

Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Електротехника са електроником

Број индекса: 08/2009

Ненад В. Милетић

Елементи електроенергетског система

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Јасна Радуловић – ментор

2. _____

Датум одбране: _____

3. _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да проучи препоручену, као и ширу литературу која се односи на елементе електроенергетског система, кренувши од електрана и генератора преко трансформатора до трафостаница. На бази усвојеног знања кандидат треба да обради основне типове електрана: хидроелектране, термоелектране; генератора: једносмерне и наизменичне генераторе; трансформаторе; далеководе, њихове карактеристике као и најчешћу примену.

Препоручена литература:

- [1] Љубомир Стојковић - Електричне машине, Београд 1960.
- [2] A. E. Fitzgerald, Sc. D. , Jackson and Moreland, Boston, Massachusetts; formerly Associate Professor of Electrical Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- [3] Живомир М. Петронијевић - Електротехника, Београд 1986.
- [4] Јерослав М. Живанић, Владимир Остраћанин, Љубинко Филиповић - Маchine III, Чачак 2010.

Крагујевац, 22.10.2013.

Ментор:

Проф. др Јасна Радуловић,
редовни професор

РЕЗИМЕ

У овом раду обрађени су елементи електроенергетског система. Када је реч о основним електроенергетским елементима говори се о електранама које се деле на хидроелектране и термоелектране, као и о генераторима, њиховом принципу рада и карактеристикама, који су основни део сваке електране. У делу везаном за пренос електричне енергије обрађени су трансформатори, њихов принцип рада и карактеристике, као и далеководи који су неопходан сегмент за пренос произведене електричне енергије до потрошача.

Кључне речи: Електрана, Генератор, Електрична струја.

ABSTRACT

This paper addresses the elements of the power system. When it comes to basic electroenergetic elements talks about power plants are classified as hydro and thermal power plants, as well as generators, their principle of operation and characteristics, which are an essential part of every plant. The part related to the transmission of electrical energy are processed transformers, their principle of operation and characteristics, as well as lines that are necessary role for the transmission of electricity to the consumer.

Keywords: Power station, Generator, Electric current.

САДРЖАЈ:

РЕЗИМЕ	4
ABSTRACT	4
САДРЖАЈ	5
УВОД	6
1. ЕЛЕКТРАНЕ	7
1.1. Хидроелектране	8
1.2. Термоелектране	10
2. ХИДРАУЛИЧНЕ ТУРБИНЕ	12
2.1. Пелтонова турбина	12
2.2. Франсисова турбина	14
2.3. Капланова турбина	15
2.4. Дијагоналне турбине	16
2.5. Цевне турбине	17
3. ГЕНЕРАТОРИ	18
3.1. Генератори једносмерне струје	18
3.2. Генератори наизменичне струје	20
3.2.1. Синхрони генератори	20
3.3. Конструкција и принцип рада генератора	22
3.4. Ротор са истакнутим половима	24
3.5. Цилиндрични (ваљкасти) ротор	25
4. КАРАКТЕРИСТИКЕ ГЕНЕРАТОРА	26
4.1. Карактеристика празног хода	27
4.2. Карактеристика кратког споја	29
4.3. Карактеристика оптерећења	30
4.4. Спољна карактеристика	32
4.5. Карактеристика регулације	34
4.6. Карактеристика степена искоришћења	35
4.7. Погонска карта синхроног генератора	36
5. ТРАНСФОРМАТОРИ	37
5.1. Основни елементи конструкције трансформатора	38
5.2. Принцип рада трансформатора	41
5.2.1. Празан ход идеалног трансформатора	41
5.2.2. Оптерећење идеалног трансформатора	43
5.3. Преносни однос	45
6. ДАЛЕКОВОДИ	45
ЗАКЉУЧАК	49
ЛИТЕРАТУРА	50

УВОД

Постоје обновљиви извори енергије као што су вода, ветар, мишићи и постоје необновљиви извори енергије као што су руда урана, угаљ, гас, нафта. У давној прошлости човек се користио само енергијом својих мишића. Тек проналаском парне машине остварено је да се енергија горива може трансформисати у механичку енергију и тиме покренути машине у индустрији, бродове, локомотиве... Већи скок коришћења енергије учињен је проналаском ОТО и ДИЗЕЛ мотора. Природан процес стварања енергената на Земљи је дуготрајан процес и по неколико милиона година. Ми данас најчешће користимо горива као што су угаљ, нафта, гас, а то су необновљиви енергенти, а питање је колико ће се то још дуго моћи користити. Употребом тих енергената долази и до загађења околине те је и то разлог да сви што више користимо обновљиве енергенте. [9]

Најчешће користимо електричну енергију која је доступна на свим местима и веома се једноставно трансформише у механичку, топлотну, хемијску итд. Примена електричне енергије је веома распрострањена у индустрији, пољопривреди, саобраћају, домаћинству и другим областима. Помоћу електричне енергије се покрећу мотори, секу се и заварују метали, осветљавају куће, улице, покрећу трамваји, тролејбуси итд. [9]

1. ЕЛЕКТРАНЕ

Електране представљају постројења за производњу електричне енергије. У електранама енергија не настаје, него се заправо претвара из једног одређеног облика енергије у електричну енергију. Преображај се врши посредством погонске машине (турбине) која даје механички рад потребан за покретање генератора. Произведена енергија се троши на лицу места, и преноси се даље до потрошача.

У зависности од врсте извора у којем је примарна енергија која се затим претвара у електричну, разликујемо:

- Хидроелектране
- Термоелектране итд.

Према врсти електричне струје електране могу бити:

- Електране у којима се „производи“ електрична енергија једносмерне струје и
- Електране у којима се „производи“ електрична енергија наизменичне струје

Електране се деле још и на:

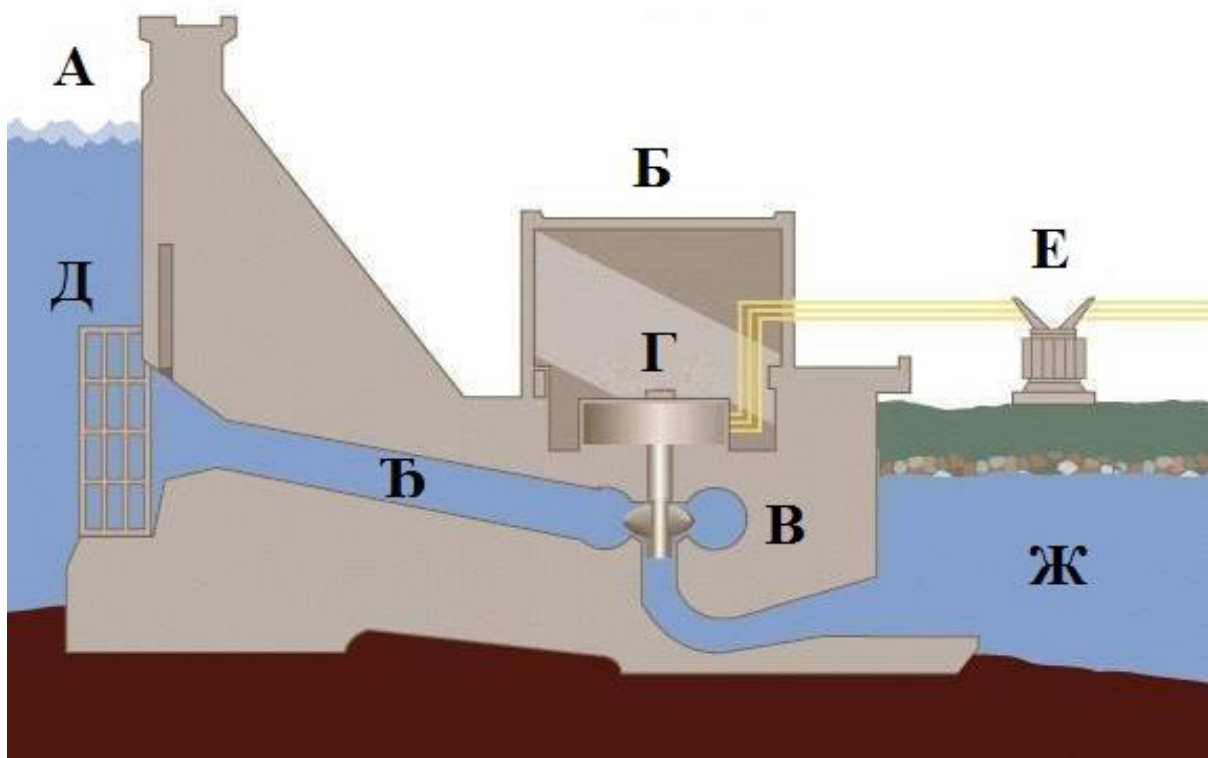
- Електране са обновљивим изворима енергије и
- Електране са необновљивим изворима енергије

На пример: термоелектране, које употребљавају чврста (угаљ, уран), текућа (дизел) те гасовита (природни гас) горива за своје примарно гориво, спадају у електране са необновљивим изворима енергије; док рецимо, хидроелектране, сунчане електране или ветроелектране спадају у електране са обновљивим изворима енергије.

1.1. Хидроелектране

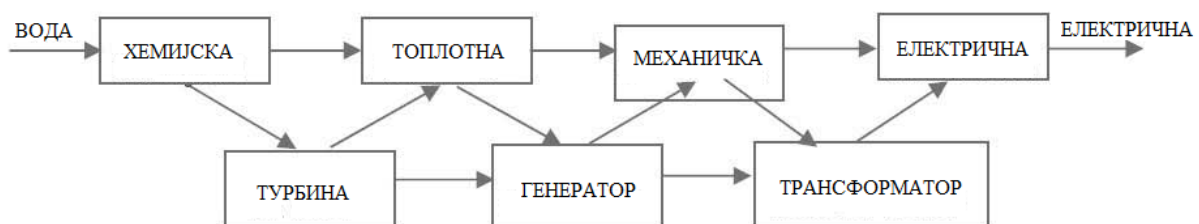
Хидроелектрана или хидроцентрала је електрично постројење за производњу електричне енергије са погоном на воду. Текућа вода обрће својом кинетичком енергијом хидрауличну турбину, која је повезана са електричном машином - генератором електричне струје.

Овај вид електрана се гради на местима где постоји довољно текуће воде у смислу количине и висинске разлике. Снага хидроелектране је сразмерна количини воде и висинској разлици. Зато се бирају водотокови са великим протоком воде (равничарске реке са малим висинским разликама нису повољне) или планинске реке са мањим током, али великим падовима. [10]



Слика 1. Хидроелектрана у пресеку.

А - Резервоар, Б - Зграда, В - Турбина, Г - Генератор, Д - Улаз воде, Ђ - Цев за воду, Е - Високотиснапонске линије, Ж - Река [10]



Слика 2. Технолошка шема производње електричне енергије код хидроелектране

По количини воде и начину конструкције се разликује следеће врсте:

Акумулациона хидроелектрана, која се прави преграђивањем реке и заустављањем тока (брана), што води стварању великог акумулационог језера узводно од бране које садржи велике количине воде што представља резервоар енергије, али се може користити и у друге сврхе (наводњавање, риболов итд.). Код овакве врсте електране обично постоје велике годишње варијације у количини дотока воде. Акумулационо језеро поседује потенцијалну енергију која је резултат висинске горње коте језера и тачке монтаже генератора, а која се претвара у кинетичку енергију воде која покреће лопатице турбине. Вода се од бране води тунелима који могу бити километрима дуги до места где је саграђено постројење електране са турбинама и генераторима. За електране на рекама са великим падовима и малим протоком користе се Пелтонове турбине, а у случајевима када је количина воде довољна користе се Франсисове турбине.

Ревизибилна хидроелектрана је слична по конструкцији акумулационој хидроелектрани, али има велике пумпе које у време мање потрошње струје враћају воду у акумулационо језеро, док у време несташице енергије пуштају воду из акумулације и производе струју у ситуацији када је потребнија и скупља. Овакве електране служе уравнотежењу производње и потрошње у електричној мрежи.

Проточна хидроелектрана има малу висинску разлику испред и иза места захватања воде већ само кинетичку енергију коју поседује водени ток. Стога је снага овакве електране зависна од тренутне количине протока воде. Код ових електрана се за покретање генератора користе Капланове турбине које су погодне за велике протоке воде и мале падове. [10]



Слика 3. Акумулациона хидроелектрана у Бајној Башти [10]

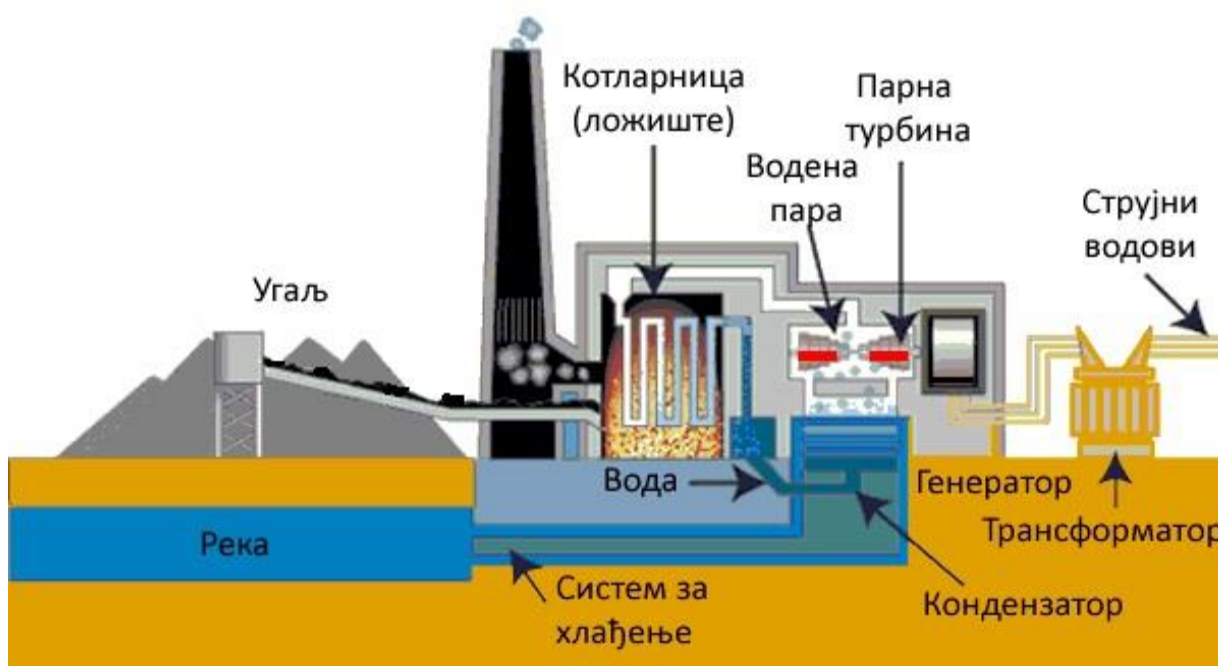
Обзиром да не користи гориво, поготово не фосилно, хидроелектране имају позитиван утицај на природу. Следеће што је битно не постоји зависност цене произведене енергије од скокова цена нафте, гаса или других горива. Хидроелектране се праве за дуже време оперативног животног века од термоелектрана, на пример. Постоје електране које су у функцији и више од 50 година. Сматра се да она позитивно утиче на могућност контрола поплавних таласа, водоснабдевање, рибарство, развој туризма и водених спортова.

Поред ових, постоје и негативни утицаји на животну средину. У ситуацији када је акумулационо језеро на равничарској реци, тада долази до успора тока узводно и подизање нивоа подземних вода (случај са хидроелектраном Ђердап). Бране прекидају миграционе путеве рибљих врста које се мресте узводно, уколико на брани нема специјално предвиђених пролаза за рибе. Планинске реке које праве кањоне и клисуре су погодне за прављење акумулација са великим падом и потенцијалом хидроенергије, али уз цену попуног потапања и измене екосистема.

1.2. Термоелектране

Термоелектрана је постројење у коме се хемијска или нуклеарна енергија горива (угаљ, уранијум, нафта, гас...) претвара у топлотну енергију, затим се топлотна енергија помоћу турбине претвара у механичку која се користи за покретање генератора електричне енергије. [11]

Према начину добијања механичке енергије која покреће генераторе, термоелектране се деле на: парне, гасне и дизел термоелектране. Највећу примену у Србији имају електране на угаљ.



Слика 4. Термоелектрана у пресеку [9]



Слика 5. Технолошка шема производње електричне енергије из угља

У ложишту сагорева гориво (угаљ, нафта,) и производи се топлотна енергија која загрева котло. Ради бољег сагоревања користе се вентилатори који убацују кисеоник у ложиште. Загревањем воде у котлу добијамо водену пару која се користи за покретање турбине. За покретање турбине потребно је потпуно сува водена пара, па се за њено сушење користи прегрејач паре. Тако осушена пара преноси се у парну турбину, која покреће генератор, који на свом излазу даје електричну струју.

Термо електране се често граде као термоелектране - топлане (ТЕ - ТО), због бољег искоришћења енергије. Паралелна производња електричне и топлотне енергије назива се когенерација. [11]

Према врсти покретача (машина која у низу енергетских трансформација прва претвара било који облик енергије у механичку енергију) термо електране се деле на: плинско - турбинско потројење (кружно постројење), парно - турбинско постројење и комбиновано постројење.

У Србији постоји 8 термоелектрана, распоређених у 25 блокова, укупне инсталационе снаге 55528 MW, које као погонско гориво користе лигнит:

Термоелектране на лигнит у Србији		
ТЕ	У саставу	Инсталациона снага (MW)
ТЕ Никола Тесла А	ТЕ Никола Тесла	1650
ТЕ Никола Тесла Б	ТЕ Никола Тесла	1240
ТЕ Колубара А	ТЕ Никола Тесла	271
ТЕ Морава	ТЕ Никола Тесла	125
ТЕ Костолац А	ТЕ Костолац	310
ТЕ Костолац Б	ТЕ Костолац	679
ТЕ Косово А	ТЕ Косово	617
ТЕ Косово Б	ТЕ Косово	618

Табела 1. Термоелектране на лигнит у Србији [11]

2. ХИДРАУЛИЧНЕ ТУРБИНЕ

Хидраулична турбина је ротациона машина која хидрауличну енергију, насталу струјањем воде - трансформише у механички рад. У данашње време хидрауличне турбине се најчешће користе за покретање генератора и добијање електричне енергије из обновљивих (хидрауличних) извора енергије.

Основни типови хидрауличних турбина:

- Пелтонова
- Франсисова
- Капланова
- Дијагонална
- Цевна

Тип турбине	$n_s [1/\text{min}]$	$H [\text{m}]$	Проток $[Q]$
Пелтонова	$2 \div 70$	$400 \div 2000$	Мали
Франсисова	$60 \div 450$	$50 \div 700$	Средњи
Дијагонална	$170 \div 430$	$40 \div 200$	Средњи
Капланова	$260 \div 1000$	$20 \div 70$	Велики
Цевна	> 800	$1 \div 20$	Велики

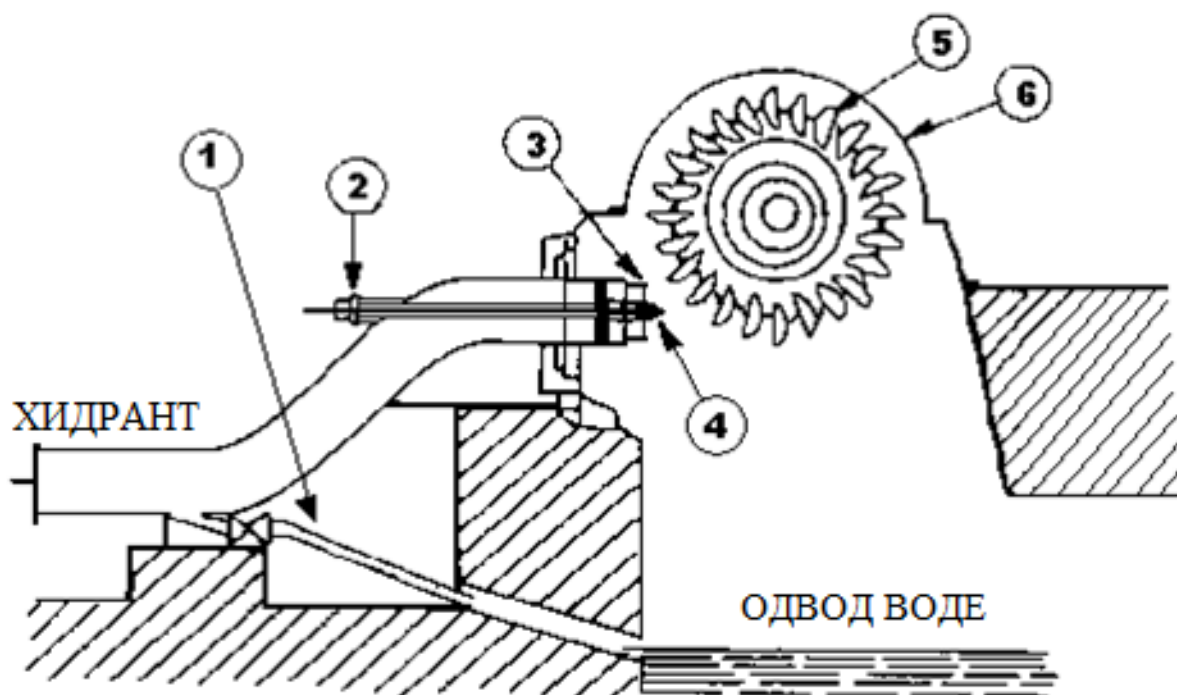
Табела 2. Карактеристике основних типова хидрауличних турбина [5]

2.1. Пелтонова турбина

- Акциона турбина
- Користи се за велике падове и мале протоке
- Користи се за мале и велике снаге

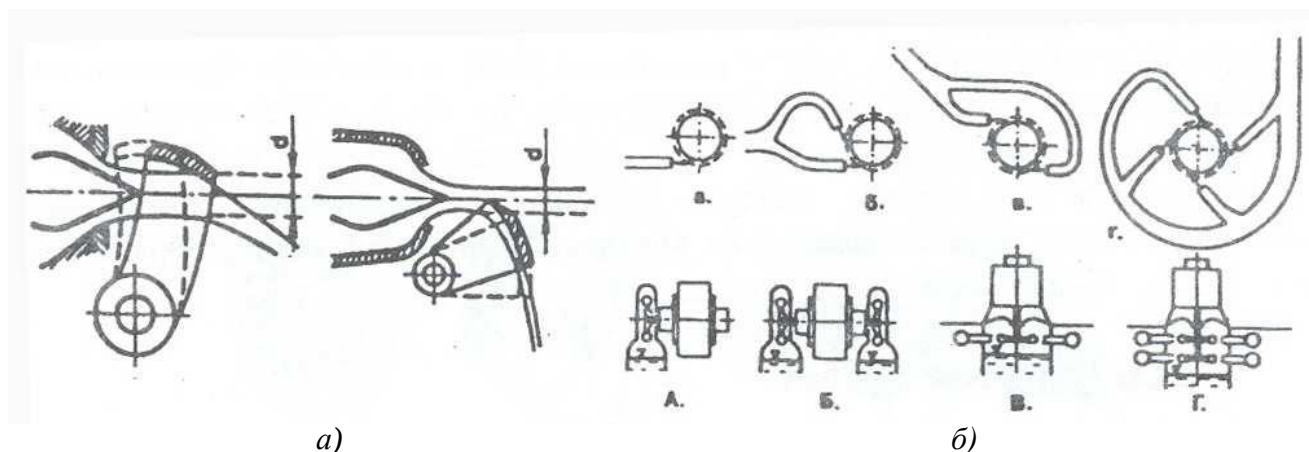


Слика 6. Пелтонова турбина [5]



Слика 7. Шема принципа рада Пелтонове турбине: 1 - Хидрант одводна линија; 2 - Хидраулична игла вентила за контролу у цилиндру; 3 - Водена млазница; 4 - Игла вентила; 5 - Радно коло турбине; 6 - Кућиште [5]

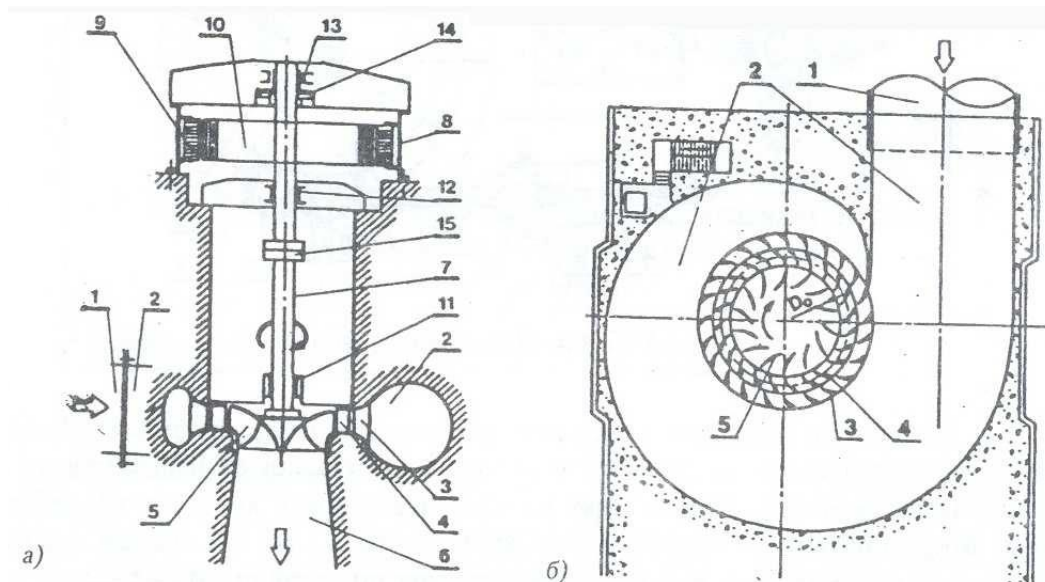
Од акумулације до Пелтонове турбине вода се доводи дугачким цевоводима. Да би се, по потреби, снага турбине брзо могла смањити до нуле користи се скретаач млаза (сл. 8 а)), јер се проток воде кроз цевовод не сме нагло прекинути због динамичких притисака који би тада настали.



Слика 8. а) Скретаач млаза, б) Варијанте Пелтонових турбина [5]

2.2. Франсисова турбина

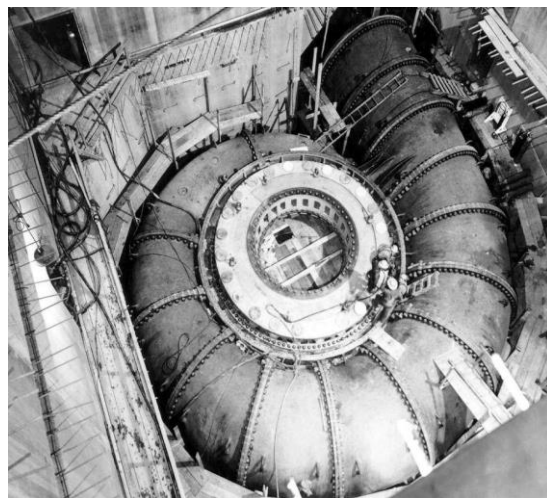
Франсисове турбине имају велики степен искористивости капацитета од преко 90%, као и велики распон деловања у односу на висину (конструктивни пад) флуида при протоку кроз турбину. То је нарочито наглашено код воде где постиже оптималан рад при конструктивном паду од 20 метара до чак 700 метара, а излазна снага може бити од пар киловата до 750 MW.



Слика 9. Франсисова турбина: а) Агрегат са Франсисовом турбином, б) Пресек Франсисове турбине кроз проводни канал: 1 - цевовод; 2 - спирална комора; 3 - статорске лопатице; 4 - лопатице спроводног апарата; 5 - обртно коло; 6 - сифон; 7 - вратило; 8 - синхрони генератор; 9 - статор синхроног генератора; 10 - ротор синхроног генератора; 11 - радијални турбински лежај; 12 - генераторски радијални лежај; 13 - генераторски радијални лежај; 14 - аксијални лежај; 15 - спојница. [5]



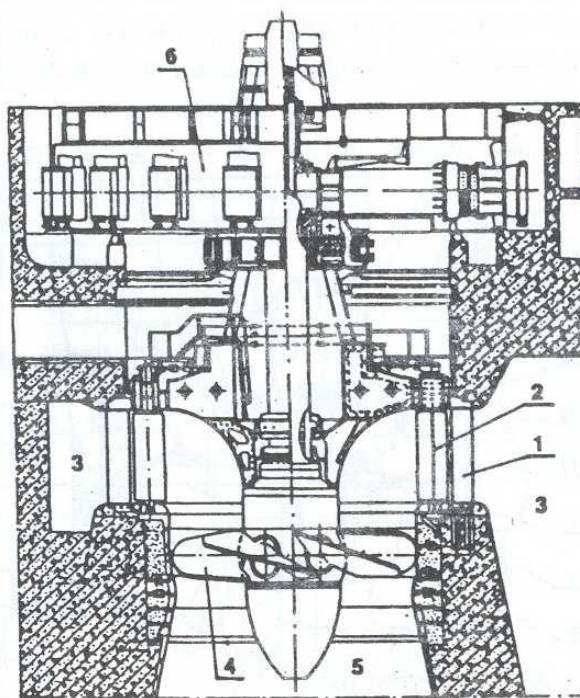
Слика 10. Монтажа радног кола [5]



Слика 11. Поглед на спиралну комору [5]

2.3. Капанова турбина

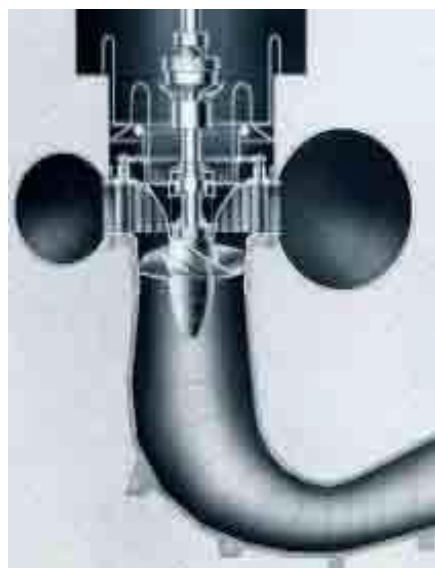
Главни водени ток кроз Капанову турбину је аксијалан. Обртно коло Капанове турбине има 5 или 6 лопатица које се помоћу механизма главчине могу закретати. Тако је и код ових турбина регулација двојна, преко спроводног апарата и закретањем лопатица обртног кола.



Слика 12. Агрегат са Капановом турбином: 1 - статорске лопатице; 2 - лопатице спроводног апарата; 3 - бетонска спирална комора; 4 - обртно коло; 5 - сифон; 6 - генератор [5]



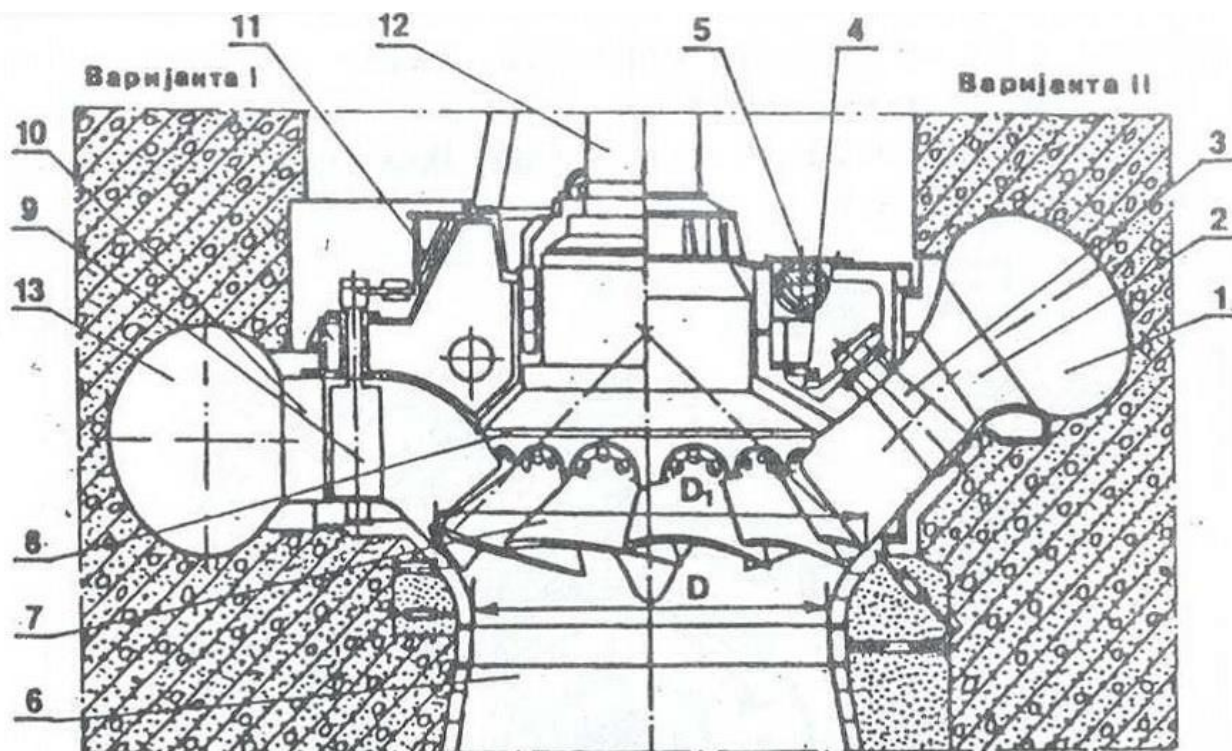
Слика 13. Радно коло Капанове турбине [5]



Слика 14. Капанова турбина[5]

2.4. Дијагоналне турбине

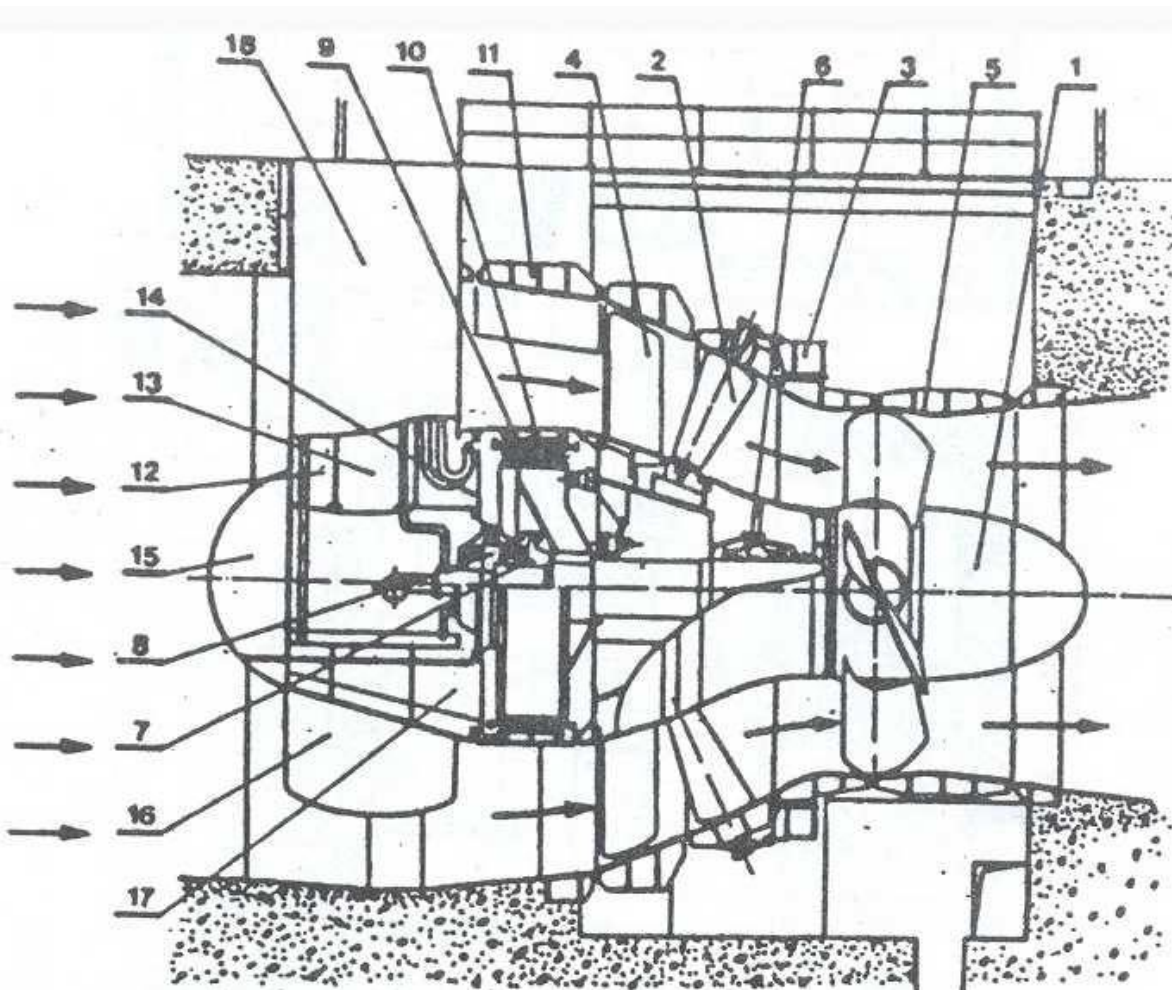
Вода кроз турбину протиче дијагонално, одакле потиче назив турбине. Поред лопатица спроводног апарата код ове турбине регулише нагиб лопатица обртног кола, тако да је код ње могућа двојна регулација.



Слика 15. Дијагонална турбина I - Варијанта са радијалним спроводним апаратом, II - Варијанта са коничним спроводним апаратом: 1, 13 - спирална комора; 2, 10 - статорске лопатице; 3, 9 - лопатице спроводног апарата; 4, 11 - механизам за регулацију спроводног апарата; 5 - серво мотор спроводног апарата; 6 - сифон; 7 - обртно коло; 8 – главчина обртног кола; 12 - вратило. [5]

2.5. Цевне турбине

Ове турбине имају највећу способност пропуштања воде, тако да и при врло малим падовима могу развити велике снаге. Цевне турбине регулишу се двојно, преко спроводног апарата и закретањем лопатица обртног кола.



Слика 16. Агрегат са цевном турбином: 1 - обртно коло; 2 - спроводни апарат; 3 - механизам за регулацију спроводног апарата; 4 - статорске лопатице; 5 - отвор за ремонт; 6 и 7 - радијални лежај; 8 - аксијални лежај; 9 и 10 - ротор и статор; 11 - поклопац за ремонт; 12 - степенице; 13 - пролаз за особе; 14 - електрични развод; 15 и 17 - капсула генератора; 16 - доњи стуб који држи капсулу; 18 - горњи стуб кроз који се улази у капсулу. [5]

3. ГЕНЕРАТОРИ

Електрични генератор је обртна машина која претвара механичку енергију у електричну енергију. Обрнути процес, претварања електричне енергије у механичку енергију, врши се електромоторима. Према врсти електричне струје коју производе могу бити једносмерни и наизменични који опет могу бити једнофазни и трофазни.

3.1. Генератори једносмерне струје

Генератори једносмерне струје: Крајеви навојка се прикључију на два бакарна сегмента, тзв. ламеле, а део машине са ламелама назива се колектор или комутатор. Део машине са колектором служи за добијање једносмерног напона у спољашњем колу (исправљање напона). На ламеле се ослањају четкице, преко којих се генератор повезује са спољашњим колом. Четкице се тако постављају на колектор да прелазе са једне ламеле на другу када је индукована е.м.с. једнака нули.

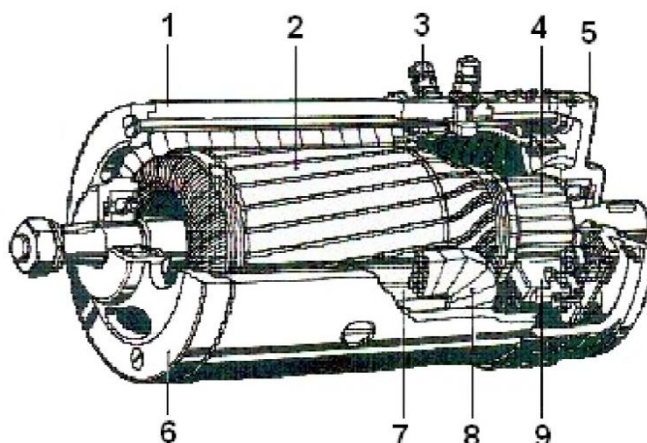
Основни делови генератора једносмерне струје су статор и ротор. Статор се састоји од постоља (ливени челик) и полова. Полови се састоје од језгра (ливени челик) и побудних намотаја. Ротор се израђује од танких лимова међусобно изолованих, по ободу се граде жљебови у које се стављају намотаји ротора (индуктни). [8]

Врсте генератора једносмерне струје:

1. Генератори са независном побудом: побудни намотај је везан за извор једносмерне струје, који је независан од машине,

2. Генератори са само побудом: побудни намотај је везан за индукт саме машине (самопобуда). Врсте:

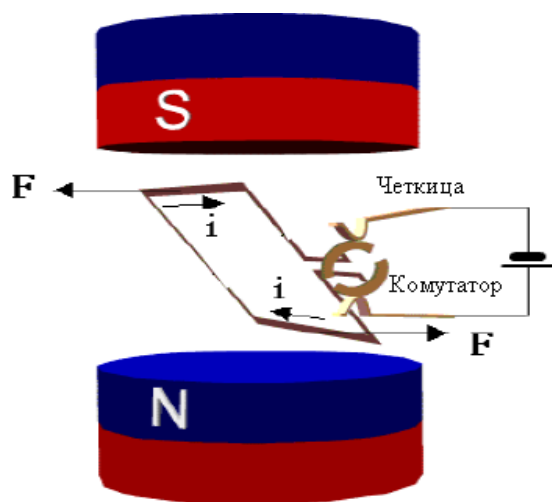
- генератори са редном побудом (побудни и индуктни намотај су редно везани)
- генератори са паралелном побудом (паралелна веза)
- генератори са мешовитом побудом (компаунд генератори)



Слика 17. Генератор једносмерне струје 1 - статор; 2 - ротор; 3 - прикључци; 4 - колектор; 5 - поклопац до колектора; 6 - поклопац до ременице; 7 - језгро магнета статора; 8 - намотај магнета; 9 - држач четкице [8]

Намотај ротора се налази у магнетном пољу. Када кроз њега протиче електрична струја настаје сила, $F = I (l \times B)$, која делује на проводнике ротора, а због кружног облика ротора настаје електромагнетни момент $M = R \times F = F R$, где је R пречник ротора. Комутатор (колектор) и четкице служе за напајање роторског намотаја потребним смером струје.

$$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B} \quad (1)$$



Слика 18. Принцип рада генератора једносмерне струје [8]



Слика 19. Ротор генератора једносмерне струје [8]

3.2. Генератори наизменичне струје

Синхрона машина је врста електричне машине за наизменичну струју. Синхроне машине могу да раде у генераторском и моторском режиму. Синхроне машине се углавном користе као генератори у електранама, пошто се као мотори данас користе јефтиније и простије асинхроне машине.

Синхроне машине представљају машине наизменичне струје без комутатора, код којих преображај енергије настаје услед механичког премештања сталног магнетног флукса полова у односу на непокретан намотај индукта.

Користе се углавном као генератори електричне енергије наизменичне струје. У свакој електрани налази се по неколико синхроних генератора великих снага спојених на исте сабирнице. Синхрони генератори мањих снага реда неколико десетина или стотина kVA користе се у малим аутономним електранама.

Ротор синхроне машине се у устаљеном погону обрће једнаком (синхронном) брзином као и обртно магнетско поље у међугвожђу, па одатле потиче назив ове врсте машина. [13]

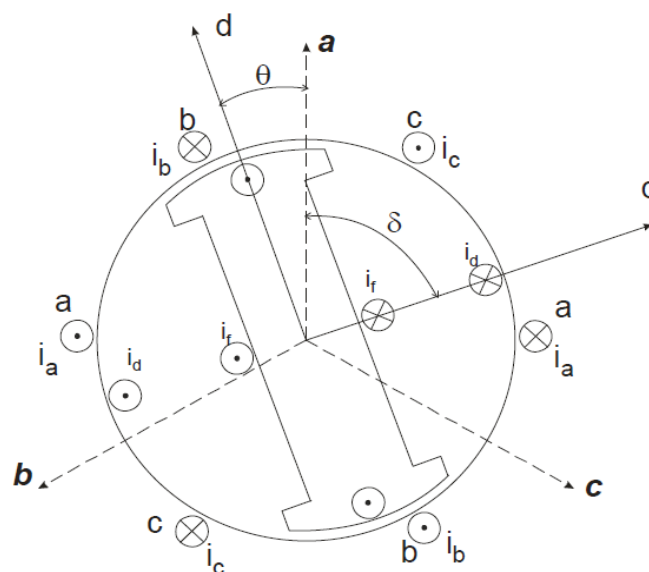
3.2.1. Синхрони генератори

Синхрони генератор је типични представник електричне машине велике снаге и малосеријске производње. Чињеница да је степен искоришћења већих јединица бољи (већа је економичност), има за последицу изградњу електрана и агрегата већих снага. Снага од неколико стотина kVA до реда 1500 MVA. Најчешће снаге су од неколико стотина MVA. Брзина обртања зависи од броја пари полова генератора.

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{3000}{p} \text{ (o/min)} \quad (2)$$

n - брзина синхроне машине

p - број пари полаова



Слика 20. Синхрони генератор са индуктивним намотајем [13]

На слици има 6 независних намота.

a, b, c - намоти статора

f - намот побуде

D - пригушни намоти

Q - (не постоје код генератора)

За математичко претстављање генератора уводе се:

d - директна оса ротора - одређује је вектор индукције побудног намотаја

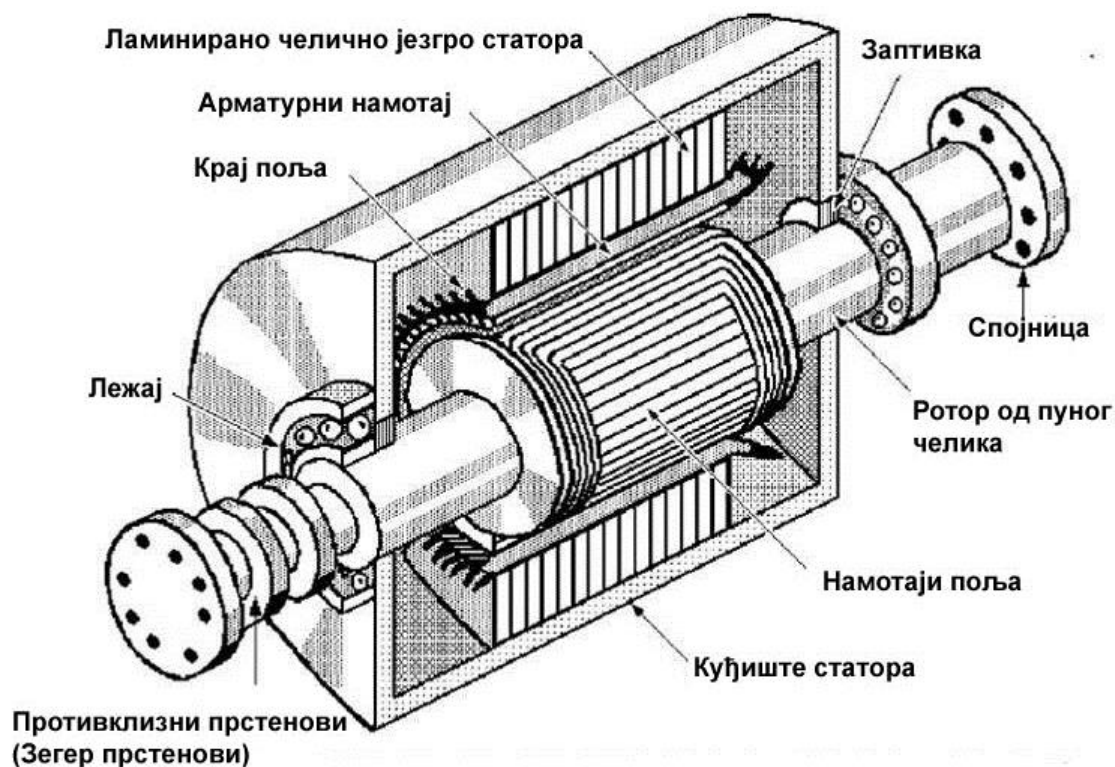
q - попречна оса ротора - заостаје 90° иза d осе

d и q осе обрћу се синхроним брзином

θ - угао између непокретне осе a и осе d у неком (посматраном) тренутку времена

d и q осе се уводе јер су једначине којима се описује синхрона машина једноставније него када би се писале за неки непокретни координатни систем.

Према погонској машини, генераторе делимо на турбогенераторе, где је погонска машина парна или гасна турбина, хидрогенераторе где је погонска машина водна (хидро) турбина и дизел генераторе где је погонска машина дизел мотор. Према облику ротора, делимо их на машине са цилиндричним ротором и ротором са истакнутим половима, док је статор цилиндричног облика, трофазни.



Слика 21. Попречни пресек синхроног АС генератора са пуним цилиндричним језгром са могућношћу ротације великим брзинама [13]

3.3. Конструкција и принцип рада генератора

При анализи рада техничких система, можемо имати више различитих приступа. Најједноставнији приступ је анализа појединачних уређаја и њихових карактеристика што води брзом али упрошћеном схватању извесних специфичних особина. Многа утанчана и уопштена гледишта, која се изграђују тек после извесног искуства у једноставнијем приступању проблемима, осветљавају опште заједничке особине и најзад воде ка бољем разумевању тако и поузданим мерилима за оптималан рад машина.

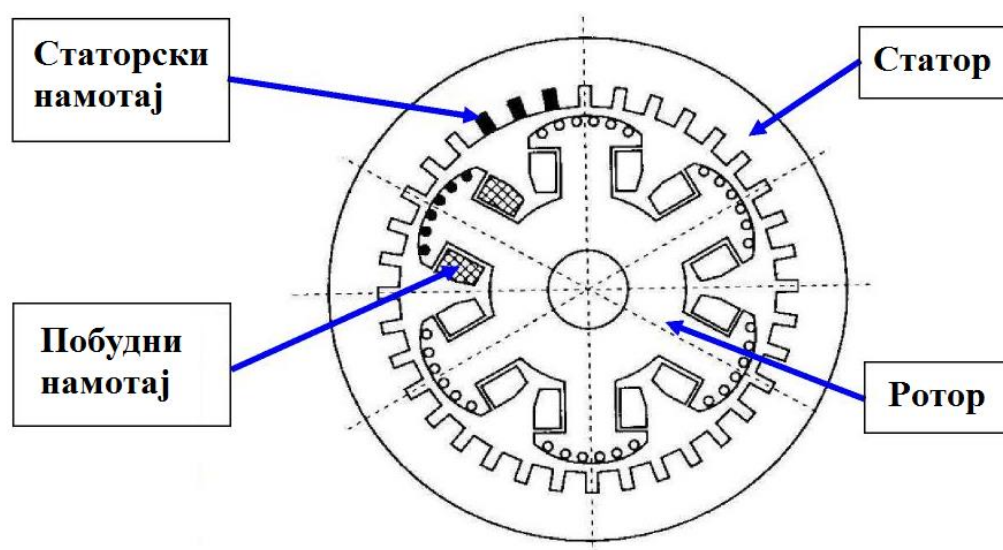
Општију потврду чињенице да се у проводнику који се креће у магнетном пољу индукује струја, представља Фарадејев закон електромагнетне индукције, према коме се у електричном колу индукције е.м.с. кад год се мења укупни магнетни флуks кроз коло. Тренутна е.м.с дата је изразом:

$$e = \frac{d\lambda}{dt} \quad (3)$$

где је λ тренутна вредност флуksа кроз коло, а t време.

Фарадејевим законом квантитавно је одређен индуковани напон у електричним ратационим машинама. Напони се индукују у намотајима или групама намотаја било механичким обртањем намотаја у магнетном пољу, било механичким обртањем магнетног поља поред намотаја; у оба случаја укупни флуks кроз поједине контуре мења се периодично и тако се индукује напон. [4]

Група таквих контура, међусобно повезаних тако да њихови индуковани напони сви доприносе жељеном резултату, назива се индуктивни намотај. Индукт је обртни део машине или ротор.



Слика 22. Пресек синхроног генератора [4]

Свака електрична машина је састављена од магнетног кола и електричног кола.
Магнетно коло чине:

- Обртни део - ротор (индуктор),
- Непокрени део – статор (индукт)
- Међугвожђе

Статор је у облику шупљег цилиндра састављеног од димано лимова, дебљине 0.5 mm, на чије је површине наносен танак слој изолације. Као изолација може послужити оксид који се формира на површини лимова после жарења. Ови лимови су међусобно изоловани танком хартијом или слојем лака у циљу смањења губитка услед вихорних струја.

Лимови се слажу у пакете дужине 40mm-50mm, а на крају пакета је лим дебљине 1mm. Између пакета су промајишта ширине 1mm. Задњи лимови у пакету се заварују због механичких напрезања (да неби дошло до разлиставања).

Слагањем лимова формирају се жлебови статора са унутршње стране, док се са спољашње стране формирају изрези у облику ластиног репа. Ови изрези се стављају у вођице које у оклоп (или кућушту) тако да се добија боља механичка учвршћеност статора. Код машине мање снаге (мање од 200 kVA) жлебови су полуотворени (трапезни).

Код машина веће снаге жлебови су отворени (правоугаони). Предност отворених жлебова је у томе што се у њих стављају штапни намотаји који се могу унапред машинским путем израдити или изоловати, па онда у навојним секцијама убацивати у жлебове. Посебна предност је у томе што се ови навојни делови могу у вакуму натопити изолационим материјалом. На овај начин се одстрањују мехурови ваздуха који могу довести до тињавог пражњења.

Такође, код машина мање снаге бакарни проводници статора су округлог попречног пресека, а код машина веће снаге су правоугаоног попречног пресека (штапни). У жлебове се постављају намотаји који имају исти број пари полова као побудни намотај. Намотаји статора се углавном израђују као двослојни, омчасти (2-6 навојака), а код машина већих снага као валовити штапни.

Да се не би допустило померање проводника у жлебу, поставља се заглавак који се изграђен од немагнетног изолационог материјала.

Бочне везе намотаја статора су изложене јаким динамичким напрезањима, па се морају добро учврстити. Односно бочне везе се међусобно повезују и додатно са бандажним прстеновима који их обухватају помоћу чврсте изолационе траке.

Намотаји статора су најчешће трофазни а њихови крајеви се изолационим проводницима изводе кроз оклоп статора до посебних прикључака на изолационој подлози, која се налази у прикључној кутији. У прикључној кутији се намотаји везују у звезду, а на звездиште су везани струјни мерни трансформатори за мерење струја и прикључење заштите.

У зависности од брзине обртања ротора унутрашњи пречник статора може бити мањи или око 1m за брзине 3000min^{-1} и 1500min^{-1} , или много већи чак до 15m код мањих брзина.

У зависности од брзине обртања ротор може бити цилиндричан (ваљкаст) и са истакнутим половима. [4]

3.4. Ротор са истакнутим половима

Ротор са истакнутим половима се користи као машина где су брзине обртања мање од 1000min^{-1} . Брзине испод 1000min^{-1} су у области синхроних машина веома споре. За погон таквих синхроних машина користе се спороходне хидрауличне турбине (франсисова, капланова, пелтонова) и због тога се синхрони генератори са истакнутим половима називају и хидрогенератори. Управо се зато и може дозволити конструкција са истакнутим половима јер су у случају мањих брзина и центрифугалне силе мање. Ротори са истакнутим половима се користе углавном код хидрогенератора снага од 200kVA до 1000MVA. Полови ротора хидрогенератора се праве од динамо лимова дебљине око 1mm.

Ротор са истакнутим половима се састоји од:

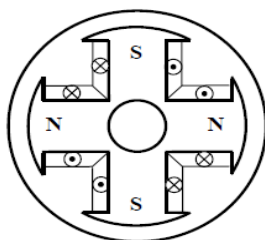
- Осовине,
- Главчине (магнетни венац),
- Паока,
- Магнетних полова.

Паоци се користе код хидрогенератора већих снага који повезују главчину и магнетни венац. На магнетни венац се причвршћују магнетни полови. Причвршћивање се може извести завртњима или конструкциом у виду ластиног репа. Сваки пол се састоји од језгра пола и полног наставка.

Код хидрогенератора је однос дужине магнетног кола (l) и пречника ротора (D):

$$\frac{l}{D} = 0,14 + 0,16 \quad (4)$$

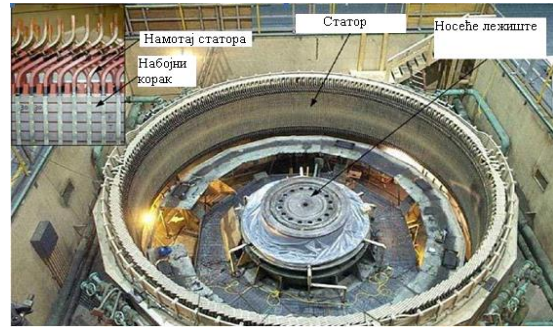
Ротор хидрогенератора се може постављати хоризонтално и вертикално.



Слика 23. Ротор са истакнутим половима [13]



Слика 24. ротор хидрогенератор [13]



Слика 25. Статор хидрогенератора [13]

3.5. Цилиндрични (ваљкасти) ротор

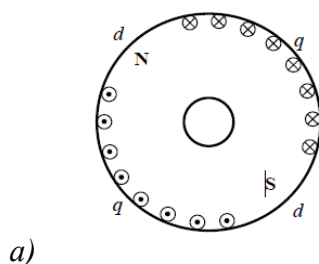
Цилиндрични ротор се користи код машина које се окрећу већим брзинама. Веће брзине изазивају велике периферне брзине, што изазива и веће механичко напрезање проводника тако да је неопходно да ове машине имају равномерну расподелу проводника по обиму. Предходно нас води ка закључку да машине са цилиндричним ротором имају и мање пречнике, односно да су им пречници много мањи од дужине магнетног кола. Код ових генератора однос дужине магнетног кола (l) и пречника ротора (D) је:

$$\frac{l}{D} = 5 + 6 \quad (5)$$

Цилиндрични ротори се користе за генераторе снага 200kVA до 2000MVA. Због великих термичких, магнетних и механичких напрезања цилиндрични ротори се морају правити од најквалитетнијих челика. Ова врста ротора се прави од ливених блокова (лије се у вакуму), који се обрађују ковањем да би се добио тачно кружни пресек. Када се добије кружни пресек врши се низ механичких и магнетних испитивања, наког чега се жљебови урезају глодалицама. Конструкционо се две трћине ротора ожљебљују, а једна трећина остаје не ожљебљена (назива се велики зубац). [13]

Као погонски мотори за овако велике брзине користе се парне турбине. Зато се генератори са цилиндричним ротором називају турбогенератори.

Турбогенератори се увек постављају тако да је оса ротора турбогенератора хоризонтална.



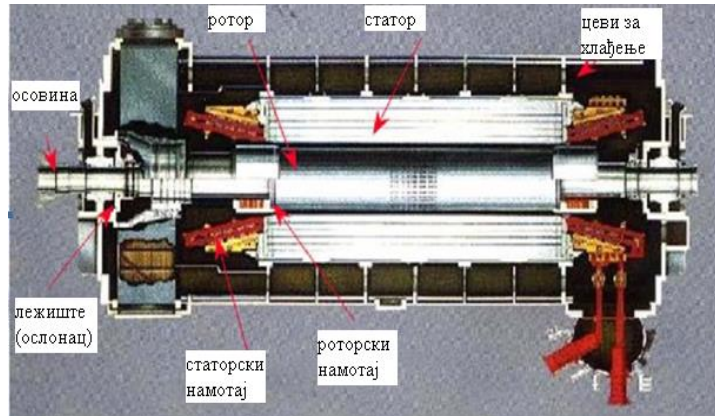
a)



б)

Слика 26. Цилиндрични ротор [13]

На слици 26.а) је са $d - d$ је означена тзв. уздужна оса, у којој се налазе магнетски полови, док је са $q - q$ означена попречна оса, која је управна на осу полова. На слици 26.б) је приказан ротор у стварној величини.



а) Постројење турбогенератора

б) Попречни пресек турбогенератора

Слика 27. Турбогенератор [13]

4. КАРАКТЕРИСТИКЕ ГЕНЕРАТОРА

Радне карактеристике при устаљеном радном стању добијају се као међусобно зависне оних величина које могу да се мењају: е.м.с., напон, побудна струја, струја индукта...

Најбитније карактеристике генератора су:

- Карактеристика празног хода;
- Карактеристика кратког споја;
- Карактеристика оптерећења;
- Спољна карактеристика;
- Карактеристика регулације;
- Карактеристика степена искоришћења

Овде ће бити дате релације које се приказују како се мењају одређене величине у зависности од других.

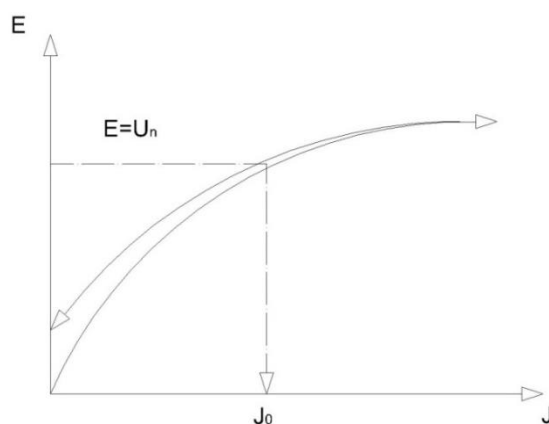
Наравно, када се машина направи она се испитује, тј. снимају се њене карактеристике, ондосно проверавају се карактеристике које се очекују. Због тога ће за сваку карактеристику бити описан поступак снимања карактеристике и принципијална једнополна шема. [4]

4.1. Карактеристика празног хода

Карактеристика празног хода је крива која показује како се мења електромоторна сила неоптерећеног генератора од струје побуде при константној брзини обртања, односно:

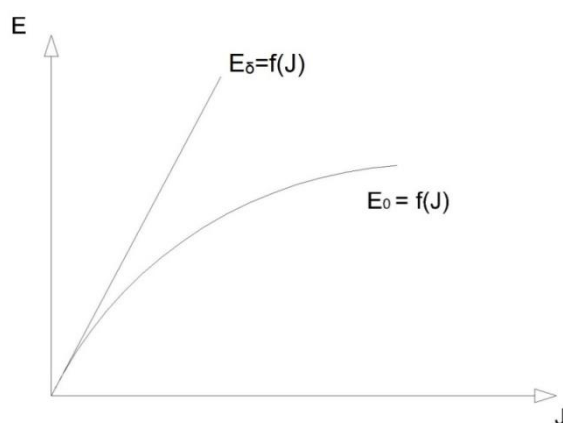
$$E=f(J) \quad \text{при} \quad I=0 \text{ и } n=\text{const} \quad (6)$$

Карактеристика празног хода је представљена на слици 28., док је на слици 29. представљена и карактеристика међугвожђа $E_\delta=f(J)$, која представља тангенту на карактеристику празног хода.



Слика 28. Карактеристика празног хода [4]

На истој слици су означена и струја J_0 која представља побудну струју при којој се има е.м.с. по вредности једнака номиналном напону $E=U_n$.



Слика 29. Карактеристика празног хода и карактеристика међугвожђа [4]

Са слике 28. се види да је карактеристика празног хода двозначна карактеристика, тачније за једну вредност побудне струје имају се две различите вредности е.м.с. Ове две вредности се незнатно разликују. Нижа вредност је на узлазном делу карактеристике, која се добија када се струја оптерећења повећава од нуле па до неке крајње вредности, док је већа вредност е.м.с. на силазном делу карактеристике.

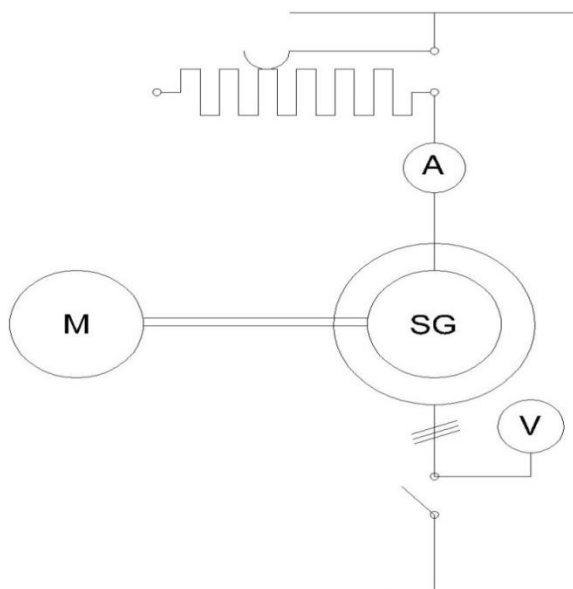
Разлог за претходно описану појаву је хистерезис, односно површина која је оивичена овим кривама представља хистерезисне губитке синхроног генератора.

Међутим, приликом решавања проблема за које је неопходна карактеристика празног хода (одређивање промена напона на крајевима синхроног генератора,...) користи се доња карактеристика која полази из координатног почетка.

Са слике 29. се види да је карактеристика празног хода у почетку права линија, односно е.м.с. празног хода и струја побуде су директно сразмерне јер магнетно коло машине није ушло у засићење. Даље машина све више улази у засићење и са порастом струје побуде, е.м.с. празног хода све мање расте.

Карактеристика међугвожђа $E_{\delta}=f(J)$ која је тангента на карактеристику празног хода, је у ствари карактеристика празног хода када не би било засићења. Оваква карактеристика би се имала у ваздуху и отуда и назив карактеристика међугвожђа.

За сваку саграђену машину може се експериментално добити карактеристика празног хода према једнополној шеми на слици 30.



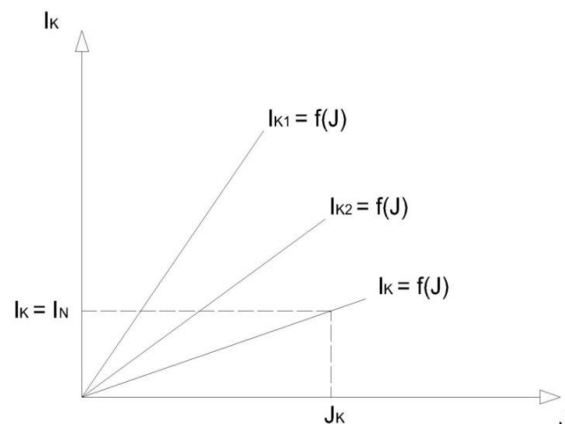
Слика 30. Једнополна шема за одређивање карактеристике празног хода [4]

Генератор се обрће сталном брзином (синхронном) помоћу неког погонског мотора. Крајеви намотаја статора су отворени и на њих је прикључен волтметар, којим се мери е.м.с. празног хода. На крајеве ротора доводи се побудни напон и мери побудна струја. За различите вредности побудне струје на ротору, које се могу мењати потенциометром, мере се одговарајуће вредности напона, тј. е.м.с. на статору и конструише карактеристика $E_0=f(J)$.

4.2. Карактеристика кратког споја

Карактеристика кратког споја је крива која показује како се мења струја статора у зависности од струје побуде, када су крајеви генератора кратко спојени и при константној брзини обртања, односно:

$$I_k = f(J) \text{ при } U=0 \text{ и } n=n_n=\text{const.} \quad (7)$$



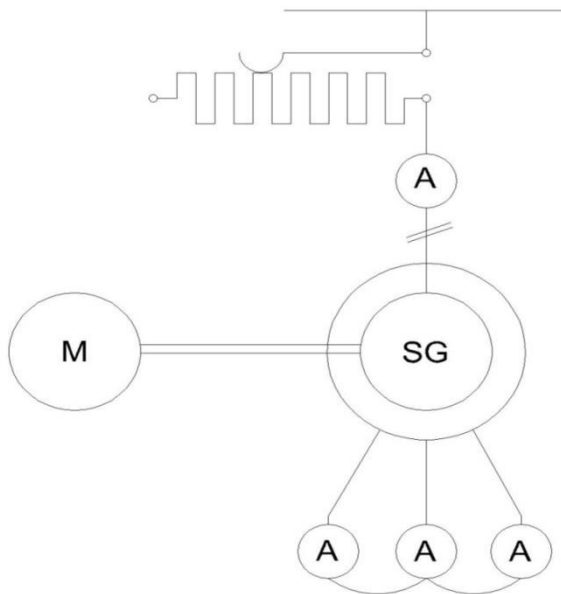
Слика 31. Карактеристика кратког споја [4]

Са слике је јасно да је карактеристика кратког споја права линија. Поставља се питање зашто на карактеристику кратког споја не утиче засићење. Наиме, при кратком споју и мала вредност е.м.с. даје знатну вредност струје индукта (статора) а како је е.м.с. мале вредности то магнетно поље није у засићењу и струја статора и побудна струја су директно сразмерне.

Како се говори о карактеристици кратког споја на трополни кратак спој, међутим постоје и карактеристике при двополном кратком споју $I_{k2}=f(J)$ (представљена на слици 31.) и при једнополном кратком споју $I_{k1}=f(J)$. Са слике се види да је карактеристика двополног кратког споја са већим нагибом од карактеристике трополног кратког споја, док карактеристика једнополног кратког споја има још већи нагиб. Разлог за то је што се и опрема у погону и постројењима димензионише према струји трополног кратког споја.

Са карактеристике кратког споја значајно је одредити вредност побудне струје J_k при којој је струја кратког споја по вредности једнака номиналној струји $I_k=I_n$.

За сваку саграђену машину може се експериментално добити карактеристика кратког споја према једнополној шеми на слици 32.



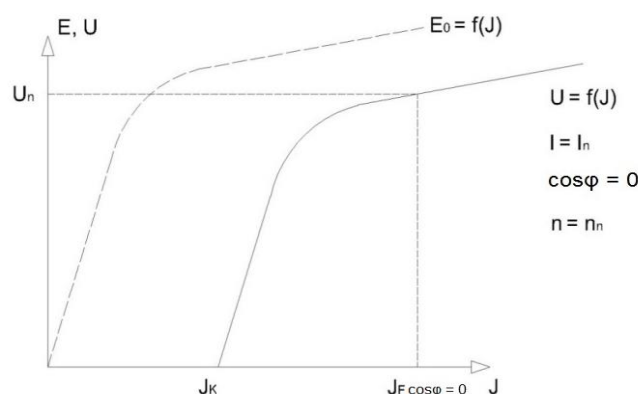
Слика 32. Једнополна шема за одређивање карактеристике кратког споја [4]

Поступак за одређивање карактеристике кратког споја је следећи. Генератор се обрће сталном брзином (синхроним) помоћу неког погонског мотора. Три краја намотаја статора су кратко спојени преко три амперметра. Амперметрима се мери струја кратког споја I_k у колу статора. Преко потенциометра се струји побуде (у ротору) задају различите вредности (које се мере амперметром у колу ротора) који је у кратко спојеном статору индукују струју кратког споја. Један од битних података за синхронну машину је и однос кратког споја.

4.3. Карактеристика оптерећења

Карактеристика оптерећења је крива која приказује како се мења напон на крајевима генератора у функцији од струје побуде, при константној струји статора, константном сачиниоцу снаге $\cos\varphi = \text{const.}$ и константној брзини обртања и односно:

$$U = f(J) \quad \text{при} \quad I = I_n = \text{const.}, \cos\varphi = \text{const.} \quad \text{и} \quad n = \text{const.} \quad (8)$$



Слика 33. Карактеристика реактивног оптерећења [4]

Како сачинилац снаге $\cos\varphi$ може имати разлилите вредности, најважнија је карактеристика при $\cos\varphi_{\text{ind}}=0$ која се назива карактеристика реактивног оптерећења. Карактеристика реактивног оптерећења представљена је на слици 33.

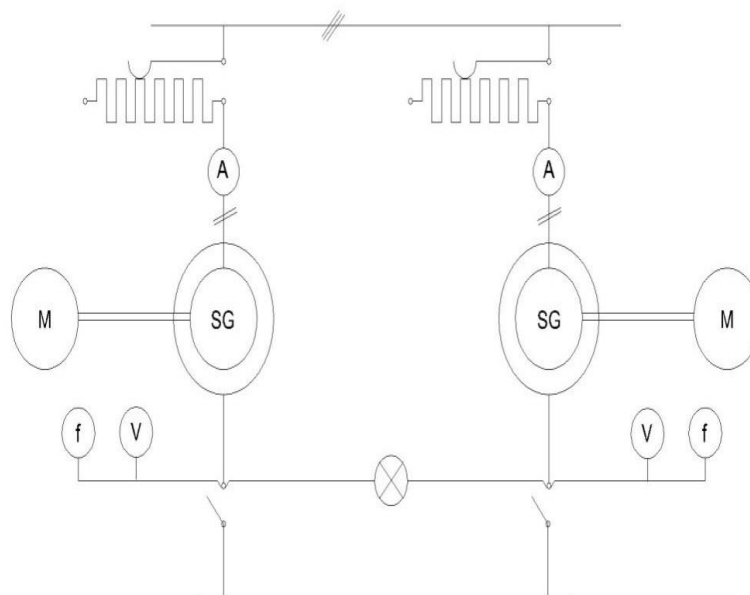
На карактеристици реактивног оптерећења је битно запамтити следеће величине:

$J_{f\cos\varphi=0}$ - побудна струја при чисто индуктивном оптерећењу која одговара номиналном напону;

J_k – побудна струја која одговара напону једнаком нули.

Може се запазити да је карактеристика реактивног оптерећења готово паралелна са карактеристиком празног хода.

Једнополна шема за одређивање карактеристике реактивног оптерећења је приказана на слици 34.

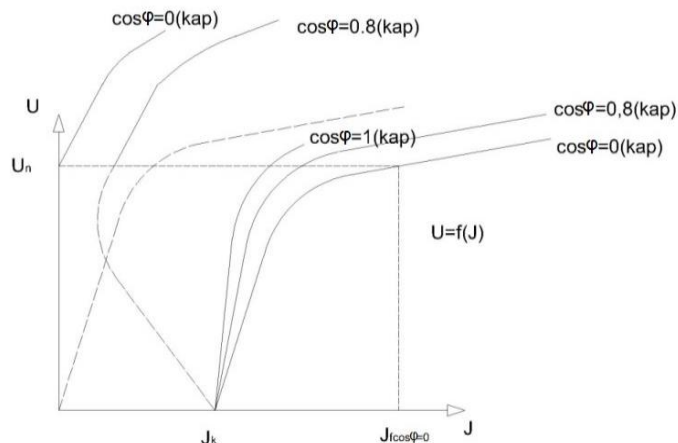


Слика 34. Једнополна шема за одређивање карактеристике реактивног оптерећења[4]

Карактеристике реактивног оптерећења се, као што се види са слике 34., добија помоћу друге синхроне машине спрегнуте са испитиваном машином о паралелу.

Мењањем побуде оба генератора подешава се да струја генератора буде чисто реактивна и да разлика између е.м.с. генератора и заједничког напона обе машине буде толика да та реактивна струја постигне вредност номиналне струје генератора. Након овог подешавања обе побуде струје генератора се смањују, тако да се смањује и напон, од на пример номиналног ка нули.

Поред карактеристика оптерећења при реактивном оптерећењу ($\cos\varphi_{\text{ind}}=0$) могу се добити карактеристике оптерећења и при другим врстама оптерећења. На слици 35. приказане су карактеристике при сачиниоцу снаге $\cos\varphi=0,8$ и $\cos\varphi=0$, за индуктивно и капацитивно оптерећење, као и при $\cos\varphi=1$.



Слика 35. Карактеристике оптерећења за различито $\cos\varphi$ [4]

Такође, битно је напоменути да је једино карактеристика реактивног оптерећења готово паралелна са карактеристиком празног хода.

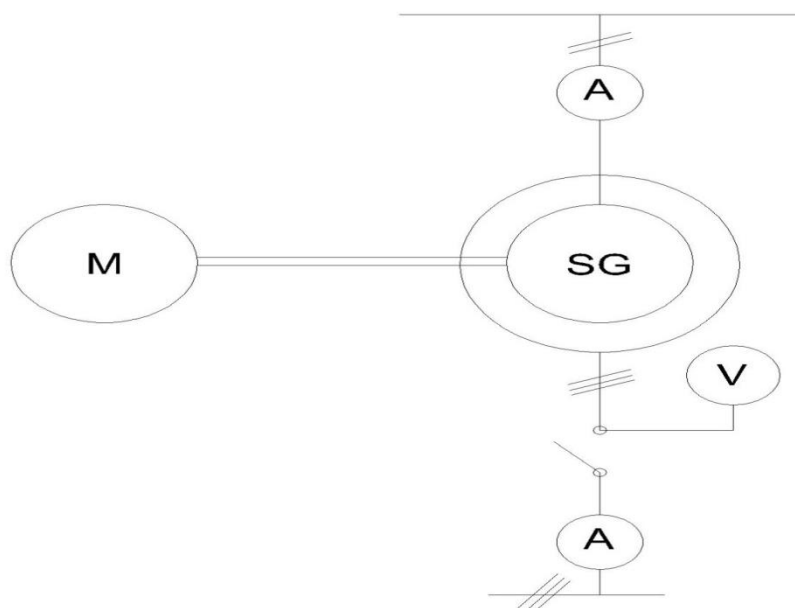
4.4. Спољна карактеристика

Спољна карактеристика је крива која показује како се мења напон на крајевима генератора у функцији од струје оптерећења, при константној побудној струји, константном сачиниоцу $\cos\varphi=\text{const.}$ и константној брзини обртања, ондосно:

$$U=f(I) \text{ при } J=\text{const.}, \cos\varphi=\text{const.} \text{ и } n=\text{const.} \quad (9)$$

Једнополна шема за одређивање спољне карактеристике је приказана на слици 36.

Поступак за снимање спољне карактеристике је следећи: прво се подеси струја побуде при празном ходу да је е.м.с. једнака нормалном напону ($E_o=U_n$), затим се генератор оптерећује све већом струјом, при сталном сачиниоцу снаге $\cos\varphi=\text{const.}$, услед чега напон све више опада, све док не дође вредност напона која је једнака нули, чиме се прелази у устаљено стање кратког споја.

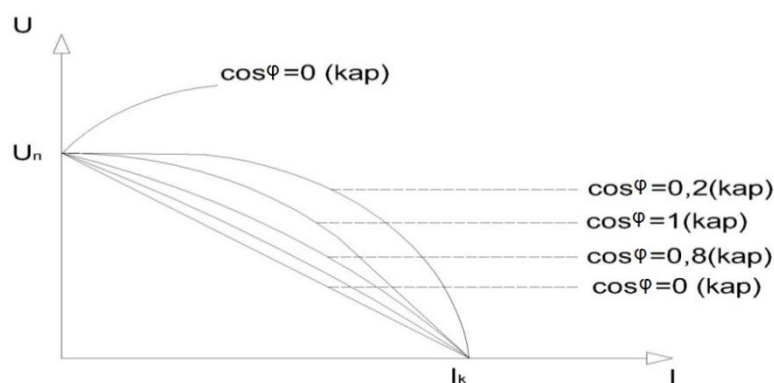


Слика 36. Једнополна шема за одређивање спољне карактеристике [4]

Како сачинилац снаге $\cos\varphi$ може имати различите вредности, то су на слици 37. приказане спољне карактеристике при $\cos\varphi=0,8$ и $\cos\varphi=0$, за индуктивно и капацитивно оптерећење, као и при $\cos\varphi=1$.

Ако анализирамо карактеристике, јасно је следеће:

- при индуктивном оптерећењу са порастом струје оптерећења повећава се и поље које ствара струја статора, односно повећава се утицај магнетне реакције индукта. Код индуктивног оптерећења магнетна реакција индукта је демагнетишућег карактера, па се умањује резултатно поље које директно утиче на смањење вредности напона;
- при капацитивном оптерећењу са порастом струје оптерећења повећава се и поље које ствара струја статора, односно повећава се утицај магнетне реакције индукта. Код капацитивног оптерећења магнетна реакција индукта је магнетишућег карактера, па се резултатно поље повећава што директно утиче на повећање вредности напона.



Слика 37. Спољне карактеристике при различитим сачиниоцима снаге [4]

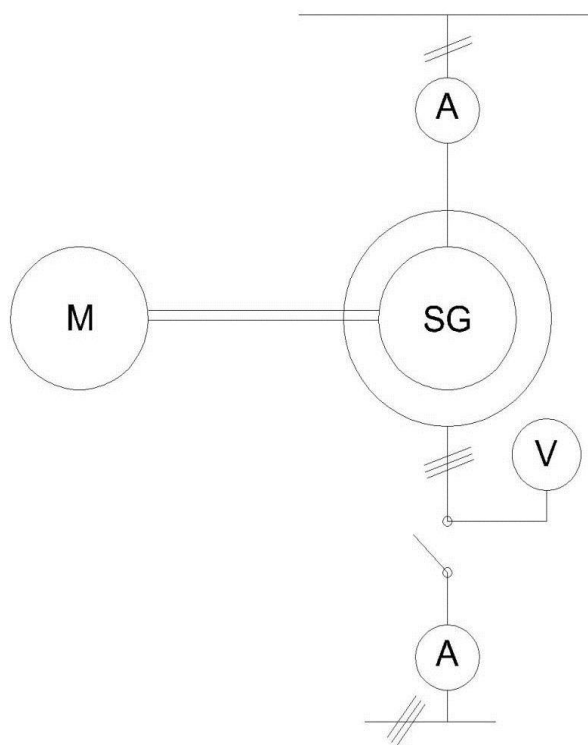
4.5. Карактеристика регулације

Карактеристика регулације (карактеристика побудне струје) је крива која показује како се мења побудна струја у функцији од струје оптерећења, при константном напону на крајевима генератора, константном сачиниоцу снаге $\cos\varphi = \text{const.}$ и константној брзини оптерећења односно:

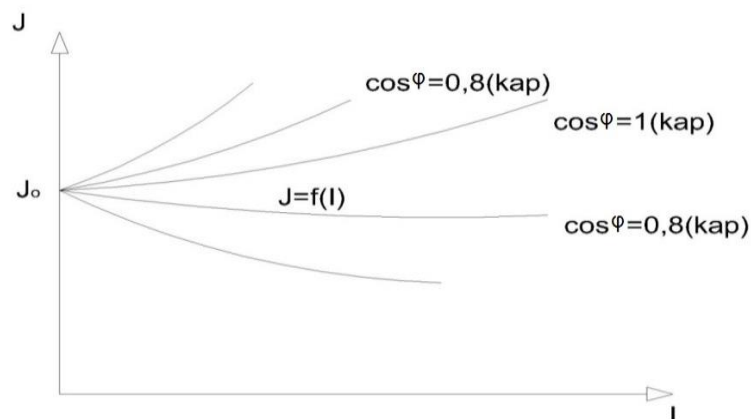
$$J = f(I) \quad \text{при} \quad U = \text{const.}, \quad \cos\varphi = \text{const} \quad \text{и} \quad n = \text{const.} \quad (10)$$

Једнополна шема за одређивање карактеристике регулације је приказана на слици 38.

Поступак за снимање карактеристика регулације је следећи: прво се подеси побуда струје J_0 (при празном ходу, на пример) при којој је $E_0 = U_n$, затим се генератор оптерети неким оптерећењем при одређеном сачиниоцу снаге. Услед оптерећења напон опада (при индуктивном оптерећењу), па се побудна струја мора повећати док напон не достигне нормалну вредност.



Слика 38. Једнополна шема за одређивање карактеристике регулације [4]



Слика 39. Карактеристике регулације при различитим сачиниоцима снаге [4]

Како сачинилац снаге $\cos\varphi$ може имати различите вредности, то су на слици 39. приказане карактеристике регулације при $\cos\varphi=0,8$ и $\cos\varphi=1$, за индуктивно и капацитивно оптерећење као и при $\cos\varphi=1$.

Ако анализирамо карактеристике, јасно је следеће:

- при индуктивном оптерећењу са порастом струје оптерећења повећава се и поље која ствара струја статора, односно повећава се утицај магнетне реакције индукта. Код индуктивног оптерећења магнетна реакција индукта је демагнетишућег карактера тако да се напон смањује, па је неопходно повећати побудну струју да би се испунио услов $U=U_n$;
- при капацитивном оптерећењу са порастом струје оптерећења повећава се и поље које ствара струја статора, односно повећава се утицај магнетне реакције индукта. Код капацитивног оптерећења магнетна реакција индукта је магнетишућег карактера, тако да се напон повећава, па је неопходна мања струја побуде да би се добило $U=U_n$.

4.6. Карактеристика степена искоришћења

Да би се дефинисала карактеристика степена искоришћења треба напоменути да је то карактеристика која даје зависност степена искоришћења η од карактеристике снаге P , а при сталном сачиниоцу снаге ($\cos\varphi=\text{const}$).

Степен искоришћења се дефинише као:

$$\eta = \frac{P}{P'} \quad (11)$$

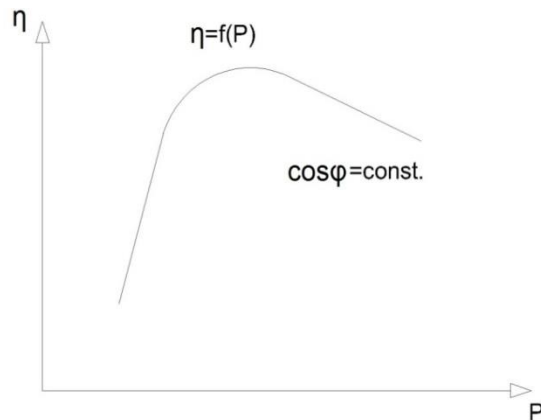
где је:

P - корисна снага;

P' - утрошена снага.

Међутим, много је лакше мерити корисну снагу јер је она електрична (мери се снага која се предаје на излазу из генератора) тако да се утрошена снага дефинише као корисна снага увећана за снагу свих губитака P_Y .

Карактеристика степена искоришћења $\eta = f(P)$ при $\cos\varphi = \text{const.}$ је облика као на слици 40.



Слика 40. Карактеристика степена искоришћења [4]

4.7. Погонска карта синхроног генератора

Погонска карта дефинише дозвољену област радних режима синхроног генератора у P - Q равни, при константном напону на прикључним крајевима генератора. За одређивање погонске карте потребно је дефинисати основне податке о синхроној машини, као и скуп ограничења која дефинишу могуће радне режиме генератора. [13]

Основни подаци о синхронном генератору су:

$$S_n = \frac{P_n}{\cos \varphi_n} \quad (12)$$

➤ номинална привидна снага дефинисана је као трофазна и креће се у опсегу од неколико стотина kVA до неколико хиљада MVA;

$$P_n = P_{Tn} \eta_n \quad (13)$$

➤ номинална електрична активна снага (P_{Tn} - номинална корисна снага турбине и η_n -номинални степен искоришћења генератора);

$$U_n \quad (14)$$

➤ номинални напон дефинисан је као међуфазни и може имати следеће вредности: 3,15kV; 6,3kV; 10,5kV; 15,75kV и 21kV. Ови напони су стандардизовани и представљају за 5% увећане стандардне мрежне напоне. На данашњем степену технолошког развоја не граде се генератори са номиналним напоном већим од 21kV, јер би такви генератори били прескупи;

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n} \quad (15)$$

➤ номинална струја генератора;

$$\cos \varphi_n = \frac{S_n}{(P_n^2 + Q_n^2)^{0,5}} \quad (16)$$

➤ називни фактор снаге одређује способност генератора да производи реактивну снагу. Генератор са мањим фактором снаге има већу номиналну реактивну снагу (Q_n) у односу на номиналну активну снагу (P_n), те му је и цена већа. Номинални фактор снаге генератора креће се у опсегу од 0,6 до 0,95. Синхрони генератор је најјефтинији извор реактивне снаге

$$n_n \quad (17)$$

➤ номинална брзина обртања креће се од неколико десетина обртаја у минути до 3000 (o/min) за генераторе инсталисане у 50Hz електроенергетском систему и зависи од броја полова генератора.

5. ТРАНСФОРМАТОРИ

Трансформатор је једноставан електрични уређај, од виталног значаја за пренос енергије високог напона, који обезбеђује уштеду током преноса енергије на велике даљине. Једноставност и поузданост трансформатора и економичност трансформације напона у њему су основни фактори који га чине погодни за широку примену.

Трансформатор је статички електротехнички апарат који, помоћу електромагнетне индукције, претвара један систем наизменичних струја у један или више система наизменичних струја исте учестаности и обично различитих вредности струја и напона. Улога трансформатора у електроенергетском систему је веома значајна јер омогућује економичну, поуздану и безбедну производњу, пренос и дистрибуцију електричне енергије. [6]

Дакле, његовом применом се, уз веома мале губитке енергије, решавају проблеми разних напонских нивоа и међусобне изолованости кола које се налазе на различитим напонским нивоима.

То су уређаји где се врши трансформација напона. Из електрана се ел енергија врло високог напона доводи разводних трансформаторских станица, где се напон обично снижава на 35, 110, 220, 380 kV, а затим се далеководима разноси у насеља. Такође даље постоје опет трафостанице у којима се напон снижава на 10 kV и као такав се даље разводи. Посљедње снижавање напона се обавља у локалним трансформаторима и то на напон 380 и 220 V што одговара за рад ел. пријемника.



Слика 41. Трофазни дистрибутивни трансформатор [14]

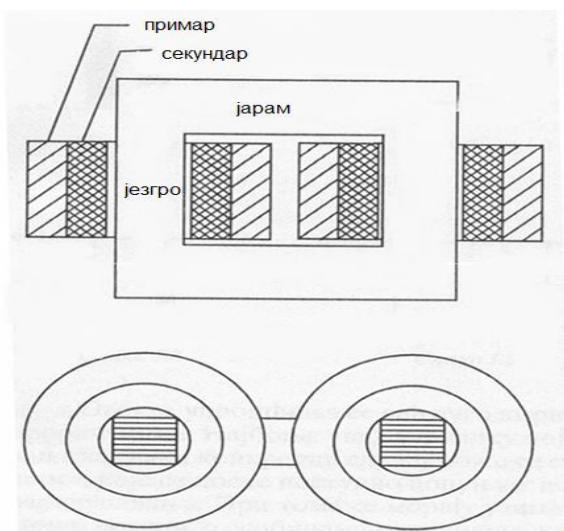
5.1. Основни елементи конструкције трансформатора

У погледу конструкције, трансформатор се састоји из следећих основних делова:

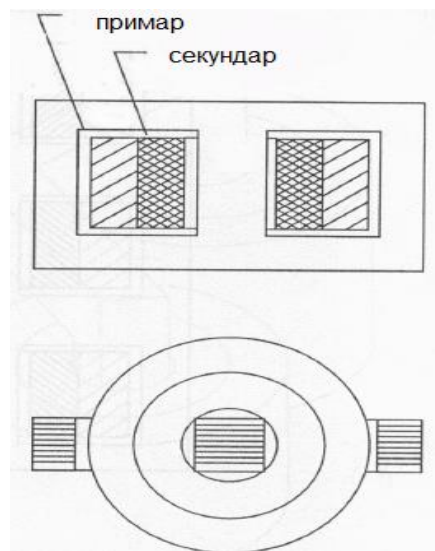
- магнетског кола,
- намотаја,
- изолације,
- трансформаторског суда,
- помоћних делова и прибора.

Магнетско коло се гради од висококвалитетних хладноваљаних оријентисаних трансформаторских лимова. Да би се смањила струја магнећења (побудна струја) тежи се узимању што квалитетнијег лима, са великом релативном пермеабилношћу, и примењују се одговарајућа конструкциона и технолошка решења у изради магнетског кола. Ради смањења губитака услед вртложних струја, користе се међусобно изоловани лимови мале дебљине (0,30 , 0,27 и 0 , 23 mm). Основни физички елементи магнетског кола су стубови (језгра), око којих су смештени намотаји и јармови (доњи и горњи). Стубови имају степеничasti облик и попуњавају се пакетима лимова одговарајуће ширине, како би испунили простора описаног круга било што боља. [6]

Код трансформатора великих снага, у језгра се стављају канали ширине (6 mm) и према потреби један попречни (ширине 10 – 15 mm), како би кроз њих могло да циркулише уље и хлади магнетско коло. Магнетско коло се притеже одговарајућим стезним системом како би се добила што боља механичка компактност.

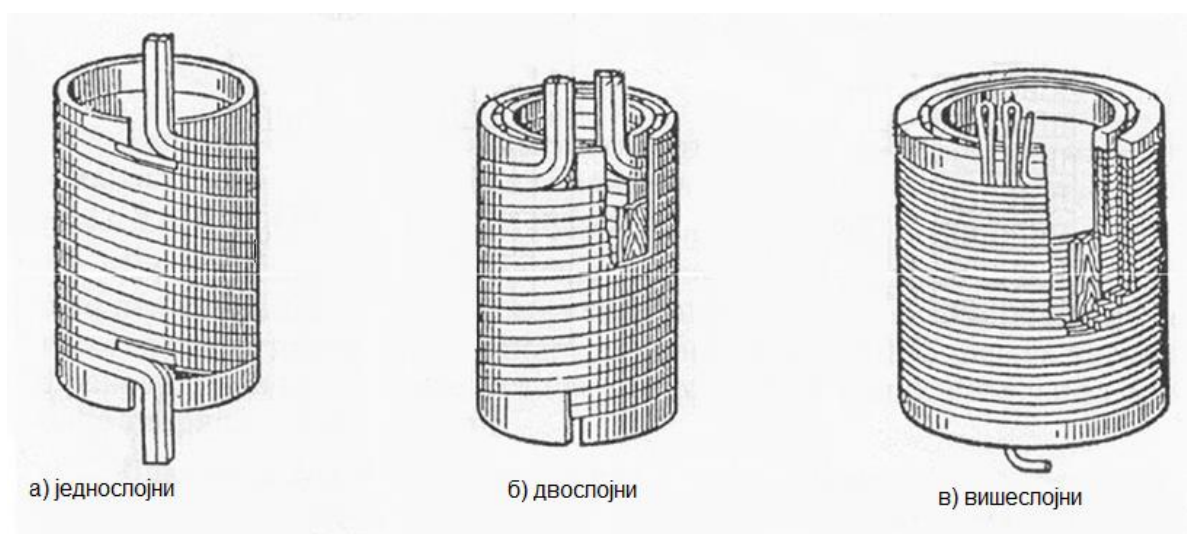


Слика 42. Магнетно коло са језгрима [6]



Слика 43. Магнетно коло у облику оклопа [6]

Намотаји се праве од округлог, профилног или тракастог проводника од бакра или алуминијума, материјала који имају мали електрични отпор. Намотај који се прикључује на напајање се назива примар, док се намотај који је спојен на пријемник назива секундар. Основни облици намотаја према начину израде су: једнослојни, двослојни и вишеслојни.

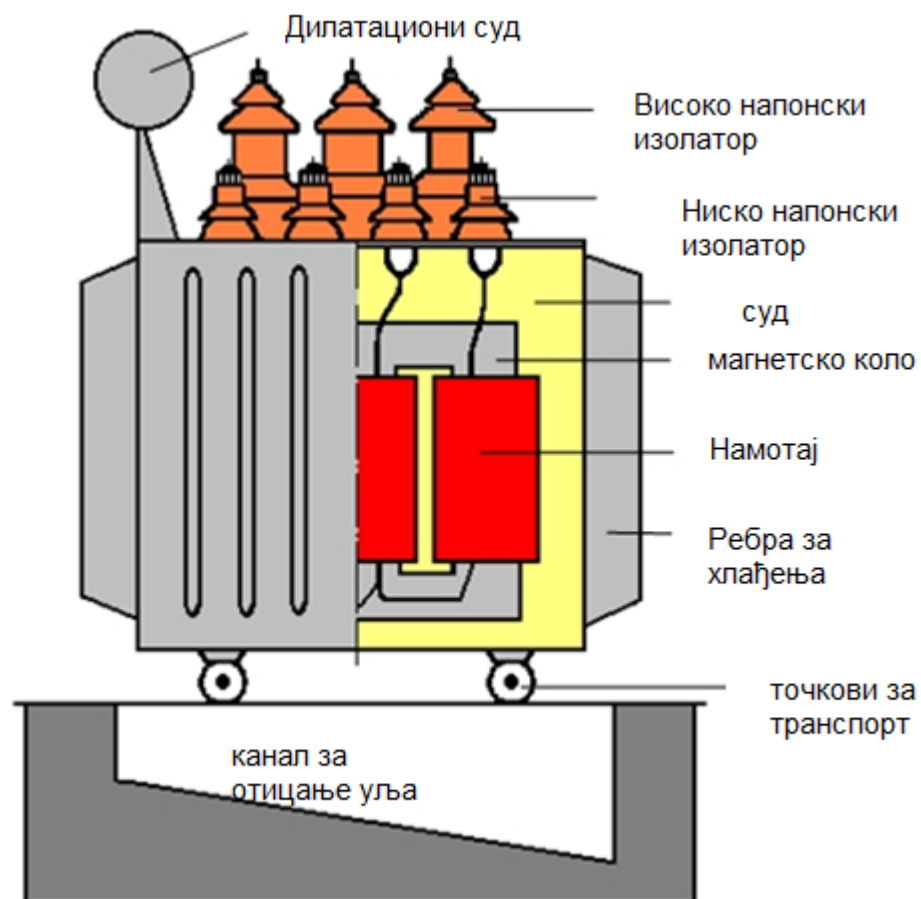


Слика 44. Цилиндрични или џевни намотаји [6]

Изолација представља комбинацију целулозе (папир, прешпан) и изолационог уља у случају уљних трансформатора, односно чврсте изолације (стаклене тканине импрегниране епоксидним, силиконским или другим синтетичким смолама) у комбинацији са ваздухом код сувих трансформатора (до 36 kV). Изолационо (трансформаторско) уље, осим побољшања изолационих својстава, обезбеђује и хлађење трансформатора, јер због свог великог специфичног топлотног капацитета много боље одводи топлоту са магнетског кола и намотаја на суд и расхладни систем. Међутим, треба имати у виду да је уље запаљиво и да лако гори. Изолација проводника је најчешће лак или папир.

Трансформаторски суд постоји код уљних трансформатора и израђује се од квалитетног челика са ојачањима. Облик суда зависи од начина хлађења, па бочне стране могу бити глатке, валовите или са цевима за хлађење.

Помоћни делови и прибор трансформатора: натписна плочица, проводни изолатори за повезивање са мрежом, дилатациони суд (конзерватор), регулатор напона, прикључак за уземљење, цеп термометра показивач нивоа уља, славина за испуштање уља, итд.

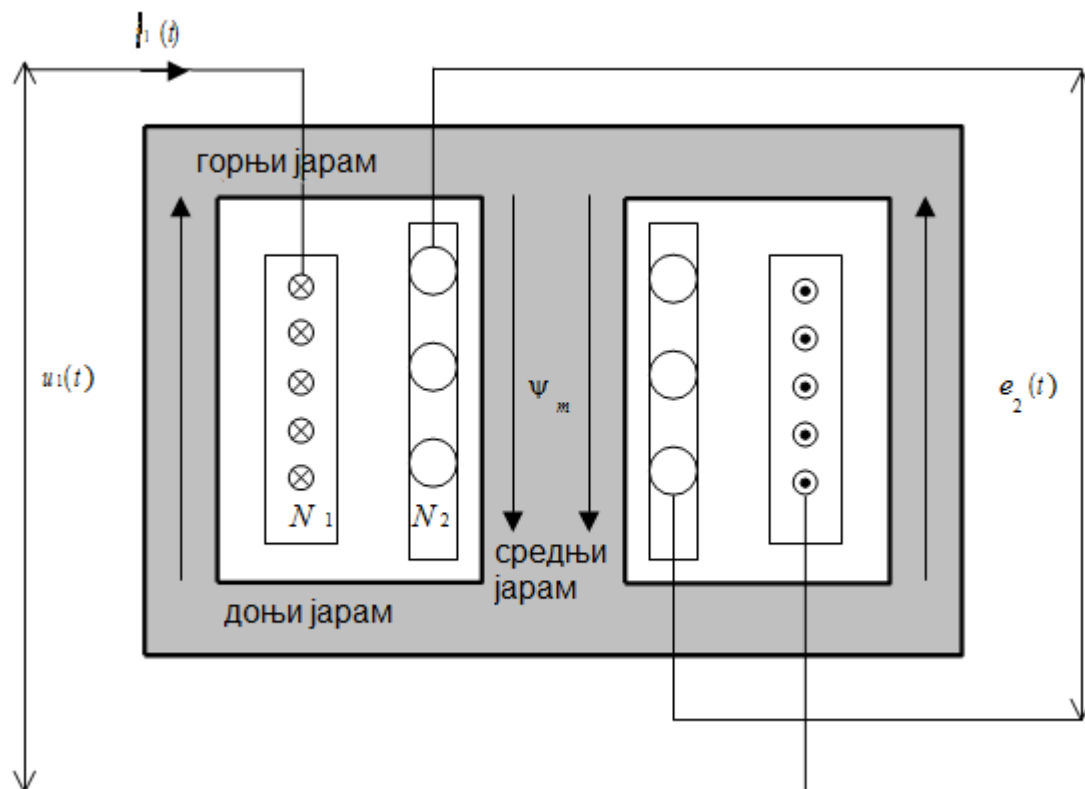


Слика 45. Основни делови трансформатора [14]

5.2. Принцип рада трансформатора

На примарни намотај трансформатора доводи се електрична енергија у облику наизменичног напона, која у магнетно спрегнутом секундарном намотају индукује одговарајућу наизменичну електромоторну силу, односно струју, која се користи за напајање пријемника. Дакле, примарни намотај се понаша као пријемник, док се секундарни намотај понаша као извор електричне енергије.

5.2.1. Празан ход идеалног трансформатора



Слика 46. Једнофазни трансформатор језграсног типа у празном ходу [6]

Претпоставке којима ћемо се служити у анализи празног хода идеалног трансформатора су:

- сав флуks обухвата обадва намотаја (расипни флуksеви примарног и секундарног намотаја једнаки су нули и сваки завојак обухвата исти флуks).
- магнетски отпор гвозденог кола не постоји,
- губитака у гвожђу нема

Магнетски флуks се дели на две половине кренувши од средњег ка крајњим стубовима. Означимо активни пресек средњег ступа магнетског кола са S_{Fe} .

Ако на прикључке примарног намотаја прикључимо напон:

$$u_1(t) = \sqrt{2}U_1 \sin \omega t \quad (18)$$

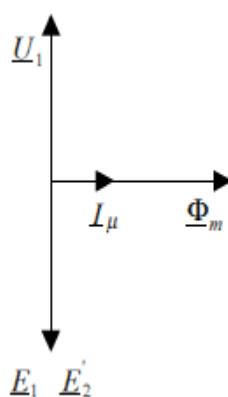
У њему ће се успоставити наизменична струја магнетисања $i_\mu(t)$ чији се смер одређује помоћу правила десне руке (или десне завојнице), а која ће по Фарадејевом закону индуковати против напон $e_1(t)$:

$$e_1(t) = -\frac{d\Psi_1}{dt} = -\frac{d\Psi_m}{dt} \quad (19)$$

Где је Ψ укупни магнетски флуks примарног намотаја а, укупни заједнички магнетни флуks.

Код цртања еквивалентне шеме и фазног дијаграма претпостављено је да су примарни и секундарни намотај намотани у истом смеру око магнетског стуба, тада променљиви магнетни флуks индукује између почетног и крајњег прикључка примарног и секундарног намотаја напона истог смера. Додатно, пошто су, у општем случају, назначени напони примарног и секундарног намотаја различити, потребно је све величине свести (редуковати, трансформисати) на један од напона, обично примарног. За сведену ефективну вредност e_{m2} секундарног намотаја, E'_2 имамо:

$$E_2 = \frac{N_1}{N_2} E_1 \quad (20)$$



Слика 47. Фазорски дијаграм величина у празном ходу [6]

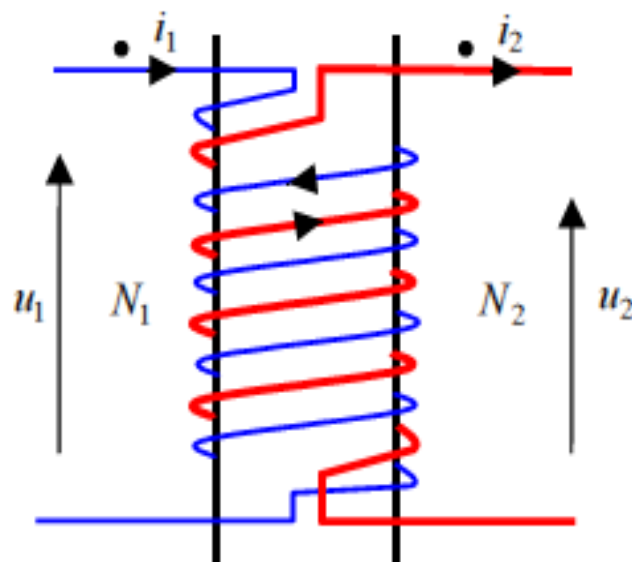
5.2.2. Оптерећење идеалног трансформатора

При анализи оптерећеног идеалног трансформатора претпоставићемо да:

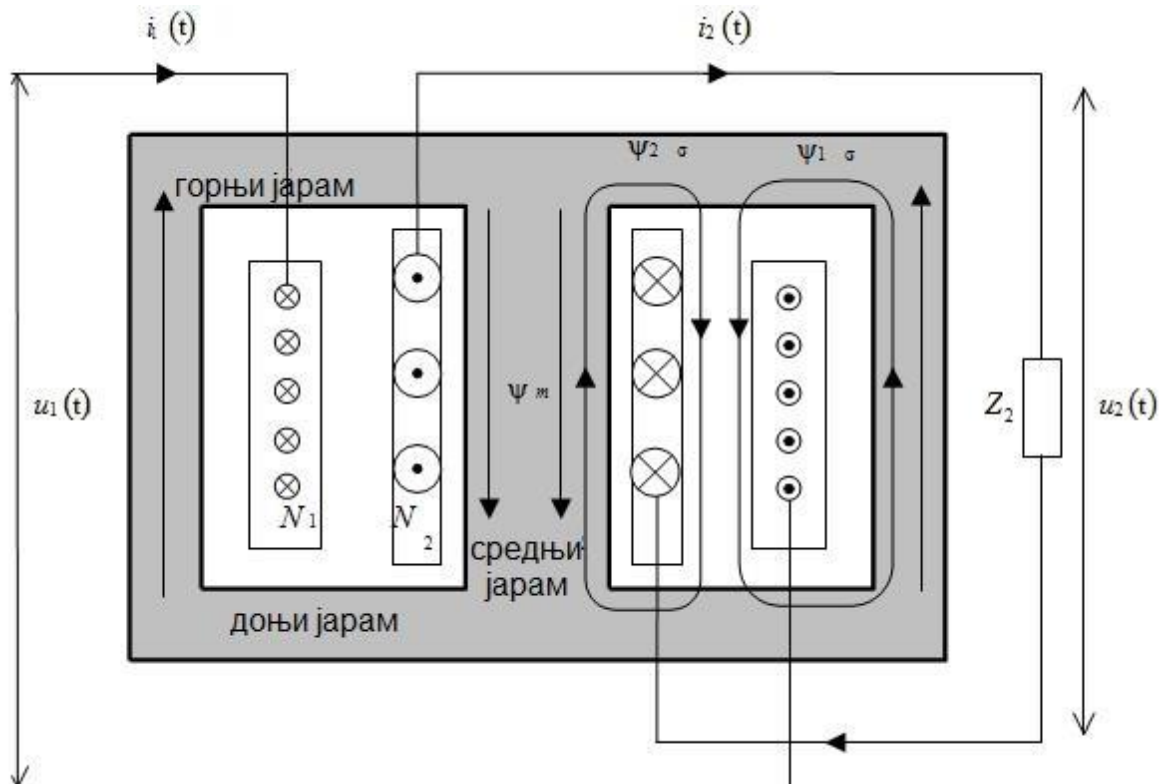
- магнетски отпор гвозденог кола не постоји
- губитака у гвожђу нема.

По оптерећењу пријемником импедансе Z_2 , успостави се струја у секундарном намотају i_2 , која ствара амперзавојке $N_2 I_2$. Смер индуковане струје у секундару је такав да својим флуksom тежи да поништи флуks који ју је изазвао. Ради лакшег сналажења, прописима су дефинисане ознаке за прикључке примарног и секундарног намотаја истог поларитета. Између истоимених прикључака се индукује напон исте фазе. Практично правило: почетак примара је прикључак у који струја улази, а за секундар прикључак из којег струја излази. Резултантни ампернавојци произлазе из утицаја примарних и секундарних ампернавојака, односно смера мотања ових намотаја. На слици је приказан случај са поништавањем деловања примарног и секундарног намотаја код стварања магнетског поља, за који вреди следећа једначина (21) ампернавојака.

$$N_1 I_1 - N_2 I_2 = N_1 I_\mu \quad (21)$$



Слика 48. Резултанти намотај [6]



Слика 49. Једнофазни трансформатор језгратог типа магнетског кола у оптерећењу [6]

Хоћемо да се диференцијалне једначине напишу тако, да примарни и секундарни напон имају исту фазу, те да се као позитивне рачунају примарна струја која улази у почетак примарног намотаја и секундарна струја која излази из почетка секундарног намотаја, што је у складу са појмом извора и пријемника. Диференцијалне једначине напонске равнотеже написане за примарно и секундарно електрично коло трансформатора, за случај приказан на слици 49. имају следећи облик:

$$u_i = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \quad (22)$$

У случају помагања деловања ампернавојака примарног и секундарног намотаја предзнак члана напонске једначине који садржи међуиндуктивност био би позитиван.

5.3. Преносни однос

По дефиницији из прописа преносни однос (однос трансформације), m , представља однос назначених напона U_1 примарног и секундатног намотаја U_2 истакнутих на натписној плочици. [6]

$$m_{12} = U_{1n}/U_{2n} \quad (23)$$

Преносни однос који се добија мерењем у празном ходу је функција односа броја набојака.

$$m' = kN_1/N_2 \quad (24)$$

и он обично сме да одступа од декларисаног за $\pm 0,5\%$.

6. ДАЛЕКОВОДИ

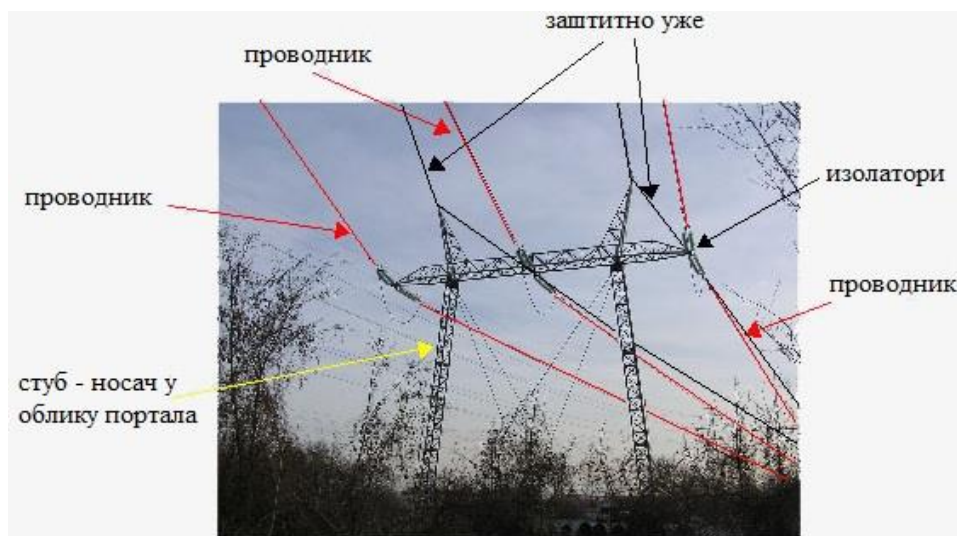
Безбедно и ефикасно снабдевање електричном енергијом не подразумева само ефикасну производњу енергије. Неопходно је да и пренос енергије од електране до потрошача у сваком тренутку функционише беспрекорно.

Да би могла да пређе пут до наших домова, електрична енергија у почетку мора да има напон најмање 1000 пута већи од оног на који раде наши кућни апарати.

Кроз моћне далеководе, електрична енергија путује од хидроелектрана и термоелектрана до удаљених постројења која се зову трансформаторске станице. У трансформаторским станицама висок напон електричне енергије се снижава до нивоа на којем раде наши кућни апарати - 220 волти.

Далеководи су дебела плетена ужад од бакра или алуминијума, са језгром од челика. Жице далековода су прикључене на високе армирано бетонске стубове и то не директно већ преко изолатора, који не проводе ел. енергију и израђују се од керамике.

Под далеководом ћемо подразумевати скуп свих делова који служе за надземни пренос и развод електричне енергије. Њега чине: проводници, заштитна ужад, земљоводи, уземљивачи, изолатори, носачи, конзоле, стубови и темељи. Три проводника под напоном чине трофазно енергетски вод. Далековод може имати један енергетски вод (три проводника) или два енергетска вода (шест проводника). Поред њих, на врховима стубова, у зависности од њихове конструкције, могу бити једно или два заштитна проводна ужета. Она су на потенцијалу земље и служе за заштиту од атмосферских пражњења. [16]

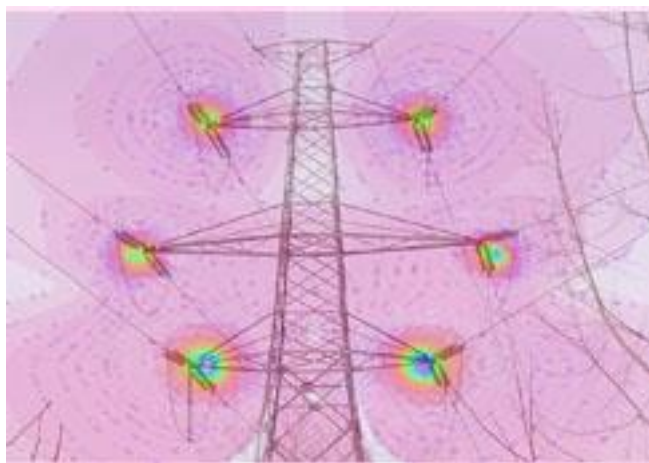


Слика 50. Далековод - енергетски вод на стубу у облику портала. Вод чине три фазна проводника (црвени). Од атмосферских пражњења вод је заштићен са два заштитна ужета (црна) која су уземљена, а постављена су на врховима стуба [16]



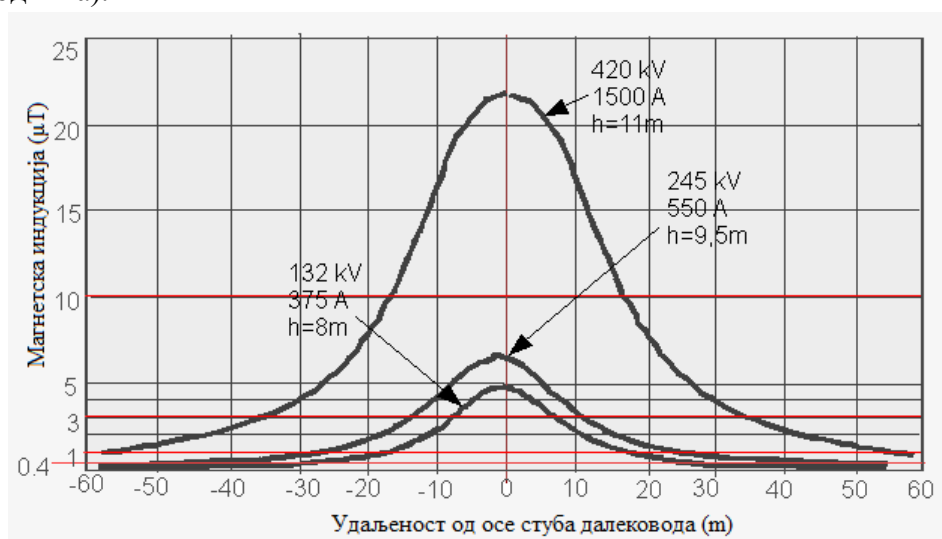
Слика 51. Далековод са стубом који носи два енергетска вода (црвени и плави) који су заштићени једним заштитним ужетом (црно) [16]

Електричне струје које теку проводницима далековода стварају магнетско поље фреквенције 50 Hz . Ниво магнетске индукције поља, сваког од проводника, зависи од јачине струје кроз тај проводник. Ниво магнетског поља у околини далековода је векторски број магнетских поља које стварају проводници. То значи да резултантно магнетско поље, у некој тачки, зависи од удаљености те тачке од проводника, али и од међусобног положаја и међусобне удаљености проводника далековода. На слици 52. је, на основу нумеричког прорачуна, дата визуелизација магнетског поља за дефинисан временски интервал. Слика се из тренутка у тренутак мења јер се мењају и вредности струја које стварају магнетско поље.



Слика 52. Нумеричка симулација магнетског поља око проводника далековода. Стуб носи два вода (шест проводника) [16]

Дијаграм на слици 53. Показује како се, удаљавањем од далековода, мења ниво магнетске индукције. Вредност су за три различита далековод са дефинисаним струјама и висином најнижег проводника. Сваки стуб носи по један енергетски вод (три проводника).



Слика 53. Расподела поља око три различита далековода. h - висина најнижег проводника вода. [16]

Као и многи други системи, тако и далеководи, у одређеним околностима, могу да угрозе људе, њихову имовину и послове које реализују. Због те чињенице, предузимају се одрђене мере како би се такве могућности смањиле на најмању меру. У Србији је граница излагања становништва магнетним пољима фреквенције 50 Hz, одређена вредност од 40 μT .

Упоредивајући граничне вредности у Србији са минималним вредностима из препоруке Европске Уније (100 μT), може се закључити да су становници у Србији квалитетно заштићени. Међутим у односу на неке друге земље, као на пример, Словеније (10 μT), Италије (3 μT), Швајцарске (1 μT), Холандије (0,4 μT - средње годишње излагање), закључак би био другачији. Државе које су наведене као пример, под утицајем резултата новијих епидемиолошких истраживања, прихватиле су могућност да се негативни ефекти излагања магнетским пољима од 50 Hz, могу појавити након дужег излагања нивоима поља који су вишеструко нижи од граница дефинисаних у препоруци Европске Уније (100 μT). [16]

ЗАКЉУЧАК

У овом раду је обрађена тема основних елемената електроенергетског система. Приказане су електране њихова подела карактеристике и примена, најпре су дате основне релације које се односе на електромеханичко претварање енергије а затим и принцип рада. У оквиру хидроелектрана и термоелектрана обрађени су синхрони генератори као и генератори једносмерне струје.

Синхроне машине се углавном користе као генератори у електранама, пошто се као мотори данас користе јефтиније и простије асинхроне машине, управо због високе цене праве се у малим серијама.

Недостаци синхроног генератора су: висока цена, сложеност конструкције, тешко одржавање, робусност.

Предности синхроног генератора су: поузданост и сигурност у раду, дуг век трајања.

Генератори једносмерне струје (једносмерне машине) су због својих веома добрих функционалних карактеристика некада представљали често решење у електричним постројењима и погонима. Због веће цене, сложенијег и скупљег одржавања, мање поузданости и краћег века трајања, данас се мотор једносмерне струје све више потискује од стране јефтинијих, једноставних и робустних електричних мотора за наизменичну струју управљаних микропроцесорима и напајаних енергетском електроником.

С обзиром на то да ове машине допуштају континуалну промену брзине окретања, имају велики момент у тренутку пуштања у рад, налазе примену у транспорту, аутоматици, аутомобилима итд.

Када се говори о трансформатору његов основни дизајн, материјали и принципи су се мало променили у последњих сто година, али опет, дизајн трансформатора и материјали настављају да се унапређују.

Трансформатори долазе у распону од малих трансформатора сакривених у микрофонима до циновских трансформатора снаге гигавата који се користе да повежу велике делове националних мрежа, али сви раде на истим основним принципима и са великим сличностима у деловима. Предности трансформатора су поузданост у раду, дуг век трајања, релативно једноставно одржавање док су недостаци висока цена...

Под далеководом се подразумева скуп свих делова који служе за пренос и развод електричне енергије. Основна улога далековода је да безбедно и ефикасно изврши пренос енергије од извора до потрошања.

Скуп међусобно повезаних електроенергетских елемената: електрана, разводних постројења, трансформаторских станица и електроенергетских водова, изграђених на територији на којој су лоцирани потрошачи и у њеној ближој околини имају циљ да обезбеде потребне количине електричне енергије за све технолошке процесе код потрошача.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Љубомир Стојковић - Електричне машине, Београд 1960.
- [2] A. E. Fitzgerald, Sc. D. , Jackson and Moreland, Boston, Massachusetts; formerly Associate Professor of Electrical Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- [3] Живомир М. Петронијевић - Електотехника, Београд 1986.
- [4] Јерослав М. Живанић, Владимир Остраћанин, Љубинко Филиповић - Машине III, Чачак 2010.
- [5] Мирослав Бенишек - Хидрауличне турбине, Машински факултет у Београду 1998.
- [6] Ђ. Калић - Трансформатори, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1991.
- [7] Н. Николић - Електротехника , Научна књига , Београд 1989.
- [8] Јасна Радуловић - Електротехника са електроником, Машински факултет у Крагујевцу, 2011.
- [9] <http://wordpress.com/производња-трансформација-и-пренос-е/> (октобар 2013.)
- [10] <http://sr.wikipedia.org/sr/Хидроелектрана> (октобар 2013.)
- [11] <http://sr.wikipedia.org/wiki/Термоелектрана> (октобар 2013.)
- [12] http://sh.wikipedia.org/wiki/Sinhroni_motor (октобар 2013.)
- [13] http://damirvets.tripod.com/sinh_gen.pdf (октобар 2013.)
- [14] <http://sr.wikipedia.org/sr/Трансформатор> (октобар 2013.)
- [15] <http://www.etf.ucg.ac.me/materijal/1317970034I.pdf> (октобар 2013.)
- [16] <http://www.foti.co.rs/Dalekovod> (октобар 2013.)