

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Машине алатке

Број индекса: 2002/2014

Нешић Никола

**КАРАКТЕРИСТИКЕ И ПРИМЕНА ЕЛЕКТРОМОТОРА
ЗА ПРЕНОСНИКЕ АЛАТНИХ МАШИНА**

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру завршног рада потребно је да кандидат изврши прикупљање и систематизацију података о врстама, карактеристикама и примени електромотора код преносника машина алатки. Поред тога потребно је описати фреквентни регулатор и електричне преноснике. У посебном делу рада извршити пројектовање и реализовати пример једног електричног прекидача за управљање променом везивања електромотора у звезду или троугао.

Препоручена литература:

1. Захар С., Машине алатке 1, Југословенско друштво за трибологију, Крагујевац, 1993.
2. Митраковић Б., Николић Н.: Асинхроне машине, 2. издање, Научна књига, Београд, 1975.
3. Панић С., Нумерички управљане машине, Висока пословно техничка школа, Ужице, 2009

У Крагујевцу,
10.02.2016. год.

Проф. др Богдан Недић

РЕЗИМЕ

У дипломском раду описани су основни принципи рада и конструкција различитих типова електричних мотора коришћених у данашњим електричним погонима. Описани су и фреквентни регулатори који омогућавају управљање брзином трофазних асинхронних мотора. Дати су погонси системи алатних машина, погони главних и помоћних кретања. Такође описану су и електрични преносници алатних машина, њихове предности и мане. Дат је и пример пројектовања аутоматског прекидача звезда-троугао.

Кључне речи: електромотор, фреквентни регулатор, електрични преносници, прекидач звезда-троугао.

ABSTRACT

In this work is described the basic principles of operation and construction different types of electric motors used in today's electric drives. Described also are frequency regulators which allow for speed control of three phase asynchronous motors. Powering systems of tool machines are also given for powering main and secondary movement. Also described are the electrical transmissions for tool machines and their pros and cons. An example of the design of an automatic switch star-triangle is given.

Key words: electric motor, variable frequency drive, electrical transmission, switch star-triangle.

Садржај

1. Увод	5
2. Историја.....	6
3. Електрични мотор	8
3.1 Основе рада електричних мотора	8
3.3 Намотаји електричних мотора.....	10
4. Асинхрони мотор.....	11
4.1 Конструкција асинхроног мотора.....	11
4.2 Врсте асинхроних мотора	13
4.3 Основни принцип рада асинхроног мотора.....	15
4.4 Једнофазни асинхрони мотор	17
4.5 Принцип рада трофазног асинхроног морота	18
4.6. Покретање асинхромонг мотора.....	18
5. Фреквентни регулатор.....	20
6. Погонски системи алатних машина	24
6.1 Електромоторни погонски системи.....	25
6.2 Степ мотори	27
6.3 Погон главног вратила	29
6.4 Погонски систем помоћног кретања	32
7. Електрични преносници.....	36
7.1 Електрична вратила.....	37
7.2 Облици, уградња и избор електромотора.....	38
8. Пример пројектовања	42
9. Закључак	45
10. Литература	46

1. Увод

Техничка решења којима се електрична енергија може претворити у користан механички рад много су допринели развоју и напретку цивилизације. Пре појаве електромотора постојао је систем за напајање механичком енергијом производних машина, који се састојао од парне машине (или неког другог мотора) и трансмисије. Развој и употреба електромотора текли су врло брзо, па он потискује остале моторе где год је то могуће. У прилог томе иде и чињеница да је још 1890. године удео електромотора у укупној инсталираној снази свих мотора износио 5%, тај постотак се већ 1927. године пење на 75%, да би данас он износио више од 90%.

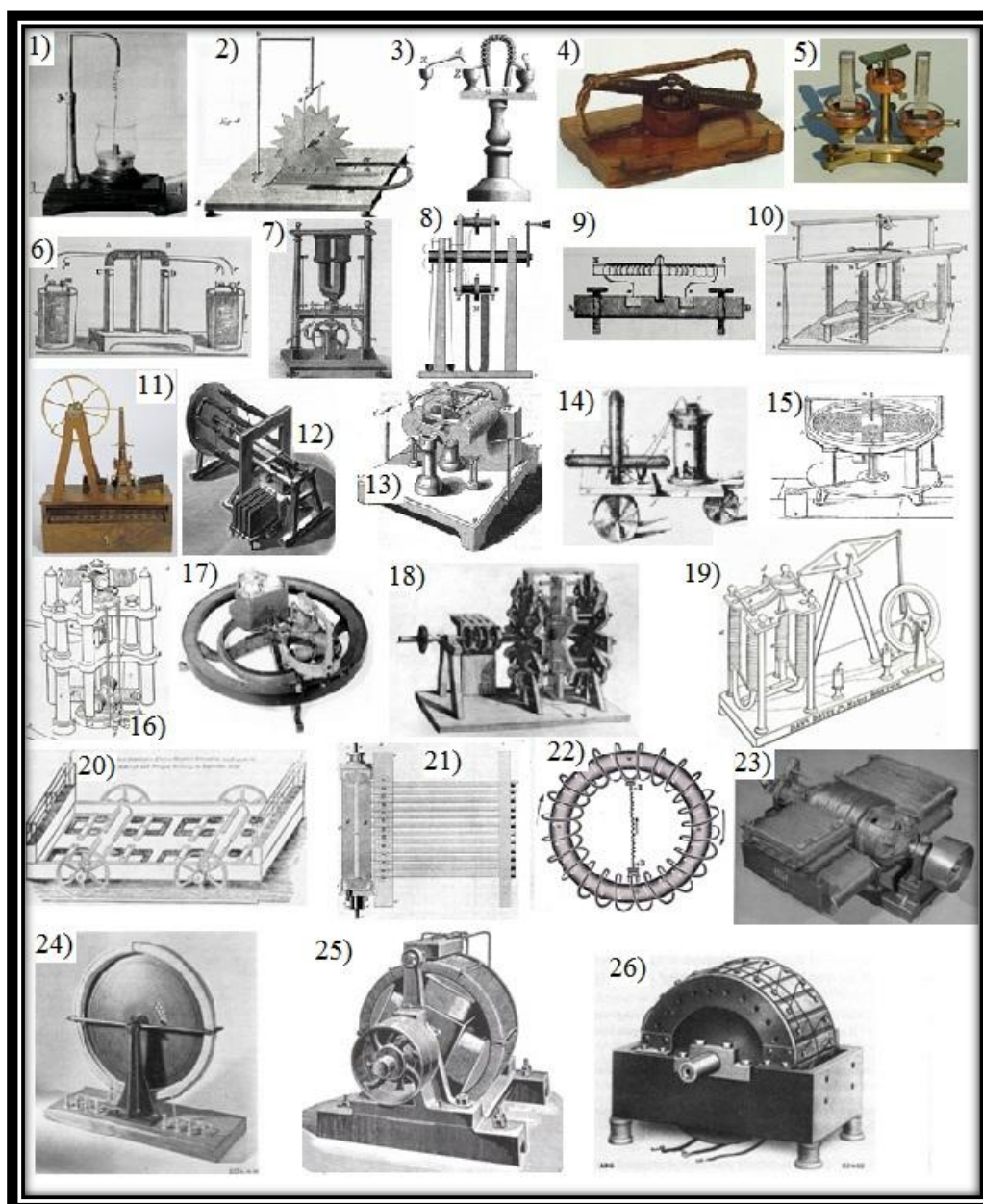
Примена електричног мотора унела је револуцију у индустрији. Индустријски процеси више нису ограничени преносом снаге преко вратила, каиша, компримованог ваздуха или хидрауличног притиска. Уместо тога свака машина може бити опремљена сопственим мотором, што пружа laku контролу у технолошком процесу и бољу ефикасност у преносу снаге. Живимо у времена када је човечанство ушло у информационо раздобље у коме се развијају информационе и врхунске производне технологије и технике. Информационе технологије су у производним системима оствариле најзначајнији утицај. Увођењем ових технологија вишеструко се повећава производност рада, економски резултати и тржишна способност.

У последњих педесет година откривено је више проналазака него у читавом претходном раздобљу од постанка човека. Оцењује се да данас у свету живи више од 80% научника, истраживача и технолога свих времена. Први развој машина за обраду појављује се 1717. године у В. Британији. Почетак развоја модерних производних машина почиње 1947. године у САД, када је човек први пут у историји управљао нумеричком машином, до осамдесетих година овога века када настају модерни интелигентни јапански производни системи чак и фабрике без људи.

У другом поглављу је описан историски развој електричних мотора. Треће поглавље описује основне рада електромотора, као и њихова подела, о намотајима електричних мотора. Четврто поглавље је посвећено асинхроним моторима о њиховој конструкцији, принципу рада. У петом поглављу описан је рад и примена фреквентног регулатора, шесто поглавље описује погонске системе алатних машина (главна и помоћна кретања). Осмо поглавље завршног рада посвећено је аутоматском прекидачу звезда-троугао (примена, принцип рада).

2. Историја

Као што је то често случај са проналаском, заслуга за развој електромотора не припада само једном поједници. Тај процес развоја и открића почиње са Ханс Оерстедом открићем електромагнетизма 1820. године, и укључује додатни рад Џозеф Хенрија, Андре Мари Ампер, Мајкл Фарадеј, Томас Девенпорт и неколико других. Сматра се да је Фарадеј заслужан за развој првих електромотора, а већина људи их не би препознала, јер нису изгледали као данашњи електромотори.



Слика 1. Развој електромотора [11]

Први електромоторни погони били су врло једноставни, као и сами електрични мотори. Иако интересантан вид трансформације енергије, електромотори су на почету били слабо примењивани у фабрикама јер трошкови за цинк и киселину (који су коришћени у батеријама за напајање) далеко превазилазе оне за угаљ у парним моторима исте снаге. Комерцијална употреба електромотора захтевала је ефикасније генераторе и електричне мреже. У то време, доминирали су мотори једносмерне струје. Револуционарни обрт доноси (трофазни) наизменични систем са јефтиним асинхроним мотором, за шта је највише заслужан Никола Тесла (1888. године Никола Тесла је изумео први употребљив мотор наизменичне струје). Појава наизменичних система омогућава пораст снаге енергетских извора неколико пута, пренос енергије на велике даљине и смањује цену електричне енергије, а појава асинхроног мотора смањује цену мотора исте снаге за неколико пута, чиме асинхрони мотор потискује мотор једносмерне струје у постојећим погонима.

На слици 1 је у сликама дат историјски развој електромотора, под 1) је Фарадејева ротирајућа жица коју је осмислио 1821 год. Под 2) је Барлов ротирајући точак из 1822 год. Под 3) је Стурцеонов електромагнет из 1825 год. Под 4) је Једликова ротирајућа машина са електромагнетима и комутатором из 1827 год. Под 5) Баумгартенов мотор из 1830 год. Под 6) је Хенријева "магнетна мешалица". Под 7) је Пиксијев први генератор једносмерне струје из 1833 год. Под 8) је Ричијев први генератор са комутатором из 1833 год. Под 9) је Ричијев обртни намотај из 1833 год. Под 10) је Стурцеонов електрични ротирајући уређај из 1833 год. Под 11) је Ботова ротациона машина из 1834 год. Под 12) је први употребљив електрични мотор Јакобија из 1834 год. Под 13) Ваткинсонова такозвана електрична играчка, која може да доведе до ротације неколико магнетне игле из 1835 год. Под 14) је возило на електрични погон из 1835 године, које су направили Стратинг и Бекер. Под 15) је Девенпортов електрични мотор који је усавршио и добио патент за први електрични мотор. Под 16) Ваткинсов електрични мотор из 1838 год. Под 17) је минијатуран модел воза на погон Девенпортовог мотора који је приказан 1838 год. Под 18) је унапређени Јакобиев мотор који је производио једну петину коњске снаге, око 300 W из 1838 год. Под 19) је Пејцов први мотор из 1838 год. Под 20) је прва електрична локомотива коју је направио Дејвидсон 1839 год. Под 21) је електрични генератор једносмерне струје са двоструким намотајима коју је направио Сименс 1857 год. Под 22) је Гремијев намотај који је решио проблем пулсирајуће струје, тако је настала производња константне једносмерну струју из 1871 год. Под 23) је Сименсов мотор који смањује проблем вртложних струја помоћу гвоздене жице уместо чврстог гвожђа за магнетно језгро из 1872 год. Под 24) је Теслин мотор наизменичне струје из 1885 год. Под 25) је синхрони мотор Хеселвандера из 1887 год. Под 26) је први трофазни кавезни индукциони мотор Доливо-Добровског из 1889 год. [11].

3. Електрични мотор

Електромотор је електрична машина која користи електричну енергију за производњу механичке енергије, углавном кроз интеракцију магнетног поља и проводника кроз који протиче струја. Обрнути процес производње електричне енергије из механичке постиже се генератором или динамом, чиме асинхрони мотор потискује мотор једносмерне струје у постојећим погонима.

3.1 Основе рада електричних мотора

Претварање електричне енергије у механичку и обратно, које се назива електромеханичким претварањем енергије, заснива се на извесним природним појавама које су повезане, с једне стране магнетно и електрично поље, с друге стране механичка сила и кретање. Тих појава је више, међутим најважније појаве у том смислу су оне на којима се заснива рад електромагнетних обртних машина, које иначе имају далеко највећу практичну примену и значај.



Слика 2. Проводник у магнетном пољу [7]

Основни принцип рада на ком се заснивају електромагнетни мотори је механичка (електромагнетна) сила која делује на проводник кроз који протиче електрична струја и који се налази у магнетном пољу као и на појави да се у колу које се креће кроз магнетно поље индукује електромоторна сила. Електромоторна сила (EMS) индукована у електричном колу има смер такав да струја која се ствара у том колу услед ње, индукује магнетно поље које се супроставља промени магнетног флукса. Те две појаве се дешавају истовремено. Претварање механичке енергије у електричну и обратно постоји само онда, ако постоји релативно кретање проводника према магнетном пољу. Електрични мотор садржи два основна дела, магнетни део (језгро од феромагнетног материјала) и електрични део (један или више намотаја) [7]. Електрични мотори се конструктивно изводе из два дела, и то непокретног који се назива статор, и покретног који се назива ротор. Између статора и ротора налази се ваздушни зазор који омогућава кретање, јер се у њему електромагнетним путем ствара магнетно поље индукције B . У погледу међусобног положаја статора и ротора могућа су различита решења. Код већине електромотора ротор се налази унутар статора и обрће се у њему, али има и других варијанти. Код неротирајућих мотора покретни део машине остварује транслаторно кретање (нпр. линеарни мотор).

Ни једна машина, па била она електрична или погонска не производи енергију сама: ова је претвара из једног облика у други. Енергија мора да дотиче у машину и да из ње отиче. У идеалном случају машина би могла да даје толико енергије, колико је примила. Један део енергије коју прими, електромотор задржи за себе ради покривања губитака. У електричним моторима настају следећи губици:

- У гвозденим деловима машине где пролазе променљиви магнетни флуксеви губици услед вртложних струја (P_v).
- У гвозденим деловима електричне машине где пролазе променљиви магнетни флуксеви (услед кретања елементарних магнета) – губици услед хистерезиса (P_h). Ове две врсте губитака називају се губицима у гвожђу (P_{Fe}).
- Услед пролаза електричне струје кроз намотаје електричних машина настају губици у намотају и називају се губицима у бакру (P_{Cu}).
- Губици који настају трењем осовине у лежачевима и вентилатора, су губици услед трења и вентилације (механички губици код ротационих машина).
- Додатне губитке чине губици код колекторских машина и машина са клизним прстеном између четкица, колектора и клизних прстенова и диелектрични губици у изолацији која се налази у променљивом електричном пољу. Код ниских напона ове губитке занемарујемо, јер су врло мали, док код машина са високим напонима о овим губицима се мора водити рачуна.

Величина која карактерише економичност реалног мотора је његов степен искоришћења:

$$\eta = \frac{\text{добијене енергија}}{\text{доведена енергија}} < 1$$

При томе код мотора добијена енергија механичка, а доведена електрична, док је код генератора обрнуто. Може се изразити и односом добијене и доведене снаге:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Степен искоришћења електричних мотора се, зависно од њихове снаге, креће од 70 % (за $P = 1 \text{ KW}$) до 95 % (за $P = 1 \text{ MW}$). Животни век електромотора углавном одређује слабљење изолационих својстава узрокована загревањем, последица губитака енергије који се претежно претварају у топлоту.

3.3 Намотаји електричних мотора

Намотај електричних машина је скуп свих проводника међусобно спојених по неком правилу и смештени у жлебове или на истакнуте половине. Проводници за намотаје су од бакра, алуминијума или сличног материјала. Код малих машина, округлог су пресека и изоловани на одговарајући начин, а код машина већих снага профилног пресека су посебно изоловани. Намотаји се могу делити: према смештају на статорски и роторски намотај, према намени побудни (ствара магнетни флуks) и радни или арматурни (директно учествује у претварању енергије), према изради концентрисани (обично побудни) и расподељени (обично радни али може бити и побудни). Концентрисани намотај чине навојци око истакнутих полова. Расподељени намотај се реализује навојцима положеним у уздужне статорске или роторске жлебове различитих облика. Важно је споменути да се намотај може извести, као једнослојни или као двослојни. Намотаји код којих навојни делови заузимају цео жлеб називају се једнослојни намотаји. Код двослојних намотаја сваки од два проводника који образују један навојни део заузима само половину жлеба, и то један горњу а други доњу [2]. Двослојни намотаји дозвољавају да бочне везе буду једноставније и трошкови израде мањи. Основни захтеви за изолационе материјале који се користе у технологији израде намотаја су: да могу издржати веома велике температурне промене а да при томе остану механичке особине непромењене, да су отпорни према атмосферским и хемијским утицајима како би се електричне машине могле експлоатисати под најразличитијим условима рада, да имају добру термичку издржљивост у смислу задовољења нормалних услова рада електричних машина. Наведене основне захтеве изолациони материјали испуњавају на основу својих физичких, термичких, електричних, хемијских и механичких особина.

4. Асинхрони мотор

Асинхрони (индукциони) мотор је приказан на слици 3. Мотор је врста електричне машине за наизменичну струју. Код асинхронних мотора, брзина обртања ротора и брзина обртања обртног магнетног поља нису синхронизоване, па отуда име. Асинхроне машине за разлику од синхроне машине не могу да производе реактивну снагу, па се углавном користе као електромотори и то трофазни, а само за мале снаге и једнофазни.



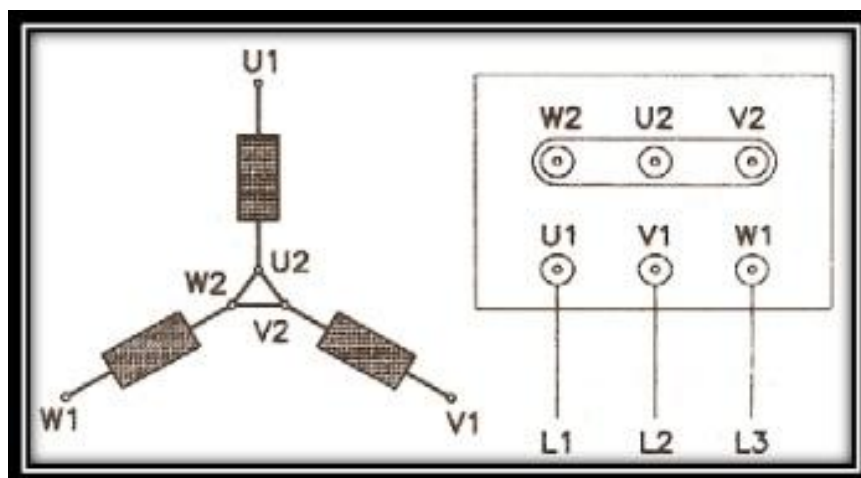
Слика 3. Трофазни асинхрони мотор [10]

Асинхрони мотори, посебно трофазни асинхрони мотор, због своје једноставности и поузданости, данас је најчешће коришћен мотор у индустрији. Конверзија електричне енергије у механичку остварује се захваљујући тзв. трансформаторском дејству; електрична енергија са непокретног дела – статора, преноси се на покретни део – ротор, захваљујући међусобној индукцији.

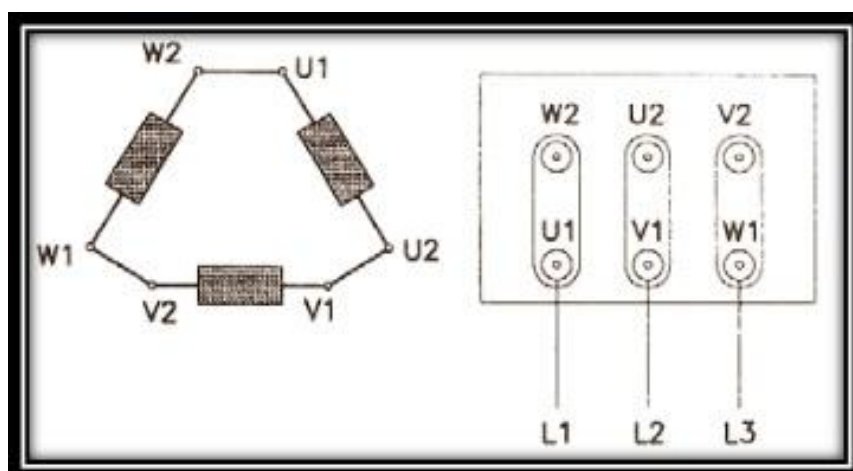
4.1 Конструкција асинхронног мотора

Статор је шупљи ваљак састављен од танких (0.5 mm) међусобно изолованих ”динамо” лимова смештених у кућишту мотора. Кућиште асинхронног мотора израђује се од ливеног гвожђа или силумина и не служи за спровођење магнетног флукса. Оно

носи пакет лимова статора, а са стране се налазе поклопци у којима су смештени лежаји носе осовину са ротором. Жлебови у које се смештају намотаји статора могу бити полузатворени за снаге до 200 KW, а изнад 200 KW се користе отворени [2]. Отворени жлебови се користе и у нисконапонским, а нарочито у високонапонским асинхроним машинама. Подела на облик жлеба у зависности од затворености није стриктно везана за снагу машине, већ се више везује за величину машине и за напон на који се прикључује машина. Осим жлебова у пакету лимова налазе се и канали за хлађење кроз које струји ваздух. На статору у жлебовима налази се намотај статора, симетрично расподељен по обиму и подељен на три фазна намотаја просторно померена за $2\pi/3$, чији су крајеви изведени на прикључну плочу, па се фазе могу везати било у звезду било у троугао.



Слика 4. Спој статорског намотаја (троугао) [3]



Слика 5. Спој статорског намотаја (звезда) [3]

Ротор чини ваљак од пакета лимова навучен на осовину тако да се може обртати унутар статора, при чему је радијално растојање између статора и ротора стално и назива се ваздушни зазор. Овај међупростор (ваздушни зазор) код асинхроних мотора је врло важан и од њега зависи фактор снаге мотора ($\cos\phi$).

Што је тај међупростор већи $\cos \varphi$ је мањи и обрнуто. Намотаји се смештају у аксијалне жлебове начињене на спољашњој страни ротора [2].

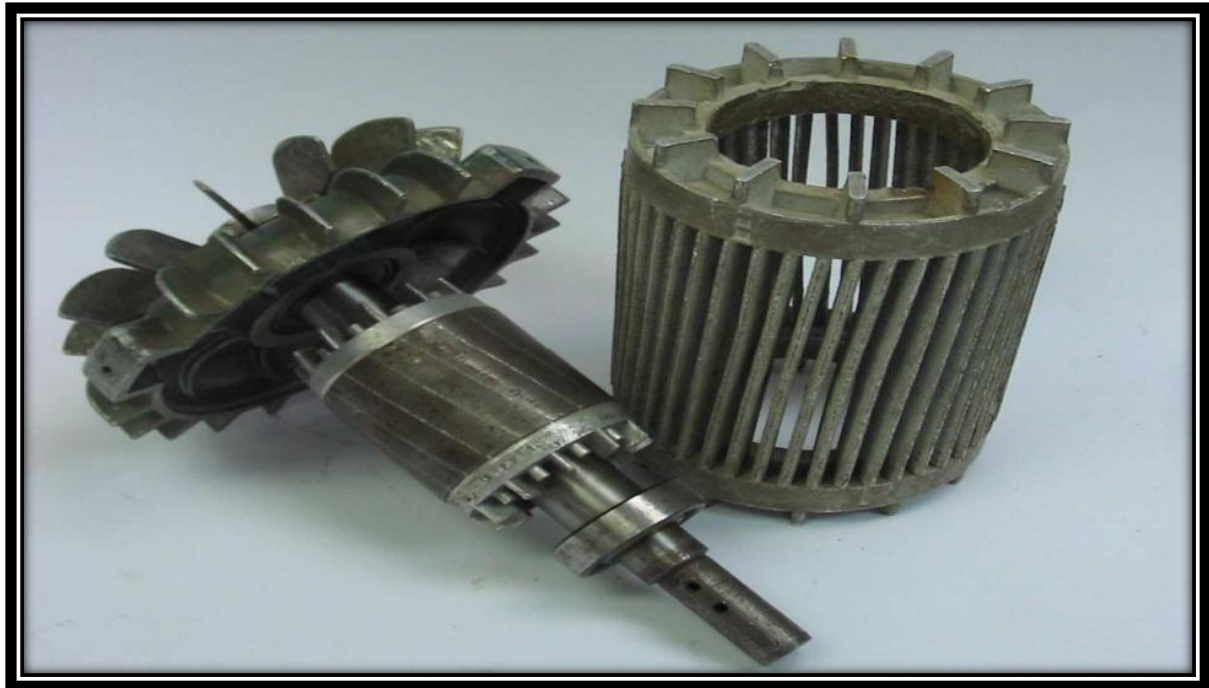
4.2 Врсте асинхроних мотора

Према дизајну роторског намотаја асинхрони мотори могу бити клизноколутни (са намотаним ротором) или кавезни (мотор са краткоспојеним ротором) који је приказан на слици 6. Код машина са **клизним прстеновима** ротор има трофазни (мотани) намотај чији се почеци изводе на три метална клизна колута (прстена) изолована међусобно и од вратила, док се крајеви, код машина мањих снага везују у звезду а код машина већих снага да би се смањио напон у стању мировања у троугао. Намотај ротора мора бити изведен са истим бројем пари полова као што је изведен и намотај статора. По три клизна колута (за сваку фазу по један) клизе дирке (четкице) које су фиксирани за статор и чији се изводи налазе на прикључној плочици машине. На овај начин је могућ електрични приступ роторском намотају, односно довођење и одвођење електричне енергије. У сврху бољег покретања или регулације брзине обртања, роторском колу се додаје одговарајући трофазни роторски отпорник. Улога и димензионисање роторских отпорника може бити двојака, они могу да служе за покретање, односно регулацију брзине обртања. Ако служе само за покретање, да би се смањило трошење четкица као и губици услед трења четкица о прстенове, већина мотора је снабдевена посебним уређајем који по залету мотора подиже четкице и прстенове доводи у кратак спој. Мотор тада ради као асинхрони са кавезним ротором. Асинхрони мотори са намотаним ротором, у односу на оне са кавезним ротором, имају компликованију конструкцију, скупљи су, имају мању поузданост у раду, подложнији су кваровима а за покретање им је понекад потребан додатни уређај. Основна предност им је везана за боље карактеристике пуштања у рад, што је веома важно у погонима са тешким условима покретања, када се захтева велики полазни моменат.

Код кавезних (краткоспојених) мотора који је приказан на слици 7, намотај ротора чине масивни проводници од бакра или месинга бочно кратко спојени прстеновима од истог материјала. Мотори мањих и средњих снага често имају кавез од алуминијума израђен тако што се алуминијум у течном стању улива под притиском у пакет обликованих лимова који је тесно навучен на вратило. Кавезни намотај је потпуно кратко спојен, што значи да не постоји електрични приступ роторском намотају, а тиме нема ни потребе за четкицама које су најчешћи узрок отказивања машине, врло је снажан и може издржати висока механичка и термичка напрезања.

Овако формиран намотај у суштини представља n -фазни намотај, где је n број штапних проводника. У току рада, број фаза и број пари полова кавезног ротора прилагођава се броју фаза и броју пари полова статорског намотаја. Кавезни асинхрони мотор је најједноставнији, специфично најлакши и најјефтинији, најпоузданији и најчешће

коришћени електромотор. Основни проблем везан за примену ове врсте индукционих мотора су лоше полазне карактеристике (карактеристике при пуштању у рад) [2].



Слика 6. Кавезни ротор [5]



Слика 7. Ротор са клизним прстеновима [5]

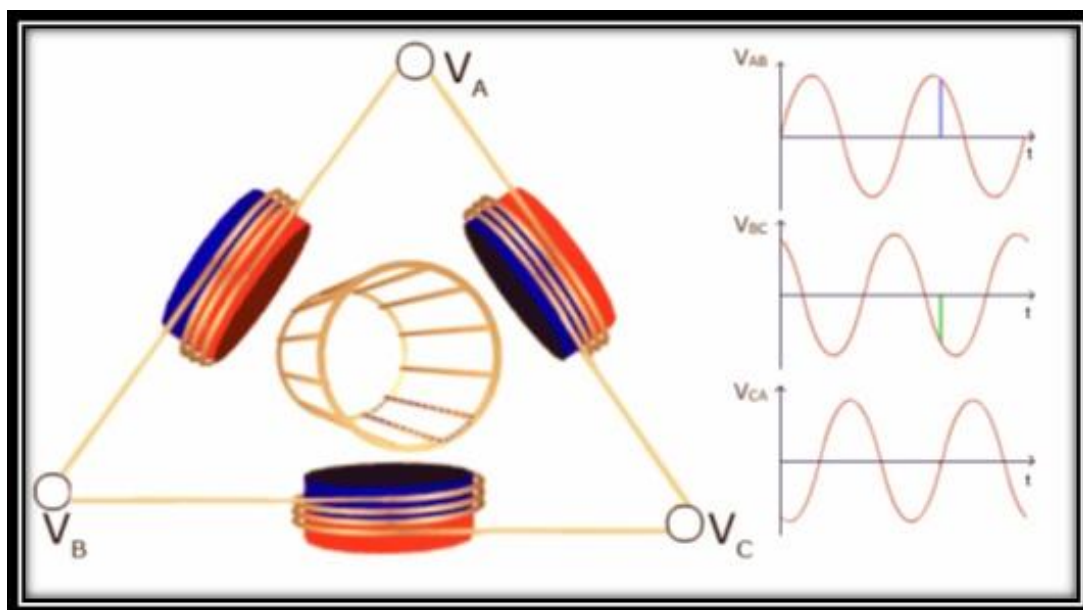
4.3 Основни принцип рада асинхроног мотора

Ако се посматра асинхрона машина са трофазним намотајем на статору са еквивалентним трофазним краткоспојеним намотајем на ротору, нека је намотај статора прикључен на систем наизменичних трофазних напона, тада се у намотају статора јавља контра електромоторна сила E_1 која држи равнотежу прикљученом напону статора U_1 и чији се модул разликује од напона за пад напона на омској отпорности и реактанси расипања. Кроз намотаје статора протицаће трофазна наизменична струја која ствара обртно магнетно поље које у зазору ротира синхронном брзином:

$$n_s = \frac{60f}{p}$$

где је f фреквенција мреже, а p број пари полова. Пошто је индустријска учестаност у Европи $f = 50$ Hz, онда се према избору броја пари полова могу код асинхроног мотора добити синхроне брзине, којима се обрћу обртно магнетна поља. Обртно поље, обрћући се дуж међугвожђа пресеца проводнике статора и ротора и у њима индукује одговарајуће електромоторне силе (E_1 и E_2). Пошто је електрично коло ротора затворено, услед ове EMS се у проводницима намотаја ротора ствара струја I_2 , чија је активна компонента истог смера као и EMS. Пошто се проводник са струјом налази у магнетном пољу индукције B на њега ће деловати електромагнетна сила I_2 :

$$F = I_2(l \times B)$$



Слика 8. Упрошћени облик кавезног асинхроног мотора [5]

Ова сила обрће ротор у смеру обртног магнетног поља. То се дешава са свим проводницима по обиму ротора, а збир свих производа силе и полупречника представља обртни моменат електромагнетних сила мотора. Обртни моменат је пропорционалан производу струје ротора, флукса и угла између њих φ^2 :

$$M = k I_2 \Phi \cos \varphi^2$$

Према томе, када се статор асинхроне машине прикључи на мрежу, обртни моменат мотора обрће ротор у смеру обртања обртног поља. Пренос енергије са статора на ротор врши се искључиво електромагнетном индукцијом, па асинхроне машине често називамо индукционим моторима. Међутим, ротор се не може обртати синхронно односно истом брзином као и обртно поље. Када би ротор и постигао синхрону брзину, онда не би било релативне брзине између обртног поља и ротора, па не би било ни пресецања проводника, ни индуковане EMS. Дакле, ротор никада не може да стигне обртно поље статора. Када мотор ради на празно, односно када није оптерећен, ротор треба да савлада само сопствени кочни момент односно да савлада отпор терња и вентилације. Овај моменат је веома мали те је брзина ротора врло блиска синхроној. Када мотор оптеретимо неком радном машином, онда ће ротор заостајати више, и постојаће већа EMS и струја у ротору. Ова струја тежи да смањи флукс статора, а да би се поново успоставила магнетна равнотежа, мора се повећати и струја статора. На тај начин посредством обртног поља врши се претварање електричне енергије коју мотор узима из мреже у механички рад који мотор даје на вратилу. При оптерећењу ротор се обрће брзином n која је мало мања од синхроне ns [2]. Разлика између ових брзина назива се апсолутно клизање, а однос између разлике ових брзина и синхроне брзине, релативно клизање:

$$s = \frac{ns - n}{ns} * 100\%$$

Ове вредност при номиналном оптерећењу се креће код мотора мањих снага од 3% до 8%, а код мотора већих снага од 1% до 3%. Пошто се обртно поље обрће синхронном брзином, а ротор у истом смеру брзином n , онда се деловање обртног поља на проводнике ротора може представити тако да је ротор непокретан, а да се обртно поље статора у односу на њега обрће разликом ових брзина, тј. релативна брзина поља статора у односу на ротор је: $nr = ns - n$ [2]. Од ове брзине (nr) пресецања проводника ротора зависиће и учестаност магнетизације ротора и учестаност EMS и струје у ротору. Она се може изразити помоћу обрасца :

$$f_2 = \frac{p * nr}{60} = \frac{p}{60} * ns - n \rightarrow f_2 = s * f_1$$

Према томе учестаност електричних и магнетних величина ротора се добија када се примарна учестаност f_1 помножи са клизањем s , па се роторска учестаност назива и учестаност клизања. Ред величина учестаности ротора је врло мали, свега неколико

херца, тако да су губици снаге у гвожђу ротора који зависе од квадрата учестаности су тако мали да се могу занемарити у односу на губитке у статору. Када мотор ради од празног хода до пуног оптерећења клизање му се мења (повећава), а тиме и учестаност ротора. Само у тренутку пуштања у рад или кад ротор услед преоптерећења стане (кратак спој), учестаност у ротору једнака је примарној, јер обртно поље у том тренутку истом брзином пресеца проводнике и статора и ротора [5].

4.4 Једнофазни асинхрони мотор

Поред трофазног асинхроног мотора важну врсту представљају и једнофазни асинхрони мотори. Међутим, за разлику од трофазних, који се граде за велике снаге до неколико стотина киловата, једнофазни се граде за мале снаге, од неколико десетина вата до неколико киловата. Они се по својој конструкцији не разликују од трофазних асинхроних мотора. И код њих је статор изведен из пакета високолегираних лимова са усеченим жлебовима у које се смештају намотаји. Ротор је кавезни, тј. са кратко спојеним намотајем. Ако се намота такав мотор једнофазно и прикључи на једнофазну мрежу, он се неће покренути. Покренемо ли мотор руком десно или лево, да добије залет он ће почети беспрекорно да се окреће. Узрок тога објашњава Лебланова теорема: једнофазна струја, која тече у једнофазном намотају статора, ствара пулсирајуће магнетно поље које се може заменити са два упола слабија обртна поља [2]. Они се у супротним смеровима окрећу једнаким, синхроним брзинама. Када ротор мирује оба магнетна поља делују једнаким електромагнетним силама на струје у проводницима ротора, али у супротним смеровима. Пошто су им моменти исте величине али супротни, резултантни моменат је раван нули – ротор се не може покренути. Како је полазни момент једнофазног електромотора једнак нули, покретање се врши или довођењем момента или помоћном фазом. У конструкцији са помоћном фазом, намотај статора се изводи из два дела – главне фазе смештене у две трећине укупног броја жлебова и помоћне фазе смештене у преосталу једну трећину жлебова, која је у односу на главну фазу просторно померена за неки угао. Поред просторног помераја, потребно је да се постигне и фазни померај близак 90° између струје која пролази кроз главни намотај и струје у помоћном намотају, јер је само тако могуће створити у мотору неко обртно поље које ће дати полазни моменат, а тиме омогућити да се једнофазни електромотор покрене. То се може постићи на више начина:

- Помоћу кондензатора. На ред са помоћним намотајем прикључи се одговарајући кондензатор. Зависно од тога да ли се по залету помоћна фаза искључује или не, постоје погонски и залетни кондензатори.
- Помоћу индуктивних отпора. У серију са помоћном фазом прикључи се погодан индуктивни отпор, односно намотај помоћне фазе изводи се од неког другог материјала (не бакра), нпр. месинга, гвозденим проводницима или неким другим, што је данас најчешћи случај.
- Прикључивање у серију са помоћном фазом погодног омског отпора.

Према томе за време пуштања у рад мотор ради као двофазни, а кад ротор постигне одређену брзину (око 80% номиналне брзине) помоћна фаза се искључи затим мотор надаље ради као једнофазни. Међутим, у помоћној фази се може оставити и стално укључен кондензатор. Тада се уствари прелази на двофазни мотор.

Њихов капацитет није исти као капацитет залетног кондензатора, јер је залетни кондензатор прорачунат за максимални моменат при пуштању у рад, а погонски за симетричан рад при неком, на пример, номиналном оптерећењу. У овом случају полазни моменат је мањи од номиналног али се радне карактеристике знатно побољшавају, односно већи је превални моменат, бољи степен искоришћења и већа снага мотора при истим димензијама магнетног кола него када ради као монофазни. За постизање и великог полазног момента у помоћну фазу се поред сталног кондензатора, ставља још један кондензатор који служи само за пуштање мотора у рад. По постизању одређене брзине полазни кондензатор се искључује и укључује погонски. Мотори који раде помоћу две фазе од којих је у једној стално укључен кондензатор и који се прикључују на једнофазну мрежу познати су под именом кондензаторски мотори.

4.5 Принцип рада трофазног асинхроног мотора

Намотај статора прикључује се на напон мреже услед чега кроз њега потече струја. Трофазне струје у трофазним намотајима стварају обртно магнетно поље. Обртни магнетни флуks овог поља пресеца проводнике из статора и ротора. У статору се због тога индукује противнапон, који одржава равнотежу мреже у напону или контраелектромоторну силу, која представља главно ограничење прекомерној струји статора. Из истих разлога у намотају ротора се индукује EMS која проузрокује струју ротора. Пошто се проводници ротора, кроз које тече струја, налазе у магнетном пољу, на њих ће деловати електромагнетна сила, која тежи да обрне ротор у смеру обртања магнетног поља. Ако би се ротор окретао синхроним брзином односно брзином магнетног поља, не би постојало пресецање проводника и магнетних линија сила, па не би било ни промене флуksа, ни индуковања EMS ни струје ротора, ни електромагнетне силе на проводнике ротора, па ни обртања ротора. Зато ротор мора да се окреће мањом брзином од синхроне, која се назива асинхрона брзина. Разлика између синхроне и асинхроне брзине назива се клизање и обично се изражава у процентима у односу на синхрону брзину. У номиналном режиму рада клизање најчешће износи 4%-9%. Клизање је највеће при пуштању мотора у рад, јер је тада асинхрона брзина једнака нули (ротор стоји).

4.6. Покретање асинхроног мотора

У практичној примени пуштање у рад асинхроног мотора представља веома важан процес. Брзина и постепени прелазак механизма којег покреће мотор из стања мировања у стање једноликог обртања са номиналном брзином, утичу битно на опште

радне особине обртног механизма, уколико је потребно, да се он често периодично покреће. Асинхроне машине са намотаним ротором имају добре карактеристике с обзиром на покретање, јер је помоћу додатног отпора (отпорник за пуштање у рад) прикљученог у роторско коло омогућено је развијање великих полазних момената при малој полазној струји. При повећању укупног отпора роторског кола се, уз непромењени превални моменат, повећава превално клизање и полазни моменат, а смањује полазна струја [2].

Са повећањем брзине отпорници се постепено искључују, да би се након залета потпуно искључили а прстенови кратко спојили. Међутим, ови мотори су скупљи од краткоспојених а примена отпорника за пуштање у рад чини их сложенијим. Код асинхроних мотора са краткоспојеним ротором нема непосредне могућности утицаја на роторско струјно коло, па се код покретања користе следеће методе:

- Директно укључивање у мрежу, које је повезано са мањим или већим струјним ударима. У зависности од квалитета и снаге мреже, електродистрибуције прописују највеће снаге кавезних асинхроних мотора које се могу на овај начин пуштати у рад.
- Примена додатних уређаја који се прикључују у струјно коло статора. Основна идеја овде је је ограничавање полазне струје путем снижавања примарног напона. Међутим, како је полазни моменат сразмеран са квадратом прикљученог примарног напона, овај начин покретања долази у обзир само онда када се не захтева велики полазни моменат у самом почетку радног циклуса. Уређаји који се користе су пригушнице, аутотрансформатори и пребацивачи звезда троугао (код мотора чији је статор спрегнут у троугао – при спрези у звезду полазна струја и полазни моменат смањује се три пута) или се, напајање врши преко блок трансформатора или регулисањем напона применом уређаја енергетске електронике.
- Примена специјалне конструкције ротора и његових намотаја, која се састоји у конструкцији ротора са дубоким или двоструким жлебовима. Оваквом конструкцијом се побољшавају полазне карактеристике, јер се постиже повећање омског отпора и смањење фазног помераја између ЕМС и струје приликом покретања. Међутим, оваква конструкција има за последицу извесно погоршање радних карактеристика у односу на стандардне моторе са кавезним ротором. При тежим условима покретања нормални краткоспојени асинхрон мотор не може да не развије довољан полазни моменат чак и при директном пуштању са наизменичним напоном. Тада је потребно применити асинхроне машине са намотаним ротором или краткоспојени ротор у специјалном извођењу као двокавезни или са дубоким жлебовима.

5. Фреквентни регулатор

Фреквентни претварачи су електронски уређаји који омогућавају управљање брзином трофазних мотора претварајући мрежни напон и фреквенцију, то су фиксирани вредности, у променљиве величине. Док су принципи остајали исти, много тога се променило од појаве првог фреквентног претварача, који је садржао у себи тиристоре, до појаве данашњег микропроцесорски управљаног претварача. Због све већег примене аутоматике у индустрији, постоји константна потреба за аутоматским управљањем, а непрекидно повећање брзине производње и боље методе за побољшање степена корисности погона су развијане све време. Електромотори су данас важан стандардан индустријски производ. Ови мотори су пројектовани да раде са константном брзином и током прошлих година радило се на оптимизацији контроле њихове брзине. Све док се нису појавили фреквентни претварачи није било могуће у потпуности управљати брзином трофазног АС мотора. Већина фреквентних претварача који се данас користе у индустрији за регулацију или управљање брзином трофазних мотора су прављени на основу два принципа:

- фреквентни претварачи без међукола (познати као директни претварачи) и
- фреквентни претварачи са променљивим или константним међуколом.



Слика 9. Врсте претварача [6]

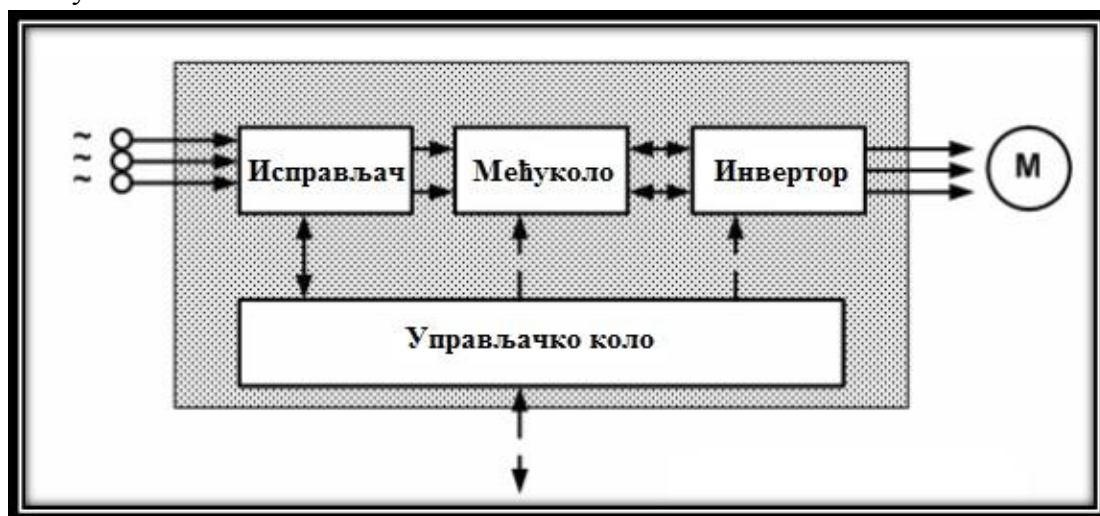
Фреквентни претварачи са међуколом имају или струјно међуколо, или напонско међуколо и они се називају струјни инвертори и напонски инвертори. Инвертори са међуколом имају одређене предности у односу на директне инверторе, као што су:

- боље управљање струјом

- редуkcију виших хармоника
- неограничену излазну фреквенцију (али ограничење постоји у управљању и коришћењу самих електронских компоненти). Фреквентни претварачи за високе излазне фреквенције су у највећем броју случајева изведене са међуколом.

Фреквентни претварачи без међукола су нешто јефтинији од инвертора са међуколом, али имају ту ману да поседују лошију редуkcију виших хармоника. Како већина фреквентних претварача користи једносмерно (DC) напонско међуколо, овде ћемо се фокусирати само на ту врсту претварача. Користећи фреквентни претварач добија се низ предности:

- Штедња енергије. Енергија се може уштедети ако брзина обртања мотора одговара захтевима при било ком моменту оптерећења. Ово се односи пре свега на погон пумпи и вентилатора где је утрошена енергија сразмерна квадрату брзине. Тако погон који ради са половином брзине узима само 12.5% од номиналне снаге.
- Оптимизација процеса. Подешавање брзине у процесу производње пружа бројне предности. То укључује повећање производње, док смањује трошкове одржавања и утрошак материјала и хабање.
- “Мекан” рад машине. Коришћењем софтверског старта софтверског стоп рампи, напрезања и удара машине се могу избећи.
- Мањи трошкови одржавања. Фреквентни претварачи не захтевају одржавање. Када се користе за управљање моторима, радни век погона се повећава. На пример, у системима за наводњавање, где појава водених чекића који директно зависе од мотора пумпе нестаје тако да су избегнути кварови на вентилима.
- Побољшано радно окружење. Брзина покретних трака може да се подеси на тачно захтевану радну брзину. На пример, флаше на покретној траци у линији за пуњење флаша праве много мање буке ако се брзина траке може смањити у току пуњења.



Слика 10. Структура фреквентног регулатора [6]

Фреквентни регулатор се састоји од четири главне компоненте, што је приказано на слици 10:

- Исправљач, који је спојен главним моно/тро-фазним АС напајањем и генерише пулсирајући ДС напон. Постоје два основна типа исправљача - контролисани и неконтролисани.
- Међуколо. Постоје три типа: а) конвертују исправљачки напон у директну струју б) стабилишу (пеглају) пулсирајући ДС напон и стављају га на располагање инвертору ц) конвертују константан ДС напон исправљача у променљив АС напон.
- Инвертор, који генерише фреквенцију напона на мотору. Алтернативно, неки инвертори могу такође конвертовати константан ДС напон у променљив АС напон.
- Управљачко коло, које шаље и прима сигнале из исправљача, међукола и инвертора.

Исправљач-Напон напајања је трофазни АС напон или монофазни АС напон фиксне фреквенције ($3 \times 400V / 50Hz$ или $1 \times 240/50Hz$) ($400V$ је напон између две фазе, а не између фазе и нуле). Исправљачи фреквентних регулатора састоје се од диода и тиристора. Исправљач сачињен од диода је неконтролисан, а исправљач сачињен од тиристора је контролисан.

- **Неконтролисане** - Диоде дозвољавају ток струје само у једном смеру, од аноде (А) ка катоди (К). Не постоји могућност, као у случају неких других полупроводника, контролисања јачине струје. АС напон путем диода конвертује се у пулсирајући ДС напон. Ако трофазни АС напон напаја неконтролисани трофазни исправљач, ДС напон ће непрестано пулсирати.
- **Контролисане** - У контролисаним исправљачима, диоде су замењене тиристорима. Као диода, тиристор дозвољава ток само од аноде (А) ка катоди (К). Међутим, разлика између те две компоненте је та што тиристор има трећи извод гејт (Г). Гејт мора бити контролисан пре него што тиристор проведе. Када струја протече кроз тиристор, он ће проводити све док струја не постане нулта. Струја не може бити прекинута сигналом на гејту. Тиристори се често користе у исправљачима као и у инверторима. Сигнал на гејту је контролисани сигнал α који представља угао паљења. Угао паљења представља време кашњења између побуде на улазу и почетка провођења тиристора. За разлику од неконтролисаног исправљача, контролисани исправљач проузрокује главне губитке и поремећаје у напајању, зато што исправљач повлачи више реактивне снаге ако тиристори проводе кратко време. Међутим, предност контролисаних исправљача је што се енергија може вратити у мрежно напајање.

Међуколо - Међуколо се може видети као нека врста складишта из ког мотор вуче енергију кроз инвертор. Међуколо може бити изграђено на три начина у зависности од исправљача и инвертора: струјни, напонски и променљиво ДС међуколо.

Инвертор - Инвертор је последњи степен фреквентног регулатора, пре мотора и тачке где се одвија финална адаптација излазног напона. Фреквентни регулатор гарантује добре оперативне услове, кроз читав контролни опсег, адаптирајући излазни напон према условима оптерећења. То је могуће извести са магнетисањем мотора на оптималној вредности. Из међукола инвертор прима:

- променљиву директну струју
- променљив DC напон
- константан DC напон

У сваком случају, регулатор осигурава да напајање буде квантитативно променљиво. Другим речима, фреквенција напајања мотора се увек генерише у инвертору. Ако су струја и напон променљиви, инвертор генерише само фреквенцију. Уколико је напон константан, инвертор генерише фреквенцију као и напон.

Управљачко коло - Управљачко коло или управљачка картица, је четврта важна компонента фреквентног регулатора и има четири битна задатка:

- управљање полупроводницима фреквентног регулатора
- размена података између фреквентног регулатора и периферних уређаја
- сакупљање и извештавање о порукама
- грешке остваривање заштитне функције за фреквентни регулатор и мотор

Микропроцесори повећавају брзину управљачког кола, значајно повећавајући број одговарајућих апликација за покретање, а уједно смањује број неопходних прорачуна. У фреквентном регулатору интегрисани су микропроцесори, који омогућавају да се детерминише оптимална поворка импулса за свако радно стање [6].



Слика 11. Изглед фреквентног регулатора [6]

6. Погонски системи алатних машина

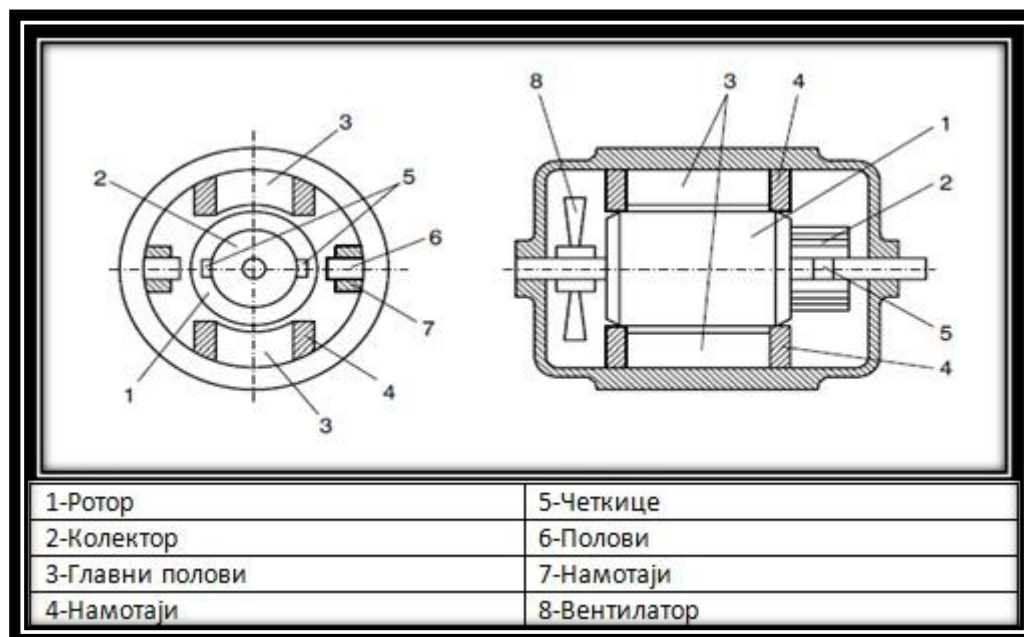
Погонски системи алатних машина имају задатак да реализују наредбе добивене од непосредног радника, или управљачке јединице. Погонски системи покрећу извршне органе машине одговарајућим брзинама, на одговарајућим тракама, према програму, воде их и доводе у задате позиције. Погонски системи су због тога кључне компоненте алатних машина и од њих зависи читав низ излазних параметара процеса обраде. Генерално, погонски системи алатних машина деле се на погонске системе главног кретања, помоћног кретања и помоћних функција као што је приказано на слици 12. С аспекта погонских система, главна разлика између уобичајних и нумеричких алатних машина је чињеница да ове друге имају засебне погонске системе за главно и за помоћно кретање. Ова разлика је логична и произилази из карактера нумеричког управљања.



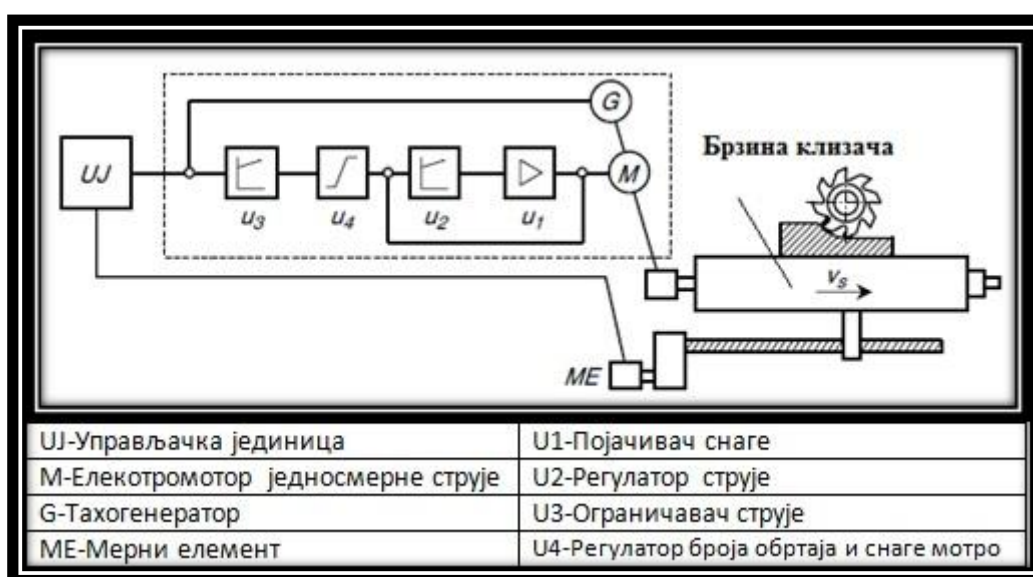
Слика 12. Подела погонских система алатних машина [9]

6.1 Електромоторни погонски системи

Електромотори једносмерне струје (DC мотори, Direct Current) су погодни за алатне машине малих и средњих снага. Омогућавају одличну регулацију брзине, имају велики обртни момент и висок степен искоришћења. На слици 13 приказани су основни елементи електромотора једносмерне струје, а на слици 13 функционална шема управљања помоћним кретањем радног стола алатне машине (на пример, глодалице), где је као погон употребљен електромотор једносмерне струје.

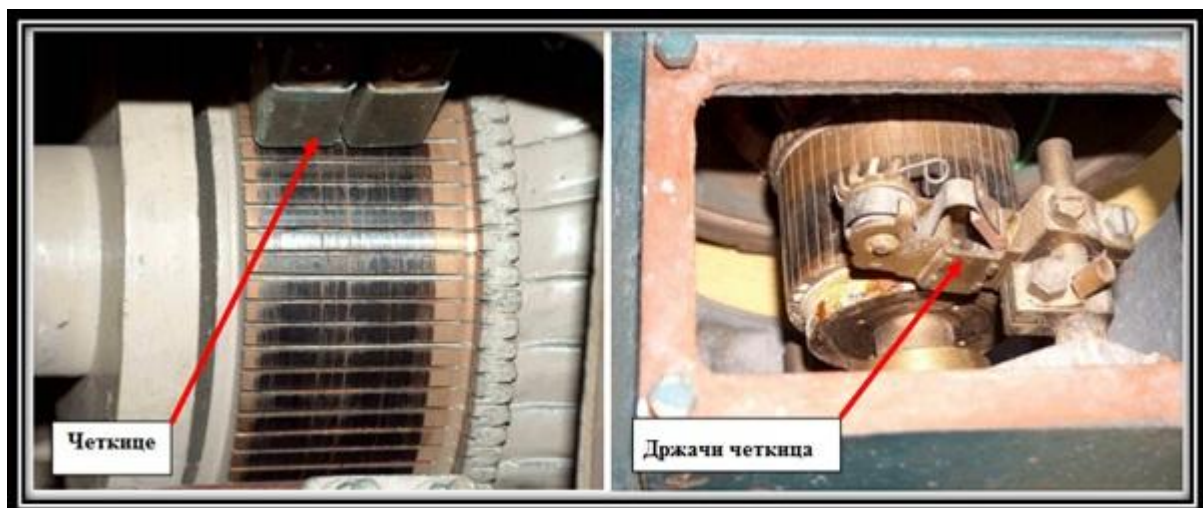


Слика 13. Основни елементи електромотора једносмерне струје [3]



Слика 14. Шема управљања помоћног кретања радног стола [3]

Карактеристика електромотора једносмерне струје је да прецизно управљају брзином у широком интервалу. Ово се остварује мењањем напона напајања мотора. Ови мотори се користе за погон главног и помоћног кретања нумеричких машина, нарочито у случајевима када се захтева континуално управљање брзином кретања. Принцип рада електромотора једносмерне струје заснован је на чињеници да се на проводник који се налази у магнетном пољу и кроз који пролази струја, деловати сила. Овде долази до обртања ротора у магнетном пољу које је формирано од стране статора. Намотај ротора је повезан са комутатором (колектором) што је и приказано на слици 15, који представља цилиндар од изолованих бакарних прстенова постављених на рукавцу ротора. Непокретне графитне четкице (контакти) додирују површину комутатора и омогућавају трансфер једносмерне струје до обртног намотаја ротора. До недавно ови мотори су имали значајно место код НС алатних машина сада су их углавном заменили асинхрони електромотори (АС мотори). Снага мотора (P) је производ обртног момента (M) и броја обртаја (n) и линеарно расте са повећањем напона ротора. Након постизања номиналног напона ротора број обртаја мотора могуће је повећати променом магнетног тока а да при томе снага остане константна уз смањење момента ротора [3].



Слика 15. Четкице и држачи четкица [5]

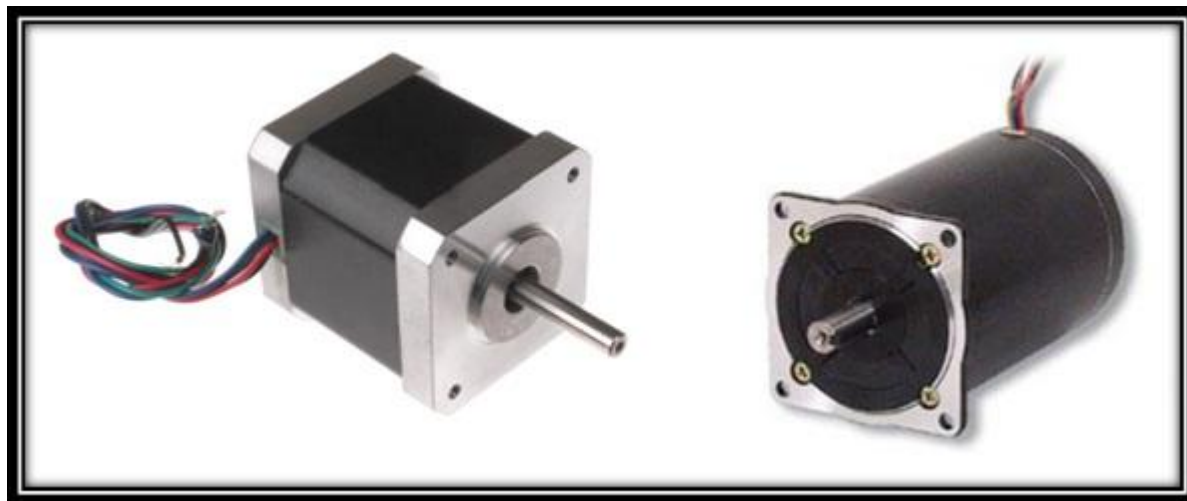
Електромотори наизменичне струје (АС мотори, Alternate Current), за разлику од мотора једносмерне струје, немају клизне прстенове. Овим је елиминисан главни проблем, а то је одржавање. Ови електромотори имају повољан однос снаге и масе, мањи момент инерције покретних делова, већу брзину, константан момент који не зависи од брзине. Контрола брзине код електромотора наизменичне струје врши се преко фреквенције напона којом се мотор напаја. За промену фреквенције напона користе се електрични претварачи. Овај вид регулације се назива фреквентна регулација.

6.2 Степ мотори

Са развојком рачунара и дигиталне технологије јавила се и жеља за развојем мотора којима се управља непосредно помоћу дигиталног рачунара. То значи да се дигитални излазни сигнали рачунара могу користити за управљање мотора без сложених D/A и A/D конвертора, већ само помоћу прекидачких кола (дигитални излази рачунара се користе за активирање елемената који укључују и искључују напајање појединих намотаја мотора). Као резултат, јавља се корачни (степ) мотор (енг. StepperMotor) који је приказан на слици 16. Унеким случајевима се јављају и у транслаторном решењу, али је ротациона далеко заступљеније у пракси.

Дакле, корачни мотори су електромеханички конвертори енергије који пулсну односно корачну електричну побуду претварају у корачни механички померај. Обртни момент и снага корачних мотора су ограничени, тако да се користе за мање и средње алатне машине. Распон фреквенција улазних сигнала је 200 до 8000 имп./с, при чему су јединична заокретања вратила мотора од 5 до 10 $\mu\text{м/имп.}$, па и мање.

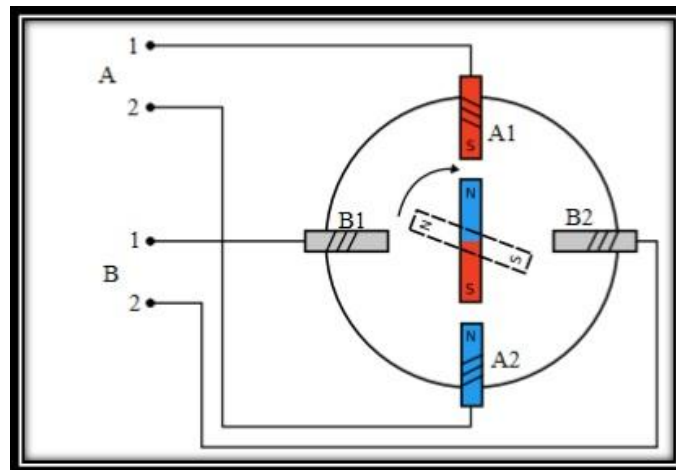
Принцип рада степ мотора се заснива на чињеници да се различити магнетни полови привлаче, односно на чињеници да феромагнетни материјал тежи да буде што ближи магнетном полу. На слици 17 види се ротор у облику плочице који је намагнетисан и на коме су означени магнетни полови и четири статорска намотаја који су повезани у парове по 2 (A1-A2 и B1-B2).



Слика 16. Изглед степ мотора [8]

Ако се претпостави да се у почетном тренутку ротор налазио на позицији означеној испрекиданом линијом, односно да је његов северни пол био окренут намотају B1 док је јужни био окренут ка намотају B2. Оног тренутка када струја крене да тече кроз проводник A у смеру од 1 ка 2, због различитог смера намотаја A1 и A2, ставарају се различити магнетни полови означени као на слици 17. Тада северни магнетни пол ротора тежи да се приближи јужном магнетном полу статора, а јужни магнетни пол ротора тежи да се приближи северном магнетном полу статора. Помоћу овог начина

ротор се закреће у десно за одређен угао који је одређен бројем полова ротора и бројем парова намотаја статора. У случају да је потребно окренути ротор у супротном смеру, потребна је струја која се креће од краја 2 ка крају 1 намотаја А. На овај начин би намотаји А1 и А2 имали супротне магнетне полове него што је приказано на слици и ротор би се из почетног положаја заокренуо на лево за исти угао. Даље кретање се наставља тако што се једно за другим укључују намотаји А и Б.



Слика 17. Шематски приказ рада степ мотора [8]

При малим брзинама мотор се зауставља при сваком кораку. При нешто већим брзинама нема заустављања али угаона брзина није константна већ се мења, док се при великим брзинама добија прилично константна брзина ротације. Ови закључци се могу врло једноставно извести. Уствари при малим угаоним брзинама (мали број обртаја у минути) када се укључе намотаји који заокрећу ротор за један корак он се за врло кратко време помери на следећи положај па због мале укупне брзине ротор је принуђен да у том положају чека следећу побуду [8]. Код мало већих брзина ово време чекања је смањено и нова побуда долази пре него што се ротор заустави у претходном положају, док код знатно већих брзина побуде долазе толико често да ротор не стиже ни да успори. Постоји неколико типова степ мотора која се разликују по изради ротора и они се деле:

Степ мотори са сталним магнетом имају за ротор стални магнет. Овај тип мотора има велики корак (45 или 90 степени) и малу брзину, али је због своје једноставности прилично јефтин. Овај тип мотора може имати значајно већи обртни момент од мотора са променљивим односом магнетомоторне силе и магнетног флукса. Пример овог мотора је мотор који помера главу флопи уређаја.

Мотори са променљивим односом магнетомоторне силе и магнетног флукса ови мотори не користе стални магнет и као резултат могу да се обрћу без "ограничења". Овај тип мотора се примењује на месту где није потребан висок обртни момент. На пример мотор који врти плочу у хард диску је мотор овог типа. Ова врста мотора обично има 3 одвојена навоја који сви имају заједнички извод.

Хибридни степ мотори комбинују најбоље карактеристике друга два типа степ мотора. Ови мотори имају вишезубни статор и стални магнет као ротор. Стандардно имају прецизност од 1.8 степени али постоје и у верзијама са 0.9 и 3.6 степени. Ови мотори имају висок статички и динамички обртни моменат и постижу велику брзину. Примена им је у индустрији.

Предности степ мотора:

- **Ниска цена** - Механичка конструкција ротора и статора је врло једноставна. Због тога ове једноставне конструкције и производна цена мотора може бити ниска. На ротору нема намотаја. Тиме су редуковани губици на ротору, што је јако значајно јер нема ефикасног начина за одвођење топлоте са ротора.
- **Памћење позиције** - Међутим, ако се у неком тренутку појави неки момент који мотор не може да савлада и прође неколико активација намотаја, трајно се губи информација о позицији.
- **Температурне варијације** параметара мотора су мале у поређењу са моторима са перманентним магнетима.
- За рад мотора нису потребне четкице.
- Висока ефикасност мотора, чак већа од ефикасности асинхроног мотора, **мале димензије, велике управљачке могућности.**

Недостаци степ мотора:

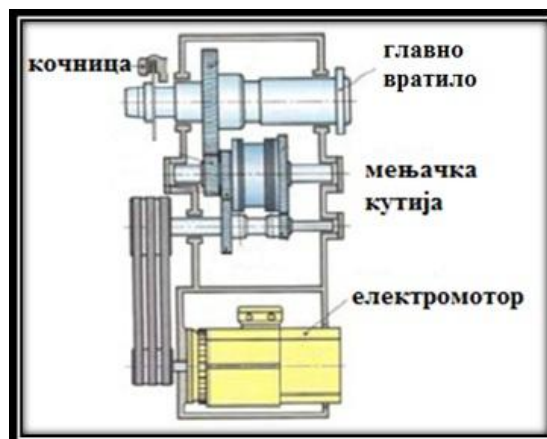
- Фиксни корак, мали учинак, велики прескок и осцилаторност у одзиву од једног корака.
- Ограничене могућности за покретање терета с великим моментом инерције.
- Момент трења и активни терет могу да повећају грешку положаја (могућ је губитак корака – последица је акумулирана грешка положаја).
- Осцилаторан рад и тешко је остварити управљање при великим брзинама.
- Не могу функционисати без енергетског претварача.
- Услед истурених полова на ротору и статору, ниво буке може бити значајан.
- Додатни велики проблем ових мотора су његове карактеристике при великим брзинама.
- Момент ових мотора при порасту брзине опада много брже него код класичних мотора једносмерне струје.

6.3 Погон главног вратила

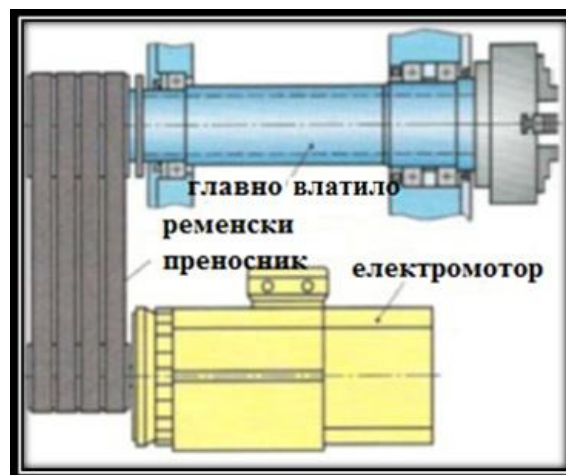
Код класичних алатних машина са спољним погоном обртни момент од погонског електромотора до главног вратила иде преко система каишног и зупчастог преноса. За регулација броја обртаја главног вратила користе се различити парови зупчаника чијим међусобним комбинацијама на излазу главног вратила се добија степенаста промена (12, 16) броја обртаја (450, 560, 710, 900, 1120, 1400). Овај начин регулације броја обртаја главног вратила не користи се више јер има доста недостатака, као што су масивна и некомпактна конструкција, степенаста промена броја обртаја, немогућност прецизне регулације кретања, велика бука, губици у преносу [9].

Наведени недостаци класичног система (који је приказан на слици 18) са спољним погоном и немогућност његове примене у савременим процесима обраде довели су до развоја директног погона главног вретена и приказан је на слици 19, који је у општој употреби данас. Компактну форму (нема спољних механичких јединица), директан погон има низ предности у однос на класичан систем. Предности су:

- Континуирана промена броја обртаја.
- Компактнија израда машине (уштеда на простору).
- Краће време залета и кочења.
- Повећана продуктивност обраде, квалитета и тачности.
- Мање буке и вибрације.
- Већи степен искоришћења.



Слика 18. Класичан систем погона преко зупчаника.[9]

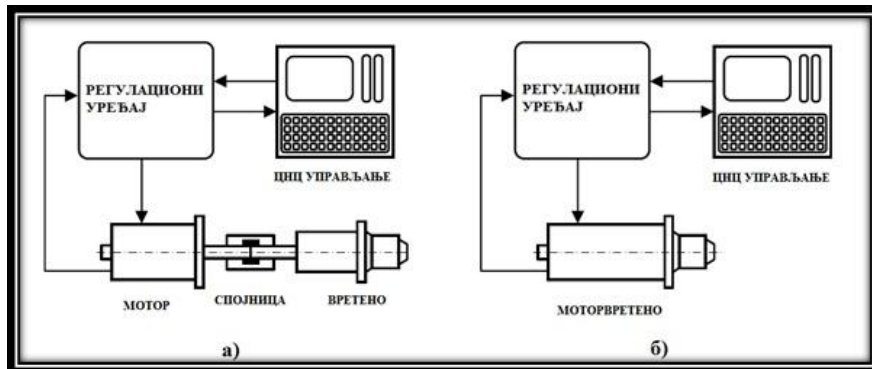


Слика 19. Директан погон главног вретена. [9]

Због потребе још бољих карактеристика алатних машина, у последњих нешто више од десетак година. Примењују се главна вратила са интегрисаним електромотором која ми називамо електровратило. Електровратило представља електромотор чије је вратило (ротор) уједно и главно вретено алатне машине. То су најчешће перманентно побуђени синхрони мотори. Овде је ротор снабдевен перманентним магнетима који су смештени у лименом пакету. У статорском намотају добија се константна снага у високом распону бројева обртаја. С обзиром да се у ротору налазе перманентни магнети, дакле нема протицања струје, то се ротор мање загрева што је велика предност ових електромотора. Осим класичног погонског система којег чине електромотор и

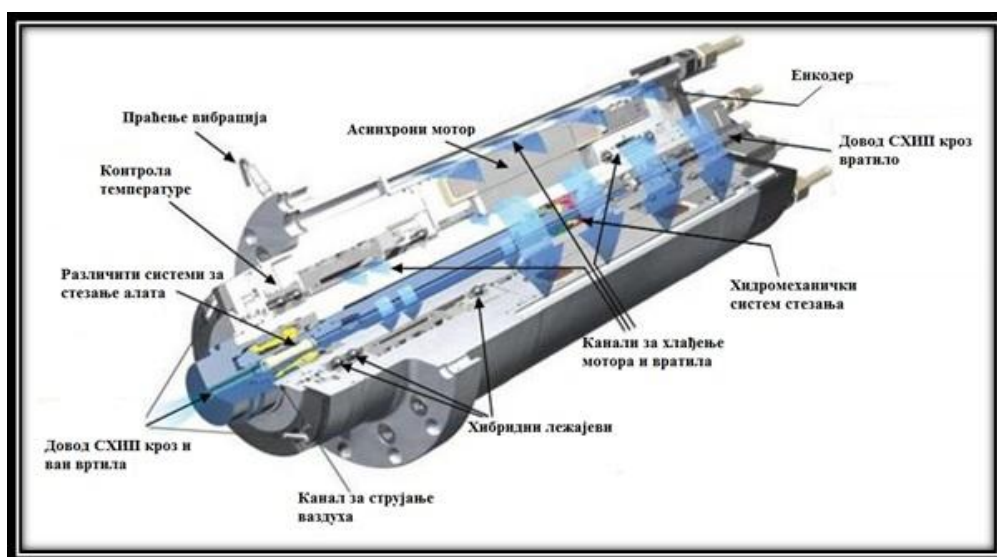
преносник, у изградњи алатних машина са нумеричким управљањем, а са карактеристикама високодинамичких машина, користе се решења директног погона главног вретена. Ту постоје два случаја:

- Директни погон где су електромотор и вратила алатне машине повезани спојницом.
- Директни погон где су електромотор и вратило алатне машине састављени у један систем – електровратило.



Слика 20. Шематски приказ директних погона алатних машина [3]

У случају приказаном на слици 20-а), ради се најчешће о асинхроним електромоторима са регулацијом броја обртаја променом фреквенције и напона напајања. Директни погон остварује се преко зупчасте спојнице што целом систему даје велику крутост, али такође и могућност постизања великих бројева обртаја главног вратила, уз могућност постепене промене броја обртаја. Целокупни систем је компактан, нема буке и генерално, рад система је миран, без вибрација. Наравно, избегнути су сви губици који се јављају у уграђеним међупреносницима. У случају приказаном на слици под 20-б), електромотор и главно вратило машине су израђени заједно. То је електровратило и данас се све више користи. Распони бројева обртаја су од двадесетхиљада до стохиљада обртаја у минути, па чак и више [3].

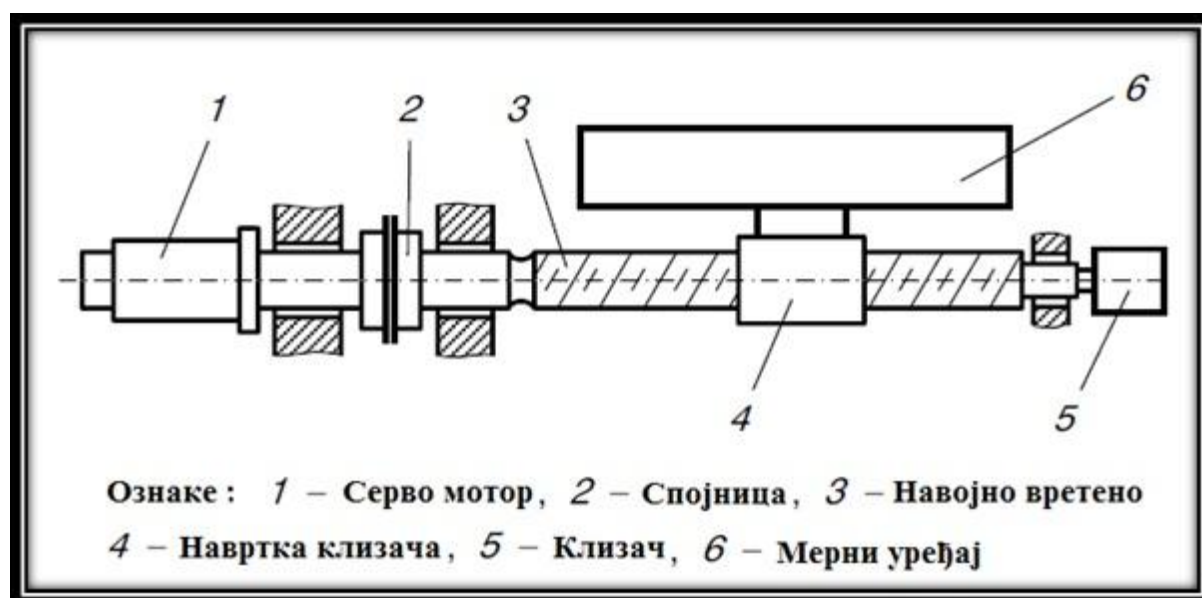


Слика 21. Електровратило у пресеку [9]

Електровратило са основним деловима приказано је на слици 21. Додатни делови неопходни за су захтевнији рад моторвретена, за сваки случај посебно, прилагођени су посебним захтевима као што су: максималан број обртаја, тачност, крутост и снага. електровратила су врло прецизна, па се користе за високобрзинске обраде, високопрецизна обрада алатима дефинисане резне геометрије, чак и веома тврдых материјала; код каљених челика постиже се храпавост обрађене површине од 0,1 до 0,3 μm , код алуминијума и месинга постиже се храпавост као и грешке кружности испод 0,5 μm [9]. Међутим, недостаци моторвретена се огледају у сљедећем: мања крутост целог система и додатна топлота у главном вратилу. Због тога се електровратило обавезно обилно и интензивно хладе ваздухом, водом или уљем.

6.4 Погонски систем помоћног кретања

С обзиром на карактер и улогу главног и помоћног кретања, а то је да главно кретање преко обртног момента савладава главни отпор резања при чему настаје струготина, помоћно кретање које обезбеђује континуитет обраде као временске функције процеса резања, то су и одговарајуће улоге погонских система за главно и помоћно кретање. На нумеричким машинама сваки извршни орган машине располаже сопственим погоном са могућношћу регулације, преко којег се у спрези са осталим системима (на пример, мерни систем) одвија нумеричко управљање. Тако на пример, код машине типа глодалице постоје: главно обртно кретање главног вратила са својим погоном, а затим засебни погони помоћних праволинијских кретања у правцима координатних оса X, Y и Z, и коначно, засебни погони за, на пример, још два ротациона кретања око две координатне осе. Под извршним органима машина подразумевају се уређаји који омогућавају кретања у правцима координатних оса и сва друга кретања на машини, као што су: носачи главних вратила, носачи алата, радни столови, уређаји за измену алата и обрадака, обртање радних столова и остало.

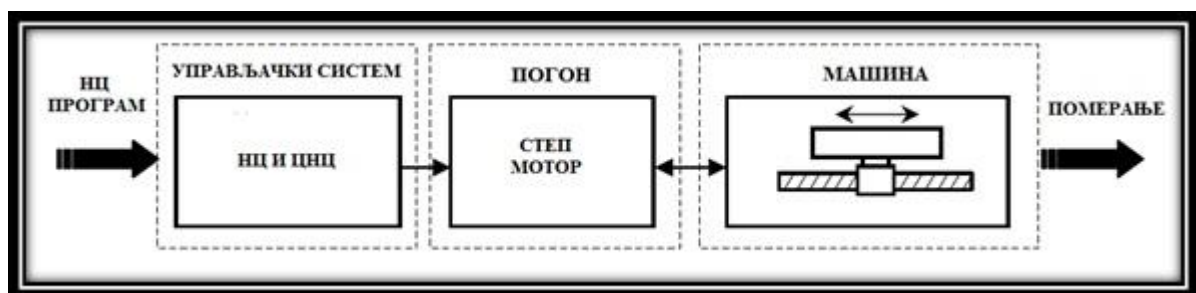


Слика 22. Погонски систем помоћног кретања [3]

Неколико врста погонских система за помоћна кретања код нумеричких алатних машина је највише у употреби. То су :

- Степенасти погони са електромагнетним спојницама.
- Хидраулични системи са хидростатичким моторима.
- Сервомотори једносмерне струје.
- Степ електромотори.
- Електрохидраулични степ мотори.

За нумеричке алатне машине са конвенционалним брзинама резања највише се користе сервомотори једносмерне струје и електрохидраулични корачни мотори. Први се користе за мање и средње снаге, а други за веће снаге. Критеријуми за избор погонског система помоћног кретања су: стални обртни момент, обртни момент при трајном погону и максимално убрзање. Сервомотори једносмерне струје, као и степ електрохидраулични степ мотори погодни су за директну уградњу на извршне органе машина. Обртни момент мотора помоћног кретања треба да савлада моменте који су резултат процеса резања, моменте инерције покретних маса (динамички момент) и моменте отпора трења у систему. За погон помоћних кретања користе се две групе система: системи без повратне спреге (отворени погонски системи) и системи са повратном спрегом (затворени погонски системи).

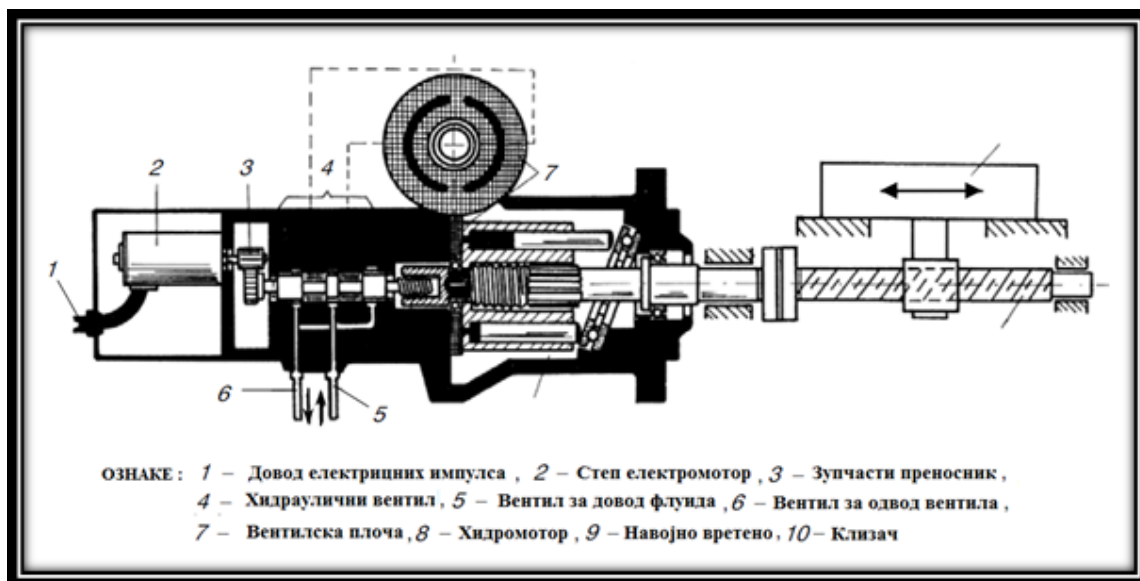


Слика 23. Принципи управљања помоћног кретања [3]

У прву групу спадају системи са, најчешће степ електромоторима. Принципи управљања помоћних кретања помоћу степ електромотора приказан је на слици (16). Преко управљачког система, степ мотор добија управљачки сигнал што резултира закретањем ротора мотора, а затим и навојног вретена клизача, и коначно, праволинијског кретања клизача. Степ електромотори су мање снаге што ограничава њихову употребу. Данашњи степ мотори се израђују са осетљивошћу од најмање 500 до 1000 корака за један обртај ротора, што задовољава захтевану тачност кретања.

Степ електромотори са хидрауличним појачивачима, имају много веће снаге од претходних, те због тога имају много ширу примену. На слици 24. шематски је приказан електрохидраулични степ мотор. Овај погонски систем састоји се од степ електромотора (2), зупчастог преносника (3), хидрауличног разводника (4), вентила за довод (5) и одвод флуида (6), вентилске плоче (7) и хидромотора (8) као појачивач обртног момента [3]. Обртни момент са осовине степ електромотора преноси се преко зупчастог преносника на клип хидрауличног разводника. Овај клип, на својој десној

страни има навојни завршетак који са навртком осовине хидромотора чини завојни пар. Обртањем хидрауличног клипа, врши се аксијално померање навртке и осовине хидромотора, чиме се отвара улаз флуиду под притиском, који преко вентилске плоче врши погон хидромотора. Даље се обртање осовине хидромотора преноси на завојно вратило клизача алатне машине, чиме се остварује помоћно кретање. Основна карактеристика погонских система помоћног кретања без повратне спреге (отворени погонски системи) је непостојање мерног система којим би се добила повратна информација о стварном положају извршног органа помоћног кретања. Због тога се ови системи користе код алатних машина нормалне тачности, јер не могу задовољити захтеве високе тачности. Код погонских система код којих се путем мерног система шаље повратни сигнал у регулационом кругу, могуће је остварити високу тачности помоћног кретања. Ово су системи са повратном спрегом или затворени погонски системи. За ове системе се највише користе хидраулични сервомотори и електрични сервомотори. Од електричних сервомотора углавном се користе сервомотори једносмерне струје који покривају широк опсег снага, од малих до великих. Могу бити са спољном побудом и са сталним магнетима. Брзина помоћних кретања са овим погонима се крећу до 10 до 15 м/мин.

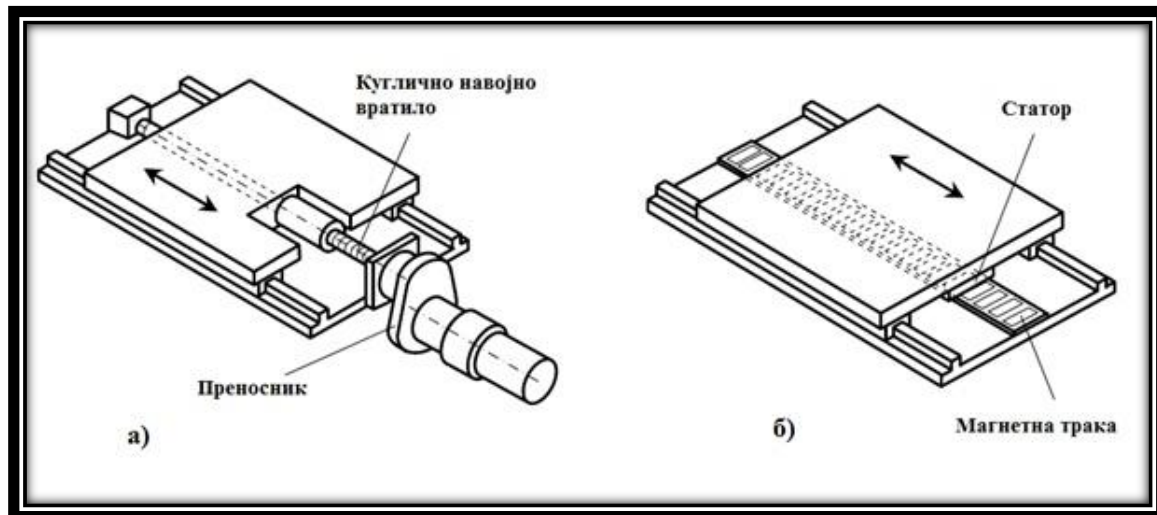


Слика 24. Основни делови електрохидрауличног степ мотора [3]

Системи помоћног кретања код високодинамичких алатних машина на којима се реализују високобрзинске обраде, морају задовољити посебне захтеве. Тачност позиционирања нумерички управљаних оса код ових алатних машина мора бити у интервалу 2 до 10 μm . Услед повећаних брзина резања код високобрзинских обрада, неопходно је остварити и велике брзине. Тиме се остварују високи учинци обраде (односе се велике количине струготине у јединици времена), али и висок квалитет обрађене површине. Тако на пример, при обради сложених просторних површина, неопходно је управљати променом брзине ради одржања одговарајућег квалитета обраде. За остваривање високе продуктивности, која се постиже високобрзинским обрадама, неопходна су осим високих брзина главног вратила машине, такође и адекватна решења погонских система помоћних кретања, пре свега решења која обезбеђују високе брзине ових кретања.

Код ових алатних машина користе се најчешће следећа два решења:

- Електромеханички ротациони сервосистем
- Директни линеарни сервосистем



Слика 25. а) Електромеханички ротациони сервосистем
б) Директни линеарни сервосистем [3]

Како би се остварио помак радног стола алатне машине за одређену величину потребно је проследити инструкцију (сигнал) од управљачке јединице до сервомотора (једносмерни, наизменични) који ће деловањем властитог обртног момента окренути вратило клизача радног стола што ће резултирати померањем истог за програмирану величину помака. Електромеханички погони се данас још увек највише примењују и обезбеђују брзине до 40 м/мин [3]. Овај погон се састоји од сервомотора (дигитални уређај), механизма кугличног завојног вратила и навртке, котрљајућих водича мерног система позиционирања. Линеарни мотор се састоји од магнетне траке, или цеви по којој, или у којој се креће клизач (статор). Ова врста погона нема практичног ограничења у погледу дужине, али снага је ограничена. Због тога се линеарни погони користе за мање и средње оптерећене машине.

Неке од предности ових погона су:

- Велика ширина регулације (већа него код електромеханичких погона са ротационим сервосистемима).
- Одсуство трошења механичких преносника.
- Врло висока тачност позиционирања и тачност поновљивости положаја.
- Велике брзине (до 100 м/мин).
- Велика убрзања
- Висока поузданост.

7. Електрични преносници

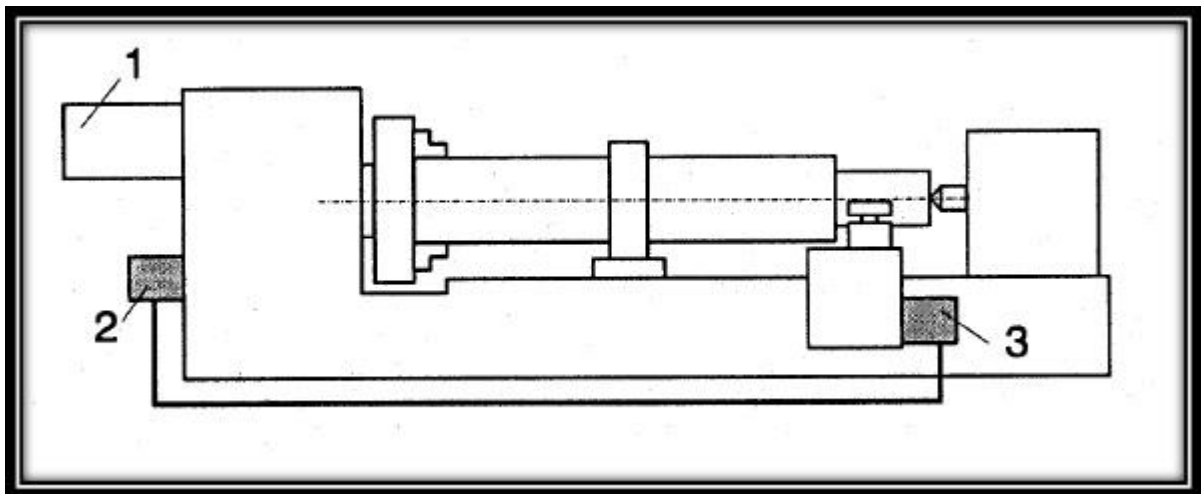
Поред механичких или хидрауличних преносника, код алатних машина се у већој или мањој мери увек срећу и електрични преносници. Под појмом електрични преносници се подразумева читав низ међусобно повезаних и по дејству усклађених електричних и електронских елемената, било да служе за погон, пренос и претварање кретања или управљање самом машином. Веома често се ови електрични и електронски елементи комбинују са механичким или хидрауличним елементима било у циљу управљања овим преносницима (путем релеја, електромагнетних спојница, електричних и пропорционалних вентила и слично) било у циљу проширења области регулисања или смањења механичких преносника, промене смера обртања, а у неким случајевима готово комплетна кинематика машине може бити изведена електричним преносницима. У зависности од врсте и концепције алатне машине, погон се може остваривати или једним централним електромотором који служи за остваривање свих потребних кретања, или са више независних електромотора који ће обезбедити како главно, тако и помоћно (или помоћна), а у неким случајевима и допунска кретања. Поред основних електромотора који обезбеђују неопходну снагу за остваривање механичког рада резања, код машина алатки су често потребни и додатни електромотори који за разне додатне функције машине (системи за подмазивање, управљање, аутоматизацију, разни додатни прибори и сл.). Тако се могу јавити случајеви да се на једној алатној машини налази и по неколико електромотора, различитих облика и снага. Код сложених машина (обрадни центри, трансфери и др.) овај број може бити и преко десет.

Електромотори који служе за погон главног или помоћних кретања, поред основне намене да обезбеде потребну механичку енергију, могу у неким случајевима да обезбеде и промену бројева обртаја и тако делимично или потпуно замене механичке или хидрауличне преноснике. Број могућих бројева обртаја који електромотор може да обезбеди, као и област регулисања, зависи од врсте и типа електромотора. Електромотор, као погонски мотор машина алатки, мора да задовољи одређене услове и то у зависности од намене машине и улоге електромотора у њој. Ови услови се првенствено односе на полазне и радне карактеристике електромотора, на способност кочења, на променљивост бројева обртаја, степен искоришћења, динамичку стабилност, димензије и др. У погледу врсте струје која се користи, код машина алатки се срећу како мотори наизменичне струје (монофазне и полифазне), тако и мотори једносмерне струје. Мада се за главни погон машина алатки (а такође и за помоћна кретања) користе скоро искључиво електромотори наизменичне струје, код машина, а поготову код машина са аутоматским управљањем, веома често примену су налазили електромотори једносмерне струје. У посебну групу мотора се могу сврстати

електрични и електрохидраулични корачни мотори који због своје прецизности и могућности лаке контроле померања, налазе примену код погона за помоћна кретања.

7.1 Електрична вратила

Посебну групу преносника чине такозвана електрична вратила, код којих је омогућено синхронно обртање два, међусобно релативно удаљена, вратила машине или других постројења. Они се примењују углавном код машина код којих су преносници за помоћно кретање строго зависни од преносника за главно кретање. Како је, на пример, при изради завојница великих дужина неопходно да и завојно (водеће) вретено буде довољно дугачко, то је веома тешко да се та завојна вретена, од којих зависи и тачност обраде, ураде прецизно по целој својој дужини. Зато се код дугачких стругова могу срести наведена електрична вратила, која обезбеђују да се кретање добивено на излазу преносника за помоћно кретање, а које се налази код вретеништа машине, синхронно пренесе до претварача кретања у носачу алата, тако да вучно или водеће вратило више није неопходно.



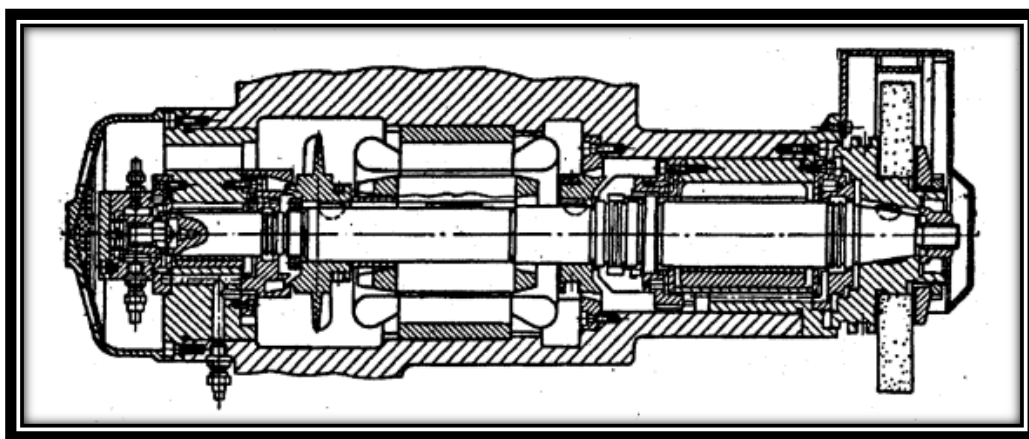
Слика 26. Примена електричног вратила код струга [1]
1-Погонски мотор; 2-Предајник; 3-Пријемник; 4-Каблови за везу

Електрично вратило се у основи састоји из два мотора: предајника и пријемника. Предајни мотор (2) постављен је на кућишту преносника и добија погон од главног вратила преко преносника за помоћно кретања, тако да је његов број обртаја директно зависан од броја обртаја предмета обраде [1]. Пријемни мотор је уграђен у супорт и погони га истим бројем обртаја. Статори предајног и пријемног мотора су прикључени на мрежу, док су њихови ротори, преко клизних прстенова и каблова, повезани међусобно. Из мреже се узима само онолико енергије, колико је неопходно да се произведе магнетно поље у моторима. Уколико су оба мотора синхронизована, односно уколико се окрећу потпуно истим бројем обртаја, настају у намотајима ротора оба мотора електромоторне силе које су међусобом једнаке, али супротних смерова, тако да се оне компензирају и у намотајима не тече никаква струја. Уколико дође до поремећаја, настаће фазно померање електромоторних сила, услед чега се јавља струја у намотајима ротора, при чему пријемник, ако му број обртаја заостаје ради као мотор,

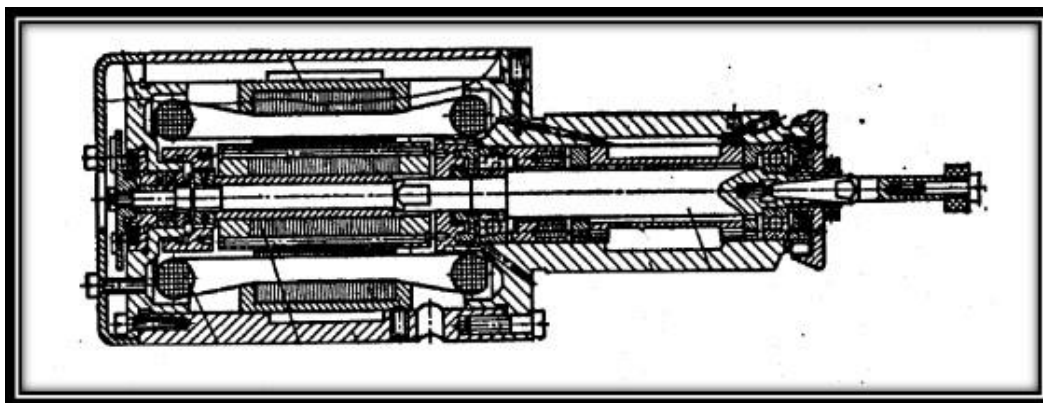
а ако је број обртаја већи као генератор. Услед овог доћи ће и до поновног успостављања равнотеже бројева обртаја.

7.2 Облици, уградња и избор електромотора

Електромотори, у зависности од захтева за монтажом, могу имати различита конструкцијска решења, више или мање стандардизована. Основна су три облика са стопом - БЗ, са прирубницом Б5 и комбиновано са стопом и прирубницом. Положај мотора може бити хоризонталан или вертикалан, што зависи од саме концепције машине у коју се мотор уграђује. Прикључни део вратила електромотора може бити са једне или са друге стране, а понекад се раде мотори који са обе стране имају прикључне рукавце. Ово се посебно користи у хидрауличним инсталацијама са две или више пумпи, јер је понекад потребно да се две пумпе погоне истим мотором. У циљу доброг хлађења кућиште електромотора се углавном израђује од квалитетне алиминијумске легуре са ребрима, која поред побољшаног одвођења топлоте, доприноси и већој крутости кућишта. Посебне облике електромотора представљају уграђени мотори чије вратило уствари представља једно од вратила машине (често је то главно вретено машине).



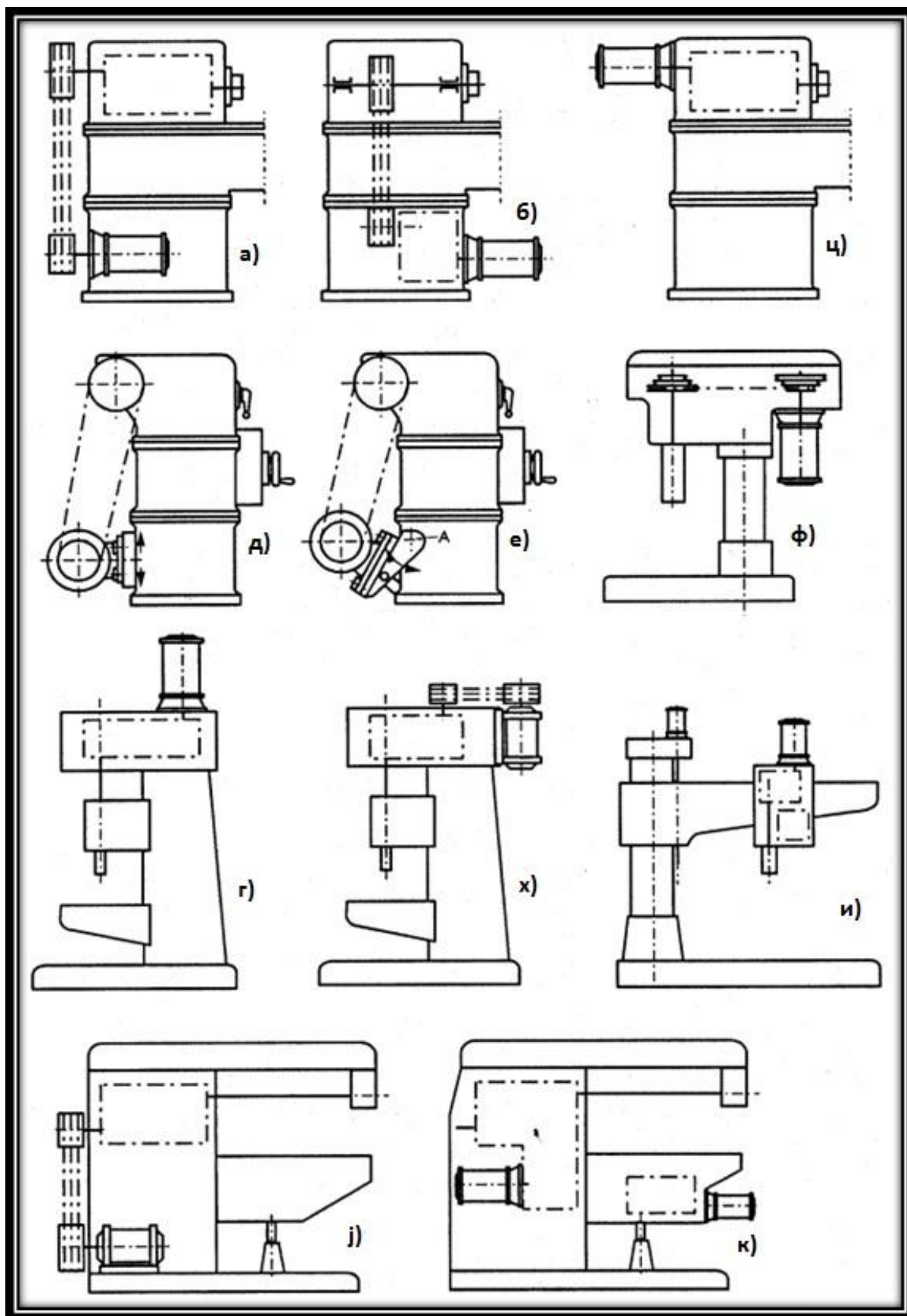
Слика 27. Уграђени електромотор на вретену бруслице [1]



Слика 28. Електровратило са котрљајућим лежјевима [1]

На слици 27 је представљен један пример таквог вратила примењеног у вретеништу бруснице. Кућиште електромотора и самог вретеништа представљају једну целину што омогућава веома збијену конструкцију. При унутрашњем брушењу отвора малих пречника, за добијање неопходне брзине резања потребни су веома велики бројеви обртаја вретена. На пример, за брушење вретенастих тоцилом пречника 6 мм брзином 30 м/с, број обртаја вретена треба износити стотинама обртаја у минути. За остварење ових задатака се често примењују тзв. "електровратила" (слика 28). Електровратила представљају вретено бруснице са уграђеним асинхроним мотором са краткоспојеним ротором. За електромоторе, као погонске моторе, постоје у погледу уградње у машину различита конструктивна решења, која у извесној мери зависе и од опште концепције машине, али и од смештајног простора.

На слици 29 су приказана често коришћена решења код уградње електромотора у кинематски систем машина алатки. На примеру (а), мотор је постављен у унутрашњости доњег дела постоља – стопи машине (струга), одакле се кретање преноси каишним преносом до улазног вратила преносника за главно кретање. У примеру (б), мотор је такође постављен на доњем делу постоља, али са спољне стране што омогућава његово боље хлађење, али захтева већи смештајни простор. Погон мотора се предаје преноснику који се такође налази у доњем делу постоља, а одатле се каишним преносом излазни број обртаја доводи директно до главног вратила струга. Затезање каиша, које је неопходно за правилан рад без већег проклизавања, остварује се посебним уређајем. На примерима (д) и (е) су приказана два, на стругу примењена решења. У првом случају се затезање каиша врши аксијалним померањем носача мотора дуж вођица, док је у другом то обезбеђено заокретањем мотора, заједно са његовим носачем, око осовине. Ови начини затезања каиша могу се применити како за спољашње моторе, тако и за моторе који се постављају у унутрашњост машине. Постављање електромотора као и дела или целог преносника у доњи део постоља обезбеђује нижи положај тежишта машине, а тиме и већу динамичку стабилност машине. У вретеништу машине се тада налази само главно вретено и евентуално још једно вратило помоћу којег се, поред директних бројева обртаја, обезбеђују и индиректни пренос кретања на главно вретено. Каишник на главном вратилу је обично тако постављен, да се са њега оптерећење не преноси директно на главно вретено већ на његова лежишта, да би се главно вретено растеретило и тиме избегле деформације вретена. Према примеру (ц) налази се електромотор директно на кућиште вретеништа машине, које је у овом случају уједно и кућиште преносника за главно кретање. Овакво решење је конструктивно једноставније, али се тежиште машине налази високо, чиме је стабилност машине у односу на претходна решења умањена. Положај према (ф) одговара мањој стубној или стоној бушилици, код које се кретање, клинастим каишем преко степенстих каишника, преноси на главно вретено. За веће бушилице се мотор поставља на саму машину са директним везом са преносником за главно кретање (г) или се пренос до преносника остварује преко каишног преносника (х) [1].



Слика 29. Примери уградње електромотора [1]

Ово последње решење има ту предност, што каишни преносник игра улогу еластичног елемента у тренутку пуштања машине у рад, као и улогу система сигурности против преоптерећења. Код директних погона, као нпр. према (е) и (г), мора се између мотора и улазног вратила преносника уградити еластична спојница у циљу постизања еластичности преноса. Код радијалних бушилица (и) поставља се електромотор директно на носач главног вретена, који тада служи као погонски мотор и за главно и за помоћно кретање. Електромотор на стубу бушилице обезбеђује помоћно вертикално кретање конзоле. Најзад, на примерима (ј) и (к) је приказана уградње електромотора код хоризонталних глодалица. У првом случају се мотор налази у доњем делу постоља и са њега се преко каиша преноси кретање на преносник за главно кретање. За помоћно кретање користи се исти мотор, са одводом кретања испред преносника за главно кретање, како би се помоћно кретање могло регулисати независно од главног. Код глодалица према (к) постоји, поред мотора за главно кретање, и посебан мотор за помоћно кретање, постављен у конзолу глодалице, што одговара решењу за веће глодалице. Мотор за главно кретање је овде уграђен у средњи део постоља и директно везан за преносник за главно кретање.

При избору електромотора за погон машине алатке главну улогу имају захтеви који се пред њим постављају, цена, као и економичност у току рада. Одлучујући захтеви су свакако снага, обртни момент и одговарајућа карактеристика при вишим бројевима обртаја, укључивање, управљање и регулисање. Величина мотора, а сатим и тежина и донекле цена су у основи одређени номиналним обртним моментом. Моменат, који је потребан при најнижим бројевима обртаја, треба бити што је могуће тачније одређен, иначе ће изабрани мотор или бити непотребно велики и скуп, или неће да задовољи постављене захтеве.

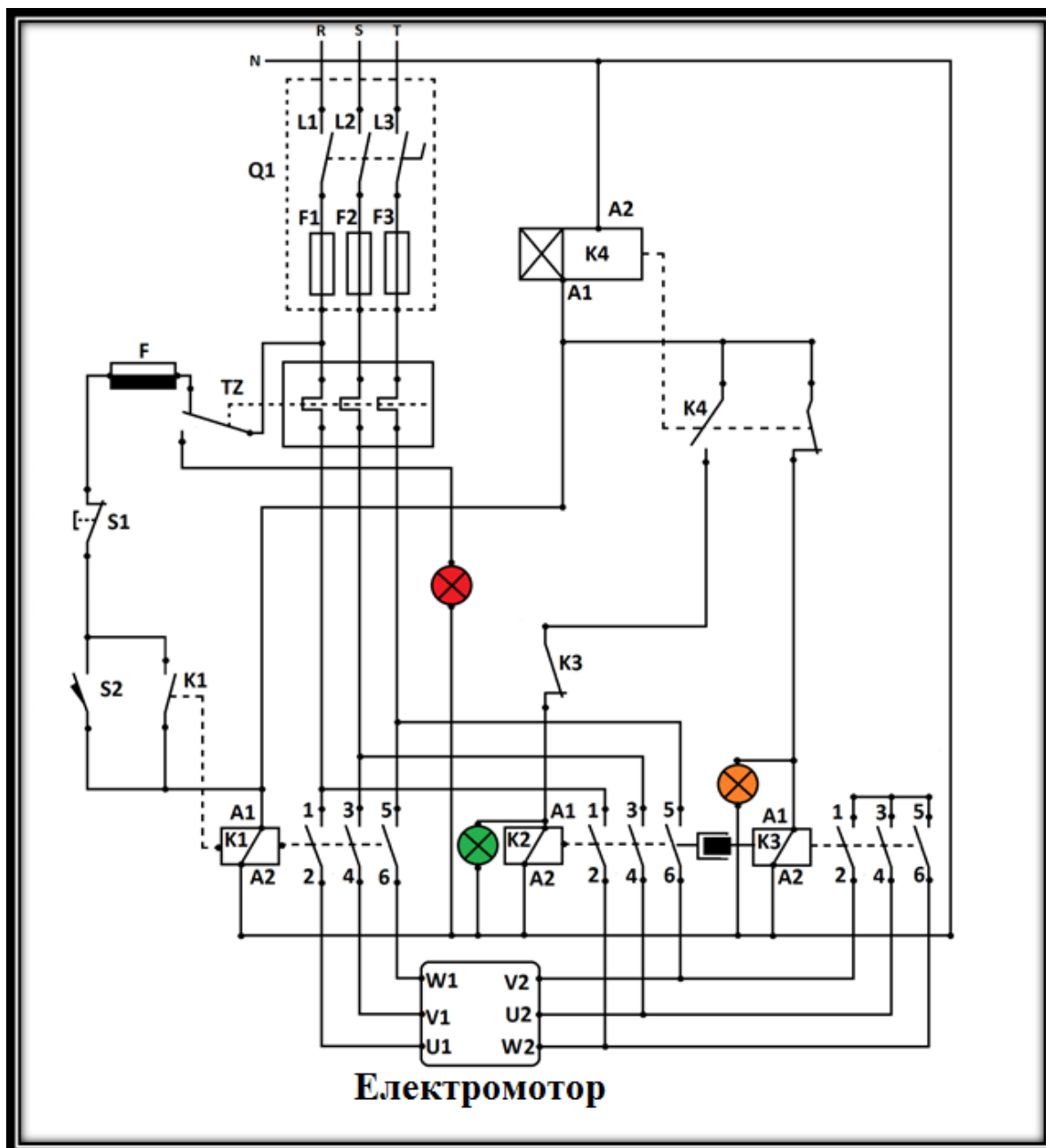
Основу за одређивање снаге главног погона чине вредности које се добијају из саме обраде. Избор мотора већих снага од неопходних доводи до мањег степена искоришћења, а код електромотора наизменичне струје до већег удела реактивне снаге. Питање, докле треба ићи са испуњењем погонских захтева чисто електричним путем, или је боље и економичније уградити одговарајуће системе за пренос и претварање кретања, треба у сваком појединачном случају пажљиво разматрати. При томе се мисли на директну конкуренцију између регулисања бројева обртаја моторима једносмерне струје и хидрауличних погона. Облици мотора и врста заштите која је код њих обезбеђена, предмет су посебних стандарда који се при избору мотора морају поштовати. Постоје, како различити облици мотора, тако и различите врсте заштите. Код алатних машина се примењују уобичајени електромотори са заштитом која спречава додир са алатима сваке врсте, продор струготине и течности из свих праваца, а у неким случајевима и прашине и осталих нечистоћа [1].

8. Пример пројектовања

Прекидач звезда-троугао употребљавају се за покретање асинхроних мотора са кавезним ротором, а њихова примена заснива се на томе да мотор спојен у звезду из мреже узима мању струју при покретању, него када је спојен у троугао уз исти напон мреже. При директном покретању мотора, ангажована струја у првих неколико секунди достиже и до шест пута већу вредност од активне струје, што је велики струјни удар за нисконапонску мрежу (посебно код мотора већих снага). Због тога се често код мотора сусреће прекидач звезда-троугао која омогућава да се прво статорски намотај прикључи на мрежу спојен у звезду. Када кроз неколико секунди мотор достигне приближну номиналну брзину окретања, намотај статора се помоћу прекидача звезда- троугао пребаци у троугао. Код покретања мотора прекидачем звезда-троугао јавља се струјни удар у мрежи али је он три пута мањи и приближно је једнак двострукој номиналној струји мотора.

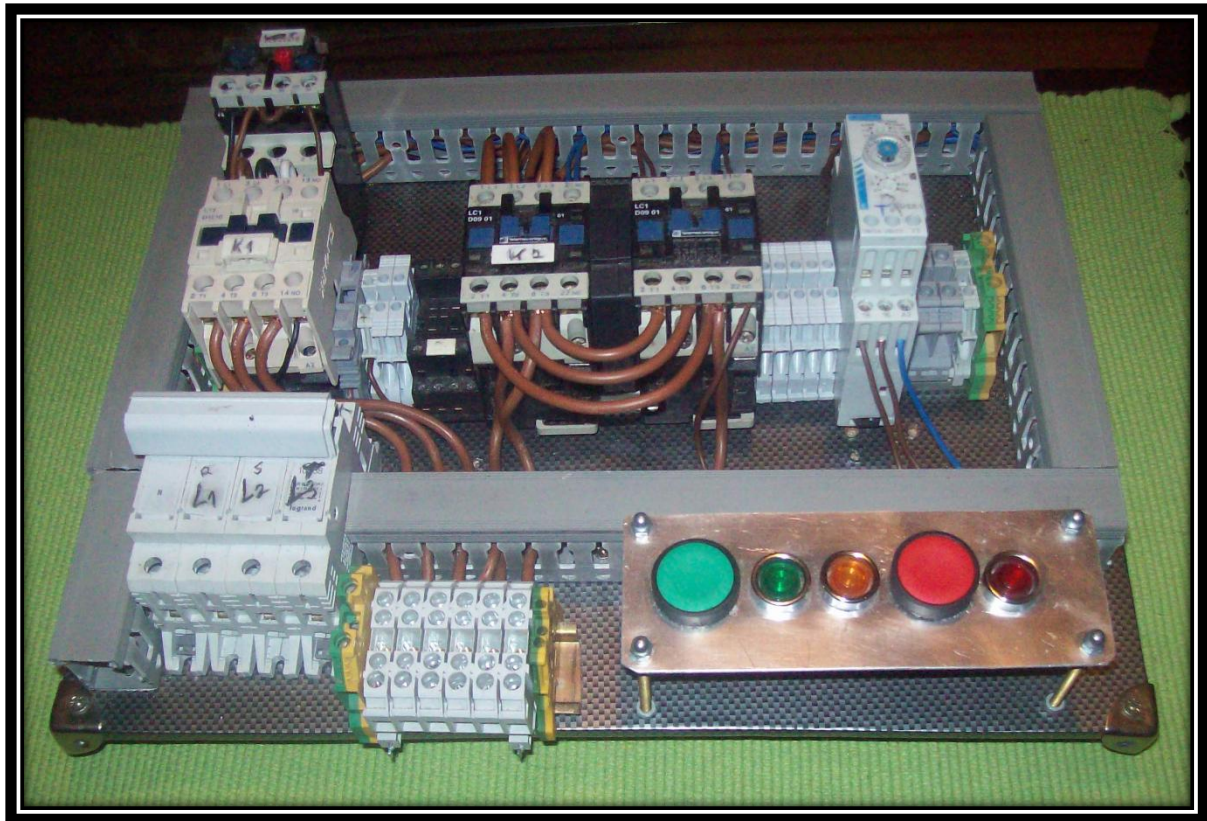
Недостатак покретања мотора склопом звезда троугао је тај да се мотор не сме при покретању потпуно оптеретити већ само до $1/3$ номиналне снаге. Значи при покретању прекидача звезда-троугао ангажована струја мотора смањују се до три пута. Овај начин покретања погодан је за центрифугалне пумпе, алатне машине, односно за лаке услове залета. Прекидачи звезда троугао могу бити ручне или аутоматске. Препоручљиво је да се ручни прекидач звезда троугао налази у близини мотора (да би се по звуку мотора могао оценити тренутак кад треба ручицу из звезде пребацити у троугао). Прекидач звезда-троугао могу бити и аутоматске. Тада улогу пребацивања преузимају контактори а време пребацивања одређује временски релеј. У оквиру овог дела рада извршено је пројектовање и израда електричног уређаја за аутоматско пребацивање везе електромотора из звезде у троугао. На слици 30 је приказана електрична шема, а на слици 31 реализован уређај.

Уређај се састоји од три контактора снаге, једног временског релеја, реле сигурности, прекидача са осигурачима и командне табле. Контакттор K1 служи за прикључак мотора на мрежу. Контакттор K2 служи за спајање мотора у троугао, док K3 служи за спајање мотора у звезду. Временски реле служи да након одређеног времена које је потребно мотору да достигне оптималну брзину рада у звезду које ће након 45 секунди пребацити у троугао. Зелено дугме на командној плочици има функцију да стави систем у погон, црвено дугме има функцију да заустави рад система (искључи). Када је упаљена зелена контролна лампа обавештава нас да је мотор спојен у троугао, зута нас обавештава да је мотор пребачен у звезду. Црвена лампица нас обавештава да је биметална заштита реаговала, што значи да нам недостаје једна фаза у трофазном систему или је један од осигурача прегорео. Напајање се врши директно из мреже преко трофазног прекидача са комбинацијом осигурача (Q1) који је на излазу прикључен на улаз биметалне заштите (TZ). Излаз биметалне заштите (TZ) је прикључен на улаз контактора снаге (K1) а на излазу контактора снаге (K1) прикључује се на улаз тофазног мотора U1-V1-W1.



Слика 30. Електрична шема уређаја

Притиском на тастер (S2) који је зелене боје укључујемо контактор снаге (K1) који са својим контактима 2,4 и 6 прикључује трофазни мотор на биметалну заштиту (TZ). Пустањем тастера (S2) контактор снаге (K1) са својим помоћним контактом (K1) краткоспаја тастер (S2) и контактор снаге (K1) остаје и даље укључен преко тастера (S1) који уједно служи и за заустављање целокупног система, а напаја се преко осигурача (F) 4 ампера и преко мирног контакта биметалне заштите. Пребацивање рада мотора звезда-троугао се врши преко два контактора снаге (K2 и K3) и временског релеја (K4), при притиском тастера (S2) укључујемо констактор снаге (K1) и уједно укључујемо временско реле који преко мирног контакта временског релеја укључујемо контактор снаге (K3) тиме смо мотор спојили у звезду (U2-V2-W2) што ће нам показати и контролна лампица жуте боје.



Слика 31. Пример пројектовања аутоматског покретача звезда-троугао

По истеку времена од 45 секунди које смо подесили на временском релеју радни контакт (K4) се затвара а мирни се отвара што значи да контактор снаге (K3) се искључује што ће на показати и сигнална лампица. Када се контактор снаге (K3) искључио помоћни контакт контактора (K3) се затвара, а тиме је укључио контактор снаге (K2) што ће и показати контролна лампица зелене боје што значи да је мотор прикључен у троугао, спајањем W1-V2, V1-U2, U1-W2. Црвена сигнална лампица нам показује да је биметална заштита реаговала што значи да мотор ради на две фазе. Напомена контактор K2 и K3 који су механички везани а то значи када се K2 укључи електрично или механички K3 се не може укључити ни механички ни електрички.

9. Закључак

Технологије и технолошки процеси су темељ сваке производње, па тако и индустрије прераде и обраде метала. Да је то тако показује пример да свако савремено друштво у технологији види једну од главних полуга садашњег и будућег техно – економског развоја, због чега је велики интерес сваке земље да модернизује постојеће технологије и да отвори развојне процесе за примену нових – високих технологија. На претходним странама овог рада описани су најпознатији и најчешће коришћени електрични мотори који се користе у данашњим производним погонима. Генерално гледано, изузев мотора једносмерне струје, сви остали мотори су у суштини машине наизменичне струје чији се принципи рада заснивају на принципима које је Никола Тесла описао у свом патенту из 1878. године. Новости настају само у појединим конструкцијским детаљима, примењеним материјалима, начину напајања и управљања тим моторима.

Познато је да је електрични мотори имају велику примену у погонским системима алатних машина, због њихове конверзију енергије (електричну у механичку). Асинхрони кавезни мотор (АМ) заузима најистакнутије место међу њима. Разлози су: једноставност његове конструкције, ниска цена и широки распон снага на којима се користи. Такође и степ мотори имају значајну улогу. Разлози су: ниска цена, памћење позиције, мале димензије и велике управљачке могућности.

Савремени преоцеси обраде довели су до развоја директног погона главног вретена. Међутим, због потребе још бољих карактеристика алатних машина дошло је до развитка моторвретена, који представља електромотор чије је вратило уједно и главно вретено машине чиме смо губитке свели на минимум. Ово може послужити као јасан показатељ у којој мери се развијају алатне машина.

10. Литература

1. Захар С., Машине алатке 1, Југословенско друштво за трибологију, Крагујевац, 1993.
2. Митраковић Б., Николић Н.: Асинхроне машине, 2. издање, Научна књига, Београд, 1975.
3. Панић С., Нумерички управљане машине, Висока пословно техничка школа, Ужице, 2009
4. <http://www.poreklo.rs/2013/02/09/na-dana%C5%A1nji-dan-tesla-skicirao-svoj-prvi-patent-asinhroni-motor/> - 16. 01. 2016
5. http://www.keep.ftn.uns.ac.rs/predmeti/masinski_4g_PrimenaPLC_u_meh/PPuM%20-%20ppt%20pogoni%20-%20asinhrone.pdf - 20. 01. 2016
6. <http://mehatronik.com/2014/04/frekventni-regulatori-brosura/> - 11. 03. 2016
7. [Električne mašine - WordPress.com](http://Električne%20mašine-%20WordPress.com) - 25. 01. 2016
8. <http://www.viser.edu.rs/download.php?id=19250> - 15. 03. 2016
9. <https://www.scribd.com/doc/75039335/CNC-alatne-ma%C5%A1ine> - 17. 03. 2016
10. <http://www.empr.ftn.kg.ac.rs/5%20AM/am01/am01veb.htm> - 12. 02. 2016
11. <https://www.eti.kit.edu/english/1376.php> - 27. 04. 2016