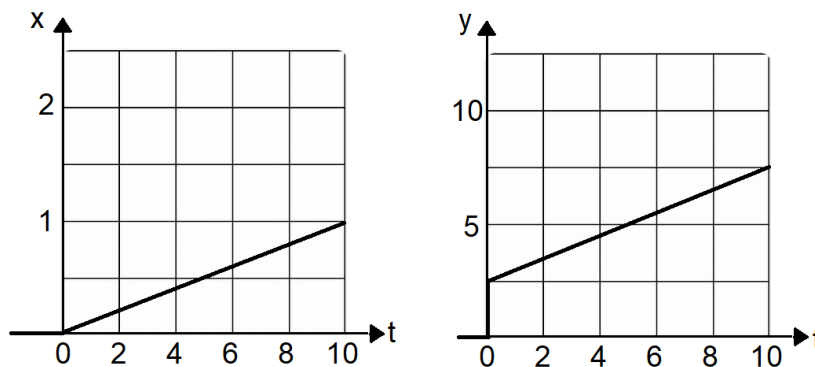
Слика 4.44. Отскочен одзив на P-регулатор

8. Објасни како промената на влезниот сигнал влијае на промената на излезниот сигнал кај правопрпорционален, интегрален и диференцијален регулатор?
-
9. Објасни ја улогата на диференцијалниот и интегралниот регулатор во систем за автоматско одржување на константна брзина на движење!
-
10. Која е равенката за пресметка на коефициент на правопрпорционалност на електричен правопрпорционален, диференцијален и интегрален регулатор?
-
11. Графиконот прикажан на слика 4.45. претставува отскочен одзив на PID- T_1 регулатор. За секој дел од графиконот, објасни на кој регулатор му припаѓа! $K_p \cdot T_0/T_1$



Слика 4.45. Отскочен одзив на PID- T_1 регулатор.

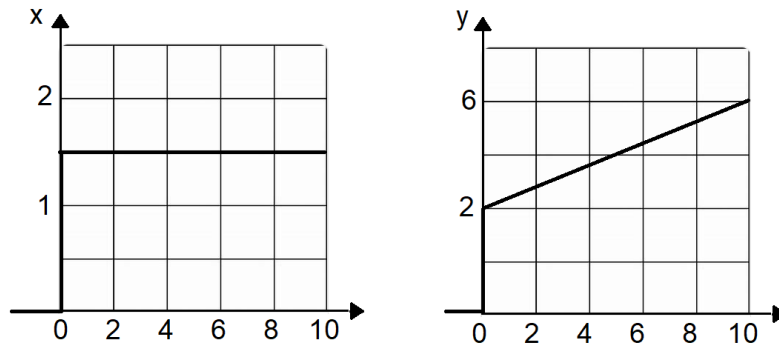
12. На слика 4.46. се прикажани пилеста побуда и одзив на PD-регулатор. Определи ги коефициентот на правопрпорционалност K_p и диференцијалниот коефициент K_D !



Слика 4.46. Пилеста побуда и одзив на PD-регулатор

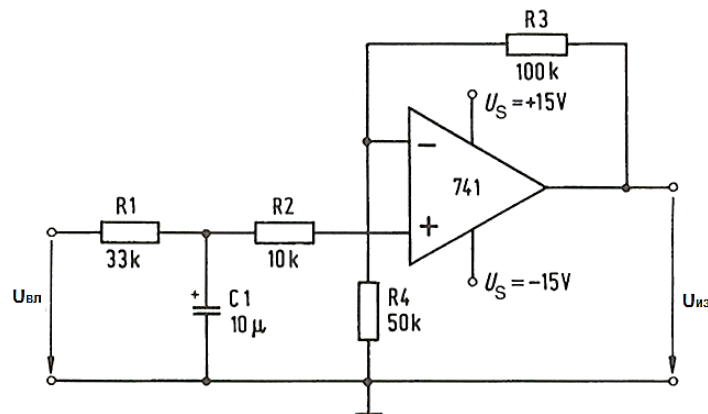
13. Кои се предностите на пропорционалниот, диференцијалниот и интегралниот регулатор одделно? Што се постигнува со нивна употреба?

14. На слика 4.47. се прикажани отскочна побуда и одзив на PI регулатор. Определи ги коефициентот на правопрпорционалност K_P и интегралниот коефициент K_I !



Слика 4.47. Отскочна побуда и одзив на PI-регулатор

15. На слика 4.48. е прикажана електрична шема на PT1-регулатор. Пресметај ги коефициентот на правопрпорционалност K_P и временската константа T !

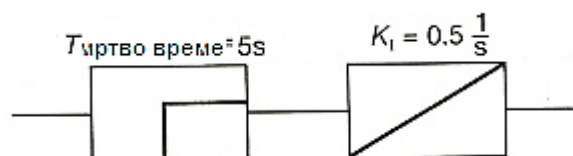


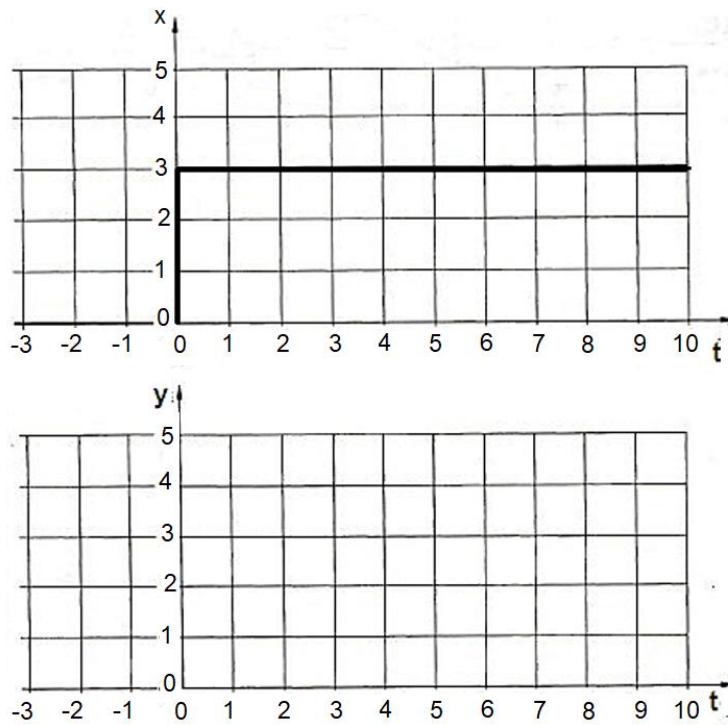
Слика 4.48. Електрична шема на PT1-регулатор

16. Наведи по еден пример за елементи од прв и втор ред со време на доцнење!

17. Напиши ја равенката за вкупната преносна карактеристика на PID-регулатор и објасни го секој член од неа!

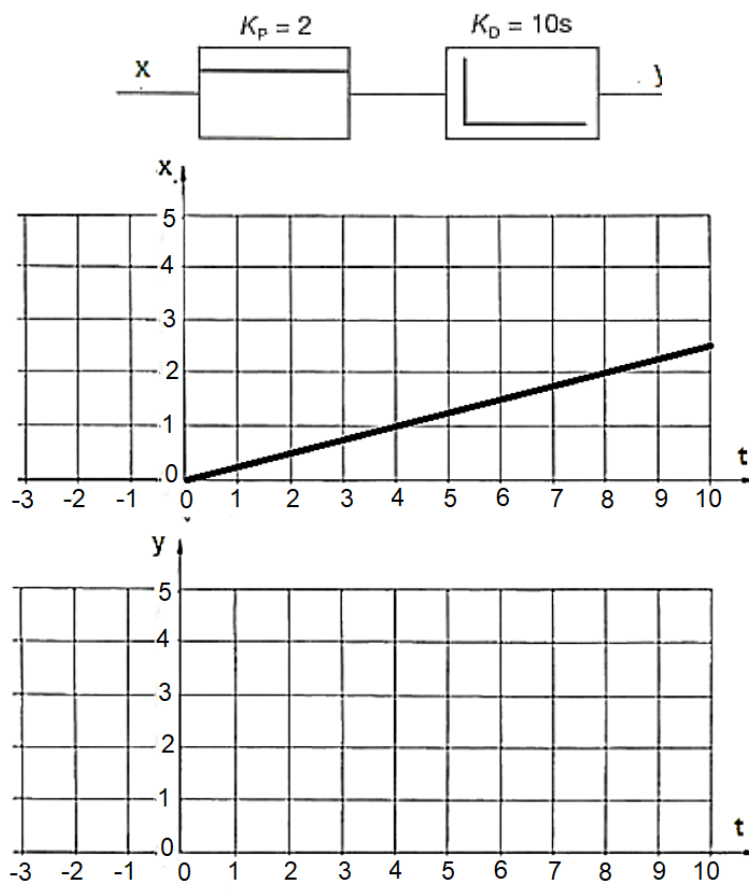
18. На слика 4.49. е прикажан отскочен напон за побуда на I регулатор. Нацртај го отскочниот одзив ако $K_I = 0,5 \frac{1}{s}$.





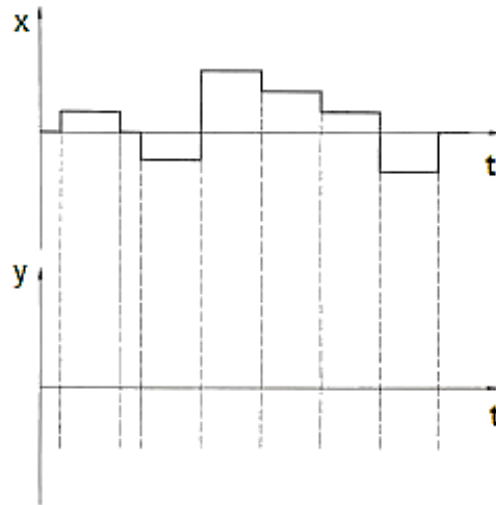
Слика 4.49. Отскочна побуда и одзив за I-T₁ регулатор

19. На слика 4.50. е прикажан пилест напон за побуда на PD-регулатор. Нацртај го пилестиот одзив ако $K_P = 2$ и $K_D = 10 \text{ s}$.



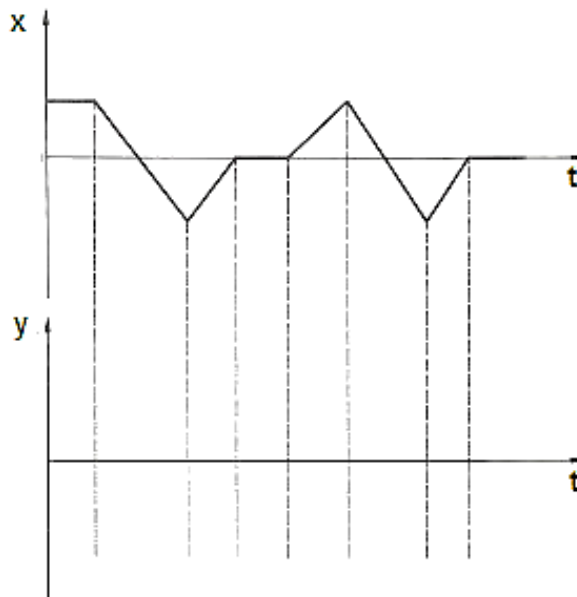
Слика 4.50. Пилеста побуда и одзив за PD-регулатор

20. За импулсната побуда, нацртај го одзивот на I регулатор!



Слика 4.51. Импулсна побуда и одзив за I регулатор

21. На слика 4.52. е прикажан побудниот сигнал за D-регулатор. Нацртај го одзивот!



Слика 4.52. Побуда и одзив за D-регулатор

5. Извршни елементи

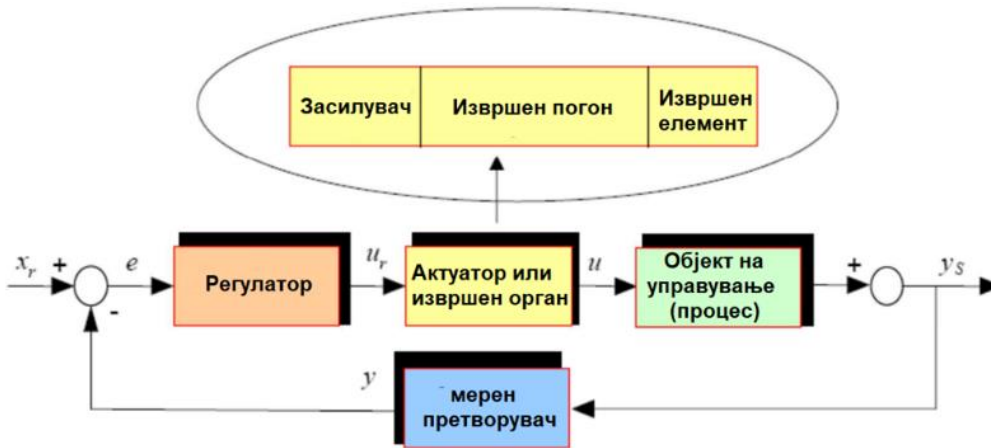
5.1. Извршни органи и актуатори

Повеќето мехатронички системи вклучуваат некој вид движење или активност. Уредите што се користат за остварување (постигнување) на ова движење или активност се нарекуваат актуатори. **Актуаторите** се познати и под името активатори бидејќи **генерираат движење** (поместување, сила, вртежен момент, итн.) на сметка на енергијата донесена до нивниот влез. Тие **ја претвораат електричната енергија или енергијата на гасовите и течностите (енергија од компримиран воздух или масло под притисок) во механичка енергија**. Актуаторите се користат во автоматски производствени процеси како што се: подвижните линии, ротационите маси, манипулатори, работи, комплексни системи кои се составени од серија автоматизирани машини, но и во апликации од секојдневниот живот, како што се: вратите со автоматско отворање и затворање, стоматолошки столови, соларни панели кои се вртат во правец на сонцето итн.



Слика 5.1 Примена на актуаторите во индустријата и во секојдневниот живот

На слика 5.2. е прикажано местото и улогата на актуаторот во системот за автоматско управување. Актуаторот или извршниот орган се наоѓа меѓу регулаторот и објектот на управување. Регулатор е мозокот, мерни претворувачи се сетилата, а актуатори се всушност мускулите на управувачкиот систем. Всушност, сите досега набројани апликации на актуаторите значат движење или поместување, праволиниско или кружно, но точно и прецизно определено од страна на регулаторот и сензорите.



Слика 5.2. Местото на актуаторот во системот за автоматско управување.

Актуатор или извршен орган е елемент кој, врз основа на управувачкиот сигнал генериран од регулаторот, дејствува на објектот на управување, изедначувајќи ја управуваната големина со референтната вредност, со што сигналот за грешка е намален до нула. Најчесто управувачкиот сигнал е електричен сигнал и тој ја определува големината на механичкото поместување. Бидејќи нивото на излезна енергија е многу поголемо од нивото на влезна енергија, потребно е дополнително напојување, кое може да биде 12 или 24 волти еднонасочен напон(DC) или 220 волти наизменичен напон (AC).

5.2. Извршен погон и извршен елемент

Извршните органи се состојат од две компоненти, извршен погон и извршен елемент. **Енергијата** која му е потребна на извршниот орган да изврши движење ја дава извршниот погон и тој ја претвора електричната големина од регулаторот во механичка големина. Такви уреди се: електричните мотори, пневматските и хидрауличните мотори, електромагнетите, сервомоторите, итн.



Слика 5.3. Состав на извршен орган

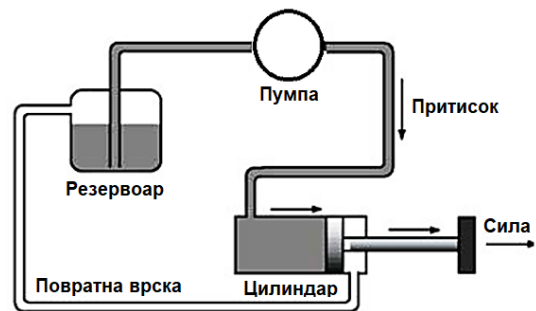
За поврзување на актуаторот со околината се користат извршни елементи. Извршниот елемент е преносен механизам кој директно делува на протокот на

маса или енергија во објектот на управување. Во извршни елементи спаѓаат: вентили, цилиндри, затворачи и други.

За полесно разбирање на разликата меѓу извршен погон и извршен елемент, ќе разгледаме неколку примери. На слика 5.4. е прикажан пример за електромеханички извршен орган или, поточно, електричен линеарен актуатор. Составни делови на овој актуатор се завртката и електромоторот. Завртката е поврзана со електромоторот преку систем од запченици. Моторот врши кружни движења и тој е извршен погон, односно електричната енергија ја претвора во механичка. Завртката е извршен елемент кој механичката енергија ја пренесува на објектот на управување, односно го придвижува праволиниски.



Слика 5.4. Електричен линеарен актуатор



Слика 5.5. Хидрауличен извршен елемент

На слика 5.5. е прикажан пример за хидрауличен извршен орган. Пумпата е извршен погон и таа ја претвора електричната енергија во механичка енергија на флуид (течност). Големината на притисокот на излез од пумпата зависи од електричниот сигнал кој го испраќа регулаторот. Енергијата се пренесува до хидрауличниот цилиндар преку цевководот и под дејство на притисокот, клипот се поместува. Клипот е поврзан со објектот на управување, на пример некаков товар.

При анализата на начинот на работа на извршните органи, секогаш треба да се запрашаме кој уред генерира механичка енергија, односно енергија на движење и кој уред таа енергија ја пренесува до објектот со кој сакаме да управуваме. Првиот уред е извршен погон, а вториот е извршен елемент.

5.3. Поделба на извршните елементи во зависност од енергијата што ја користат

Во зависност од видот на енергијата што се користи за управување со погонските уреди, актуаторите се поделени на: електромеханички, механички, хидраулични, пневматски и микроактуатори.

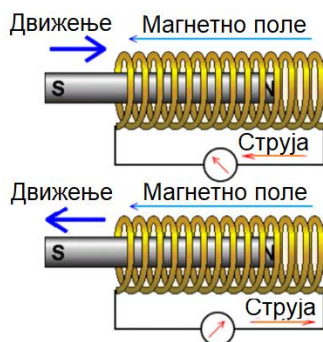
Како што кажува самото име, електромеханичките актуатори ја претвораат електричната енергија во механичка. Работата на **електромеханичките актуатори** се заснова на принципите на електромагнетизмот. Кога низ

спроводник што се движи во магнетно поле тече струја, се појавува сила нормална на струјата и на магнетното поле.

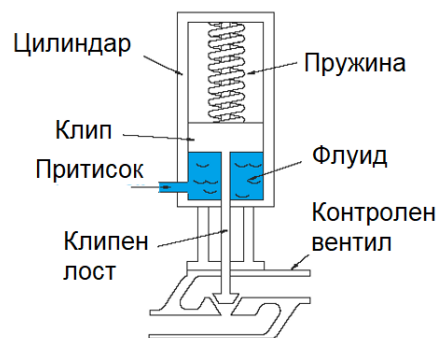


Слика 5.6. Поделба на извршните органи

Друг електромагнетен ефект кој е важен во дизајнирањето на овие актуатори е интензивирање на магнетното поле во намотка со примена на феромагнетен материјал. Железото има неколку стотици пати поголема магнетна пермеабилност од таа на воздухот, па затоа, намотка околу железо јадро може да произведе неколку стотици пати поголем магнетен флукс од намотка без јадро. Намотките се составен дел од сите електромеханички актуатори. Кога низ намотката ќе протече струја, железното јадро се поместува. Насоката и големината на поместувањето зависи од насоката и интензитетот на електричната струја. Електромеханичките актуатори се едни од најкористените



Слика 5.7. Електромагнет



Слика 5.8. Хидрауличен актуатор

Хидрауличен актуатор е **хидрауличниот цилиндар**. Тој претставува шуплив цилиндар со вметнат клип во него. Неизбалансиран притисок од двете страни на клипот генерира сила што може да помести надворешен објект. Бидејќи течностите се речиси некомпресивни, хидрауличниот цилиндар може да обезбеди прецизно управување со линеарното поместување на клипот. Пневматските или воздушните актуатори се слични на хидрауличните актуатори, освен што наместо течност користат компримиран воздух за да генерираат сила.

За разлика од хидрауличните, пневматските актуатори не се користат за поместување на големи тежини. Една од причините што пневматските актуатори се претпочитаат пред другите е фактот што како работен флуид се користи воздухот, кој го има во неограничени количини и тој е незапалив и нема опасност од експлозии. За континуирано работење на пневматските уреди мора да постои компресорска станица. Негативно е што повеќето компресори за воздух се големи, обемни и гласни.

Во зависност од видот на движењето, актуаторите се поделени на **ротациски и и линеарни**. Во групата на ротациски актуатори спаѓаат сите ротациски мотори: електромотори, хидраулични и пневматски мотори. Линеарните актуатори се користат кога органот на управување треба да изврши праволиниско движење. Примери за нивна примена се: CNC (Computer Numerical Control) машините, периферните уреди (CD ROM, хард-диск, печатач), автоматизираните лизгачки врати, прозорци, лифтови, автоматизираните индустриски ленти итн. **Линеарните актуатори можат да бидат индиректни и директни**. Кај индиректните линеарни актуатори ротационото движење се претвора во праволиниско движење преку употреба на механички претворувачи како што се: запченици, ремени, навојни вретена. Директните линеарни актуатори директно генерираат линеарно движење на својот излез. Класични директни линеарни актуатори се хидрауличните и пневматските цилиндри, пиезоелектричните актуатори и линеарните електрични мотори кои се одликуваат со голема брзина и прецизност.

5.4. Електрични актуатори

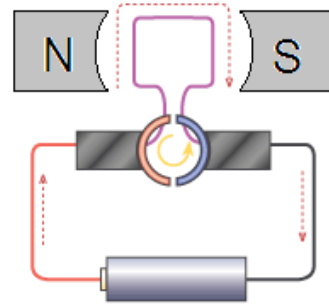
Електричните актуатори ја претвораат електричната енергија во механичка. Влезни величини на електричните актуатори се електричниот напон и струја, а излезни величини се аголната брзина, вртежен момент или линеарното поместување. Во зависност од принципот на работа, електромоторите се делат на повеќе групи:

- Електромотори за еднонасочна струја (анг. DC – direct current)
- Електромоторите за наизменична струја можат да бидат: синхрони и асинхрони
- Степ, или чекорни мотори
- Линеарни електрични мотори

Електромоторите со еднонасочна струја можат да бидат електромотори со четкички и електромотори без четкички.

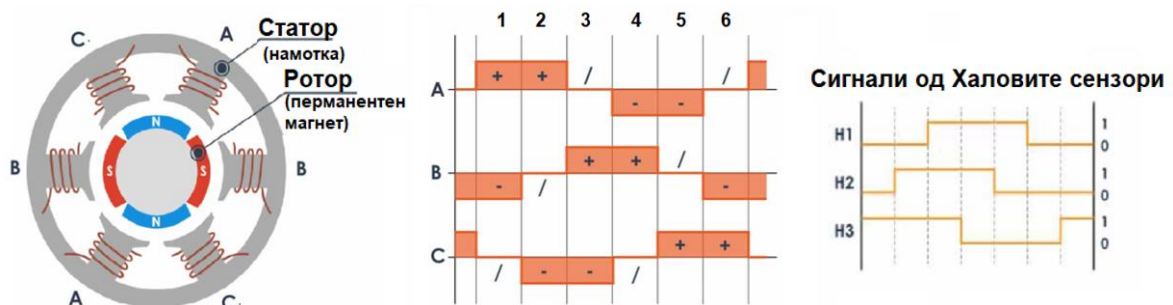
Кај **моторот со четкички, роторот** е намотка, а **статорот** е перманентен магнет. Комутаторот е прстен со два воздушни процепи и тој ротира заедно со намотката. Кога комутаторот ќе се заврти за 180°, струјата што тече низ намотката ќе ја промени насоката. Постојаното магнетно поле ќе го промени

поларитетот во однос на намотката, така што ротацијата продолжува во иста насока. Четкичките служат за да се оствари контакт со комутаторот и тие се трошат поради појавата на искрење при вклучување и исклучување на моторот. Насоката на вртење на моторот може да се промени ако се промени насоката на доведениот напон. За управување со брзината се користат два вида на регулатори: линеарни засилувачи и импулсно ширински модулатори. Недостаток на електричните мотори со четкички е малиот вртлив момент, но тоа е веќе надминато кај електромоторите без четкички.



Слика 5.9. Структура на електромотор за еднонасочна струја

Кај **електромоторот без четкички**, роторот е перманентен магнет, а статорот е составен од намотки. Намотките се намотани околу ламирано железно јадро. Поради заемното дејство помеѓу перманентниот магнет и електромагнетот се јавува сила која го придвижува перманентниот магнет. Моторите без четкички можат да бидат еднофазни, двофазни и трофазни, од кои најзастапени се трофазните и тие се прикажани на слика 5.10. Секоја фаза има по две, дијагонално поставени намотки. Намотките се обележани со буквите А, В и С. Потребни се шест чекори (интервали) за трофазниот мотор без четкички да изротира за 360° и тие се обележани со броевите од 1 до 6. На пример, во првиот интервал фазата А е позитивна, фазата В е негативна, а фазата С е неутрална, во вториот интервал фазата А е позитивна, фазата В е неутрална, а фазата С е негативна итн.



Слика 5.10. Управување со електромотор за еднонасочна струја без четкички

Положбата на роторот се следи со помош на Халови сензори кои се поставени на статорот (кои се оддалечени еден од друг за 120°). Сигналите добиени од Халовите сензори се влезни сигнали за управувачкото коло кое генерира променливи еднонасочни струи за вклучување и исклучување на намотките. Бројот на постојани магнети во роторот и бројот на намотки во статорот можеме да го зголемиме, но бројот на фази ќе остане ист, а единственото нешто што ќе се промени е бројот на интервали потребни за ротирање на роторот за 360° степени.

Електромоторите за наизменична струја можат да бидат **синхрони и асинхрони**. Основните разлики меѓу овие два мотора се дадени подолу

Карактеристики	Синхрон мотор	Асинхрон мотор
Дефиниција	Исти брзини	Брзината на вртење на роторот е помала од брзината на промена на магнетното поле, кое го создава статорот
Почетно напојување	За почеток на работата потребен е дополнителен извор на еднонасочна струја	Нема потреба од почетен извор
Струјно напојување	Роторот има сопствено струјно напојување	Струјата се индуцира во роторот
Брзина	Брзината не зависи од оптоварувањето	Зголемувањето на оптоварувањето ја намалува брзината
Вртежен момент	Промената на влезниот напон не влијае на вртежниот момент	Промената на влезниот напон влијае на вртежниот момент
Оперативна брзина	Работат релативно добро на мали брзини, под 300 вртежи/минута	Брзината на моторот е одлична над 600 вртежи/минута
Цена	Скапи	Евтени
Примена	Регулатори на напон	90 % од моторите во индустријата се асинхрони

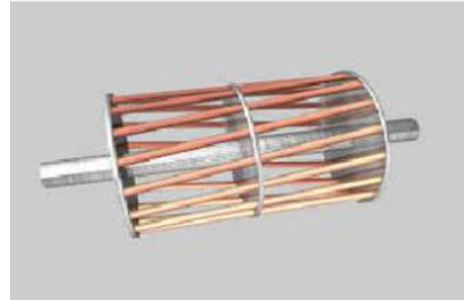
На слика 5.11. е прикажан внатрешниот изглед на асинхрон мотор. Во внатрешноста на статорот се изглебени жлебови и во нив се сместени три распределени и симетрични фазни намотки.

Намотките се приклучени на трофазен наизменичен напон протекуваат трофазни наизменични струи кои во воздушниот процеп создаваат трофазно вртливо магнетно поле што се врти со **брзина $n = 60f/p$** , каде што f е фреквенција на напонот, а p е број на парови на полови. Брзината зависи од променливата фреквенција на напонот на напојување.

Постојат две основни изведби на асинхрониот мотор: со намотан ротор и со кусоврзан или кафезен ротор. Кусоврзаниот ротор на асинхрониот мотор е направен од спроводници (прачки или шипки) кои кусо се соединуваат со два метални прстена кои се леат истовремено и ова е прикажано на слика 5.12.



Слика 5.11. Асинхрон мотор со намотан ротор

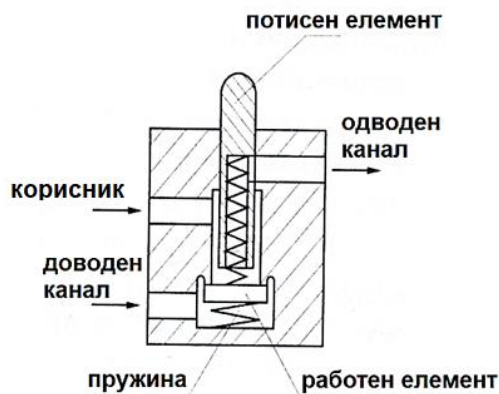


Слика 5.12. Кафезен ротор

5.5. Хидраулични и пневматски актуатори

Пневматиката и хидрауликата се многу застапени во современата техника, особено во системите за автоматско управување, бидејќи хидропневматските уреди се одликуваат со **голема економичност, издржливост и едноставна конструкција**. Особено значајна примена имаат во тешки услови на работа, високи притисоци, големи работни температури, каде што има опасност од експлозија.

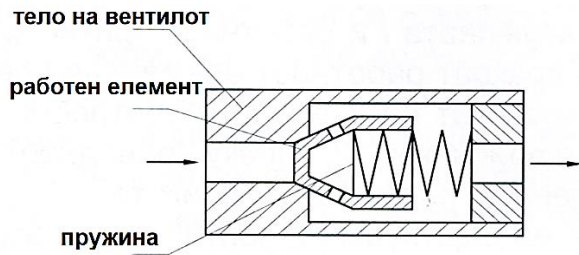
Во пневматските системи, како работен флуид најчесто се користи компримиран воздух. Машината која се употребува за производство на воздух под притисок се нарекува компресор. Најчесто користени извршни елементи во пневматските системи се вентилите. Со помош на вентилите се регулираат големината на работниот притисок и воздушниот проток низ пневматскиот системот. Постојат пет видови на вентили: разводници, неповратни вентили, вентили за притисок, проточни вентили и славини. **Разводниците** во пневматските и хидрауличните системи ја имаат задача да **управуваат со протокот**, односно да го насочуваат компримираниот воздух според потребите. На слика 5.13. е прикажан вентилски троположбен разводник. Составни делови се потисен елемент, работен елемент (во форма на плочка, конус или топче) и пружина, која обезбедува заптивност меѓу приклучниот и одводниот канал.



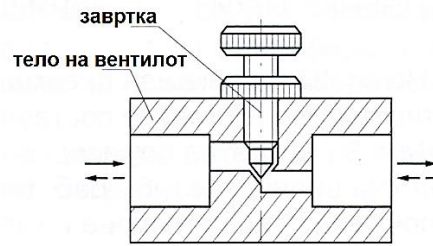
Слика 5.13. Хидропневматски вентил канал.

Со притискање на потисниот елемент надолу, со помош на еластичната сила на пружината, тој се изместува од своето седиште и го отвора протокот на компримираниот воздух од доводниот канал кон корисникот. Со ослободување на потисниот елемент работниот елемент се враќа во своето седиште и употребениот компримиран воздух од корисникот излегува преку одводниот

На слика 5.14 е прикажан неповратен вентил со конусен работен елемент.



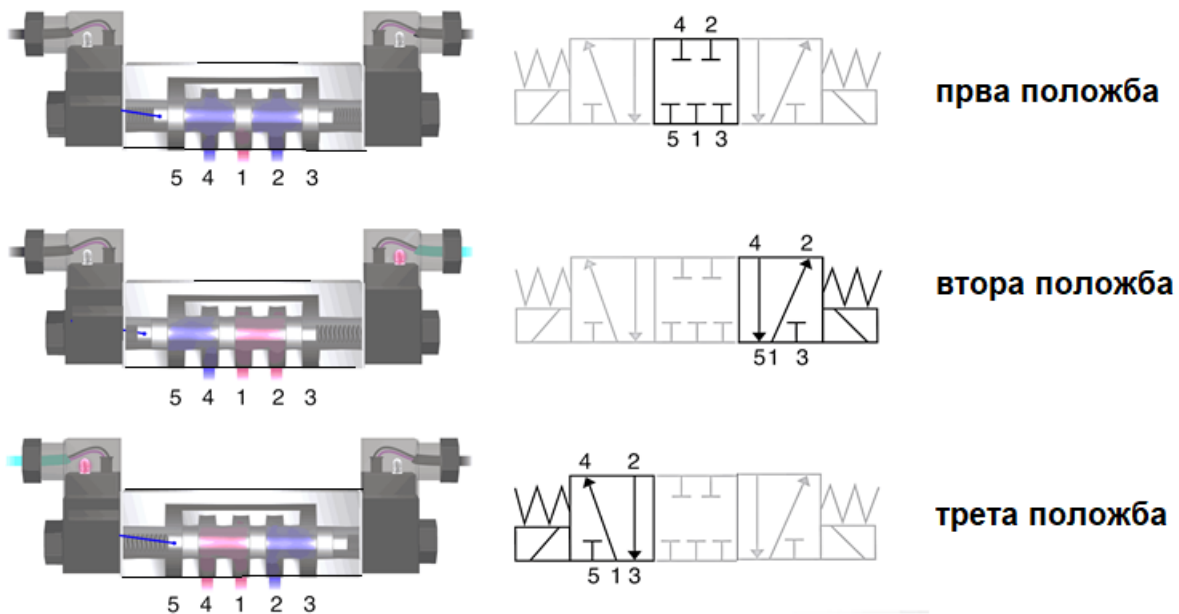
Слика 5.14. Неповратен вентил



Слика 5.15. Придушен вентил

Компримираниот воздух под дејство на работниот притисок ја совладува силата на пружината и го поместува работниот елемент од седиштето. На тој начин обезбедува зјај низ кој струи компримиран воздух кон излезниот канал. Ако се зголеми работниот притисок во вентилот, тој, потпомогнат од пружината, го враќа работниот елемент во седиштето и не дозволува компримираниот воздух да се врати во спротивна насока. На слика 5.15. е прикажан придушен вентил со можност за промена на напречниот пресек на спроводните канали. Ако се намали напречниот пресек на спроводниот канал се намалува големината на протокот.

За работа со пневматски и хидраулични вентили многу е важно да се познаваат нивните ознаки и симболи. За полесно разбирање ќе го објасниме **клипниот разводник 5/3**, прикажан на слика 5.16. .

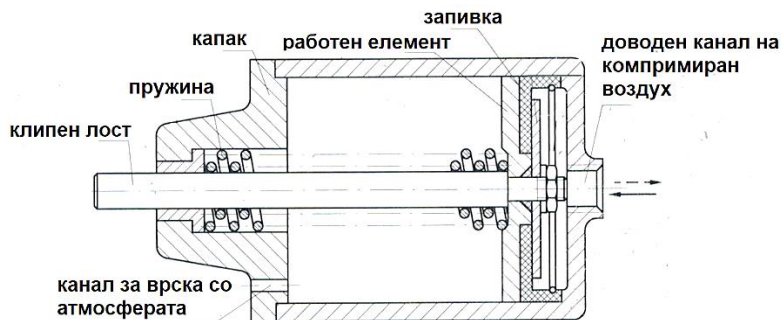


Слика 5.16. Клипен разводник со пет канали и три положби

Бројот 5 означува дека вентилот има пет **канали**, а бројот три е број на **положби**. Колку квадрати ќе има во симболот зависи од бројот на положби. Стрелките ни покажуваат како се движи воздухот низ каналите. Од левата и десната страна на симболот за вентил означени се видовите на употребени актуатори. Во овој случај, од двете страни на вентилот се употребени два вида актуатори, пружина и електромагнетен актуатор. Актуаторот ги поместува работните елементи. Во првата положба сите актуатори се неактивни и каналите се затворени. Во

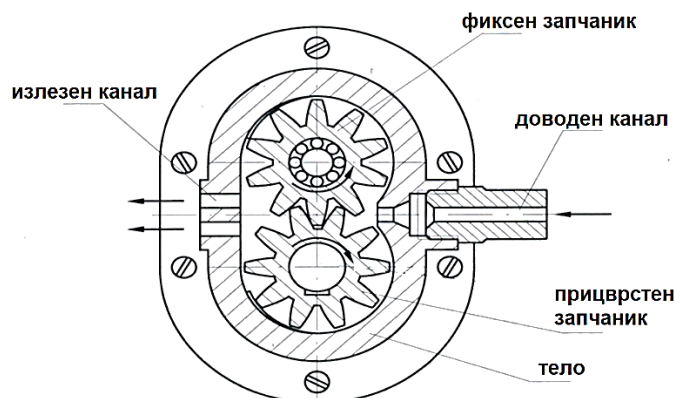
втората положба работните елементи се придвижуваат од десно кон лево, воздухот се движи од каналот 1 кон каналот два и од каналот 4 кон каналот 5, а каналот 3 е затворен. Потоа се активираат актуаторите од левата страна и работните елементи се придвижуваат од лево кон десно. Потоа вентилот се враќа во прва положба и циклусот се повторува.

Извршните уреди во пневматските системи имаат задача да ја трансформираат енергијата на компримирааниот воздух во механичка енергија. Со добиената механичка енергија извршните уреди вршат механичка работа или служат како погонски мотори. Во зависност од движењето на работниот елемент пневматските мотори можат да бидат со праволиниско или ротациско движење. На слика 5.17. е прикажан **пневматски цилиндар** со еднострано работно дејство. Компримирааниот воздух низ каналот за довод навлегува во работниот цилиндар. Ја совладува силата на пружината, го турка подвижниот елемент (клипот) од десно кон лево. Праволиниското движење на работниот елемент преку клипниот лост се пренесува надвор од цилиндарот. Враќањето на клипот од крајна лева во почетна положба се врши под дејство на силата на пружината, но претходно се прекинува доводот на компримиран воздух. Враќањето на клипот се вика празен од бидејќи ниту создава ниту троши енергија.



Слика 5.17. Пневматски цилиндар како извршен уред

На слика 5.18 е прикажан запчест пневматски мотор за ротациско движење.



Слика 5.18. Запчест пневматски мотор

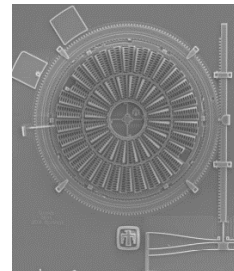
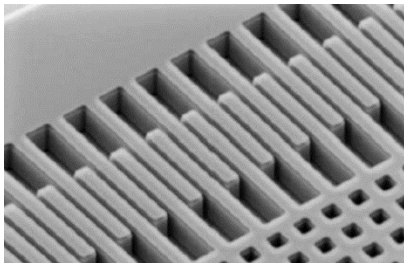
Компримирааниот воздух влегува преку доводниот канал во кој има вградено млазник за регулирање на протокот. Воздухот дејствува на бочните страни од запците на спрегнатите зачаници вртејќи ги во правец на прикажаната насока. Стисливоста на воздухот е негативна карактеристика на пневматиката и особено

се манифестира при мали брзини на клипот. При работење со мали брзини може да се појави испрекинато движење и привремен застој. Бидејќи **течните флуиди се нестисливи**, кај хидрауличните актуатори тие проблеми ги нема. Заради тоа се употребуваат комбинирани (хидраулични и пневматски) извршни елементи, кои успешно се надополнуваат.

5.6. Микроактуатори

Како што кажува самото име, микроактуаторите се актуатори со многу мали димензии. Тие претставуваат **силициумски плочки со слоевита структура** и за нивно производство се користат микроелектронски и микромашински технологии. Структурата на микроактуаторите не може да се види со голо око туку за тоа ни е потребен микроскоп. МЕМС (микро електро-механички систем) технологијата се применува и на сензори и таков вид на сензори се вибрациски сензори (слика 2.43), кои се вградуваат во мобилните телефони, и микроакцелаторите (слика 2.5..) Иако се со мали димензии микроактуаторите може да генерираат големи сили и поместувања ако истите се поврзат во низа. Во споредба со традиционалните актуатори, нивни предности се: мали димензии и тежина, ниска цена, мала потрошувачка на енергија, голема сигурност, можност за масовно производство и лесна инсталација.

Постојат различни видови, но најчесто користени микроактуатори се: електростатичкиот, електромагнетниот, термичкиот и пиезо микроактуатори. Електростатички микроактуатор е погонскиот чешел и тој е претставен на слика 5.19.

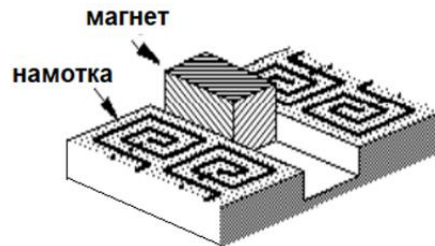


Слика 5.19. Електростатички микроактуатори во форма на чешел и кружен облик

Чешлите се поставени во пар и секој чешел од парот е наелектризиран со спротивно количество електрицитет. Кога чешлите се под напон поради одбивната сила меѓу спротивно наелектризираните чешли доаѓа до поместување односно електричната енергија се претвора во механичка. Слична структура имаат и микромоторите, но со кружен облик. Нивниот дијаметар изнесува пола милиметар, но можат да се движат со брзина до 1000 вртежи во минута.

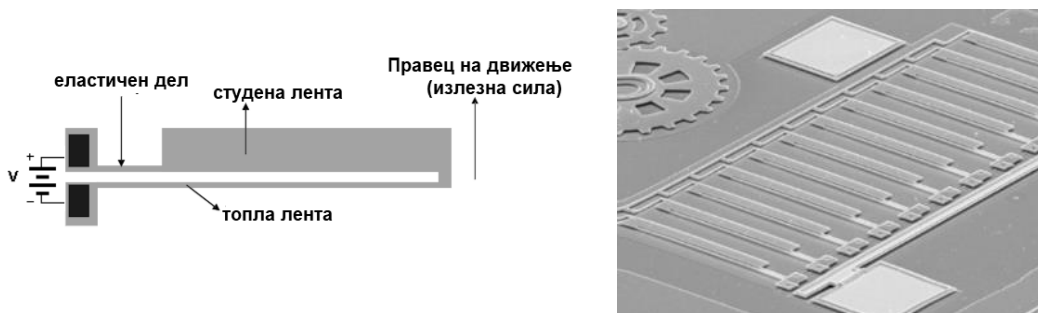
Знаеме дека околу проводник низ кој тече струја се создава магнетно поле. Како резултат на заемното дејство на полето од електромагнетот и полето од перманентниот магнет се јавува привлечна или одбивна сила, под чие дејство

може да дојде до поместување. Структурата на електромагнетниот микроактуатор е прикажана на слика 5.20.



Слика 5.20. Електромагнетен микроактуатор

Термалните микроактуатори го користат својството на материјалите да се шират кога температурата се зголемува. Доколку од некоја причина се спречи ширењето на материјалот се јавува сила со многу голем интензитет. Во пракса многу често се користат термалните биморфни актуатори. Тие се составени од две паралелни ленти од ист материјал, но со различна дебелина (слика 5.21.). Овие микроактуатори, кога се каскадно поврзани, се многу ефикасни и произведуваат многу голема сила по единица површина.



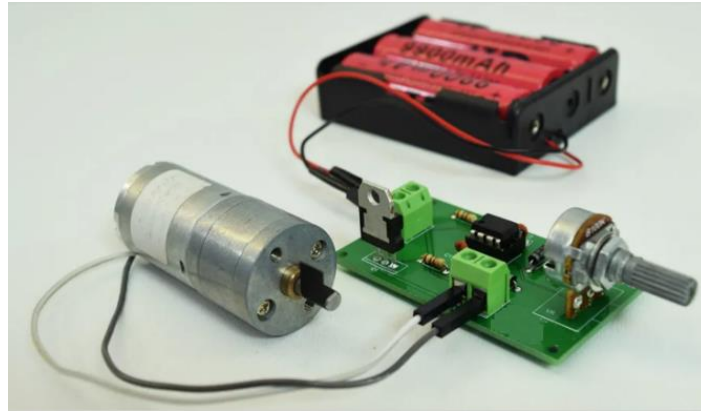
Слика 5.21. Структура на термален биморфен актуатор и нивно каскадно поврзување

Пиезо микроактуаторите се изработени од кварц. Карактеристиките на кварцот како материјал ги објаснивме кога зборувавме за пиезоелектричниот сензор. Кај микроактуаторите е искористен обратниот ефект. Ако на краевите на кварцниот кристал се донесе електричен напон тогаш кристалот генерира многу големи сили и мали поместувања.

5.7. Практична примена на електромотор на еднонасочна струја

1. Цел на вежбата

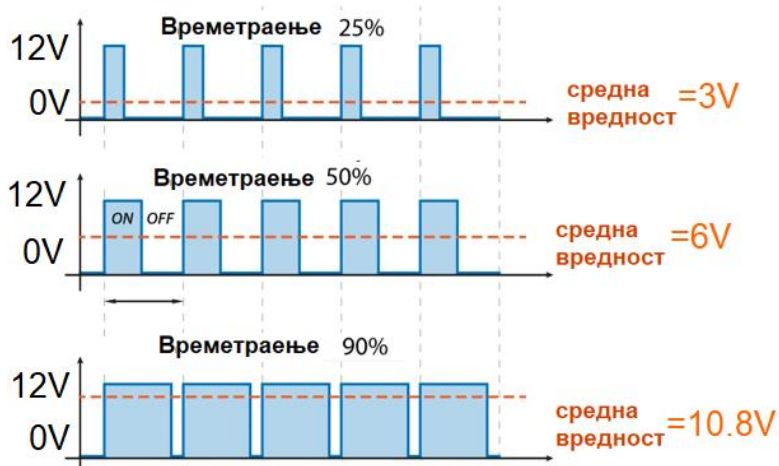
Цел на вежбата е изработка на уред за управување со брзината на мотор на еднонасочна струја со примена на интегрирано коло NE555. Накратко ќе се запознаеме со основните карактеристики на ова коло, начинот на управување и електричната шема за изработка на уредот.



Слика 5.22. Надворешен изглед на уред за управување со брзина на еднонасочен мотор

2. Начин на работа

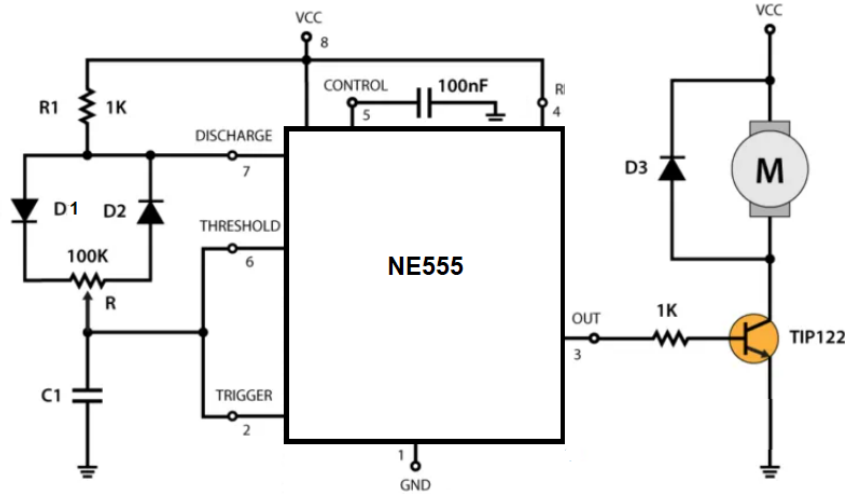
За управување со брзината ќе користиме широчинско модулирани импулси кој всушност претставуваат поворка од поворка од правоаголни импулси со константна амплитуда и периода (фреквенција) и променливо времетраење.



Слика 5.23. Широчинско модулирани импулси и средна вредност на електричен напон

Ова е прикажано на слика 5.23. **Средната вредност на електричниот напон зависи правопротпорционално од времетраењето на импулсите.** На пример, ако времетраењето на импулсите изнесува 90% од вредноста на периодата тогаш средната вредност на излезниот напон ќе изнесува 90% од вредноста на напојувањето, 12V. За генерирање на импулсно широчински модулираниот сигнал (PWM-Pulse Width modulation) се користи интегрирано коло NE555. За ова коло е карактеристично што влезот е аналоген, а излезот е дигитален. На слика 5.24. е прикажано колото за управување со брзината на електричен мотор на еднонасочна струја. Кога кондензаторот C1 се полни, на излез од интегралното коло NE555 се јавува импулс, а кога кондензаторот се празни се јавува пауза. **Со промена на отпорноста R се менува времетраењето на импулсите, а со тоа и брзината на еднонасочниот мотор.** Отпорникот R1 е со многу помала отпорност во однос на отпорноста на потенциометарот, на пример 1K Ω во однос

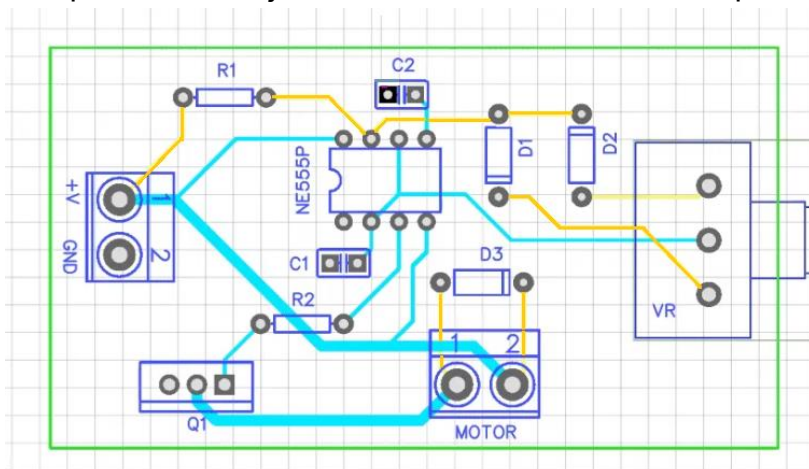
на $100\text{K}\Omega$. На ваков начин можеме да имаме 99% контрола над празнењето и полнењето на кондензаторот. Струјата на излез од интегралното коло NE555 изнесува 200mA и оваа јачина на струјата е недоволна за работа на моторот. Поради тоа се користи транзистор како засилувач кој ја засилува струјата до 5A .



Слика 5.24. Електрична шема на коло за управување со брзина на еднонасочен мотор

3. Макета на уредот

На слика 5.25. е прикажан дизајнот на печатената плочка за изработка на уредот.



Слика 5.25. Печатена плочка за управување со брзина на еднонасочен мотор

За изработка на уредот ни се потребни следните елементи:

- Интегрирано коло NE555P
- Отпорници $R1 = R2 = 1\text{K}\Omega$
- Кондензатори $C1 = C2 = 100\text{nF}$
- Насочувачки диоди $D1 = D2 = D3 = 1\text{N4004}$
- Потенциометар $100\text{K}\Omega$
- Транзистор TIP122
- Клеми за поврзување на моторот и напојувањето
- Батерии со вкупен потенцијал од 12V

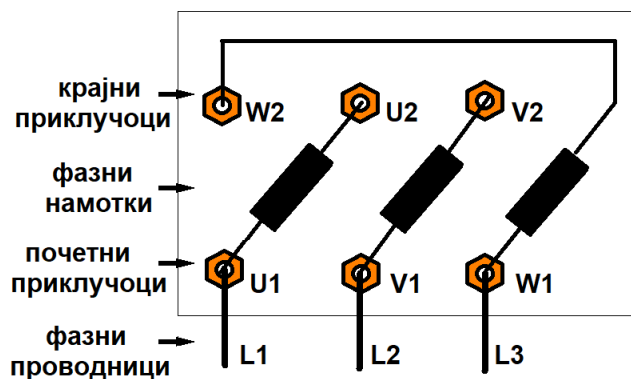
4. Забелешка

Вежбата може да се изведе со примена на протоплочка. Со помош на осцилоскоп може да се нацртаат брановите облици на напонот на излез од интегрираното коло. Исто така за да се измери брзината на еднонасочниот мотор може да се искористи вежбата со наслов Мерење претворувач на аголна брзина, од втората тема.

5.8. Асинхрони мотори како извршни органи

Веќе истакнавме дека 90 % од моторите во индустријата се асинхрони мотори. Тие се користат во најразлични машини како: лифтови, вентили, мелници, кранови, компресори, центрифугални пумпи итн. Поради тоа, од голема важност е да се знае начинот на работа со овие мотори.

Испитувањето на исправноста на трофазниот асинхрон мотор треба да се изврши пред неговото поврзување со напојувањето. Ако го отстраниме горниот капак на моторот, ќе забележиме шест приклучоци и бакарни плочки меѓу нив, кои служат како краткоспојници. Ова е прикажано на слика 5.26.

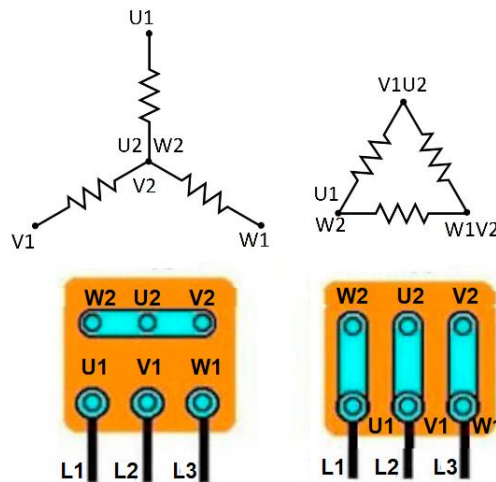


Слика 5.26. Приклучна плоча на трофазен асинхрон мотор

Пред да започне испитувањето на моторот треба да се извадат бакарните плочки. Трофазниот асинхрон мотор содржи три намотки и секоја намотка има два приклучока, почеток и крај. Трите намотки се означени со буквите U, V и W. Почетоците на намотките се означени со индексот еден, односно U₁, V₁ и W₁, а краевите со индексот два, т.е. U₂, V₂ и W₂. **Со помош на омметар се мери отпорноста на секоја намотка и тие треба да бидат еднакви или приближно исти.** Исто така, треба да се провери дали моторот има пробив кон заземјувањето, така што не треба да постои отпорност меѓу приклучокот на секоја намотка и куќиштето на моторот.

Откако ќе се провери исправноста на моторот, тој треба да се поврзе со електричната мрежа. Најчесто користена спрега е спрегата ѕвезда и таа е прикажана на слика 5.27. **При спрега ѕвезда, краевите на фазните намотки U₂, V₂ и W₂ се кратко споени, а на почетоците се доведува по еден фазен спроводник**, т.е. фазата L1 на U₁, фазата L2 на V₁ и фазата L3 на W₁. При

спрега звезда, напонот на краевите на фазните намотки на моторот (U1-U2, V1-V2, W1-W2) е 220 V.



Слика 5.27. Спрега звезда и триаголник на намотки кај трофазен асинхрон мотор

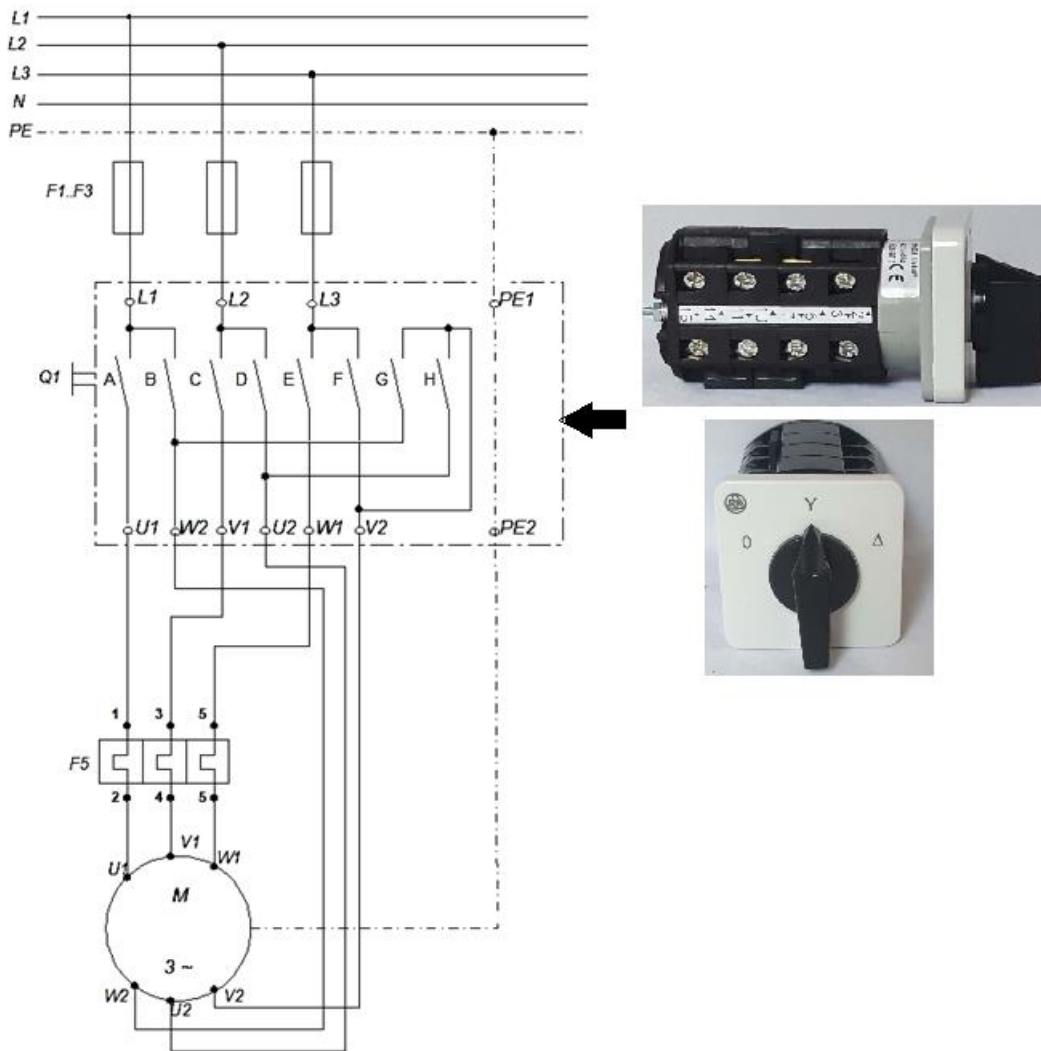
Втор начин на поврзување приклучната плоча на трофазен асинхрон мотор е со **спрегатата триаголник (слика 5.27.)**. Крајот од една намотка се поврзува со почетокот на друга намотка, т.е. U1 со W2, V1 со U2 и W1 со V2, а фазните водови се поврзуваат на местата на споевите на фазните намотки. При спрегатата триаголник, напонот на краевите на фазните намотки на моторот е 380 V.

Моторите чии намотки можат да се спојат во звезда или триаголник имаат ознака DY400/690 V, а моторите чии намотки можат да се поврзат само во триаголник имаат ознака DY230/400 V.

Трофазните асинхронни мотори до 4 KW директно се пуштаат во работа, додека над 4 KW се користи еден од начините за индиректно пуштање во работа. Ова е од причина што **во моментот на пуштање (кога роторот сè уште мирува) моторот повлекува од мрежата 3 до 7 пати поголема струја од номиналната**. Еден од начините за да се намали почетната струја е **индиректниот начин на пуштање, звезда – триаголник**.

Според овој начин, моторот го пуштаме во работа со спрега на намотките во звезда, а откако роторот на моторот ја достигне номиналната брзина, намотките се преспојуваат во спрега триаголник. Електрична инсталација за индиректно пуштање во работа на трофазен асинхрон мотор може да се изведе со примена на посебен **рачен (гребенест) прекинувач звезда – триаголник**. Овој прекинувач служи за пуштање во работа на трофазни асинхронни мотори во две етапи. Првата етапа е звезда и тогаш моторот почнува да работи и постепено го зголемува бројот на вртежите на роторот. Кога бројот на вртежите ќе ја достигне номиналната вредност, рачно се префрла во положба триаголник, односно во втората етапа, со што завршува процесот на пуштање во работа на моторот. Моторот го исклучуваме со поставување на префрлувачот во положба 0. На

слика 5.28. е дадена електричната шема на главниот струен круг. Во положба 0, сите контакти се отворени и моторот не работи.



Слика 5.28. Индиректно пуштање во работа на трофазен асинхрон мотор со рачен прекинувач ѕвезда-триаголник

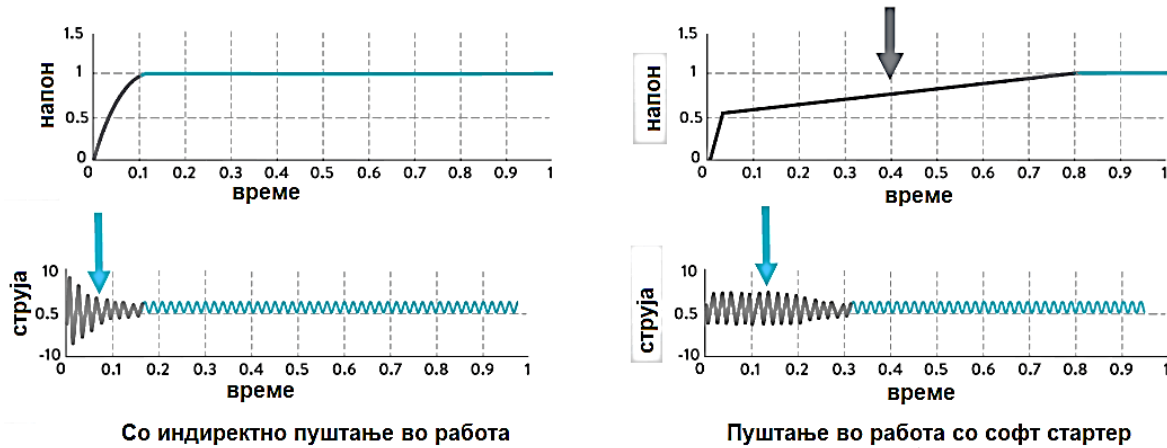
Во положба Y, контактите L1-U1; L2- V1; L3-W1 се затвораат, моторот се поврзува со електричната мрежа, а контактите W2, U2, V2 се премостуваат, со што се формира спрегата ѕвезда и моторот работи во спрега ѕвезда. Во положба Δ се затвораат контактите L1-U1-W2, L2- V1-U2, L3-W1- V2, со што се формира спрегата триаголник и моторот се поврзува со електричната мрежа.

Освен со гребенест прекинувач, електрична инсталација за индиректно пуштање во работа на трофазен асинхрон мотор може да се изведе автоматски, со примена на контакторска комбинација и временски релеј.

Во прилог на оваа вежба да нагласиме дека насоката на вртење на моторот може да се промени со меѓусебно вкрстување на кои било два фазни спроводника. Најчеста причина за оштетување на моторот е исчезнување на една фаза и затоа е неопходно да се користат заштитни осигурувачи.

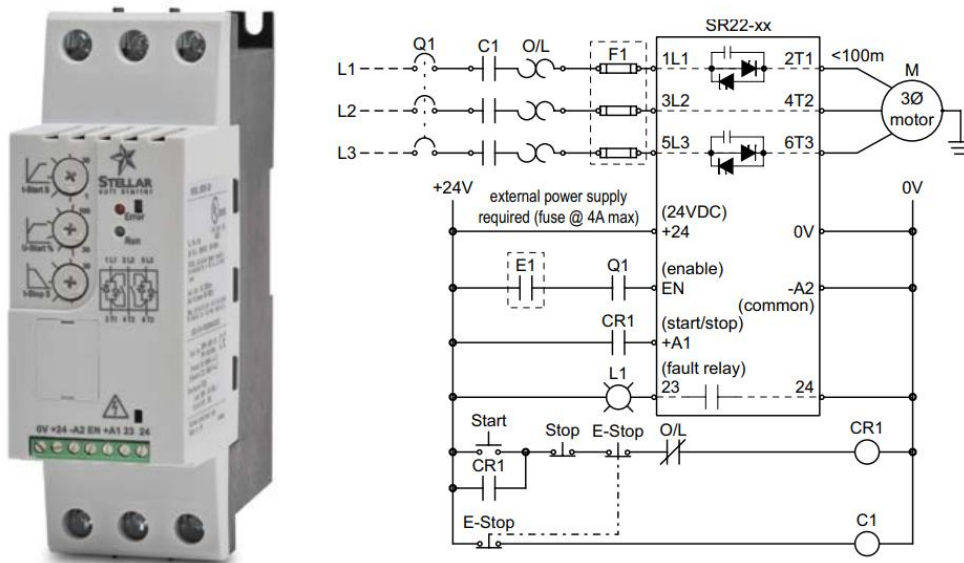
5.9. Софт стартери и фреквенциски регулатори

Веќе истакнавме дека во моментот на пуштање во работа, моторот повлекува од мрежата три до четирипати поголема струја од номиналната, што може да предизвика оштетување. Постојат повеќе начини за намалување на почетната струја и веќе се запознавме со начинот ѕвезда – триаголник. Но развојот на енергетската електроника и микропроцесорската технологија доведоа до појава на нови побезбедни и посигурни уреди, како што се софт стартерот и фреквенциските регулатори.



Слика 5.29. Споредба на пуштање во работа на мотор со и без употреба на софт стартер

Софт стартерот го ограничува почетниот напон и вртежниот момент на моторот, спречува скоковити осцилации на почетната струја, обезбедува постепено, мазно стартување на моторот. Таквиот почеток на работата го штити моторот од механички и електрични оштетувања и го продолжува неговиот животен век.



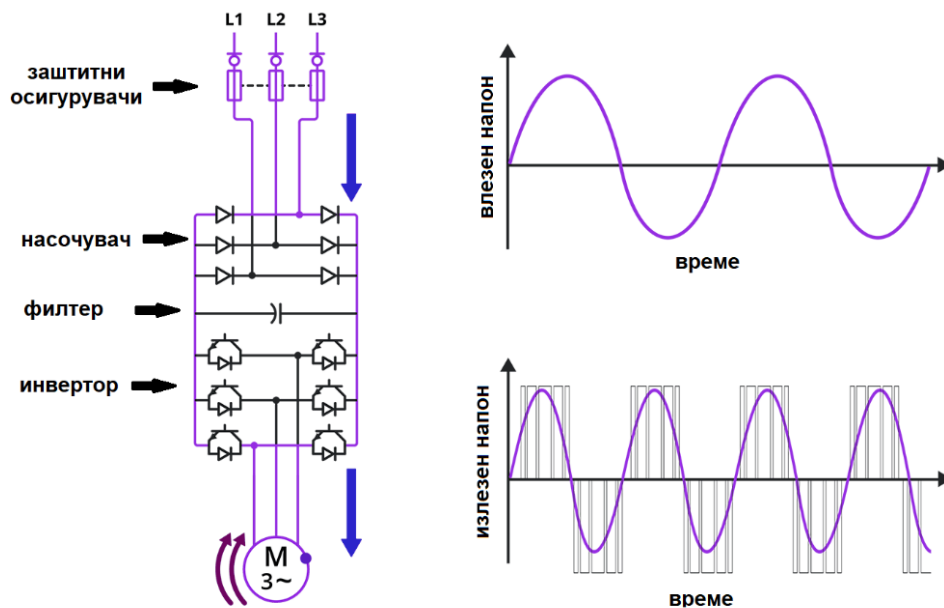
Слика 5.30. Надворешен изглед и поврзување на софт стартер

Како што покажува слика 5.30., софт starterот содржи три паралелно поврзани двонасочни тиристоры, за секоја фаза по еден тиристор. Управувачкото коло испраќа импулси до портите на тиристорите и тие постепено го пропуштаат мрежниот напон. Откако ќе се постигне работниот напон, тиристорите се исклучуваат и се вклучуваат внатрешните контакти во софт starterот. Од слика 5.30. гледаме дека од безбедности причини, starterот не се приклучува директно со мрежата туку преку контактор и осигурувачи. На истата слика е прикажан и надворешниот изглед на софт starterот.

Уредот содржи три потенциометри за избор на времето на стартување и сопирање до 30 секунди и нагудување на вредноста на напонот од 30 % до 100 %.

Придобивките од употребата на софт starterот се: намалено механичко оптоварување на погонските елементи (запченици, синцири, спојници), намалени хидраулични удари во цревата, намалено лизгање на погонските појаси, намалени вибрации на транспортните ленти.

Иако се направени од полупроводнички елементи и се користат за постепено пуштање во работа на трофазните асинхронни мотори, фреквенциските регулаторы значително се разликуваат од софт starterите, како по својата градба така и по функционалноста.



Слика 5.31. Внатрешната градба и начинот на поврзување на фреквенцискиот регулатор

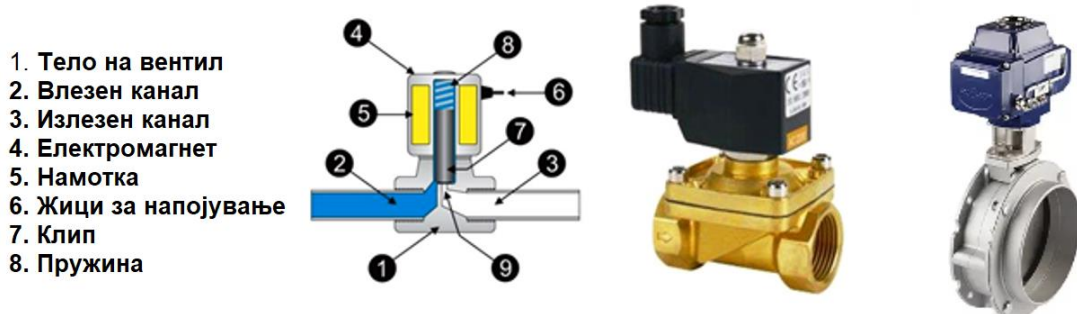
Всушност, фреквенцискиот регулатор е ист како и фреквенцискиот претворувач, со кој се запознавме во втората тема. Да се потсетиме на начинот на работа. Со помош на насочувач, наизменичниот напон се претвора во еднонасочен, потоа еднонасочниот напон се стабилизира, односно се филтрираат високофреквентните компоненти и повторно се претвора еднонасочниот напон во наизменичен напон, но се менува фреквенцијата така што транзисторите ја пропуштаат и инвертираат еднонасочната струја во точно определени

временски интервали. На слика 5.31. е прикажана внатрешната градба и начинот на поврзување на фреквенцискиот регулатор. Освен за „меко“, постепено пуштање во работа, фреквенциските регулатори се користат и за регулација на брзината на работа на моторите, со што се намалува потрошувачката на енергија и се продолжува животниот век на машините.

5.10. Електромагнетни извршни органи

Електромагнетот е основа на електромагнетните актуатори. Тој е прикажан на слика 5.7. и се состои од намотка и клип од железо или челик. Кога протекува струја низ намотката, се генерира магнетно поле околу неа. **Магнетната сила предизвикува клипот да биде привлечен или одбиен што зависи од насоката на струјата низ намотката.** Оваа сила зависи обратнопропорционално од должината на воздушниот простор и право пропорционално од јачината на струјата и бројот на намотки. Електромагнетите можат да бидат од влечен или туркачки вид.

Електромагнетните вентили се извршни органи и тие се користат за автоматско **воспоставување или прекин на протокот на некој флуид** (воздух или течност). Веќе знаеме дека терминот автоматски значи извршување на работа без учество на човекот туку под дејство на електричен управувачки сигнал.



Слика 5.32. Електромагнетен вентил

Како што ни кажува и самото име, електромагнетниот вентил е составен од два функционални дела: електромагнет и вентил. Освен линеарни постојат и ротациски или таканаречени вентили пеперутка. Двата типа на вентили се прикажани на слика 5.32. Исто како електричните прекинувачи и електромагнетните вентили можат да бидат нормално отворени или нормално затворени. Ако вентилот не треба да го пропушта флуидот подолго време тогаш треба да се одбере нормално затворен вентил и истиот се отвора под дејство на електричен напон.

Како извршни органи електромагнетните вентили можат да бидат **континуирани и дискретни**. Во случај на континуирано дејствување количеството на флуид што поминува низ отворот на вентилот зависи право пропорционално од јачината на струјата низ намотката на електромагнетот. Клипот може да биде во

неограничен број на положби. Намотката има ограничена дисипација на топлина и затоа не може да се реализира 100% оптоварување и потребно е големината на струја да се намали како би се избегнало оштетување. Електромагнетните вентили со дискретно дејствување се активираат во точно определени интервали. Тие го пропуштаат флуидот само кога се активни. Количеството на флуид што минува низ отворот на вентилот зависи од тоа колку често се активира, побудува електромагнетот. Бидејќи електромагнетите со дискретно (прекинувачко) дејствување работат со помали оптоварувања, јачината на струјата може да се зголеми, а со тоа ќе се зголеми и самата сила.

На слика 5.33. прикажани се два примери за практична примена на електромагнетни вентили. Првиот пример е хидрауличен систем за подигање и спуштање на товар или поточно стоматолошка столица. Вториот пример е чешма која безконтактно се вклучува и исклучува. Имено оваа чешма содржи сензор за блискост и кога ќе се активира истиот се вклучува напојувањето на електромагнетниот вентил и водата почнува да тече.



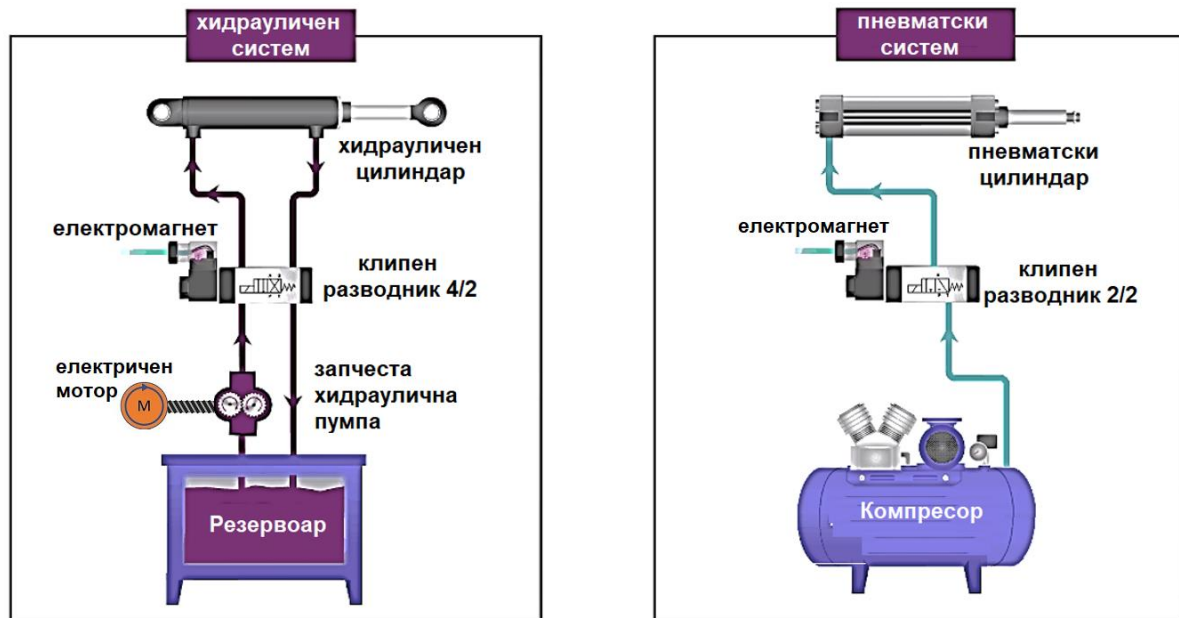
Слика 5.33. Примена на електромагнетни вентили

Постојат многу практични примери за примена на електромагнетните вентили: системи за наводнување, машини за перење и миење садови, автоматски брави, системи за сопирање, апарати за чистење, системи за управување со металорезачки машини, транспортни ленти, кафемати, системи за затоплување и ладење, вакуум системи итн.

5.11. Практична примена и ракување со хидраулични и пневматски извршни елементи

Во споредба со електричните извршни елементи, хидрауличните и пневматските извршни елементи се многу помоќни и нема загуби, на пример претворање на работната енергија во топлинска енергија. Пневматиката го користи воздухот како работен флуид, а тој е бесплатен и го има во големи количини. **Хидрауличните системи користат течност како работни флуиди** и основна предност е нивната нестисливост. Современите системи за автоматско управување претставуваат комбинација од електрични, хидраулични и пневматски компоненти. Слика 5.34. претставува споредба меѓу хидрауличен и

пневматски систем. Во двата системи како извршен елемент се користи цилиндар, кои се разликуваат по својата конструкција. Анализата ќе ја започне со хидрауличниот систем. Електричниот мотор претставува извршен погон кој електричната енергија ја претвора во механичка енергија. Хидрауличната пумпа ја претвора механичката енергија во енергија на флуиди, а хидрауличниот цилиндар ја претвора енергијата на флуиди во механичка енергија, поместување на товар. Слика 5.34. е многу слична со слика 5.33.



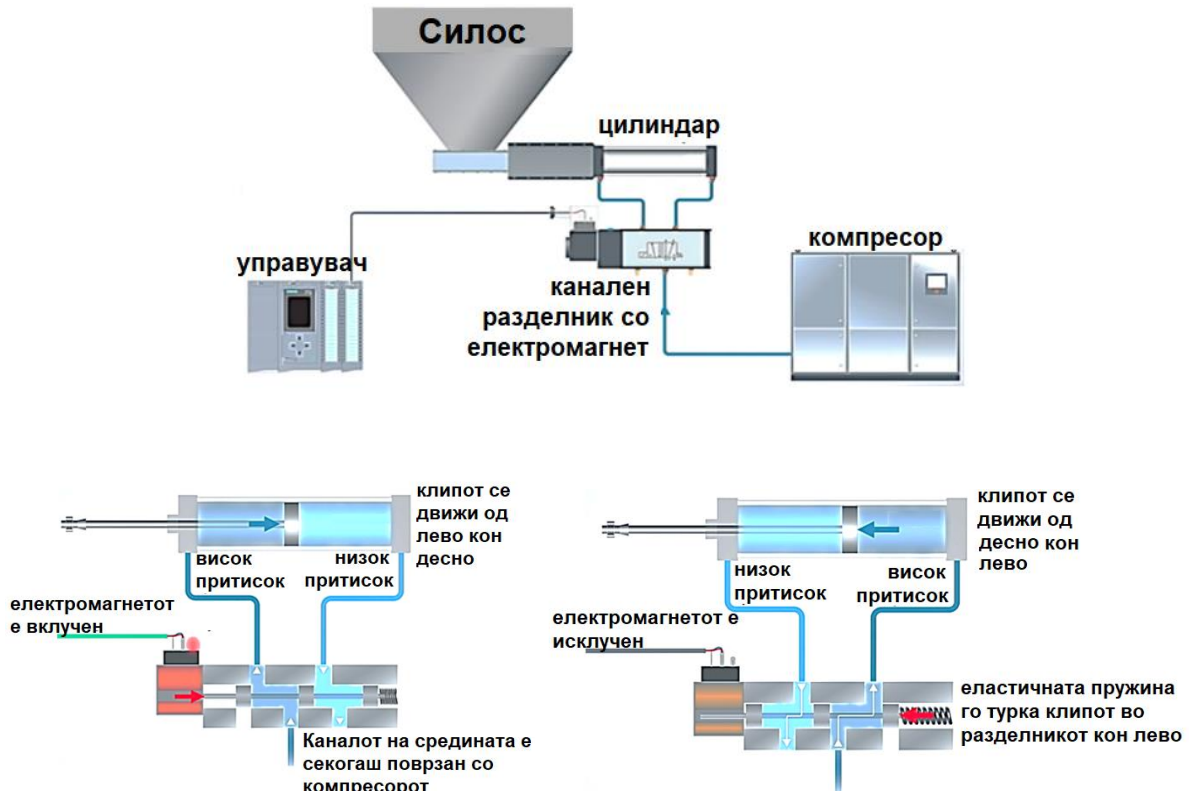
Слика 5.34. Споредба на хидрауличен и пневматски систем

Разликата е во тоа што системот на слика 5.33. користи два електромагнетни вентили, а системот на слика 5.34. користи клипен разводник кој се побудува со електромагнет, исто како вентилите. Да претпоставиме дека на почетокот клипот се наоѓа на левиот крај од цилиндарот и истиот почнува да се движи од лево кон десно под дејство на работниот притисок. Флуидот тече во насока како што е прикажано на слика 5.34. Во клипниот разводник каналите се поврзани паралелно (положба еден). Кога клипот ќе дојде до десниот крај на хидрауличниот цилиндар, клипниот разводник се префрла во втората положба односно каналите се вкрстуваат. Насоката на флуидот ќе биде обратна од онаа прикажана на слика 5.34. . Влезен канал ќе биде десниот, а излезен левиот канал на цилиндарот. Клипот ќе се движи од десно кон лево и кога ќе го достигне левиот крај на цилиндарот ќе започне нов циклус, повторување.

Во пневматскиот систем, наместо пумпа со резервоар, **секогаш се користи компресор**. Исто така, наместо 4/2 се користи 2/2 **клипен разводник** и во едната положба двата канали се затворени, а во другата положба тие се отворени и меѓусебно поврзани. Искористениот компримиран воздух не се враќа назад туку се испушта низ одводен канал додека е затворен разводникот.

Комбинацијата од разводници и цилиндри може да биде различна, во зависност од потребите на системот и машините.

На пример, на слика 5.35. е прикажан систем за автоматско отворање и затворање на силос. За разлика од претходниот пример овде е употребен 5/2 разделник и истиот се користи за менување на насоката на струење на воздухот низ цевките, како што е прикажано на истата слика



Слика 5.35. Практична примена на пневматски извршни елементи

Одржувањето на хидрауличните и пневматските системи и уреди треба да се изведува континуирано и плански. Компресорот, како прв елемент од системот, треба да прима чист воздух и да има доволно масло за подмачкување на подвижните делови. Резервоарот треба редовно да се контролира со помош на инсталираните инструменти бидејќи неговата неисправност може да предизвика експлозија или хаварија на целиот систем. **Херметичноста на пневматскиот систем** се испитува така што системот се полни со компримиран воздух до работен притисок, потоа се исклучува компресорот и сите корисници, се чека 12 до 24 часа и се прати падот на притисокот, кој не треба да биде поголем од 10%. Лоцирањето на местото од каде истекува флуидот се врши со премачкување на мрежата со сапуница и тогаш на местото на дефект се јавуваат меурчиња. По одреден период на експлоатација работните цилиндри треба да се расклопат, убаво да се одмастат со миење, а потоа детално да се прегледаат. Елементите за управување (вентили и разводници) најчесто страдаат од нечистотији кои ги затнуваат нивните канали со мали димензии. Според упатството на производителот треба да се проверува и точноста на мерните инструменти. Редовното одржување и ракување со системите е од суштинска важност за правилна работа и продолжување на нивниот животен век.

Прашања и задачи за повторување на материјалот

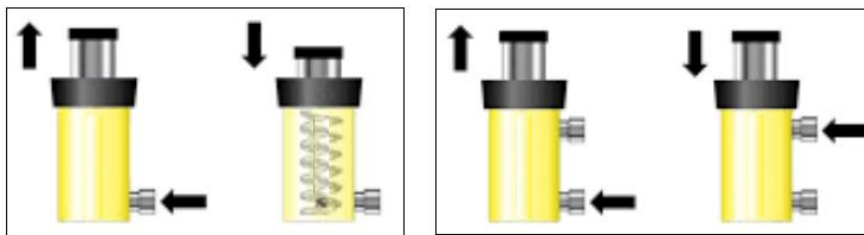
1. Која е улогата на извршните елементи во системите за автоматско управување?
2. Наведи неколку примери за извршни елементи кои се користат во индустриските процеси и во уредите за секојдневна употреба!
3. Која е разликата меѓу поимите извршен погон и извршен елемент?
4. Која е поделбата на извршните органи во однос на енергијата што ја користат?
5. Наброј неколку електромеханички актуатори!
6. Кои се предностите на хидропневматските актуатори во однос на електричните?
7. Кои се составни делови на хидрауличниот цилиндар?
8. Објасни го принципот на работа на електромоторите на еднонасочна струја, со и без четкички!
9. Кои се основни разлики меѓу синхрон и асинхрон мотор?
10. Од кои параметри зависи брзината на вртење на трофазен асинхрон мотор?
11. Кои извршни елементи се прикажани на слика 5.36.? Објасни ги симболите за нив!



Слика 5.36. Надворешен изглед и симболи за извршни елементи

12. Спореди ги пневматските во однос на хидрауличните извршни елементи!

13.Објасни ги принципите на работа на хидропневматските цилиндри прикажани на слика 5.37. !



Слика 5.37. Споредба на два различни вида на хидропневматски цилиндри

14.Кои се предностите на микроактуаторите во однос на традиционалните актуатори?

15.Какви технологии се користат за производство на микроактуатори?

16.Објасни го принципот на работа на електростатичкиот погонски чешел!

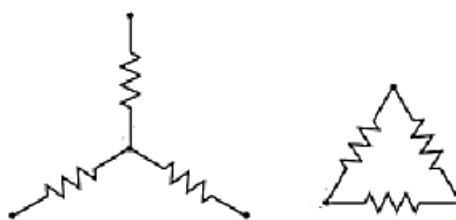
17.Колку изнесува средната вредност на напонот, ако ширината на импулсите изнесува 75 % од периодата (слика 5.23.)?

18.Интегрираното коло NE555 се користи како генератор на ширински модулирани импулси. Објасни го начинот на работа!

19.Објасни ја постапката за испитување на исправноста на трофазен асинхрон мотор!

20.Како се поставени и како се бележат намотките на трофазен асинхрон мотор?

21.Означи ги почетоците и краевите на намотките во спрега триаголник и спрега ѕвезда на слика 5.38.!



Слика 5.38. Спрега ѕвезда и спрега триаголник

22.На слика 5.28. е прикажана електрична шема за индиректно пуштање во работа на трофазен асинхрон мотор. Како се поврзани почетоците и краевите на намотките со фазните спроводници во зависност од положбата на рачниот прекинувач?

23. Кои се придобивките на софт старт уредите?

24. За што служат потенциометрите на софт старт уредот прикажан на слика 5.30.?

25. Која е функцијата на фреквенцискиот регулатор?

26. Наброј ги составните елементи и начинот на работа на електромагнетниот вентил!

27. Објасни го начинот на дејствување на електромагнетниот вентил како континуиран и дискретен извршен елемент!

28. Наброј неколку практични примени на електромагнетните вентили!

29. Кои извршни елементи се нарекуваат хибридни?

30. Каков извршен погон користи извршниот елемент прикажан на слика 5.36.?

31. Објасни како треба да се одржуваат хидропневматските извршни елементи!

6. Комутациони елементи

6.1. Поим и значење на комутационите елементи

За управување со електромоторните погони во индустриските процеси, за вклучувањето и исклучување на електромоторите и електрични уреди, за нивна заштита од преоптоварување и струја на куса врска, се применуваат разновидни комутациони елементи. Комутационите системи овозможуваат воспоставување на врска помеѓу компонентите кои вршат пренос на електрична енергија во електроенергетските системи. По завршувањето на преносот врските се прекинуваат. Процесот на воспоставување, одржување и прекинување на врските се вика комутационен процес или комутација.

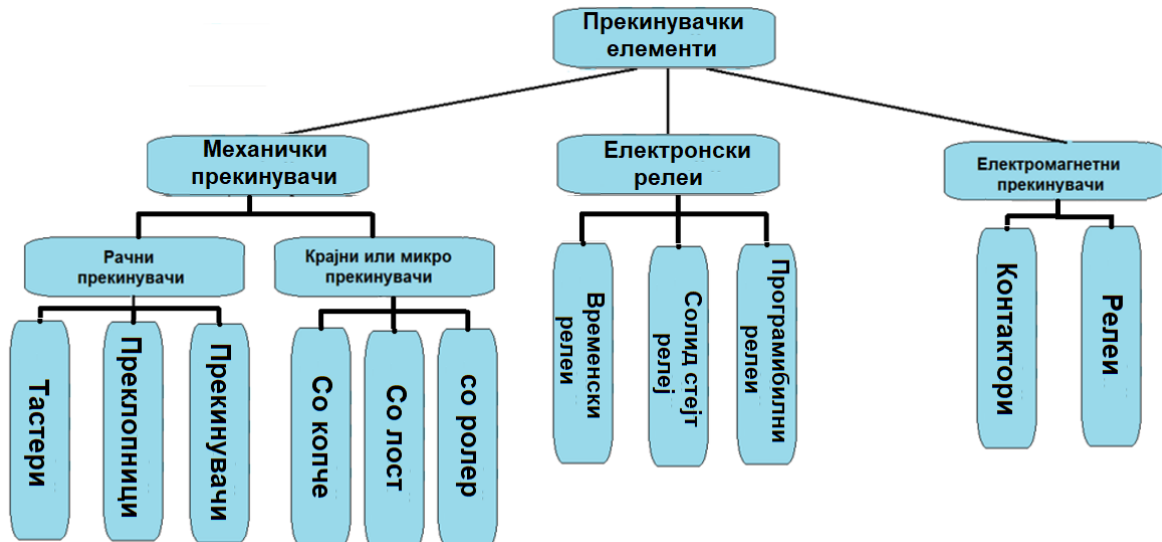
Комутационите врски можат да бидат **мануелни или автоматски**. При мануелно (рачно) комутирање учествуваат корисникот односно операторот и уредот за мануелно посредување. Операторот (манипулант) врши бирање на функции, испитување, воспоставување и раскинување на врските, служејќи се со комутационо поле и други преспоејници. При автоматско комутирање учествуваат корисникот и уредот за автоматско посредување. Корисникот бира и распознава сигнали, додека испитувањето, давањето сигнали, воспоставувањето и раскинувањето на врските го врши уредот за автоматско посредување, служејќи се со комутационите елементи.

Комутационите елементи се основни органи на комутационите системи. По барање на корисникот треба да испитаат или зафатат одреден споен пат во доволно кратко време. Комутациони елементи се во суштина елементи кои **служат за воспоставување (вклучување) и прекинување (исклучување) на струјните кола**. Нивното функционирање се сведува на принцип на прекинувач.

Механичките комутациони елементи се дискретни компоненти кои ги затвораат и отвораат своите контакти во зависност од акцијата на операторот или во случај кога некоја процесна големина (притисок, ниво, температура) ја достигне бараната вредност. Комутационите елементи се користат во инсталациите за управување со напојувањето, електричните струи на излез од уредите за автоматско управување, сигнализацијата и заштитата на автоматизираните индустриско-производни процеси или во електронските кола.

6.2. Видови комутациони елементи

Постојат повеќе критериуми за класификација на комутационите односно прекинувачките елементи. На слика 6.1. е прикажана поделбата според начинот на вклучување и исклучување на струјното коло.

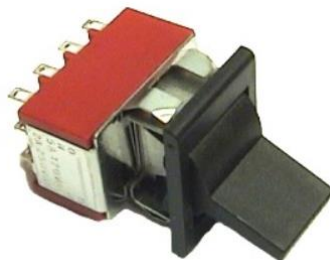


Слика 6.1. Видови комутациони елементи

Кај **механичките прекинувачи** отворањето и затворањето на електричните контакти се врши со примена на физичка сила. Се изработуваат со различна конфигурација зависно од бројот на полови, бројот на контакти, функцијата и друго. Во групата на рачни прекинувачи спаѓаат: **DIP прекинувачите, тастерите, обичните прекинувачи и преклопниците.**



Прекинувач-преклопник,
3 контакти, 6А
(преклопува еден
контакт)



Прекинувач-преклопник
со 12 контакти, 5А
(преклопува 4 независни
контакти во две позиции)



Вртлив преклопник со
еден контакт и 12
позиции (со посребрени
контакти и граничник за
ротацијата)

Слика 6.2. Преклопници со различен број на полови и контакти

Кај обичните прекинувачи секој влезен проводник може да се поврзе со еден излезен проводник (или да се прекине нивната врска), додека преклопниците овозможуваат поврзување на влезен проводник со еден од два или повеќе

излезни спроводници. На слика 6.2. се прикажани три различни преклопници и нивните карактеристики.

Со мануелните или рачни прекинувачи ракува човекот, а крајните или **микропрекинувачи** се обично поврзани со некој подвижен машински дел. На слика 6.3. се прикажани повеќе микропрекинувачи.



Слика 6.3. Микропрекинувачи со ролер, лост и копче

Ако сакаме со грејачот, кој работи на напон од 220 V, да управуваме (вклучуваме и исклучуваме) со уред кој користи напојување од 5 V тогаш треба да се употреби **релеј**. Релејот е електрично напојуван прекинувач. Контактите се затвораат под дејство на магнетното поле, добиено кога низ електромагнетот ќе протече струја. Електромагнетот е дел од управувачкото коло, а контактите се дел од колото на потрошувачот. Освен електромагнетни релеи постојат и електронски и истите немаат механички делови. На пример, **солид стејт релејот**, за отворање и затворање на потрошувачкото коло, користи полупроводнички елементи, како транзистор или тиристор. Нивна главна предност е поголема брзина на работа, сигурноста и нечувствителност на надворешни пречки. Програмибилните релеи имаат способност да се програмираат и истите во својот состав содржат процесор и меморија.

Покрај релето, **контакторот** е уште еден вид на електромагнетен прекинувач. Главната разлика меѓу релејот и контакторот е во моќноста. Контакторот се користи за уреди со моќност над 3 kW и максимални струи од 15 A. За помали моќности се користат релеите.

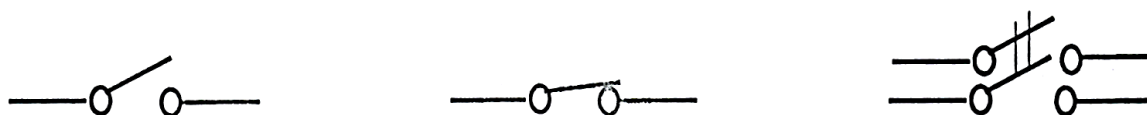
Во понатамошниот текст ние подетално ќе се запознаеме со различните видови на комутациони елементи.

6.3. Рачни прекинувачи

Веќе видовме дека изборот на комутациони елементи е многу голем и се случува еден ист елемент да се најде во повеќе различни групи, во зависност од критериумот за поделба. Најчесто користени рачни прекинувачи се: тастерите, обичните прекинувачи и преклопниците.

Кога зборуваме за прекинувачи мислиме на **прекинувачите со трајно дејство**. Кога го притискаме копчето прекинувачот го отвора или затвора струјното коло и воспоставената состојба не се менува, се до следното притискање на копчето. Прекинувачите се составени од изолациски материјал и метални проводни контакти од кои еден е подвижен, а два или повеќе се неподвижни контакти. Контактите се изработуваат од разни легури на бакар, радиум, платина,

волфрам и сребро. Кај прекинувачите кои се користат во кола со поголеми моќности, може да дојде до појава на електричен лак при нивно вклучување и исклучување и до заварување на контактите. Оваа појава може да се избегне или ублажи ако се користи прекинувач со голема брзина на префрлување на подвижниот контакт или со паралелно поврзување на кондензатор меѓу изводите на прекинувачот. Во електричните шеми, прекинувачите се означуваат со буквите S или SW (кратенка од switch) и се користат шематски симболи прикажани на слика 6.4.

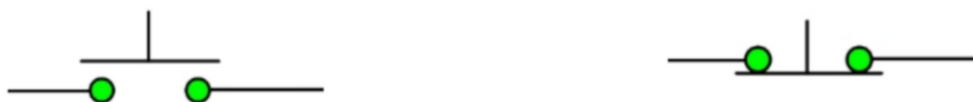


Слика 6.4. Електрични симболи за отворен, затворен и двополен прекинувач

Еднополните прекинувачи имаат еден влезен и еден излезен проводник и вршат поврзување на влезниот со излезниот проводник. **Двополните прекинувачи** имаат два влеза и два излези и се користат за вклучување и исклучување на две посебни кола. На пример, во едното коло се компоненти кои работат на 5 V, а во другото 12 V.

Според принципот на работа прекинувачите се поделени на механички, бесконтактни и електронски. Механичките прекинувачи според конструкцијата се делат на: кружни (обртни), лизгачки (шибер), притискувачки, клик-клак (со клацкалка), со лост, со колено и други. Бесконтактните прекинувачи работат на магнетен принцип. Со помош на магнет и Холов генератор се создава побуден напон за прекинувачкиот транзистор вграден во него. Електронските прекинувачи содржат транзистор или пак некое посложено електронско коло како што е на пример флип флоп колото. Нивна главна предност е поголема брзина на работа, сигурноста и неосетливост на надворешни пречки.

Тастерите се електромеханички уреди кои служат за моментално вклучување или исклучување на електричните кола. Тастерите се познати и под името **прекинувачи со привремено дејство**, бидејќи после отпуштањето на копчето контактот се враќа во првобитната положба. Исто како прекинувачите, разликуваме тастери со **нормално отворени контакти (NO)** или тастери со **нормално затворени контакти (NC)**. Нивните електрични симболи се дадени на слика 6.5.



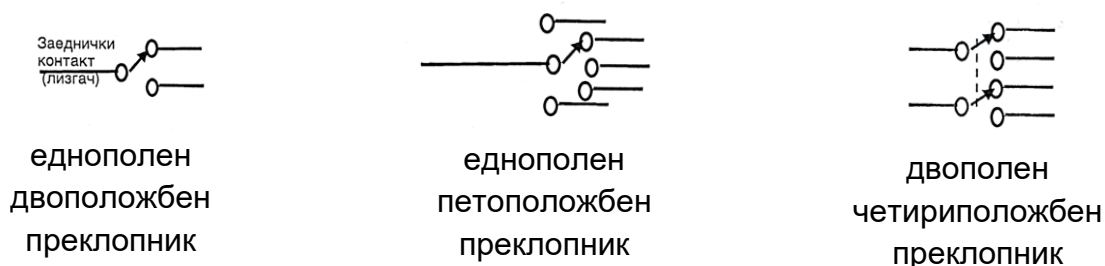
а. Нормално отворен тастер (NO)

б. Нормално затворен тастер (NC)

Слика 6.5. Електрични симболи за тастер

Тастер со нормално отворени контакти го вклучува електричното коло само додека трае притисокот врз него. Тастер со нормално затворени контакти го исклучува електричното коло само додека трае притисокот врз него. Пример за нормално отворен тастер е електричното свонче. Пример за нормално затворен тастер се сијаличките во фрижидерите.

Исто како прекинувачите и **преклопниците** можат да бидат еднополни и повеќеполни. Еднополниот преклопник има еден влезен и два излезни спроводници. На пример, со овој преклопник може да се вклучи едно од две светла, црвено или зелено, но не и двете. Двополниот и повеќеполните прекинувачи и преклопници имаат по два или повеќе работни контакти кои се сместени во заедничко куќиште. Двополниот преклопник е како два еднополни преклопници да бидат управувани од ист механизам. На пример, може да се користи за менување на поларитетот на еднонасочниот напон доколку сакаме да ја промениме насоката на вртење на моторот. На долната слика 6.6. се прикажани електричните симболи на неколку различни преклопници.



Слика 6.6. Преклопници со различен број на полови и положби

Бројот на работни контакти одредува колку е положбен електромеханичкиот елемент, а бројот на заедничките контакти одредува колку е полен.

За испитувањето на исправноста на рачните прекинувачи доволно е да се знае дека **меѓу два споени контакти отпорноста е 0Ω , а кога се раздвоени отпорноста е бесконечна.** Со помош на омметар треба да се измери отпорноста меѓу контактите, за сите положби на подвижниот контакт. Според добиените резултати може да се заклучи дали испитуваниот елемент е прекинувач, тастер или преклопник, колку положби има, колку полен е, каква е врска меѓу контактите и се разбира дали е исправен.

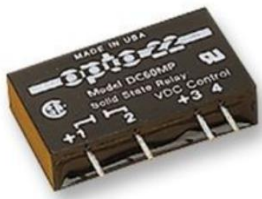
6.4. Релеи

Релеите овозможуваат **вклучување или исклучување на потрошувачи со големи моќности преку употреба на нисконапонски или нискострујни сигнали.** Релеите се комутациони елементи кои под дејство на управувачки сигнали (не рачно) вршат вклучување или исклучување на електричните кола. Релеите обезбедуваат **галванско одвојување** на нисконапонскиот од високонапонскиот дел на системите за автоматско управување и регулација.

Според принципот на работа односно во зависност од физичката големина на чија промена реагира релејот, разликуваме: електромагнетни, топлотни, индуктивни, оптички, акустички, хемиски релеи итн. Во понатамошниот текст ќе ги проучиме **електромагнетните и термомагнетните релеи.** Предност на електромагнетните релеи е едноставната изведба и принцип на работа, а недостатоци се гломазноста и подложноста на механички дефекти и корозија. Тие се најчесто користени релеи. Денес се почесто се користат солид стејт

релеите кои се изработени од полупроводнички елементи како што се диоди, транзистори и тријаци. Оптичкиот релеј е солид стејт релеј кај кој влезниот и излезниот степен се одвоени со оптички елемент. Бидејќи не содржат подвижни механички делови како стандардниот електромагнетен релеј, солид стејт релеите имаат подолг животен век. Тие не предизвикуваат електрични лакови и се погодни за работа во средини со високи температури. Исто така електричниот шум е значително намален поради што се намалени грешките во системот на управување.

На слика 6.7. е прикажан надворешниот изглед на **солид стејт релеј** со сериски број DC60MP, со SIP куќиште, за монтажа на печатена плочка, со еден нормално отворен контакт, влезен еднонасочен напон 3-32 V, излезни карактеристики 5-60 V еднонасочен напон и работна температура од -4 до 100°C. На слика 6.8. е прикажан уште еден тип на релеј познато под називот **рид сензор**, со ознака REL-REED4. Тоа е магнетен сензор и неговите контакти се затвораат под дејство на надворешно магнетно поле.



Слика 6.7. Солид стејт релеј



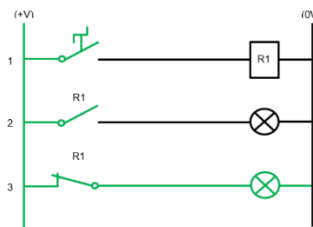
Слика 6.8. Рид сензор

Основни карактеристики се: два пинови, еден нормално отворен контакт, излезен еднонасочен напон од 200 V, максимална струја од 500 mA, херметички затворено стаклено куќиште, голем работен век (100 милиони операции на прекинување), отпорност на удари (100G), отпорност на вибрации (30G), брза реакција, прави лесно свитливи меки изводи, моќност на преклопување од 10 W, димензии 44,3 mm x 2,28 mm и тежина 1 g.

Во групата на електронски релеи спаѓаат **програмибилните релеи**. Тие многу се разликуваат од останатите релеи како по надворешниот изглед така и по начинот на користење.



Слика 6.9. Надворешен изглед на програмибилен релеј и модул за проширување



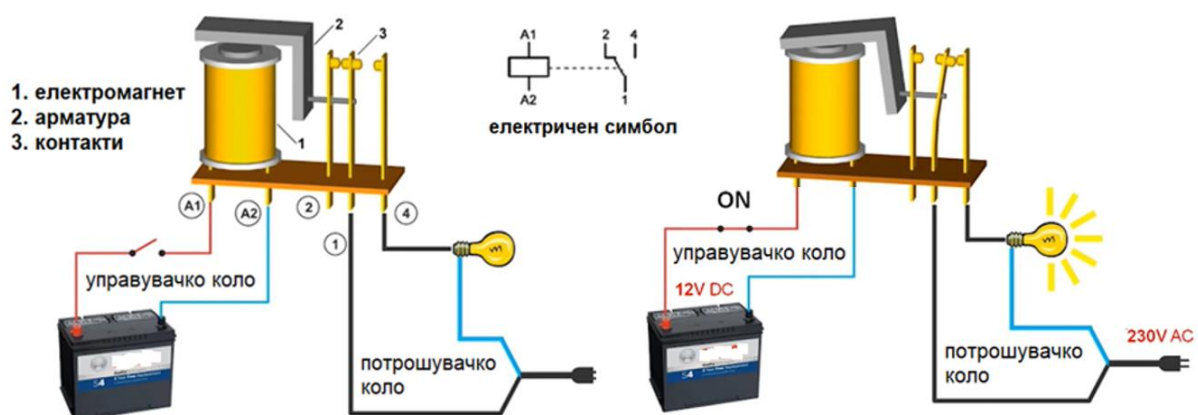
Слика 6.10. Програмирање во скалест дијаграм

Тие многу наликуваат на програмибилните логички управувачи. Заедничко им е тоа што се програмираат во ист програмски јазик таканаречениот **скалест дијаграм** (анг. Ladder diagram). Овој програмски јазик овозможува графичко

претставување на електричните кола. Во електричните шеми симболите претставуваат електронски елементи, додека во програмите напишани во скалест дијаграм симболите претставуваат наредби. Изгледот на програмата во скалест дијаграм е прикажан на слика 6.10. На слика 6.9. е прикажан надворешниот изглед на еден програмибилен релеј на компанијата Омрон. На горната и долната страна од кукиштето се наоѓаат клеми за поврзување со уредите и тоа 12 влезни и 8 излезни приклучоци. Со додавање на специјални модули бројот на влезно/излезни уреди може да се прошири до 44. Програмибилниот релеј ZEN-20DT содржи LCD дисплеј и копчиња за навигација со кои се движиме низ менито или избираме инструкции во програмски мод.

6.5. Електромагнетен релеј

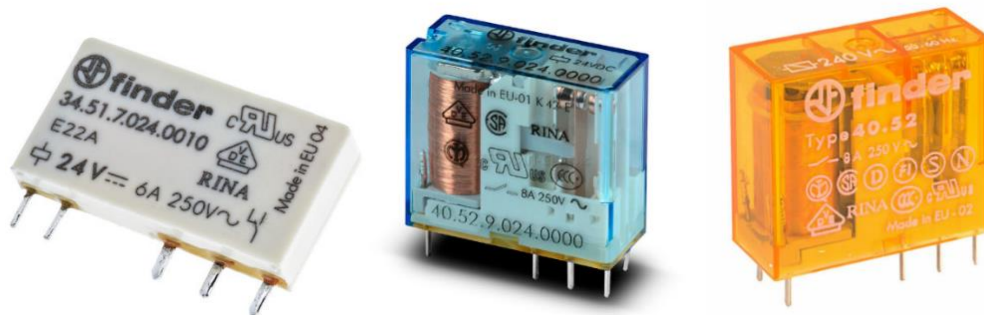
Како што самото име кажува електромагнетен релеј е комутационен елемент кој **ги вклучува или исклучува електричните кола под дејство на магнетна сила**. Составни делови на електромагнетниот релеј се: електромагнет, арматура или котва, пружина и контакти. **Електромагнетот** е составен од железно јадро обвиткано со намотка од жица. Кога струјата ќе протече низ намотката, се создава магнетно поле, железното јадро се магнетизира и ја привлекува арматурата.



Слика 6.11. Принцип на работа на електромагнетен релеј

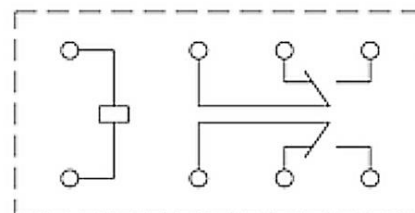
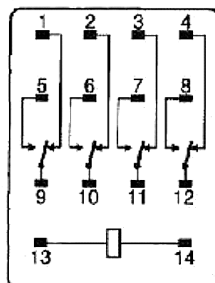
Арматурата претставува магнетна лента која ја претвора магнетната енергија во механичка енергија. Таа е всушност подвижниот дел од електромагнетниот релеј. Кога арматурата ќе се придвижи доаѓа до промена на положбата на контактите односно нормално затворените контакти ги отвора, а нормално отворените контакти ги затвора. **Пружината**, која не е прикажана на слика 6.11., има задача да ја врати арматурата назад и да ја задржи во таа положба во случај да не протекува струја низ намотката на електромагнетот. Што се однесува до **контактите** постојат две контактни точки, нормално затворени и нормално отворени. Кога е активен електромагнетниот релеј, нормално отворените контакти се затвораат и потрошувачот се поврзува со неговото напојување.

Поради тоа **нормално отворените контакти се викаат работни контакти, а нормално затворените контакти се нарекуваат мирни контакти.** Освен конструкцијата на електромагнетниот релеј, на слика 6.11. е прикажан и начинот на негово поврзување. **Приклучоците на електромагнетот** се обележуваат со буквите A1 и A2 и преку нив електромагнетот се поврзува во управувачкото коло. На слика 6.11. **управувачкото коло** користи акумулатор како извор на напон и прекинувач за вклучување и исклучување на електричната струја низ електромагнетот. Бидејќи напонот на управувачкото коло е мал, низ него тече слаба струја и спроводниците може да бидат со мала дебелина. **Колото на потрошувачот** е посебно електрично коло. Кога електромагнетот не е активен потрошувачот и неговото напојување се поврзани со нормално отворените контакти. На слика 6.11. за напојување на потрошувачот се користи мрежен напон, а струјата зависи од самата моќност на потрошувачот. Примерот објаснет на слика 6.11. е наједноставен. Иако принципот на работа е ист, електромагнетните релеи се разликуваат по **бројот на пинови, бројот на контакти, влезниот напон, излезниот напон и максималната струја.**



Слика 6.12. Означени вредности на влезен напон, излезен напон и максимална струја

Заради безбедност во работата многу е важно да се познаваат вредностите на влезниот напон, излезниот напон и максималната струја и овие податоци секогаш се напишани на самото куќиште на релејот како што е прикажано на слика 6.12. . Што се однесува до бројот на пинови и контакти и начинот на нивно поврзување најдобро е да се прочита техничко технолошката документација.



а. Релеј со 14 пинови и 4 контакти

б. Релеј со 6 пинови и 2 контакти

Слика 6.13. Распоред на пинови и контакти на електромагнетен релеј

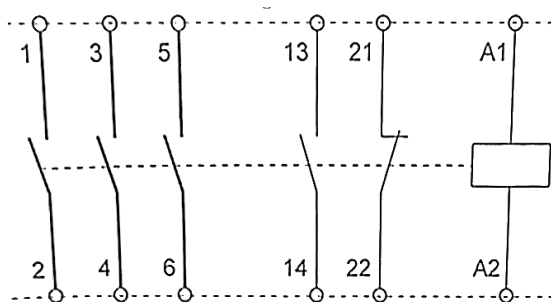
На слика 6.13. прикажани се распоредот на пиновите и поврзаноста на контактите на два различни електромагнетни релеи.

За потврда на **исправноста на релејот** потребно е да се изврши едно едноставно електрично испитување. За таа цел релејот не е поврзан со потрошувач. На електромагнетот му се донесува побуден напон (AC или DC) според податоците означени на самото куќиште или во техничко-технолошката документација. При тоа треба да се слушне слаб звук (клик) кој е резултат на префрлање на арматурата од мирниот кон работниот контакт. Ова префрлање може да се види и визуелно ако куќиштето на испитуваниот релеј е од провидна пластика. Ако големината на побудниот напон е непозната тогаш треба изворот на напонот приклучен на електромагнетот постепено да се зголемува, почнувајќи од нула па понатака, сè додека не се слушне потребниот звук. Побудниот напон може да се измери со волтметар. Во ваква положба (без поврзан потрошувач), ако релејот има повеќе работни контакти, може со омметар да се испита кои од нив се нормално затворени или отворени. Исто така, може да се испита кој приклучок на каков контакт му припаѓа. Омметарот треба да покаже **отпорност од 0Ω меѓу нормално затворените контакти, бесконечно голема отпорност меѓу нормално отворените контакти** и неколку десетици до неколку стотици оми отпорност меѓу двата краја на електромагнетот.

6.6. Контактори

Контакторот се посебен вид на релеј наменет за **управување со моќни потрошувачи**, од неколку kW до неколку стотици kW. Вообичаено се користат за управување со електрични мотори со моќност од 2 kW до 300 kW.

На слика 6.14. е прикажан електричниот симбол и надворешниот изглед на трополен контактор. Електричниот симбол ги прикажува трите главни контакти, двата помошни контакти и електромагнетот.



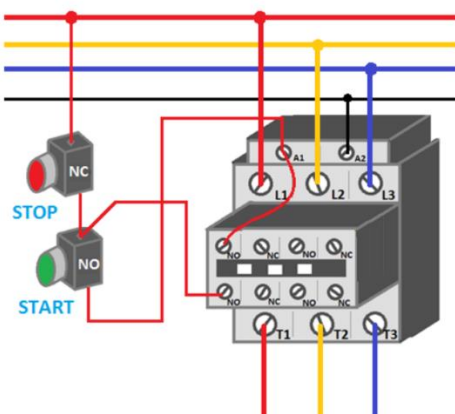
Слика 6.14. Електрична шема и надворешен изглед на контактор

Трите главни контакти го сочинуваат енергетскиот дел од контакторот. Тие **служат за прекинување на јаки струи** и се напојуваат со дебели спроводници. Трите контакти се нормално отворени и за да истите се затворат потребно е на

приклучоците A₁ и A₂ да се донесе побуден напон. A₁ и A₂ се всушност приклучоци на електромагнетот.

Електромагнетот заедно со помошните контакти го сочинуваат управувачкиот дел од контакторот. Карактеристично за управувачкиот дел е слабата струја поради што ожичувањето е со тенки отпорници од 0.7 mm². Струјата која тече низ управувачкиот дел не зависи од моќноста на потрошувачот и изнесува најмногу до 100 mA. За контакторот многу е важно да се познава побудниот напон на електромагнетот и тој е означен на самото куќиште. Побудниот напон обично изнесува 230 V, но може да биде и 24, 48, 110 или 400 V. Кога ќе се вклучи побудниот напон, трите главни контакти се затвораат и се слуша карактеристичниот звук (клик). Иако контактите се затворени сепак на нивните краеве нема напон. Секој контакт има свој влез и излез. Влезовите на главните контакти се обележани со броевите 1, 3 и 5, а излезите со 2, 4 и 6. Освен трите главни енергетски контакти, контакторот содржи и помошни контакти и нивните влезови и излези се обележани со броевите 13-14 и 21-22. Едниот помошен контакт е нормално отворен, а другиот нормално затворен. Подоцна ќе се запознаеме со нивната примена.

На слика 6.15. е прикажано ожичувањето на енергетскиот и управувачкиот дел од контакторот со употреба на тастери за вклучување и исклучување.



Слика 6.15. Самоодржување со поврзување на нормално отворениот тастер до нормално отворен помошен контакт

При ожичувањето на енергетскиот дел треба да се внимава **фазниот проводник кој е на влез од контактот да биде и на неговиот излез.** Истиот фазниот проводник од излезот на контактот се поврзува со потрошувачот. Управувачкиот дел се ожичува така што фазниот проводник се поврзува со приклучокот A₁, а нултиот проводник со A₂. **Фазниот проводник не е директно поврзан со приклучокот A₁ туку преку два сервиски поврзани тастери, Start и Stop.** Start тастерот е нормално отворен, а Stop тастерот е нормално затворен. Но, што ќе се случи после отпуштањето на Start тастерот? **Самоодржување** значи главните контакти да останат затворени и после отпуштањето на Start тастерот. Ова се постигнува на тој начин што **Start тастерот паралелно се поврзува со нормално отворениот помошен контакт.** Со притискање на

тастерот се затвора помошниот контакт и после отпуштањето на Start тастерот помошниот контакт ќе ги држи затворени главните енергетски контакти.

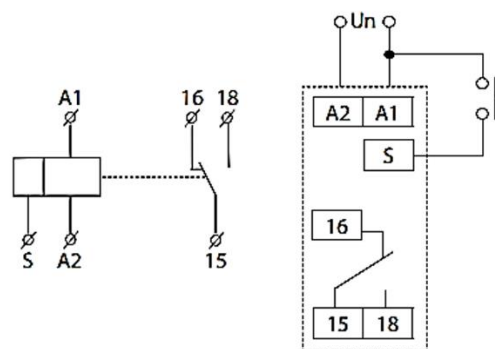
Во пракса, поврзувањето на моторните контактори е посложено. Поради поголема сигурност и безбедност во работата се користат и други уреди како осигурувачи и термомагнетни релеи. Ова ќе биде демонстрирано подоцна.

При изборот на моторните контактори потребно е да се познаваат три карактеристики: **побудниот напон на електромагнетот, максималната излезна струја и моќноста на моторот.**

6.7. Временски релеи

Најчесто користени функции на временскиот релеј се: задоцнето вклучување на потрошувач, задоцнето исклучување и циклично вклучување и исклучување. Денешната современа технологија овозможува примена на мултифункционални временски релеи.

На слика 6.16. е прикажан електричниот симбол на временскиот релеј. Електромагнетот управува со преклопникот. Заедничката точка е обележана со бројот 15, нормално затворениот контакт со бројот 16 и нормално отворениот контакт со бројот 18. Побудниот напон на електромагнетот изнесува 24-240 V наизменичен напон или 24 V едностраночен напон.



Слика 6.16. Електричен симбол и начин на поврзување на временски релеј

На сликата 6.17. е прикажан повеќе функционален временски релеј CRM-61. Копчето, чии положби се означени со буквите a, b, d, e, k и i, служи за **избор на функција**.

За нагодување на времето на доцнење се користат две копчиња, за грубо и фино нагодување. Времето може да биде зададено во часови, минути или секунди и изборот се врши преку **копчето за грубо нагодување**. Со **копчето за фино нагодување** го избираме коефициентот кој го множиме со грубо избраното време и тоа има десет позиции, од 0,1 до 1. Минималното време изнесува 0,1 секунда, а максималното 10 часа. На пример, ако со копчето за грубо нагодување сме избрале 10 секунди, а со копчето за фино нагодување сме избрале коефициент 0,5 тогаш времето на доцнење ќе изнесува 5 секунди. Зелената сијаличка свети кога релејот е поврзан со напојувањето, црвената сијаличка трепка додека трае одбројувањето на предвиденото време, а после истекот на тоа време почнува постојано да свети.



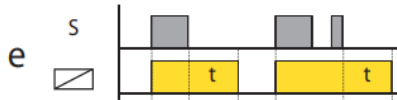
Слика 6.17. Надворешен изглед на временски релеј

За функциите e, k и i се користи приклучокот S. Сигналот S е управувачи сигнал и тој **одлучува кога ќе започне мерењето на времето на доцнење**. Приклучокот S се поврзува со напојувањето преку тастер или прекинувач и тоа е прикажано на слика 6.16.

Сега накратко ќе ги објасниме шесте функции на временскиот релеј.

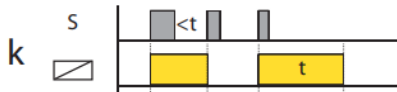
Функција	Начин на работа
<p>Задоцнето вклучување на потрошувачот</p> <p>a</p>	<p>Времето на доцнење започнува да се мери од моментот на вклучување на побудниот напон на електромагнетот. По истекот на ова време доаѓа до вклучување на потрошувачот поврзан на еден од излезните контакти. Оваа функција се искористи за вклучување на два потрошувачи со голема моќност така што вклучувањето на еден од потрошувачите може да се одложи за определено време.</p>
<p>Задоцнето исклучување на потрошувачот</p> <p>b</p>	<p>Потрошувачот се вклучува веднаш кога ќе се донесе напојување на електромагнетот. Тогаш започнува и мерењето на времето и по истекот на истото потрошувачот се исклучува.</p>
<p>Циклично вклучување и исклучување</p> <p>d</p>	<p>Откако ќе се поврзе електромагнетот со напојувањето потрошувачот почнува постојано да се вклучува и исклучува со периода еднаква на нагоденото време.</p>

Задоцнето исклучување на потрошувачот после ослободувањето на управувачкиот тастер



Кога ќе се притисне управувачкиот тастер потрошувачот се вклучува, а времето на исклучување се мери после ослободувањето на тастерот.

Задоцнето исклучување на потрошувачот после притискањето на управувачкиот тастер



Потрошувачот се вклучува кога тастерот ќе биде притиснат и во истиот момент почнува да се мери времето за исклучување. Доколку тастерот е повторно притиснат пред истекот на нагоденото време потрошувачот веднаш ќе се исклучи.

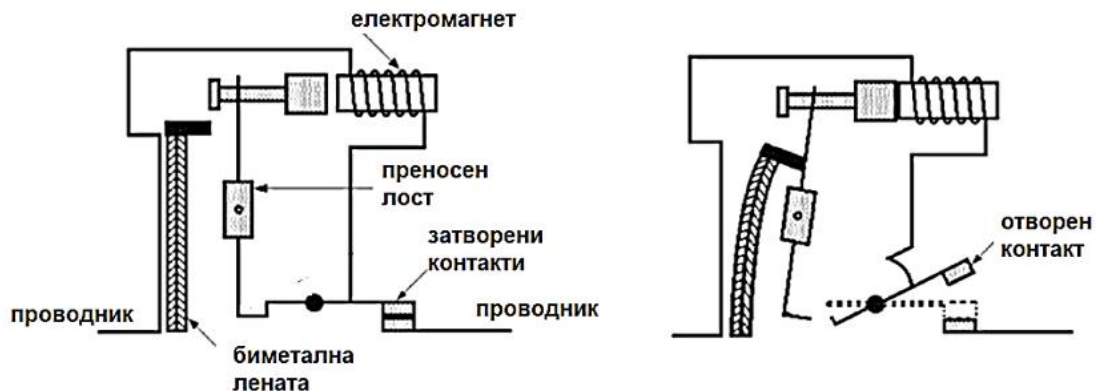
Задоцнето вклучување на потрошувачот после притискањето на управувачкиот тастер



Времето на вклучување се мери од моментот на притискање на управувачкиот тастер. Потрошувачот нема да се изгасне се до следното притискање на тастерот.

6.8. Термомагнетни прекинувачи

Термомагнетните прекинувачи се користат за **заштита на електромоторите од големи оптоварувања** односно струи со јачина многу поголема од номиналната. Термомагнетниот прекинувач е познат и под името **биметален релеј** бидејќи во својот состав содржи електромагнет и биметална лента под чие дејство се отвораат и затвораат контактите во колото на потрошувачот. Ќе се запознаеме со принципот на работа и начинот на ракување со истите.



Слика 6.18. Принцип на работа на термомагнетен прекинувач

На слика 6.18. е прикажан внатрешниот изглед на еден термомагнетен прекинувач. Брзото вклучување и исклучување на електромагнетниот релеј предизвикува појава на електрични лакови и го намалува неговиот животен век. За да се спречи оваа појава се користи **биметална лента под чие дејство се отвораат и затвораат електричните контакти.**

Ако низ спроводникот тече струја со поголема јачина од предвидената доаѓа до зголемување на температурата, биметалната лента се деформира, таа го притиска преносниот лост и доаѓа до отворање на контактите. Еластичната сила на биметалната лента треба да ја совлада магнетната сила на електромагнетот. На слика 6.19. е прикажан надворешниот изглед на реален термомагнетен прекинувач.



Слика 6.19. Надворешен изглед на термомагнетен прекинувач

Трите метални игли на термомагнетниот прекинувач влегуваат во енергетските излези на контакторот и заедно формираат една целина. Приклучоците 2T1, 4T2 и 6T3 се енергетски излези на контакторот и тие се поврзуваат со потрошувачот. Термомагнетниот прекинувач прикажан на слика 6.19. содржи два помошни контакти, нормално отворен и нормално затворен, и тие се поврзуваат во управувачкиот дел од колото. Со броевите 95-96 и 97-98 се означени влезот и излезот на двата помошни контакти. На самиот термомагнетен прекинувач постои потенциометар за нагодување на заштитната струја. Од техничко технолошката документација на овој термомагнетен прекинувач можеме да видиме дека заштитната струја може да биде во опсегот од 2,5 А до 4 А. **Заштитната струја треба да се постави на вредност која одговара на номиналната струја на електромоторот.** Ресетирањето на термомагнетниот прекинувач може да се изврши рачно (Hand) или автоматски. На слика 6.19. копчето за избор на ресет е поставено во положба на рачно ресетирање. **Автоматско ресетирање** значи термомагнетниот прекинувач самиот да се активира откако ќе се намали температурата и повторно ќе биде во работна состојба.

Термомагнетниот прекинувач или биметалниот релеј, осигурувачот и спроводниците се елементи кои се користат при пуштање во работа на трофазен асинхрон мотор. Изборот на овие елементи зависи пред сè од карактеристиките на моторот, како што се: **моќноста** (P), **степенот на искористеност** (η), **номиналната струја** (I_p) и **односот меѓу почетната и номиналната струја** (I_p/I_n). Изборот на осигурувач зависи од начинот на пуштање во работа на електромоторот, директно или индиректно, преку спрега звезда- триаголник. На пример, доколку се работи за електромотор со моќност 15 kW и номинална струја од 29,3 A тогаш истиот индиректно се пушта во работа, преку спрега звезда-триаголник, осигурувачот треба да биде 35 A и термомагнетниот прекинувач треба да има струен опсег од 24 A до 40 A. За полесно дизајнирање на елементите при пуштање во работа на трофазен асинхрон мотор може да послужи табела 6.1 .

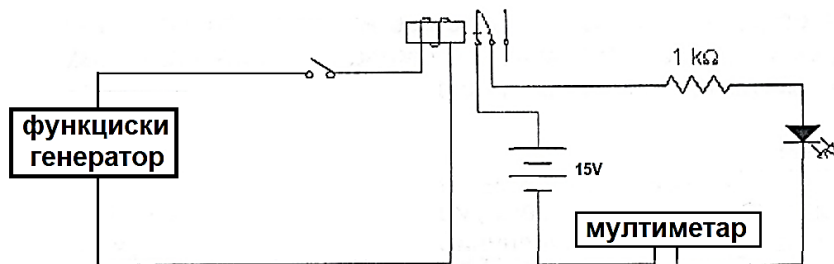
Димензионирање на елементи за напојување на асинхрони мотори																												
податоци за моторот					заштита		струја во намотки	пресек за Y- Δ	напречен пресек на кабел [mm ²] за директен начин на пуштање во работа																			
P kW	η %	cos	I _n A	I _p /I _n	осигурувач дир	биметал од до			растојание во метри, од електромоторот до прекинувачот																			
							10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	250	300	350	400			
до 7,5kW, директно пуштање	0,25	62	0,7	0,8	3,4	4	2	0,63	1	0,51	1,5	1,5																
	0,37	66	0,72	1,1	3,4	4	2	1	1,6	0,7	1,5	1,5																
	0,55	69	0,75	1,5	3,5	4	2	1	1,6	1	1,5	1,5																
	0,75	74	0,79	1,9	3,7	6	4	1,6	2,5	1,3	1,5	1,5																
	1,1	74	0,81	2,6	4,8	6	4	2,5	4	1,6	1,5	1,5																
	1,5	74	0,81	3,6	5,2	6	4	2,5	4	2	1,5	1,5																
	2,2	78	0,81	5	5,2	10	6	4	6,3	2,9	1,5	1,5																
	3	80	0,82	6,6	5,4	16	10	6,3	10	3,9	1,5	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	100	150	200	250	300	350	400
	4	83	0,82	8,5	6,3	20	10	6,3	10	5	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	100	150	200	250	300	350	400	
	5,5	86	0,82	11,3	6,3	25	16	10	16	6,8	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	100	150	200	250	300	350	400	
7,5	87	0,82	15,2	6,3	35	25	10	16	7,5	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	100	150	200	250	300	350	400		
преку 7,5kW, директно или Y- Δ	11	87	0,84	21,7	6,8	40	25	16	24	13,1	1,5	6	10	16	25	35	50	70	100	150	200	250	300	350	400			
	15	88	0,84	29,3	6,8	50	35	24	40	17,7	2,5	6	10	16	25	35	50	70	100	150	200	250	300	350	400			
	18,5	88	0,84	36	6,8	63	40	24	40	21,5	2,5	6	10	16	25	35	50	70	100	150	200	250	300	350	400			
	22	92	0,84	41	7	80	50	40	57	25	2,5	10	16	25	35	50	70	100	150	200	250	300	350	400				
	30	92	0,85	55	6,9	100	63	50	65	32,8	4	16	25	35	50	70	100	150	200	250	300	350	400					
	37	92	0,86	68	6,3	125	80	50	70	41,8	6	25	35	50	70	100	150	200	250	300	350	400						
	45	93	0,86	81	6,2	160	100	70	100	50,5	10	25	35	50	70	100	150	200	250	300	350	400						
	55	93	0,86	99	6,5	200	125	95	125	58,6	10	35	50	70	100	150	200	250	300	350	400							
	75	94	0,86	134	6,5	200	160	120	150	79,5	16	50	70	100	150	200	250	300	350	400								
	90	94	0,86	161	5,6	250	200	120	185	93,4	25	70	100	150	200	250	300	350	400									
110	94	0,86	196	6,7	315	200	160	240	114,3	35	95	120	150	185	240													

Табела 6.1. Димензионирање на елементи за напојување на асинхрони мотори

6.9. Практична примена на комутациони елементи

6.9.1. Снимање на преносна карактеристика на електромагнетен релеј

За реализација на оваа практична вежба ќе се користи електричната шема прикажана на слика 6.20..



Слика 6.20. Снимање на преносна карактеристика на електромагнетен релеј

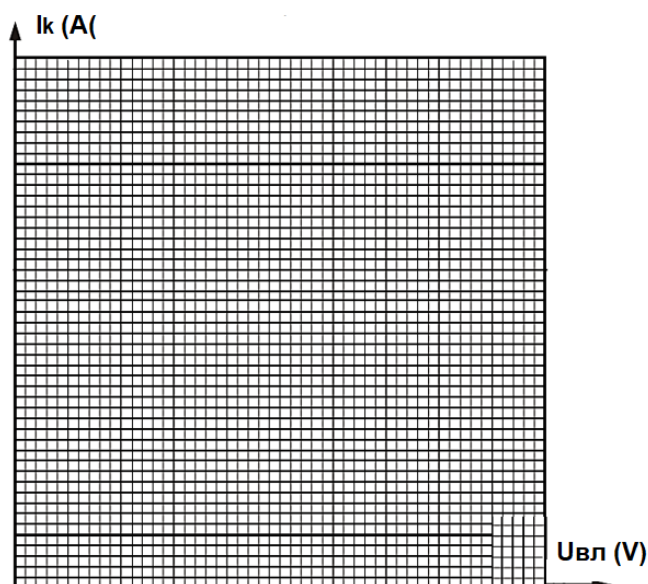
Најпрво треба да се изврши **испитување на исправноста на електромагнетен релеј**. Да се потсетиме омметарот треба да покаже отпорност од 0Ω меѓу нормално затворените контакти, бесконечно голема отпорност меѓу нормално отворените контакти и неколку десетици до неколку стотици оми отпорност меѓу двата краја на електромагнетот.

За **снимање на преносната карактеристика** потребно е да се менува напонот на изворот на еднонасочен напон од 0 до $30V$. Со амперметар се мери струјата низ потрошувачот (лед диодата).

Uвл (V)										
Iк (A)										

Табела 6.2. Мерење на струја на контакти за различни вредности на напон на електромагнет

Добиените резултати се внесуваат во табела, при што **Uвл е напонот на електромагнетот и Iк е струјата низ контактите**. Измерените вредности се пренесуваат на графикот прикажан на слика 6.21.и се црта преносната карактеристика.



Слика 6.21. Преносна карактеристика на електромагнетен релеј

Од графикот да се одреди напонот на вклучување на релејот.

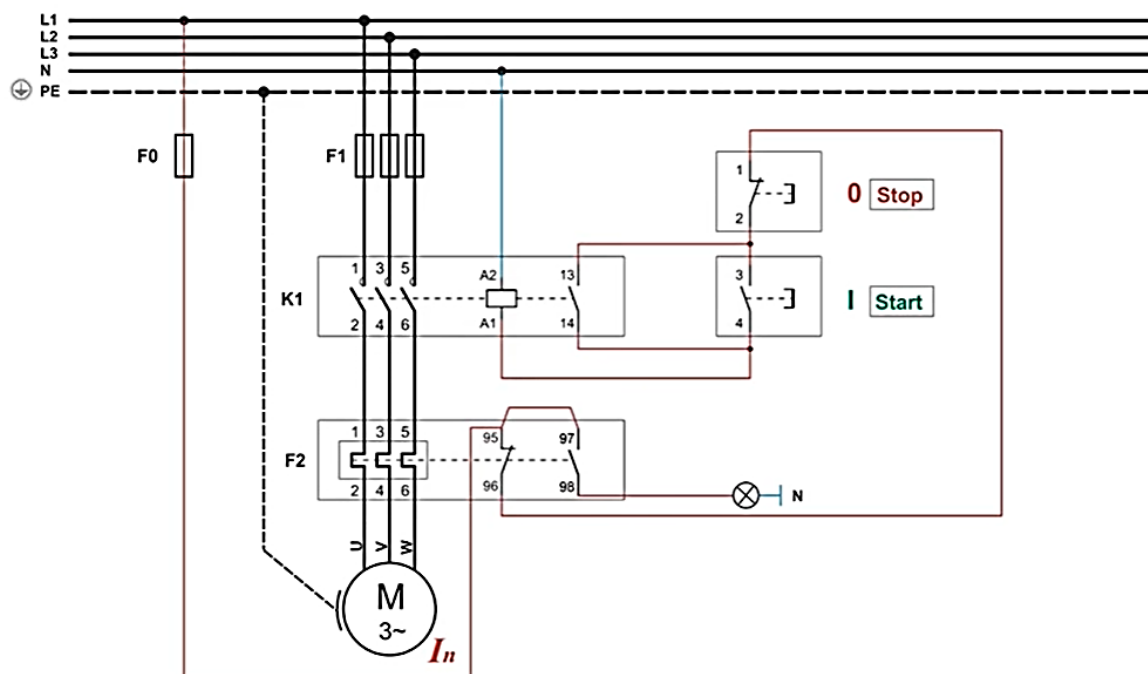
6.9.2. Директно пуштање во работа на асинхрон електромотор со примена на контактор и термомагнетен прекинувач

Откако се запознавме со конструкцијата и принципот на работа на контакторите и термомагнетните прекинувачи, истите практично ќе ги употребиме.

На слика 6.22. е означено поврзувањето на сите потребни компоненти: енергетски триполен осигурувач, управувачки еднополен осигурувач, контактор, Start и Stop тастери, термомагнетен прекинувач и електромотор.

Поврзувањето на енергетскиот дел започнува со спојување на термомагнетниот прекинувач F2 со контакторот K1 така што **трите влезни игли на термомагнетниот прекинувач треба да се постават во излезите 2, 4 и 6 на контакторот K1**. Потоа трите фазни спроводници, преку влезните клеми и енергетскиот триполен осигурувач F1, се поврзуваат со влезовите 1, 3 и 5 на контакторот. Од другата страна **излезите на термомагнетниот прекинувач ги поврзуваме со излезните клеми каде ќе го поврземе и трофазниот асинхрониот мотор.**

Во управувачкото коло, **еднополниот управувачки осигурувач е поврзан со помошниот нормално затворен контакт на термомагнетниот прекинувач** кој се наоѓа меѓу точките на поврзување 95 и 96. Излезот на прекинувачот е поврзан со сериската комбинација од Start и Stop тастери и поврзувањето продолжува кон влезот A2 на електромагнетот на самиот контактор.



Слика 6.22. Електрична шема за директно пуштање во работа на електромотор со примена на контактор и термомагнетен прекинувач

Како што беше објаснето на слика 6.15., со цел да се обезбеди самоодржување на главните енергетски контакти потребно е нормално отворениот Start тастер да се поврзе паралелно со помошниот нормално отворен контакт на контакторот.

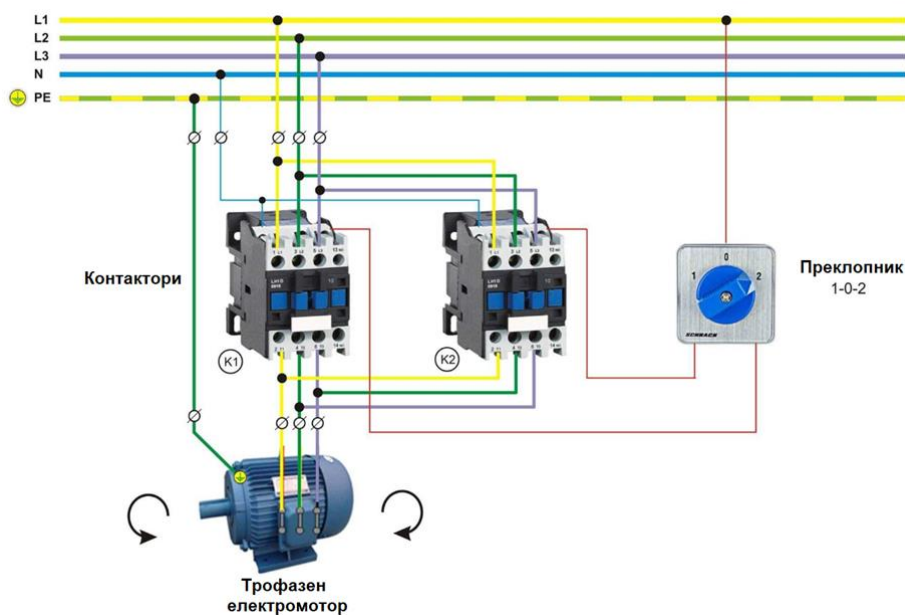
Сијаличката поврзана со помошниот нормално отворен контакт на термомагнетниот прекинувач служи како покажувач и таа се активира кога прекинувачот е исклучен. Сигналната сијалица се напојува така што кусо се поврзуваат приклучоците со број 97 и 95.

6.9.3. Промена на насока на вртење на асинхрон електромотор со контакторска комбинација

Најнапред ќе ја објасниме целта на оваа практична вежба, а потоа ќе извршиме анализа на електричната шема за нејзина реализација. На слика 6.23. прикажан е начинот на поврзување на трите основни компоненти: два контактори, рачен преклопник со две работни положби и трофазен електромотор. Веднаш да нагласиме дека на слика 6.23. , за разлика од електричната шема, не се прикажани триполниот енергетски осигурувач и управувачкиот осигурувач и поврзувањето со помошните контакти.

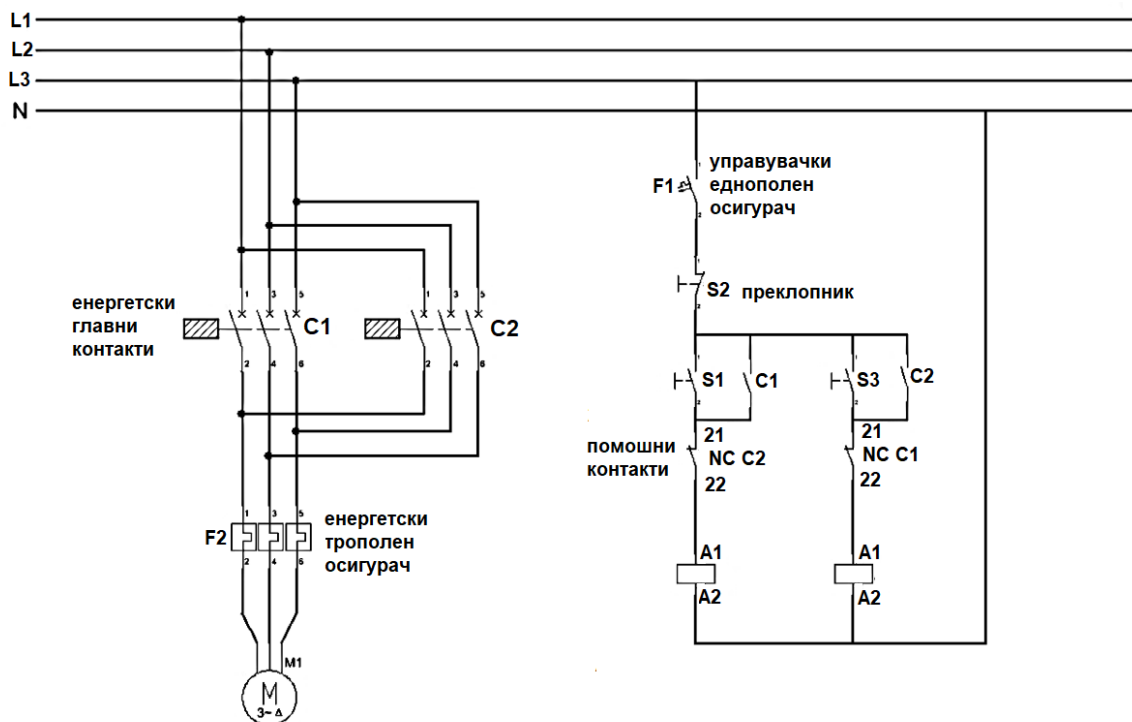
Цел на оваа показна вежба е промена на насоката на вртење со употреба на два контактори. Со активирање на првиот контактор моторот се задвижува во една насока, со активирање на вториот контактор моторот се задвижува во спротивна насока на вртење. Управувачкото струјно коло се состои од гребенест преклопник (1-0-2). Со поставување во положба 2 се активира првиот контактор K1 и моторот се задвижува во една насока, со поставување во положба 1 се активира вториот контактор K2 и моторот се задвижува во спротивна насока.

За реализација на вежбата потребно е да ја користиме електричната шема прикажана на слика 6.24. Управувачкото струјно коло се изведува со спроводници со напречен пресек 0.75 mm². Прво го поврзуваме нултиот проводник со влезот A2 на двата контактори. Потоа го поврзуваме фазниот проводник, преку еднополниот осигурувач со влезот на преклопникот (1-0-2), кој има два излези. Првиот излез на преклопникот го поврзуваме со влезот A1 на првиот контактор, а вториот излез го поврзуваме со влезот A1 на вториот контактор.



Слика 6.23. Поврзување на контактори со трофазен асинхрон мотор за промена на насока на вртење

Ожичувањето на управувачкото струјно коло е завршено и можеме да извршиме тестирање. Го вклучуваме управувачкиот осигурувач, преклопникот го поставуваме во положба 1 со што се активира првиот контактор, а со ставање во положба 2 се активира вториот контактор. Се разбира електромоторот сè уште не работи и при затворањето на контакторите треба да се слушне карактеристичниот звук (клик). Сега треба да го поврземе енергетскиот дел односно основното струјно коло со триполниот енергетски осигурувач, двата контактори и електромоторот преку клеми. Трите фазни спроводници, по ред, ги носиме до влезовите 1,3 и 5 на главните контакти од првиот контактор, а потоа од првиот контактор исто така по ред ги носиме до влезовите 1,3, и 5 на вториот контактор. Да се потсетиме обележувањето на влезовите и излезите на контакторот е прикажано на слика 6.14. Излезите 2, 4 и 6 на првиот контактор, преку клеми, ги поврзуваме со електромоторот. Потоа вршиме спојување на излезите на двата контактори, но вршиме вкрстување односно втората фаза од првиот контактор ја поврзуваме со третата фаза од вториот контактор, а третата фаза од првиот контактор ја поврзуваме со втората фаза од вториот контактор. Вкрстување на двете фази што е доволно за промена на насоката на вртење на трофазниот асинхрон мотор.



Слика 6.24. Електрична шема на коло за промена на насока на вртење на трофазен асинхрон мотор со заштита од истовремено активирање на двата контактори

И Во случај истовремено да се вклучени и двата контактори ќе се активираат главните енергетски осигурувачи. Најважна работа кај промената на насоката на вртење на електромоторот во контакторска комбинација е да **не смее да се дозволи истовремено вклучување на двата контактори**. За таа цел

потребно е излезите на преклопникот, наместо директно, да се поврзат со влезовите A1 на двата контактори преку нивните помошни нормално затворени контакти. Да се потсетиме дека помошните контакти се дел од управувачкото коло на контакторите, а не од енергетскиот дел. Значи првиот излез на преклопникот го поврзуваме со влезот на помошниот нормално затворен контакт 21 (слика 6.14.) на вториот контактор, а потоа излезот 22 на контактот од вториот контактор го поврзуваме со влезот A1 на првиот контактор. Истата постапка ја повторуваме и за вториот излез на преклопникот: втор излез на преклопникот-помошен нормално затворен контакт на првиот контактор-влез на електромагнетот A1 на вториот контактор.

Прашања и задачи за повторување на материјалот

1. Објасни ја намената и значењето на комутационите елементи?

2. Наброј ги видовите комутациони елементи?

3. Која е разликата меѓу прекинувач и тастер?

4. Објасни ја разликата меѓу поимите нормално отворен и нормално затворен контакт! Наведи практичен пример.

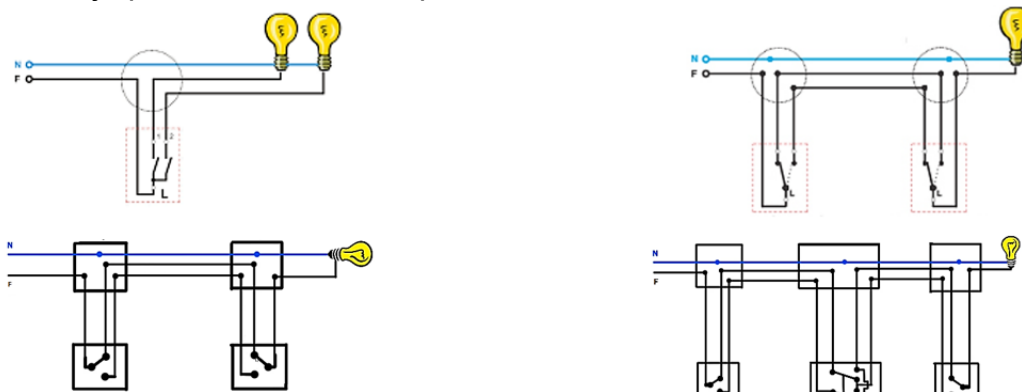
5. Која е разликата меѓу преклопник и прекинувач?

6. Која е намената на електромагнетниот релеј?

7. Која е разликата меѓу електромагнетен релеј и контактор?

8. Преклопникот е двополен и четириположен? Објасни!

9. Кои контакти треба да се затворат или отворат за да светне сијалицата? Секој цртеж да се анализира посебно.



Слика 6.25. Различни начини на вклучување и исклучување на сијалица

10.Објасни ја постапката за испитување на исправност на механички прекинувач!

11.Кои се предности и недостатоци на електромагнетниот релеј?

12.Кои се предности на солид стејт релејот во однос на електромагнетниот релеј?

13.Наброј неколку карактеристики на рид сензорите!

14.Зошто програмибилните релеи се поблиски со програмибилните логички управувачи?

15.Кои се составни делови на електромагнетниот релеј?

16.Од кои елементи е составено управувачкото коло и колото на потрошувачот при негово поврзување со електромагнетен релеј?

17.Кои карактеристични големини се означени на самото куќиште на електромагнетниот релеј?

18.Објасни ја постапката за испитување на исправност на електромагнетен релеј?

19.Кои се составни делови на контакторот и која е нивната функција?

20.Кои карактеристични големини се најважни при избор на вид на контактор?

21.Што е тоа самоодржување и како се постигнува истото при работа со трополен контактор?

22.Кои две функции на временскиот релеј се прикажани на слика 6.26.?



Слика 6.26. Побуда и одзив на временски релеј

23.Наброј ги шесте функции на временскиот релеј CRM-61!

24.Објасни ја постапката за нагудување на времето на доцнење кај временски релеј?

25. Која е функцијата на помошниот приклучок S на временскиот релеј CRM-16?

26. Која е намената на термомагнетниот прекинувач?

27. Зошто термомагнетниот прекинувач се нарекува биметален релеј?

28. Кои параметри треба да се нагодат при ракување со термомагнетен прекинувач?

29. Објасни ја постапката за снимање на преносна карактеристика на електромагнетен релеј!

30. Објасни како се поврзуваат главните и помошните контакти на термомагнетен прекинувач во управувачкиот и енергетскиот дел на колото за директно пуштање во работа на трофазен асинхрон мотор?

31. Како треба да се поврзат помошните контакти за да се спречи истовремено вклучување на два контактори?

7. Пренос на сигнали во индустријата

7.1. Вовед во индустриски комуникациски мрежи

Се запознаваме со основите на автоматското управување: неговата цел, составните елементи, нивната функционалност и начин на поврзување. Истакнавме дека управувачкиот орган прима информации за текот на управуваниот процес и генерира сигнали кои ги побудуваат извршните органи. Во сите досегашни системи за автоматско управување, управувачките органи самостојно ги извршуваа управувачките задачи, но не постоела комуникациски задачи кои би ги поврзале со некој хиерархиски повисок систем или уред. Што ќе се случи доколку бројот на мерни претворувачи, кои ги детектираат промените на физичките величини, енорно се зголеми? Што ќе се случи ако сензорите и извршните органи се оддалечени од управувачкиот орган на поголеми растојанија? Одговор на овие прашања даваат комуникациските мрежи. Примената на овие мрежи во индустријата се смета за петта индустриска револуција. Индустриските комуникациски мрежи се основа на современите системи за автоматско управување и овозможуваат **брз пренос на податоци, управување со податоците и флексибилност при поврзувањето на најразлични уреди**. Традиционалните комуникациски мрежи овозможуваат пренос на податоци од еден до друг компјутер и нивните периферни уреди. Од друга страна, индустриските комуникациски мрежи се специјално дизајнирани мрежи за работа во реално време и за собирање и пренос на податоци во специфични индустриски услови. Терминот **работа во реално време** значи преносот и обработката на податоци се врши тековно, без одложување, бидејќи во спротивно системот ќе биде неефикасен. Исто така за да уредите и опремата бидат максимално искористени и за да системот соодветно реагира на сите промени кои се случуваат во него потребно е собраните податоци да се архивираат, анализираат и претстават на најпрегледен начин.

Индустриските комуникациски мрежи можат да бидат локални или глобални. Локалните мрежи овозможуваат вмрежување на сензори и извршни органи во склоп на еден индустриски погон или фабрика. Глобалните мрежи овозможуваат поврзување на индустриски погони, распоредени во различни делови од светот, во еден единствен систем.

На слика 7.1. е прикажана општата архитектура на индустриските комуникациски мрежи и може да се види дека истата е поделена на три нивоа: ниво на уреди, управувачко ниво и информатичко ниво. **Нивото на уреди** го сочинуваат

сензорите и актуаторите. Мрежните технологии не користат аналогни регулатори како што се ПИД регулаторите. **Управувачкото ниво** го сочинуваат органи на управување кои всушност претставуваат програмибилни управувачи (анг. PLC Programmable Logical Controller). Овие управувачи управуваат со процесите софтверски. Во својот состав содржат работна меморија, трајна меморија и микропроцесор. Тие добиваат податоци од сензорите, потоа тие податоци се процесираат и одлучуваат кои излезни уреди ќе се вклучат или исклучат. Се разбира PLC управувачите можат да обработуваат аналогни и дигитални сигнали бидејќи во својот состав содржат аналогно-дигитален и дигитално-аналоген претворувач. Самите PLC управувачи можат да се програмираат да работат и како ПИД регулатори.



Слика 7.1. Архитектура на индустриска комуникациска мрежа

Информатичкото ниво значи формирање на бази на податоци, нивна анализа, надзор, планирање и менаџирање со цел максимално искористување на ресурсите и подобрување на управуваниот процес.

За секое ниво од архитектурата постојат различни видови на индустриски комуникациски мрежи кои се разликуваат по **брзината на пренос, количеството на податоци, бројот на поврзани уреди, растојанието меѓу уредите, медиумите за пренос, протоколите**. Кај мрежите од најниско ниво комуникацијата е најчесто во една насока, од мерните претворувачи кон управувачкиот орган или од управувачкиот орган кон извршните органи. Вообичаени претставници на овие мрежи се CAN, AS и Interbus-S. Кај **мрежите од средно ниво** управувачкиот уред е поврзан со други интелигентни уреди (интелигентни сензори и мерни претворувачи, фреквентни регулатори) односно уреди кои можат да извршуваат дополнителни функции како автодијагностика, самотестирање, автоматско отстранување на грешки и конфигурација после нивното вмрежување. Како физички медиум за пренос најчесто се користи сериската врска RS 485 која овозможува доста брз пренос на податоци. Овие мрежи се познати под називот Fieldbus каде што зборот field значи поле, област од уреди (сензори и актуатори), а зборот bus значи магистрала за физичко поврзување на уредите. Типични примери за овој вид на мрежи се: PROFIBUS, Modbus, Foundation Fieldbus, DeviceNet, CANOpen. Fieldbus мрежите

овозможуваат комуникација меѓу управувачките органи и нивните влезно излезни уреди, но не и меѓу два или повеќе управувачки органи. За таа цел се користат **индустриски етернет стандарди** како што се: Ethernet/IP (Ethernet Industrial Protocol), PROFINET, Modbus/TCP, Powerlink, Foundation Fieldbus HSE (High Speed Ethernet). Подоцна ќе се запознаеме со најважните карактеристики на овие мрежи.

За да се изгради една индустриска комуникациска мрежа потребна е соодветна мрежна опрема, која со себе повлекува употреба на **протоколи**. Протоколите се збир на правила кои уредите мора да ги следат за да се овозможи комуникацијата. Протоколите за компјутерите се исто што и јазиците за луѓето. На пример, оваа книга е на македонски и за да разберете што напишал авторот мора да го познавате македонскиот јазик. Мрежните уреди треба да користат исти протоколи за да разменуваат податоци. Протоколите го дефинираат кодирањето и организацијата на податоците кои се пренесуваат. Во минатото различни производители применувале различни комуникациски протоколи, наредби, методи за корекции на грешки и медиуми за пренос. На таков начин корисниците биле принудени да купуваат електронски уреди од само еден производител. Но, денес сите комуникациски протоколи се стандардизирани и меѓународно прифатени.

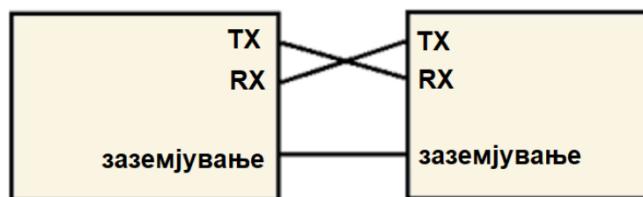
7.2. Типови индустриски комуникациски мрежи

Најголем дел од индустриските комуникациски мрежи поддржуваат сериски пренос, па затоа пред да започнеме со нивно опишување потребно е да се запознаеме со основните карактеристики на овој вид на комуникација.

7.2.1. Стандарди за сериска комуникација

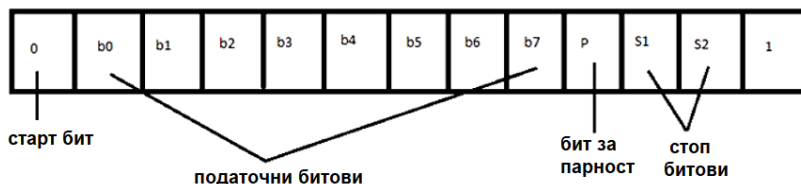
Сериската комуникација и серискиот пренос на податоци се заснова на стандардите **RS-232, RS422 и RS-485**. Кратенката RS (Recommended Standard) значи препорачан стандард за електричните, механичките и функционалните карактеристики на сериската комуникација. Најчесто користен приклучок за сериска комуникација е 9 пинскиот SUB-D конектор. Стандардот RS-232 дозволува комуникација до максимално растојание од 15 метри, а RS422 и RS-485 стандардите **од 200 до 500 метри**. Стандардите RS-422 и RS-485 овозможуваат комуникација меѓу повеќе уреди и се поотпорни на шум и грешки. Основни карактеристики на сериската комуникација се: брзина на пренос, старт и стоп битови и контрола на парност. Пред да започне преносот овие карактеристики треба да се нагодат за да предавателот и приемникот се синхронизираат односно за да приемникот правилно ги толкува битовите добиени од предавателот. Единица мерка за брзина на пренос е број на битови во една секунда или уште се нарекува пропусен опсег. За пренос е потребен пар жици. Податоците кои се испраќаат се обележани со TX (Transmission), а

податоците кои се примаат со RX (Reception). За **двонасочен пренос** потребна е и трета жица заземјување (GND). Со вкрстување на TX и RX линиите, предавателот и приемникот можат да комуницираат.



Слика 7.2. Линии за пренос при сериска комуникација

Ако не постои пренос тогаш логичкото ниво на линијата за пренос е нула. Доколку предавателот сака да испрати податок од осум битови тој претходно ќе испрати **старт бит** и по неговото прифаќање приемникот ќе знае дека битовите кои следуваат се податоци. После преносот на податоци следува **битот на парност**. Ако бројот на логички единици во пакетот е непарен број тогаш додадениот бит за парност е единица, а ако бројот на логички единици е парен тогаш битот за парност е нула. Ако на приемната страна условот за парност е исполнет тогаш преносот е без грешка односно сите податочни битови се точни. Преносот на еден пакет завршува со стоп битот. **Стоп битот** означуваат крај на една пакет од битови односно тоа е кратка пауза пред да започне преносот на следниот пакет. Стоп битовите се препознаваат по нивното времетраење од 1 или 1,5 или 2 битови.



Слика 7.3. Значење на битовите при сериска комуникација

Со цел да се обезбеди посигурен пренос и спречи губењето на податоци се користи режимот на поздравување. Тоа е всушност размена на контролни битови. Се користат четири контролни сигнали: DTR (Data Terminal Ready), DSR (Data Set Ready), RTS (Request To Send) и CTS (Clear To Send). На слика 7.4. е прикажан распоредот на пиновите на 9 пинскиот конектор за сериска комуникација SUB-C и на истата можеме да ги забележиме сите досега спомнати сигнали. На слика 7.4. е нагласено кој од пиновите е влезен, а кој излезен.

Пин	Функција	Конектор
1 DCD (Data Carrier Detect):	Детектиран носител на податоци	
2 RxD (Received Data): влез	Прием на податоци	
3 TxD (Transmitted Data): излез	Испорака на податоци	
4 DTR (Data Terminal Ready): излез	Уредот е спремен за прифаќање на податоци	
5 GND	Заземјување	
6. DSR (Data Set Ready): влез	Податоците се спремни за пренос	
7 RTS (Request To Send): излез	Баранье за пренос	
8 CTS (Clear to Send) : влез	Потврда дека сè е спремно за пренос	
9 RI (Ring Indicator)	Не се користи	

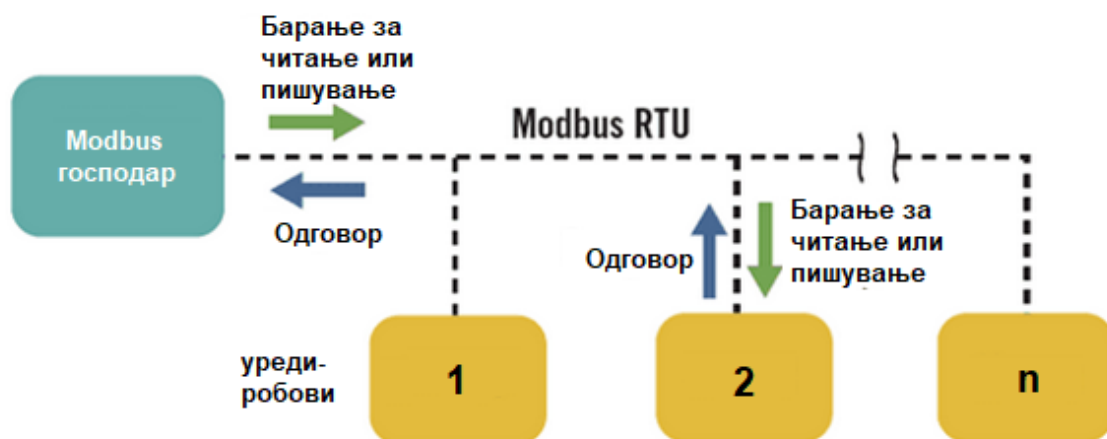
Слика 7.4. Распоред на пинови на 9 пинскиот конектор SUB-C

Кога се врши испраќање на податоци предавателот го активира сигналот RTS и преносот не може да започне додека приемникот не одговори со испраќање на сигналот CTS. Кога се врши прием на податоци приемникот го испраќа сигналот DSR, а предавателот одговара со сигналот DTR. Бидејќи и двата уреди разменуваат контролни сигнали овој начин на комуникација се нарекува ракување (handshaking).

Корисно е да споменеме дека **напонските нивоа за логичка нула и логичка единица** на портата за сериски пренос се разликуваат од оние на уредите. Според RS-232 спецификациите, бинарна нула е напон од 3V до +13 V еднонасочен напон, а бинарна единица од -3V до -13 V. Овие напонски нивоа треба да се приспособат кон стандардните нивоа на уредите со цел тој да ги обработи примените податоци.

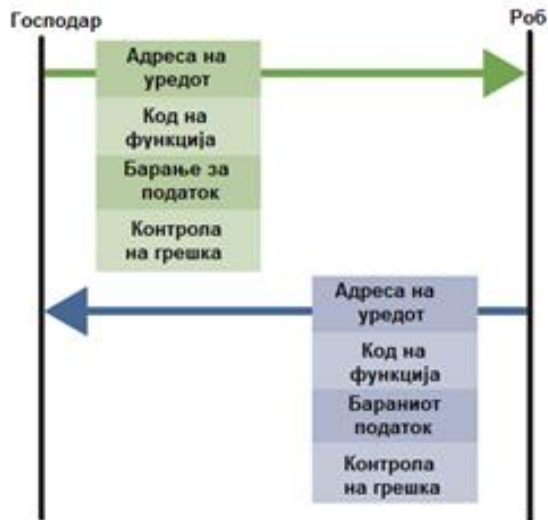
7.2.2. Modbus протоколи

Modbus е протокол од отворен тип што значи бесплатен за употреба и поддршка од многу компании, со можност за негова надградба. Modbus протоколот овозможува вмрежување на опрема од различни производители. Постојат четири типови Modbus протоколи: RTU, ASCII, TCP и PLUS. Сериската RS-232 и RS-486 комуникација е основа на Modbus RTU и ASCII протоколите, додека Modbus TCP протоколот се заснова на Ethernet мрежата. Modbus уредите користат **господар-роб (master-slave) техника**.



Слика 7.5. Господар-роб (master-slave) техника на комуникација

Уредот-господар го контролира преносот на податоци. Тој може да испраќа податоци до уредот-роб, а доколку на уредот-господар му се потребни податоци тој прво испраќа барање до уредот-роб и потоа чека одговор. Уредите-робови не може директно да комуницираат меѓу себе туку само со посредство на уредот-господар. Преносот на податоци започнува со START и завршува со STOP импулс, кои имаат точно определено времетраење. Секоја порака има **четири основни елементи**: адреса, код на функција, податок и контрола на грешка. Адресата претставува уникатна бинарна комбинација и служи за избор на уред.

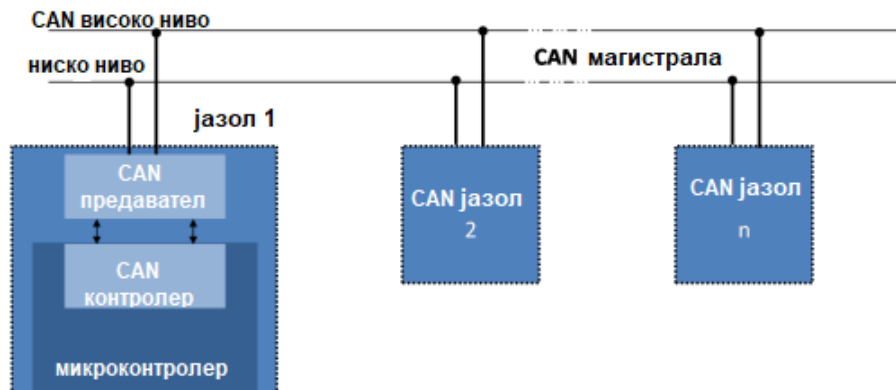


Слика 7.6. Основни елементи на порака во Modbus протокол

Modbus функциите се всушност инструкции за читање и пишување во внатрешните регистри (меморијата) на уредите. После кодот на Modbus функцијата следува податокот кој се чита или запишува. Сериската комуникација RS-232 и RS-486 овозможува комуникација меѓу два уреди. Modbus мрежата е на многу повисоко ниво и дозволува еден уред-господар да комуницира со 247 уреди-робови и секој од нив има своја уникатна адреса за негово препознавање.

7.2.3. CAN протоколи

CAN (Controller Area Network) е сериска мрежна технологија која првенствено била дизајнирана за автомобилската индустрија. Се користи во системи со дистрибуирано управување и ожичувањето е намалено поради употребата на **заедничка магистрала**. Оваа технологија не работи на принципот господар-роб туку се користи **мулти-мастер пристап** до заедничката магистрала. Сите јазли во CAN мрежата имаат еднакви права и секој јазол е господар на магистралата додека трае преносот на неговите податоци. Конфликтите при преносот се решаваат преку арбитража на идентификатори кои всушност служат за обележување на приоритетот на пораката. Предавателот, чиј податок има најголем приоритет, ќе добие пристап до магистралата. Податоците кои ја изгубиле арбитражата или оние кај кои е детектирана грешка повторно ќе бидат испратени автоматски кога ќе се ослободи магистралата.



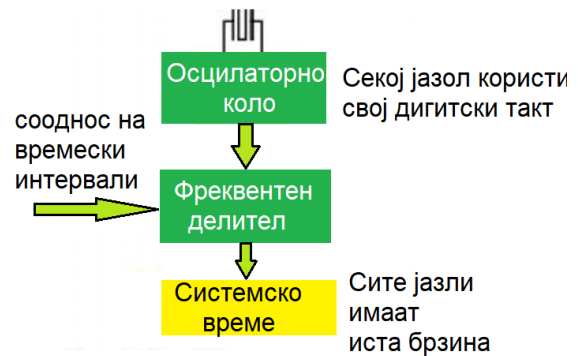
Слика 7.7. Мулти- мастер техника на комуникација

Секоја компонента во мрежата е опремена со свој примопредавател и управувач. Примопредавателот врши конверзија на логичките нивоа на сигналите, а микроуправувачот го декодира примените пораки, а ги кодира пораките што треба да се испратат.

TTCAN (Time Triggered System) е индустриска комуникациска мрежа која работи во **синхрон мод** односно користи строго утврден тајминг за пренос на пораки. Самиот назив на оваа мрежа значи систем со временска активација.

Работата на TTCAN управувачите може да се синхронизира, временски усогласи со работата на другите уреди во глобалниот систем. Сите пораки од сите јазли во мрежата треба да се распоредени по фиксен распоред со точно определено времетраење на секоја порака. TTCAN компонентите се целосно компатибилни со CAN јазлите, користат исто податочно и физичко ниво, исти магистрални линии и примопредаватели. Дури и постоечките CAN управувачи можат да се приспособат на новата TTCAN технологија со имплементација на специјален софтвер.

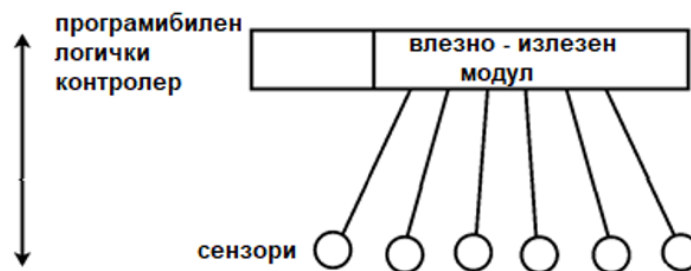
Поради воспоставениот тајминг **брзината значително се зголемува**. CAN системите имаат пропусен опсег од 125Kb/s, а TTCAN 10Mb/s. Поради големата брзина TTCAN системите се користат во апликации кои бараат брза реакција: мотори, системи за пренос, системи за кочење, суспензија, безбедност, дијагностика.



Слика 7.8. Временска активација на пораки

7.2.4. PROFIBUS протоколи

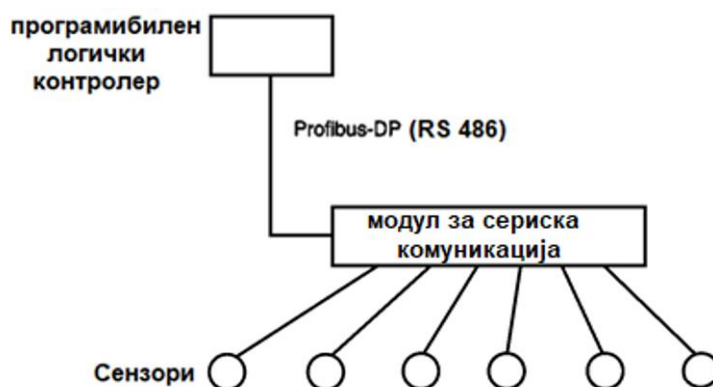
Една од најчесто користените индустриски комуникациски мрежи е PROFIBUS (Process Field Bus) мрежата. Оваа мрежа користи протокол од типот господар-роб. Во PROFIBUS мрежата можат да се поврзат 128 уреди. Постојат два основни типови PROFIBUS протоколи, PROFIBUS-DP (Decentralized Peripheral) и PROFIBUS-PA (Process Automation).



Слика 7.9. Пренос на податоци без протокол

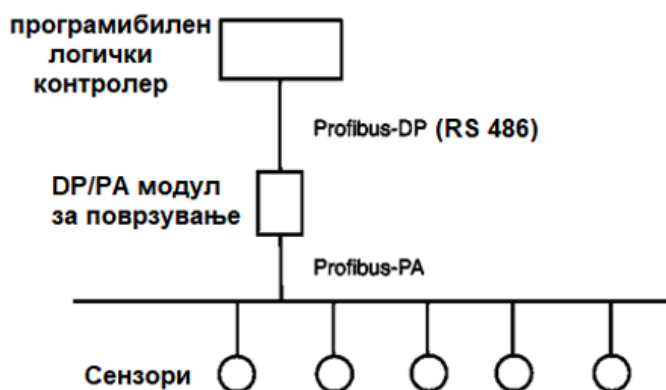
Мрежата на слика 7.9. не поддржува примена на PROFIBUS протокол. Секој сензор е посебно поврзан со управувачкиот орган и затоа е потребен голем број на кабли. Ако растојанието меѓу сензорите и управувачкиот орган е големо тогаш оваа мрежа не само што не е евтина туку е и неефикасна.

PROFIBUS-DP овозможува **комуникација меѓу сензорите и управувачкиот орган** (програмибилен логички управувач) преку **еден единствен кабел RS-486**. Ова е прикажано на слика 7.10. Освен кабел и специјално дизајнирани конектори потребен е специјален мрежен модул за сериска комуникација. Повторно е потребно сите сензори поединечно да се поврзат со мрежниот уред, но должината на каблите значително е намалена.



Слика 7.10. PROFIBUS-DP протокол

PROFIBUS-PA е протокол кој овозможува **поврзување на сите сензори и актуатори на заедничка магистрала**, како што е прикажано на слика 7.11. Преминот од PROFIBUS-DP кон PROFIBUS-PA се реализира со примена DP/PA модул за поврзување.



Слика 7.11. PROFIBUS-PA протокол

Вмрежувањето е во самите индустриски погони и затоа PROFIBUS-PA мрежата е отпорна на несакани надворешни услови. Голема предност на PROFIBUS-DP мрежата е нејзината брзина на пренос која може да биде над 12Mb во секунда, за разлика од брзината на PROFIBUS-PA која изнесува само 32Kb во секунда. Од друга страна, предност на PROFIBUS-PA е што еден ист кабел се користи за пренос на податоци и за напојување на уредите (сензорите и актуаторите).

7.2.5. PROFINET протокол

PROFIBUS и PROFINET се сосема различни протоколи. PROFIBUS преносот е полудуплекс што значи може да се пренесуваат сигнали во две насоки, но не истовремено. PROFINET преносот е **дуплекс**. PROFINET е индустриски **Ethernet протокол**. За физичко поврзување на уредите се користи стандарден **RJ-45 Ethernet приклучок**. Може да се користи и обичен UTP кабел, но најдобро е да се користи специјален PROFINET кабел поради заштитната обвивка и отпорноста од надворешни влијанија. Брзината на пренос изнесува **100Mb/s**, но максималното растојание е пократко и изнесува **100 метри**. Времето на реакција е помало од 1ms и е идеален за многу брзи апликации. За проширување на мрежата можат да се користат стандардни Ethernet комуникациски прекинувачи (switch). Секој уред во PROFINET мрежата своја IP адреса.

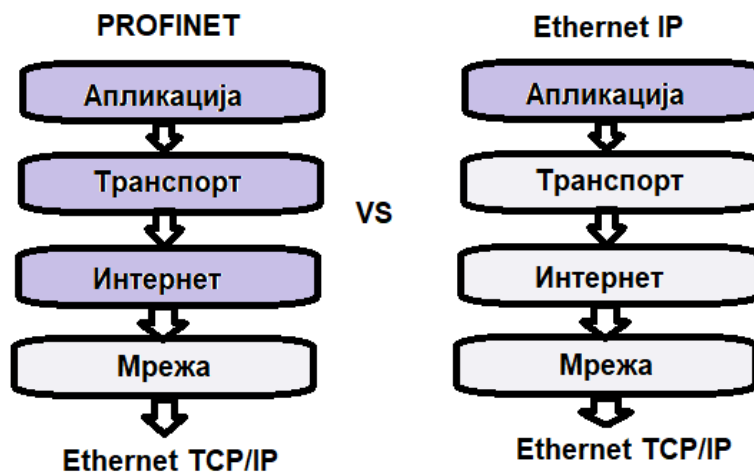
7.2.6. Ethernet IP (Ethernet Industrial Protocol)

Ethernet е комуникациски стандард за вмрежување на компјутери и други уреди во локални мрежи (LAN-Local Area Network). Еден од најчесто користените протоколи за интернет комуникација е TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). За полесно разбирање TCP/IP моделот ќе го поделиме на четири нивоа: апликационо, транспортно, интернет и мрежно ниво. Апликационото ниво ги менува корисничките податоци во облик кој е прифатлив за пренос или со други зборови им обезбедува пристап на податоците до мрежата. На пример, тоа може да биде фреквенциски регулатор со RJ-45 Ethernet приклучок. Транспортното ниво се грижи за сигурноста на преносот и податоците, добиени од апликационото ниво, ги дели на пакети. Пакетите можат да патуваат низ мрежата по различни патеки. Секој податочен пакет добива свое заглавје кое овозможува составување на пакетите во порак на приемната страна. Интернет нивото врши насочување на пакетите и во ова ниво секој пакет добива IP адреса за идентификација на уредот кој ја испраќа и уредот кој ја прима пораката. Мрежното ниво врши пренос на пакетите кои се претходно спремени во претходните три нивоа.

Ethernet IP е **спој на заедничкиот индустриски протокол (CIP-Common Industrial Protocol) и Ethernet TCP/IP протоколот**.

Собирањето и обработката на податоците или поточно апликационото ниво се реализира преку употреба на заедничкиот индустриски протокол, а за пренос на податоците се користат транспортното, интернет и мрежното ниво на веќе постоечката интернет мрежа. Ethernet IP е најчесто користена индустриската комуникациска мрежа во Америка и претставува продолжување на веќе постоечките ControlNet и DeviceNet кои се локални мрежи за автоматизација на самите индустриски погони. Во Европа популарен е PROFINET протоколот, кој е продолжение на PROFIBUS протоколите. За разлика од Ethernet IP, PROFINET користи свои апликациони, транспортни и интернет протоколи за пренос, а го позајмува само мрежното ниво на комерцијалната Ethernet мрежа. Ова

е прикажано на слика 7.12.



Слика 7.12. Споредба меѓу Ethernet IP и PROFINET протоколи

Ethernet IP е пофлексибилна и лесно може да се проширува. За разлика од неа, PROFINET е побрза мрежа, но за нејзино проширување потребен е дополнителен хардвер.

Брзиот развој на комуникациите укажува на тоа дека во иднина ќе се користи една единствена мрежа и на ниво на процесно управување и на повисоките нивоа, кој опфаќаат анализа и деловно планирање. Ethernet IP и PROFINET мрежите се повеќе се користат и на ниво на уреди, сензори и актуатори. Но, за ова е потребно унапредување на самите уреди, примена на паметни сензори и актуатори, кои се повеќе личат на микрокомпјутери.

7.3. Медиуми за пренос во индустриските комуникациски мрежи

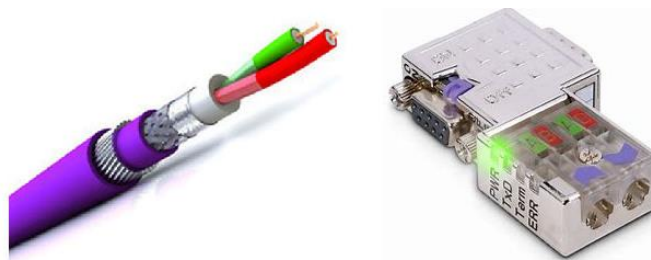
Преносот на податоци може да биде аналоген или дигитален. Кај дигиталните комуникации податоците се во бинарен облик односно нули и единици. Исто така, преносот може да биде синхрон и асинхрон. Во асинхрон мод, секој карактер започнува и завршува со START и STOP бит и истите се пренесуваат независно. Синхрониот мод е поефикасен бидејќи се пренесуваат блокови од карактери, со точно утврден тајминг и дигитските такта на предавателот и приемникот се усогласени, синхронизирани. Во индустриските комуникациски мрежи преносот се реализира со примена на фреквентни и временски мултиплекси.

Еден од клучните фактори при изборот на мрежа е видот на телекомуникациски кабли за пренос на сигнали. Во индустриските мрежи најчесто користени медиуми се симетричните и вкрстени парици и коаксијалните кабли, а се почесто и оптичките кабли и безжичниот пренос.



Слика 7.13. Медиуми за пренос во индустриските комуникациски мрежи

На слика 7.14. се прикажани **PROFIBUS** кабел и конектор со лед диоди како индикатори. Самиот кабел е симетрична парица со два бакарни спроводници и тој поддржува RS-232 или RS-485 сериска комуникација, која веќе ја објаснивме. Од сликата гледаме дека кабелот е оклопен со неколку слоја кои обезбедуваат заштита од механички, температурни, електромагнетни и други влијанија.



Слика 7.14. PROFIBUS кабел и SUB-D конектор

На слика 7.15. е прикажан **PROFINET** кабел и два типа на конектори, стандардниот RJ45 и поиздржливиот M12 конектор. Кабелот е составен од четири спроводници односно две симетрични парици. Да се потсетиме Profinet мрежата поддржува дуплекс, а Profibus полудуплекс пренос. Максималната должина на кабелот не треба да биде поголема од 100 метри. Пропусниот опсег изнесува 100Mb/s. Со згоолемување на растојанието меѓу уредите се намалува пропусниот опсег. Освен од бакарни спроводници, PROFINET кабли можат да бидат изработени од оптички влакна и со нив може да се постигнат многу поголеми растојанија.



Слика 7.15. PROFINET кабел, RJ45 и M12 конектор

Коаксијалните кабли се карактеризираат со голема брзина на пренос, до 140Mb/s пропусен опсег за дигитални и 4MHz фреквентен опсег за аналогни сигнали. Растојанието меѓу уредите може да биде до неколку километри.

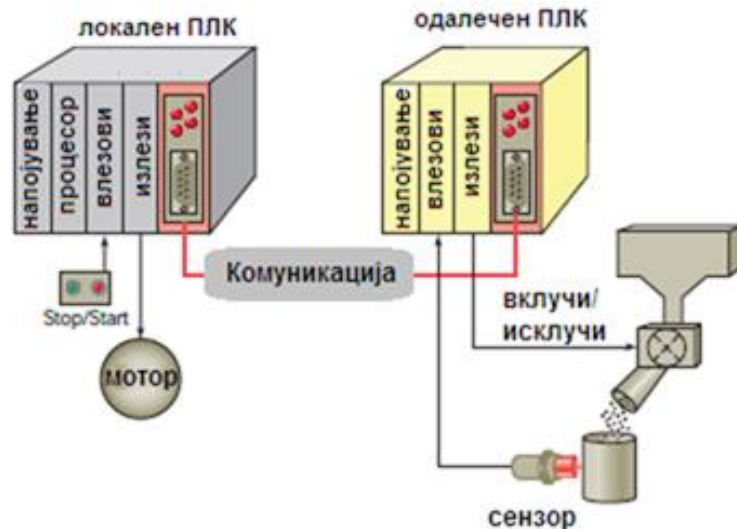
Оптичките кабли овозможуваат пренос на растојание до 26Km. Пропусниот опсег зависи од тоа дали оптичките влакна се мономодни или мултимодни. Оптичките кабли се карактеризираат со многу мало слабеење, заштита од електромагнетни зрачења, влага, корозија, температура, притисок. Недостаток е цената и тешкото поставување во поразгранетите мрежи.

Wi-Fi мрежите, кои секојдневно ги користиме, и индустриските безжични мрежи се разликуваат меѓу себе. Класичните Wi-Fi мрежи поддржуваат пренос на големи количини на податоци, како видео, слики, веб страни. Индустрискиот безжичен пренос поддржува пренос на мали количини на информации, на пример податок за излезната големина на некој сензор. Во индустриските погони еден управувач може да биде поврзан со неколку стотина сензори. Од безбедносни причини **индустрискиот безжичен пренос не смее да ја губи врската** и траењето на батериите треба да биде многу подолго понекогаш и неколку години.

7.4. Стандардни мрежно-комуникациски уреди за работа во индустриски услови

Од досега изнесеното може да се заклучи дека индустриските комуникациски мрежи значително се разликуваат од комерцијалните компјутерски мрежи пред сè во употребата на посебни протоколи и уреди. Да се потсетиме на архитектурата на индустриските мрежи прикажана на слика 7.1. Протоколите треба да обезбедат размена на податоци почнувајќи од сензорите и актуаторите во полето на уредите, преку управувачите и компјутерите во управувачкото ниво, па се до рутерите и серверите за поврзување во глобалната интернет мрежа. Чувањето на податоци во „облак“ е веќе вообичаена пракса на компаниите кои се занимаваат со анализа на индустриските процеси и нивно усовршување. Ако убаво ја погледнеме пирамидата на индустриската мрежа може да се согледа комплексноста и разноликоста на уредите и опремата кои се потребни за да се изгради една модерна мрежа. Стандардни мрежно-комуникациски уреди се: **програмибилните логички управувачи** (анг. PLC-Programmable Logical Controller) или **далечинските терминални единици** (анг. RTU-Remote Terminal Unit), **индустриските мрежни прекинувачи и мостови, Wi-Fi, интернет и мобилни рутери и порти, медиум конвертори, засилувачи и др.** Овие уреди не само што треба да се издржливи и приспособени кон суровите индустриски услови туку потребно е да работат во реално време. За разлика од комерцијалните мрежи каде може да се случи задоцнет или одложен пренос, кај

индустриските мрежи тоа би значело не само неефикасно работење туку и загрозување на безбедноста на системот.



Слика 7.16. Комуникација меѓу програмибилни логички управувачи, сензори и актуатори

За вмрежување на традиционалните сензори и актуатори се користат пред сè програмибилните логички управувачи (ПЛУ) и далечинските терминални единици. Веќе спомнавме дека **ПЛУ се индустриски микрокомпјутери** кои на почетокот имале пред сè управувачка функција, а подоцна се користат за комуникација на повисоко ниво. Овие управувачи можат да комуницираат со сензори и актуатори, меѓусебно како што е прикажано на слика 7.16., или со други моќни комерцијални компјутери. Бројот на влезно-излезни, аналогни и дигитални приклучоци е прилично ограничен, но во индустријата се користат пред сè ПЛУ со модуларна градба, со можност за надградба на конфигурацијата и зголемување на комуникациските способности. Слична функција има и **далечинската терминална единица (RTU)**. Кај PLC управувачот преносот се врши преку физички вод, а кај RTU безжично односно антенски. Тој се користи пред сè за комуникација на големи растојанија или недостапни места каде не е економски исплатливо да се инвестира во физички медиуми за пренос. Бидејќи RTU управувачите се поставуваат на недостапни места, напојувањето и штедењето на батеријата се важен фактор. Со цел да се намали потрошувачката на енергија, RTU реагира на случајни настани односно вообичаено тој е во мод на мирување и ако се активира некој сензор тогаш почнува да процесира. Ова не е случај со PLC управувачите кој постојано процесираат односно циклично, без прекин ја проверуваат состојбата на сензорите.

Работата на индустриските комуникациски мрежи не може да се замисли без употреба на мрежни уреди: јазли, мостови, прекинувачи (switch), рутери, точки за пристап и порти (gateway).

Мрежните јазли вршат само механичко поврзување на уредите со магистралите т.е. водовите за пренос. На слика 7.17. е прикажан мрежен јазол за поврзување

на сензорите и актуаторите на PROFIBUS-PA магистралата. **Мрежните прекинувачи** вршат поврзување на повеќе компјутери или ПЛУ во една локална мрежа. Тие ги препознаваат уредите по нивната уникатна MAC (Media Access Control) адреса и памтат на која порта е поврзан секој од уредите.



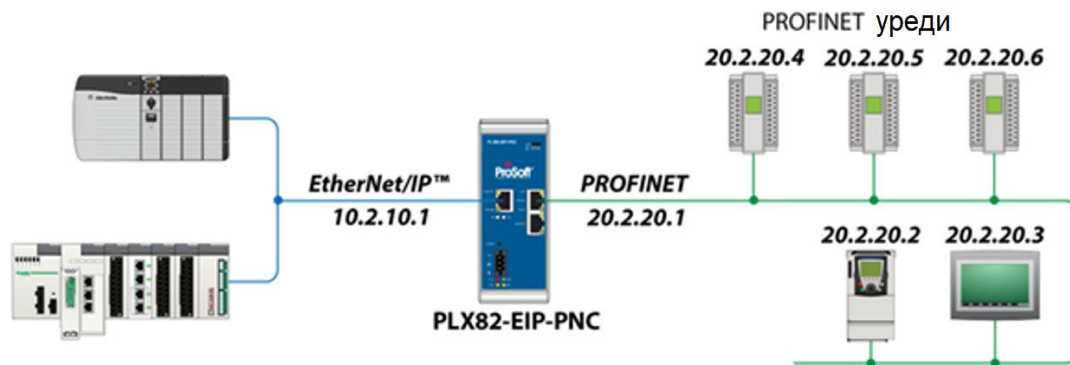
Слика 7.17. Мрежен јазол за поврзување на уредите со PROFIBUS-PA магистралата



Слика 7.18 Мрежна порта за поврзување на PROFINET и Ethernet IP мрежите

На пример, уредот А сака да испрати податоци до уредот С. Уредот А е поврзан на портата со реден број 1, а уредот С на портата со реден број 4. Прекинувачот ќе ги насочи податоците од една кон друга порта односно податоците пристигнуваат во прекинувачот преку портата 1, а го напуштаат преку портата 4. Прекинувачите значително го намалуваат мрежниот пренос бидејќи ги испраќаат податоците само до оној уред на кој тие му се потребни. Со поврзување на прекинувачот со рутер може да се зголеми бројот на жични приклучоци во мрежата. **Рутерот** или мрежниот насочувач е уред кој служи за меѓусебно поврзување на повеќе локални мрежи. Рутерите ја избираат најефикасната патека за пренос на податочните пакети. Во малите локални индустриски мрежи рутерот е обично врската меѓу таа мрежа и интернет мрежата. Рутерот му доделува IP адреса на секој уред од локалната мрежа. Сличен, но не ист уред е точката за пристап (access point). Заеднички им е што и рутерот и точката за пристап обезбедуваат безжичен пренос. За разлика од рутерот, **точката за пристап** нема приклучок за жично поврзување на уредите на мрежа и тој не врши рутирање на податочните пакети. Најголема предност на точката на пристап е што овој уред дозволува поврзување на многу поголем број уреди со рутерот, а ова е многу важно со оглед на големината на индустриските погони и концентрацијата на уреди. Областа на покриеност се простира од 45 метри во затворен простор и 91 метар на отворено.

Портите се нарекуваат уште и мрежни премини и тие служат за премин, превод од еден во друг протокол односно вршат приспособување на електричниот сигнал од едната мрежа кон електричниот сигнал од другата мрежа. На пример, без употреба на порта невозможно е да се поврзат PROFINET и Ethernet IP мрежите. Ова е прикажано на слика 7.18. Друг пример за индустриска мрежна порта е PROFIBUS DP/PA портата и истиот е прикажан на слика 7.19.



Слика 7.19. Мрежна порта за поврзување на PROFINET и Ethernet IP мрежите

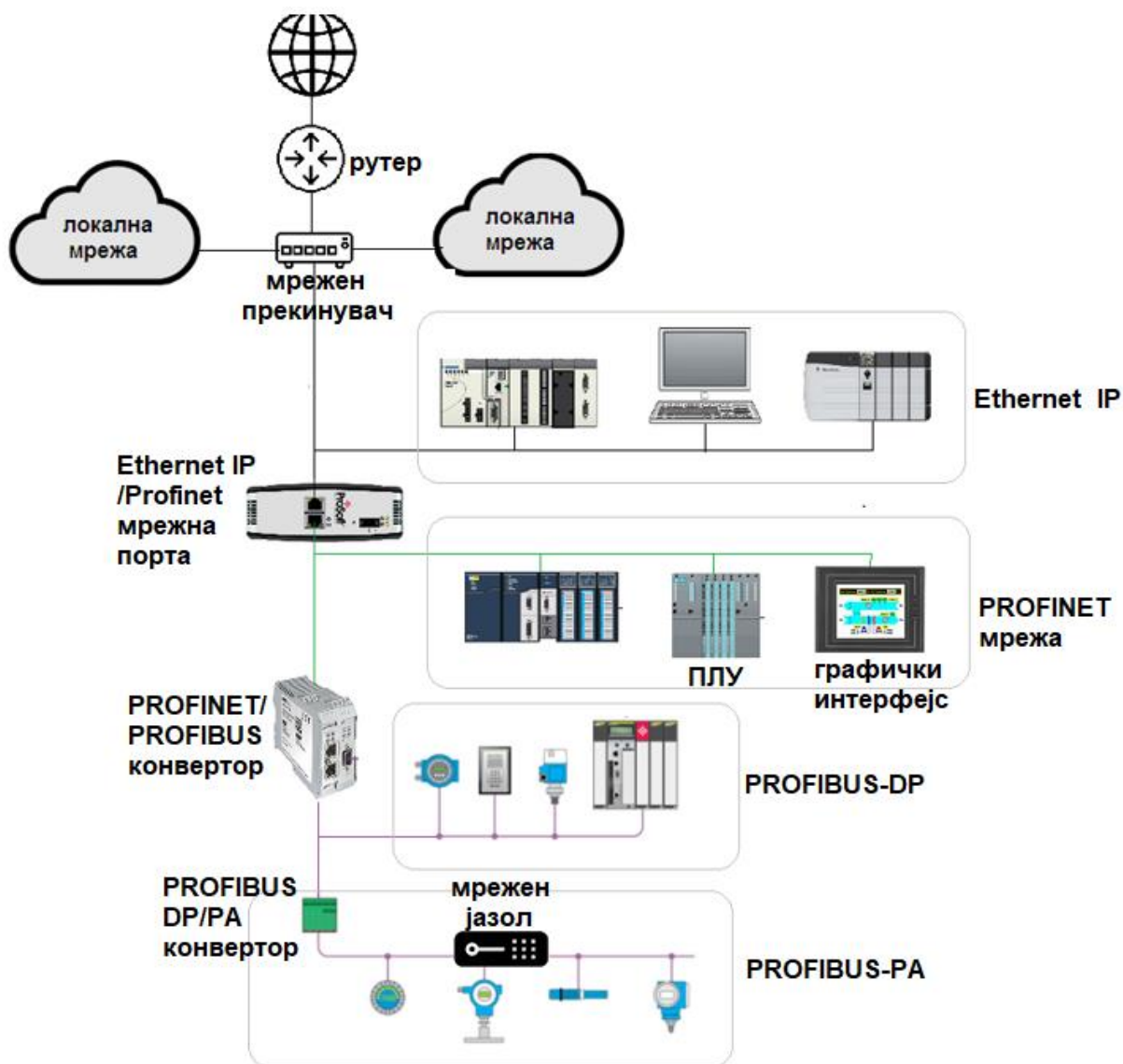
Постојат уште многу други уреди кои се користат во индустриските комуникациски мрежи. На пример, ако кабелот е премногу долг ќе дојде до изобличување на сигналот поради појава на слабеење. Поради тоа е потребен засилувач кој ќе ја зголеми моќноста на сигналот. Друг пример е оптичкиот PROFINET кабел и употребата на медиумски конвертор кој електричните сигнали ќе ги претвори во светлосни.

Новите технологии овозможуваат многу полесно вмрежување. Веќе ги спомнавме „паметните“ сензори со вградени протоколи и порти за комуникација. Тие се составен дел од една нова платформа наречена индустриски интернет на нештата (IIoT-Industrial Internet of Things) при што сензорите се вмрежуваат по концептот вклучи се и работи (plug and play) и со што се надминува јазот меѓу сензорите како уреди и мрежите на податоци.

7.5. Жичени и безжични индустриски комуникациски мрежи со сензори

На слика 7.20. е прикажана индустриска жичена комуникациска мрежа со стандардните мрежно- комуникациски уреди. Во примерот се употребени три видови на индустриски протоколи. Како медиуми за пренос се користат: симетрична парица, четворка вкрстена парица и UTP кабел. Употребени се повеќе видови стандардни мрежно комуникациски уреди. Конфигурацијата на мрежата не е фиксна и таа може лесно да се менува.

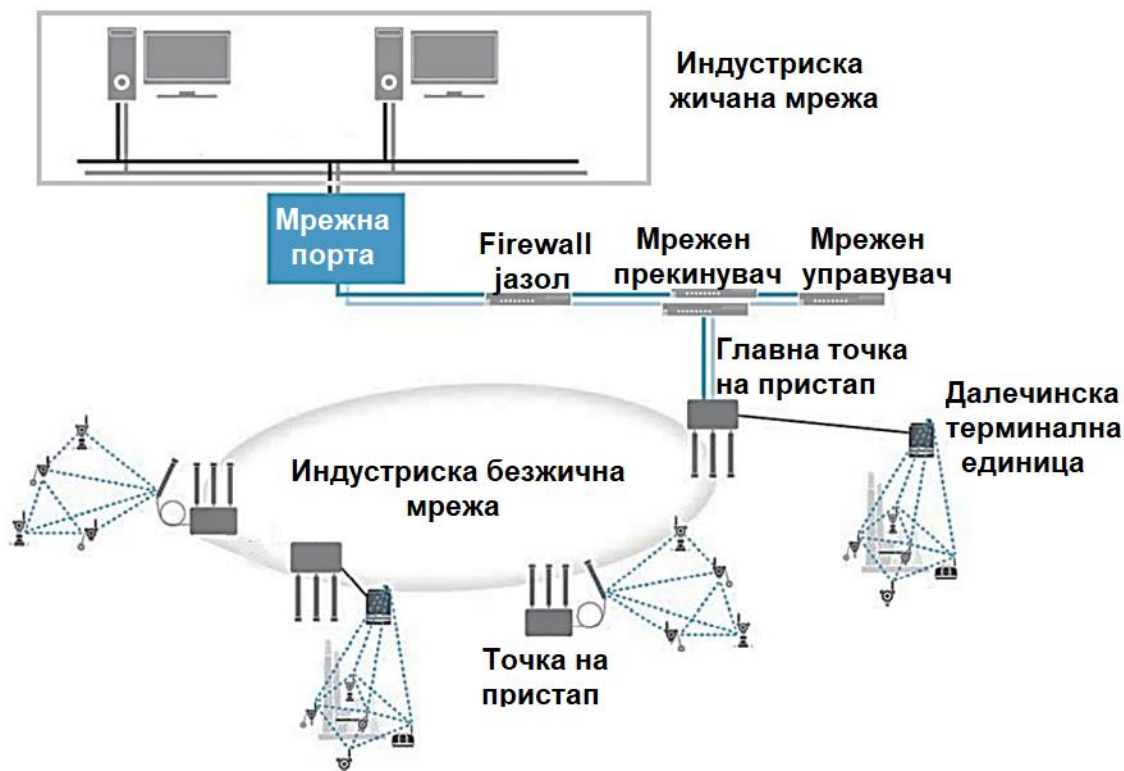
Секогаш се започнува со сензорите бидејќи тие ги детектираат промените на физичките големини во околината. Сензорите се поврзани со **PROFIBUS-PA магистралата** преку **мрежен јазол**, кој е прикажан на слика 7.17. PROFIBUS-PA е надградба на **PROFIBUS-DP** мрежата, која во својот состав содржи и програмибилен логички управувач. Преминот од PROFIBUS DP кон PROFIBUS PA протоколот и обратно го врши таканаречениот **DP/PA конвертор** и претставува еден вид на мрежна порта. Таков уред, но со други спецификации е мрежната порта за премин од PROFIBUS кон **PROFINET** мрежата. PROFINET мрежата не е директно поврзана со интернет мрежата туку преку **Ethernet IP** прекинувач.



Слика 7.20. Индустриска жичена комуникациска мрежа

Прекинувачот служи за поврзување на две локални компјутерски мрежи и Ethernet IP мрежата. За да овие мрежи се поврзат со комерцијалната интернет мрежа потребен е **рутер**.

На слика 7.21. е прикажана индустриска безжична комуникациска мрежа со стандардните мрежно- комуникациски уреди. Основни елементи на оваа мрежа се: поле на безжични уреди , мрежна порта и мрежен управувач. Безжичните уреди се сензорите и актуаторите кои поддржуваат антенски пренос. Мрежната порта овозможува комуникација меѓу безжичната и жичената комуникациска мрежа. Мрежниот управувач служи за конфигурација на мрежата, рутирање на податочните пакети, управување со временскиот мултиплекс и мониторинг. За механичко поврзување на безжичната и жичената мрежа се користи **специјален јазол (firewall)**. За размена на пораки меѓу мрежите се користи **мрежен прекинувач**. Прекинувачот е поврзан со мрежниот управувач и главната **точка за пристап**. Од главната точка за пристап започнува безжичната мрежа.



Слика 7.21. Индустриска безжична комуникациска мрежа

Со цел да се прошири областа на покриеност се користат повеќе **помошни точки за пристап**. Во индустриските безжични комуникациски мрежи најчесто се користат радиофреквенции од 2,4GHz, според меѓународните технички стандарди.

Прашања за повторување на материјалот

1. Која е намената на индустриските комуникациски мрежи?

2. Што значи терминот работа во реално време за индустриските комуникациски мрежи?

3. Од кои компоненти е составено нивото на уреди, управувачкото и информациското ниво во архитектурата на индустриските комуникациски мрежи?

4. Кои се основните карактеристики на индустриските комуникациски мрежи од средно ниво и кои се нивни претставници?

5. Зошто комуникациските мрежи не можат да функционираат без примена на протоколи?

6. Што подразбираме под сериска комуникација и кои се основните стандарди за истата?

7. Објасни ги господар-роб и мулти-мастер техниките за комуникација со MODBUS и CAN протоколите?

8. Која е основната разлика меѓу CAN и TTCAN протоколите?

9. Направи споредба меѓу PROFIBUS-DP и PROFIBUS-PA протоколите!

10. Направи споредба меѓу PROFIBUS и PROFINET протоколите!

11. Ethernet индустрискиот протокол е спој на два посебни протоколи. Објасни!

12. Направи споредба (сличности и разлики) меѓу Ethernet IP и PROFINET протоколот!

13. Кои се најчесто користени медиуми за пренос во индустриските комуникациски мрежи?

14. Која е разликата меѓу PROFIBUS и PROFINET каблите?

15. Наброј неколку стандардни комуникациски уреди за работа во индустриски услови!

16. Која е разликата меѓу PLC и RTU управувачите?

17. Која е основната функција на мрежниот прекинувач?

18. Како се вика уредот за поврзување на индустриските комуникациските мрежи со комерцијалната интернет мрежа?

19. За што служат помошните точки за пристап во безжичните комуникациски мрежи?

Користена литература и интернет-страници

- Electronics Course V- Measurement and control engineering- GTZ
- Основи на автоматското управување-Сашо Гелев-2020
- Automatika za elektrotehničke skole- V. Ravlić -2004
- SENZORI I AKTUATORI- Skripta za ispit u elektronskom obliku - Dr Božo Ilić
- [Električar 1 – Naelektriši svoj um \(elektricar1.rs\)](http://elektricar1.rs)
- [Control Systems Made Simple | Beginner's Guide | UdeMy](https://www.udemy.com/course/control-systems-made-simple/)
- [Industrial Sensor Fundamentals \(realpars.com\)](https://www.realpars.com/industrial-sensor-fundamentals/)
- [PID Controller Basics Free Training Course | RealPars](https://www.realpars.com/pid-controller-basics-free-training-course/)
- [Industrial Networking Fundamentals \(realpars.com\)](https://www.realpars.com/industrial-networking-fundamentals/)