

Факултет инжењерских наука
Универитета у Крагујевцу



Назив студиског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Модул: Енергетика и процесна техника
Предмет: Електротехника са електроником
Број индекса: 114/2009

Милан Трунић

Електроенергетски и електродистрибутивни системи

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Јасна Радуловић ред. проф. – ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да проучи препоручену, као и ширу литературу која се односи на електродистрибутивне и електроенергетске системе. Такође их треба анализирати и проучити. Кандидат треба да детаљно анализира све елементе система, као и принципе преноса енергије од произвођача до потрошача. Резултате на крају треба аналитички размотрити и извести одређене закључке.

Препоручена литература:

- [1] Миљанић П., Нахман Ј., Стојић М., Електроенергетски системи, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, Београд, 2006.
- [2] Радуловић Ј., Електротехника са електроником, Машински факултет Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2011.

Крагујевац, 2013

Ментор:
Др Јасна Радуловић ред.проф.

Електроенергетски и електродистрибутивни системи

Резиме: У овом раду је приказана структура и подела електродистрибутивних и електроенергетских система, њихов принцип рада и шеме њихове конструкције. Анализирани су сви елементи система, почевши од најкрупнијих па до најситнијих, као и принципи преноса енергије од произвођача па све до потрошача.

Рад је у основи усмерен ка бољем изучавању енергетских система и обучавању младих инжењера за веома озбиљну тематику обнове и реконструкције енергетских система која предстоји Србији у скорој будућности.

Кључне речи: Електроенергетски системи, електродистрибутивни системи, електрична енергија, енергетска ефикасност, водови, каблови.

Electrical power and power distribution systems

Summary: This paper describes the structure and division of power distribution and power systems, their working principle and scheme of their design. We analyzed all the elements of the system, starting from the largest to the smallest, as well as the principles of energy transfer from the producer through to the consumer.

The work is basically directed towards a better study of energy systems and the training of young engineers for the very serious topic of reconstruction of power system of Serbia that lies ahead in the near future.

Keywords: Electric power systems, power distribution systems, electrical Energies, energy efficiency, power lines, cables.

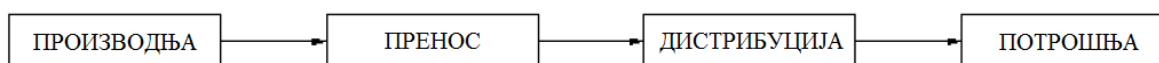
Садржај:

1. Увод	1
2. Основни елементи електроенергетских система	3
2.1 Номинални услови рада елемената електромагнетног система	5
2.2 Трофазни потрошачи	6
2.3 Трофазни водови	9
2.4 Трансформатори	12
2.5 Синхроне машине	14
2.6 Електроенергетска разводна постројења	16
3. Праћење и унапређење сигурности рада електроенергетског система Србије у његовом ширем окружењу	18
4. Подела Електродистрибутивних система	21
4.1 Градски EDS	21
4.2 Специфичности сеоских EDS	22
4.3 Индустриски EDS	23
5. Структура електродистрибутивних система	24
6. Подела електричних мрежа	27
7. Закључак	33
Литература	34

1 Увод

Електроенергетски систем се описује као сложени, динамички систем велике димензионалности, чија је превасходна функција да сигурно, поуздано и економично снабдева потрошаче са довољним количинама квалитетне електричне енергије.

Електроенергетски систем чине производња, пренос, дистрибуција и потрошња електричне енергије. Након што се електрична енергија произведе у електранама она се предаје потрошачима. Насеља, градови, кантони и цела држава испреплетени су електроенергетским водовима којима се преноси електрична енергија. [1]



Производња: Током рада генератори производе електричну енергију напона и до 25000 волти. Свеједно, након што је произведена у генератору, електрична енергија пролази кроз трансформатор, смештен у електрани, који јој мења напон од нижег напона на улазу у трансформатор у напон износа и до 1500000 V до 400000 V, тј. 400 kV) на излазу из трансформатора јер је пренос електричне енергије кориснији што је виши напони преноса.

Пренос: Водови и каблови за пренос електричне енергије начињени су од бакра или алуминијума јер су то материјали који имају мали електрични отпор. Разлог је што већи електрични отпор узрокује веће загревање водича, па се одређена количина електричне енергије изгуби као последица отпора преносних водова односно њеног претварања у топлотну енергију. Високонапонским преносним водовима електрична се енергија преноси до великих, високонапонских трансформаторских станица у којима се трансформира с највиших на нешто ниже напоне и затим одводи до трансформаторских станица смештених у близини индустрије и станбених објеката. Трансформаторске станице се називају дистрибутивне трансформаторске станице и у њима се електрична енергија и даље трансформише на још ниже напоне, на средње напоне. [2]

Дистрибуција: Из дистрибуцијских трансформаторских станица (попут приказане на слици 1), електрична енергија се, на различитим средњонапонским раздаљинама, разводи и употребљава за погон потрошача у индустрији, трамваја и осталих средстава јавног превоза, која погони електрична енергија, за напајање уличне јавне расвете и прометне сигнализације, као и за остале потрошаче. Коначно, у нашем суседству, постоје малени трансформатори смештени на стубове или у кућице у којима се електрична енергија трансформише на најниже напонске вредности које се користе у стамбеним објектима. Напон се трансформише са 10000 или 20000 V на 400 V (трофазно) тј. 230 V (једнофазно, тј. монофазно). Осим ваздушних водова за пренос електричне енергије, све се више користе и кабловски водови који се уклапају у

земљу. На тај се начин водови штите од временских непогода које могу оштетити или прекинути електрични вод.[1]

Потрошња: Након што се електрична енергија пренесе до стамбених објеката да би дошла до коначног потрошача, она мора проћи кроз бројило. Бројила су смештена у прикључном ормарићу, а запослени електроенергетских компанија читавају их и на темељу тих читања достављају стамбеним објектима рачуне за потрошену електричну енергију. Осим кроз бројило електрична енергија пролази и кроз осигураче који су такође смештени у прикључном ормарићу. Осигурачима се штите електрични уређаји и њихови корисници у случају кварова. У случају да осигурач прегори или избаци (ако је аутоматски) догодио се квар у инсталацији или у неком од потрошача. [2]



Слика 1: Дистрибутивна трансформаторска станица [2]

Електродистрибутивни систем (ЕДС) је скуп мђеусобно повезаних електроенергетских мрежа чија је функција да унутар припадне територије омогуће дистрибуцију електричне енергије од напојних тачака система (трансформаторске станице на граници пренос/дистрибуција) до прага појединачних или групних потрошача.

ЕДС-и могу да садрже и електране, тзв. сопствене електране, лоциране у близини потрошачког подручја (конзума). Такође, и потрошачи припадају ЕЕС-у, односно ЕДС-у. Стога се ЕДС може дефинисати и на следећи начин:

Електродистрибутивни систем је скуп међусобно повезаних електроенергетских објеката и уређаја: електрана, трансформаторских станица, разводних постројења, електроенергетских водова и потрошача електричне енергије, изграђених на територији на којој су лоцирани потрошачи и у њеној ближој околини са циљем обезбеђења потребне електричне енергије за све технолошке процесе код потрошача. [1]

2 Основни елементи електроенергетских система

Можемо издвојити четири основна конститутивна елемента савремених (наизменичних, трофазних) електроенергетских система: 1 - потрошачи, 2 - водови, 3 - трансформатори и 4 - генератори. После тога је приказан начин њиховог повезивања ради конституисања електроенергетског система.

Основни елементи електроенергетских система су:

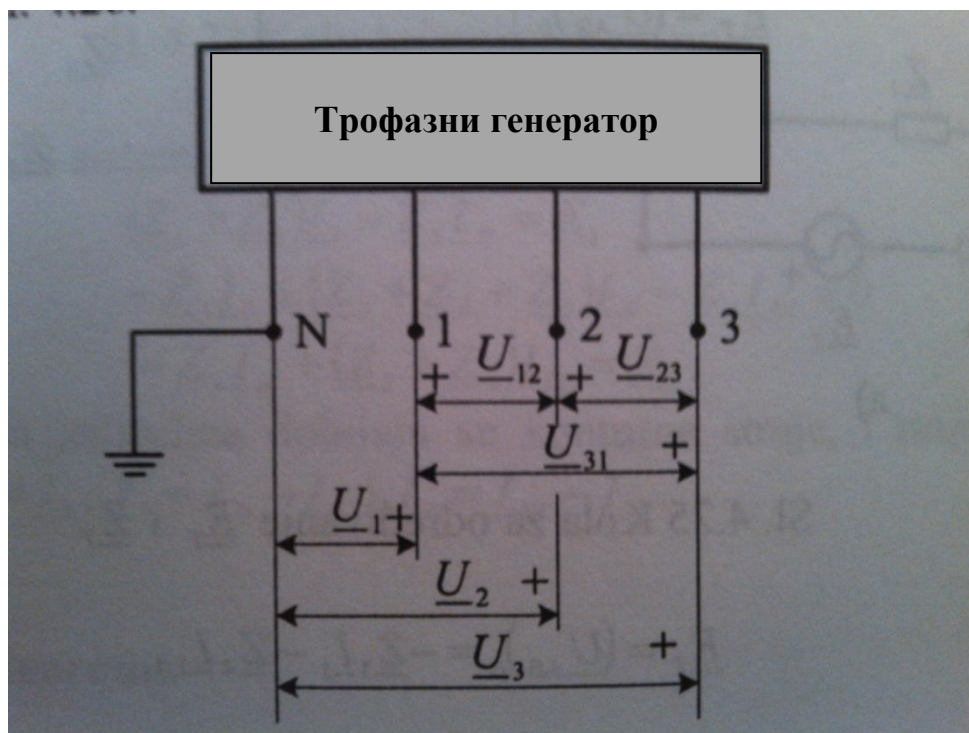
- Трофазни потрошачи
- Трофазни водови
- Трофазни трансформатори
- Трофазни синхрони генератори
- Трофазна електроенергетска разводна постројења.

Творац универзално прихваћеног трофазног система производња и употребе електричне струје је Никола Тесла, а 1888. година, један је од најзначајнијих датума у историји електротехнике. Прва електрана у којој је био примењен Теслин систем вишефазних струја, електрана на Нијагариним водопадима.

Трофазни системи служе за пренос електричне енергије од полифазних генератора до полифазних пријемника. Полифазни генератори имају q прикључака, фаза и један неутрални прикључак. Полифазни пријемници такође имају q прикључака и неутрални прикључак. Полифазна кола је први остварио Никола Тесла 1888. Године, и данашња електрификација у свету остварује се помоћу Теслиних полифазних струја.

Трофазни генератор наизменичне електромоторне струје чине три идентична равна намотаја који се обрћу истом угаоном брзином у хомогеном магнетном пољу.

Фазе трофазног система обележавају се на разне начине, 1, 2, и 3, А, В, и С, или R, Т и S. Уземљени прикључак назива се нула или неутрални прикључак. Напони U_1 , U_2 и U_3 називају се фазним напонима. Напони између фаза називају се међуфазним или линијским напонима.



Слика: Шематски приказ трофазног генератора [2]

Сва разматрања која следе заснована су на следећим претпоставкама:

- Електроенергетски систем, односно сваки његов трофазни елемент је конструисан као уравнотежен,
- Електроенергетски систем је у симетричном режиму на свим напонским нивоима осим на 0.38 kV.

На основу тих претпоставки следи:

1. Сваки трофазни елемент (осим оних на нивоу 0.38 kV) може се третирати монофазно, тј. распрегнути на три независна монофазна елемента (репрезента), и представити јединственом погонском еквивалентном шемом која се састоји од погонских параметара.
2. С обзиром да је реч о симетричном режиму електроенергетског система, односно сваког од његових елемената (изузимајући оне на напонском нивоу 0.38 kV), то нема повратне струје - струје кроз неутрални проводник н. Из тог разлога он је свуда изостављен и замењен земљом, осим на напонском нивоу 0.38 kV, где он постоји паралелно с њом.
3. Сви елементи електроенергетског система међусобно се прикључују трополно, осим на напонском нивоу 0.38 kV, где се то чини четворополно. [3]

2.1 Номинални услови рада елемената електромагнетног система

Сваки елемент је конструисан, изграђен за унапред изабране услове рада. Ти се услови зову *номинални* или *називни*. Они (услови) односе се на: 1- напон за који је елемент конструисан, номинални напон. Сагласно с тим напоном изабрана је изолација елемента. 2- на струју за коју је елемент конструисан, номинална струја. Сагласно с том струјом изабран је пресек проводника елемента. 3- на фреквенцији која одговара брзини обртања Теслиног електромагнетног обртног поља, номинална фреквенција, итд. Рад елемената у номиналним условима одговара оптималном компромису између његовог радног века и његовог степена искоришћења. То значи, нпр., да ако се елемент стави у радне услове с напоном знатно већим од номиналног, радикално се смањује његов радни век (страда изолација) и степен искоришћења. У радним условима с напоном мањим од номиналног, елемент ради с лошим степеном искоришћења. Ово се може илустровати примером који се односи на сијалицу за номинални напон од 220 V. Ако се она користи под напоном од 240 V, њен век ће се радикално смањити, а од осветљаја који је већи од оног који је установљен као потребан и довољан приликом избора снаге сијалице -- нема никакве користи, већ само штете исказане у виду повећане потрошње електричне енергије. Обрнуто, ако се сијалица користи под напоном од 180 V, тада је њен осветљај радикално слабији (њен век се непотребно "радикално" продужава), али се тада, уместо једне сијалице, морају укључити две ако се жели побољшати осветљај. Слично разматрање се може спровести и у вези с номиналном струјом неког уређаја. Ако се тај уређај користи с већом струјом од номиналне, тада се он греје преко толерантних граница, па његова изолација стари, односно његов се радни век смањује. Када је у питању фреквенција, нужно је установити њену номиналну вредност, општеважећу у времену и простору разматраног електроенергетског система. Она имплицира одговарајућу брзину Теслиног обртног електромагнетног поља, а оно пак, брзину обртања свих наизменичних електричних машина. Те машине се конструишу водећи рачуна управо о брзинама с којима ће се обртати, односно о фреквенцији с којом ће оне бити погођене. Осим електричних номиналних вредности, за електрични уређај се везују и друге номиналне величине. Нпр., за лифт, за његов погонски електрични мотор везује се номинални терет за који је он предвиђен, итд. У електроенергетском систему се тежи да је погон свих елемената што ближи номиналним условима. [3]

2.2 Трофазни потрошачи

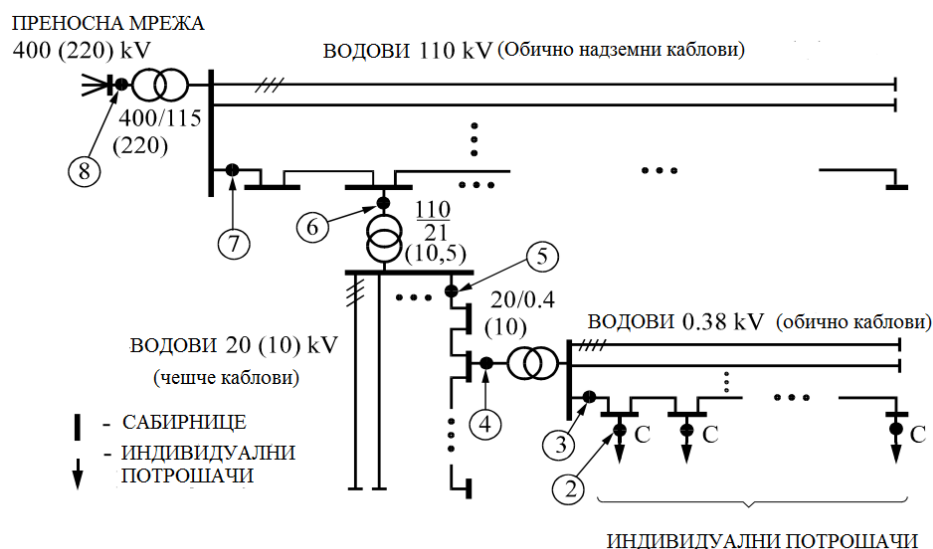
Потрошачи су уређаји за трансформацију електричне енергије у неки други облик, који потрошач користи.

Квантитативном интеграцијом, почевши од потрошача најнижег нивоа, могу се градити потрошачи све виших нивоа. Такво разврставање (класификација) по нивоима приказано је на слици 2 а.

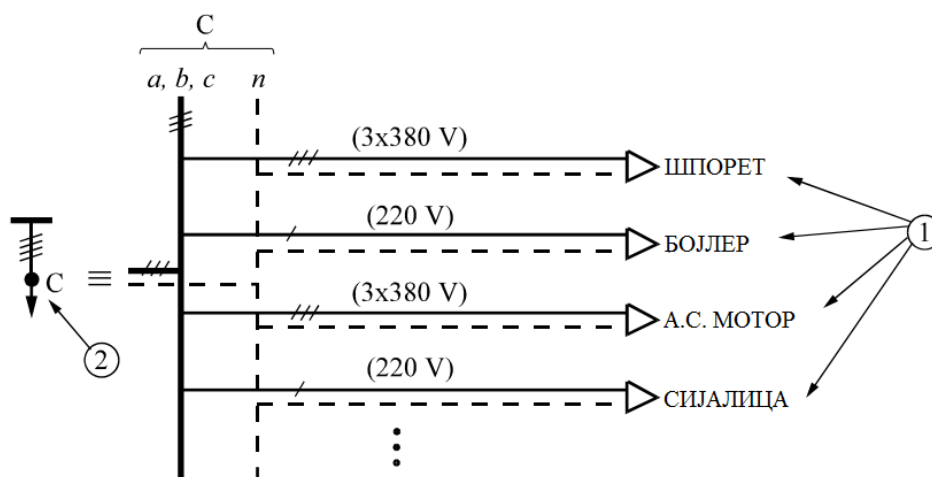
Елементарни потрошачи су најнижи ниво потрошње електричне енергије, односно потрошачи првог нивоа. То су сами уређаји (електрични апарати) за трансформацију електричне енергије у употребне облике (слика 2 б). Ти потрошачи могу бити монофазни (бојлер, сијалица, монофазни мотор,...) и трофазни (трофазни мотори,...).

Монофазни потрошачи се стављају у стање потрошње њиховим довођењем под напон једне фазе (било које) у односу на неутрални проводник (и земљу). До њих се, дакле, стиже с два проводника: фазни и неутрални ("нула") који је обично на потенцијалу земље. Чест је случај да су земља и неутрални проводник посебно изведени, па се до сваког елементарног потрошача стиже с три проводника: фазни, неутрални ("нула") и "земља"

Трофазни потрошачи се стављају у стање потрошње њиховим довођењем под напон све три фазе у односу на неутрални проводник (који овде може бити замењен земљом). До њих се, значи, стиже с 4 проводника (a, b, c и n). Типичан пример таквих потрошача су трофазни асинхрони мотори. То су типични уравнотежени инхерентно трофазни потрошачи. (И овде, слично као у случају монофазних потрошача, до тих потрошача се могу водити пет проводника ако су земља и неутрални проводник посебно изведени.).



Слика 2 а: Потрошачи разврстани по нивоима [3]



Тачка С представља бројило електричне енергије

Слика 2 б: Потрошачи разврстани по нивоима [3]

Овде је потребно направити дистинкцију између "монофазних потрошача који се прикључују трофазно" и напред описаних инхерентно трофазних потрошача (нпр., трофазни асинхрони мотори). Типичан пример првих су "трофазни шпорети" који се често трофазно прикључују на електричну инсталацију домаћинства. Електрични делови таквог шпорета (грејна тела) прикључују се на фазне напоне различитих фаза, па тако тај "трофазни шпорет" представља дефинитивно три монофазна потрошача прикључена на три фазе. Слична је ситуација и с "трофазним ТА пећима". И оне се често прикључују трофазно, тако што се по једно од три иста грејна тела прикључује на по једну фазу. А број грејних тела која су под напоном је ствар избора корисника пећи. Тако, у обе варијанте, ако се електрични апарати који нису инхерентно трофазни, ипак третирају као трофазни, тада су то неуравнотежени трофазни потрошачи, с неуравнотеженошћу која се мења.

Интеграцијом елементарних потрошача (монофазних и трофазних) у оквиру индивидуалног потрошача (домаћинство, радња, радионица,...), који се напајају електричном енергијом преко електричног бројила, добија се потрошач другог нивоа (слике 3.1а и б). У сваком случају, скуп "неколико" елементарних потрошача (нпр. у оквиру домаћинства) никако не чини уравнотежен потрошач. Дакле, потрошач другог нивоа је трофазни неуравнотежен потрошач

Интеграцијом свих потрошача другог нивоа који се напајају с истог вода (ређе ваздушног, а чешће кабла), добија се потрошач трећег нивоа (слика 3.1а). Дакле, трофазни вод 0.38 kV (3x380 V) трећи је ниво потрошача. Он није уравнотежен трофазни потрошач. Њега чине елементарни потрошачи (први ниво) интегрисани у индивидуалне потрошаче (други ниво), који се напајају електричном енергијом с тог вода. Водови 0.38 kV напајају се из одговарајућих трансформатора. Трансформаторских станица (TS): 20/0.4 или 10/0.4 kV/kV. Интеграцијом свих водова 0.38 kV, који се напајају из исте TS 20(10)/0.4 kV/kV, с обухваћеном TS, добија се

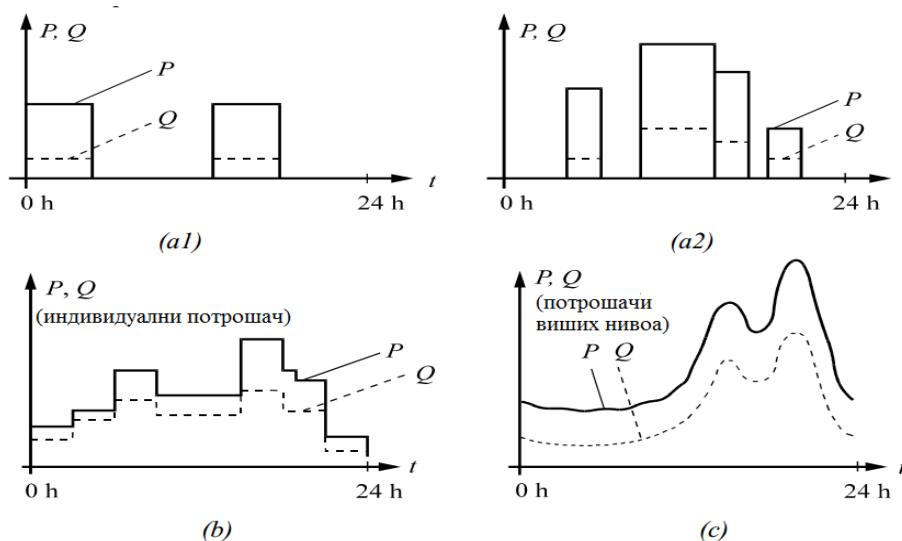
потрошач четвртог нивоа (слика 3.1a). Он се напаја с одговарајућег вода 20 или 10 kV.

Интеграцијом свих TS 20(10)/0.4 kV/kV на једном воду (ређе ваздушном, чешће каблу) добија се потрошач петог нивоа (слика 3.1a). То је сам вод 20(10) kV. Тај вод се састоји од три проводника. Он се напаја из одговарајуће TS 110/20(10) kV/kV. Интеграцијом свих водова 20(10) kV (потрошача петог нивоа), с обухваћеном TS 110/21(10.5) kV/kV, добија се потрошач шестог нивоа (слика 3.1a). Он се напаја водом 110 kV.

Интеграцијом свих TS 110/21(10.5) kV/kV (потрошача шестог нивоа), који се напајају с истог вода 110 kV, добија се потрошач седмог нивоа (слика 3.1a), тј. вод 110 kV (најчешће ваздушни, а изузетно кабл).

Интеграцијом свих водова 110 kV (потрошача седмог нивоа), који се напајају с исте TS 400(220)/115 kV/kV, с обухваћеном TS, добија се потрошач осмог (највишег) нивоа (слика 3.1a).

Потрошња електричне енергије на било ком нивоу је функција простора (потрошачи истог нивоа се налазе на различитим местима у оквиру сваког потрошачког подручја) и времена (потрошња сваког потрошача се у времену мења). Начелни облици промена у времену су приказани на слици 3.



P-активна снага, Q-реактивна снага

Slika 3: Потрошња електричне енергије по нивоима потрошача као функција времена:

а- две врсте елементарних потрошача (нпр., бојлер - a1 и шпорет - a2); б - потрошач другог или трећег нивоа и с - потрошачи виших нивоа. [3]

Снага претставља брзину којом се врши рад или обавља трансформација енергије. Средња или активна снага дефинише се преко тренутне снаге p и једнака је $P = UI \cos \varphi$ и мери се ватима (W).

Реактивна снага је једнака максималној брзини којом се електрична енергија претвара у магнетну или електростатичку. Величина дефинисана изразом $P = UI \sin \varphi$ назива се реактивном снагом пријемника. Јединица реактивне снаге је волт ампер реактивно (VAr). [2]

Карактеристика потрошње елементарних потрошача (слике 3.2a1 и a2) очигледна је. Један елементарни потрошач (електрични апарат, нпр. бојлер -- a1), само се у деловима дана ставља под напон, па се само тада на њему реализује електрична енергија, увек истом снагом P . Ако је у питању шпорет, тада, осим што се он ставља под напон у деловима дана, његова снага није увек иста (користе се различита грејна тела).

На сликама 3a1 и a2, потрошња реактивне снаге елементарног потрошача Q (означена испрекиданим цртама), приказана је само начелно. Има потрошача који не захтевају реактивну снагу (бојлер, ТА пећ, шпорет,...) и оних који захтевају реактивну снагу (асинхрони мотор). Код уобичајених потрошача, ако захтевају реактивну енергију, онда је она квантитативно ($kVAr$) мања од активне (kW).

За потрошаче виших нивоа, реактивна снага је нужна јер они подразумевају у себи разне индивидуалне потрошаче, дакле и асинхроне моторе. Дијаграми на слици 3.2 су начелни. Они зависе од типа потрошача (да ли је у питању домаћинство или индустрија), временског доба, простора (климатских услова) итд. [3]

2.3 Трофазни водови

Водови су елементи електроенергетског система намењени преносу и дистрибуцији ("транспорту" и "расподели") напона и електричне енергије. Постоје две врсте водова: надземни (ваздушни) и кабловски (каблови). Ови други се најчешће постављају (укопавају) у земљу.

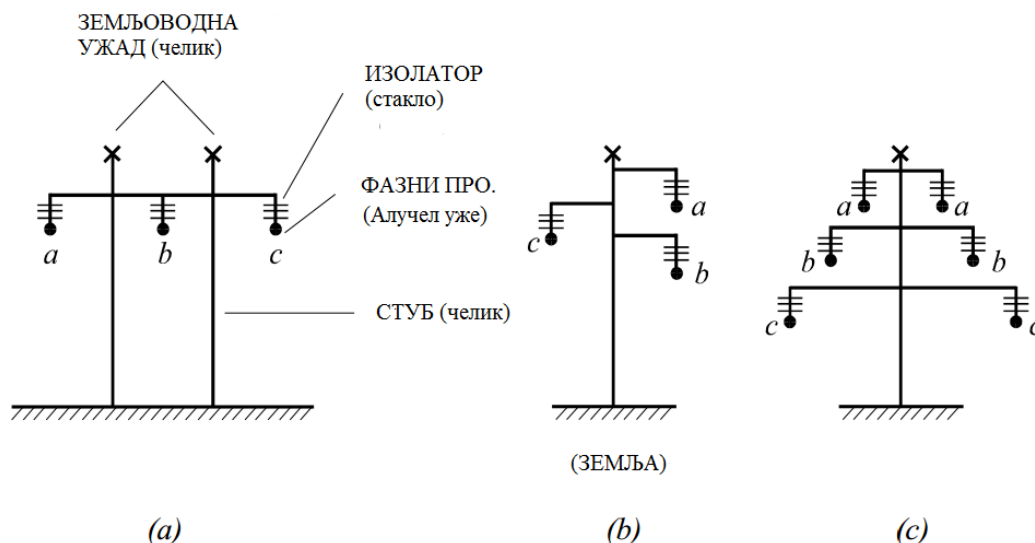
Надземни водови

Трофазни надземни водови се (у нашој земљи) граде за следеће напонске нивое: 0.38; 6; 10; 20; 35; 110; 220 и 400 kV (у свету их има и за 750 и 1000 kV). Сви су они трожижни осим водова напонског нивоа 0.38 kV који су четворожижни.

Надземни водови се реализују помоћу проводника (делови водова за непосредан пренос напона и електричне енергије), који се, преко изолатора (служе за електрично одвајање проводника међу собом и од земље), постављају на стубове (носећа конструкција вода). На врхове стубова се постављају заштитна, земљоводна ужад. Тј. "земља се тим ужадима подиже изнад вода", те се тако знатно смањује вероватноћа директног удара грома у проводнике. Неки од трожижних надземних водова приказани су на слици

Уравнотеженост је потребна карактеристика водова као елемената електроенергетског система. Она се постиже на основу следећих глобалних захтева:

- Сваки фазни проводник треба да је исто конструисан (материјал, пресек, дужина, итд.).
- Сваки фазни проводник треба да је у простору у истом односу према преостале две фазе, као и према земљи.



Слика 4: Неки облици трофазних надземних водова: а и б -један трофазан вод на истим стубовима, ц - два трофазна вода на истим стубовима.[3]

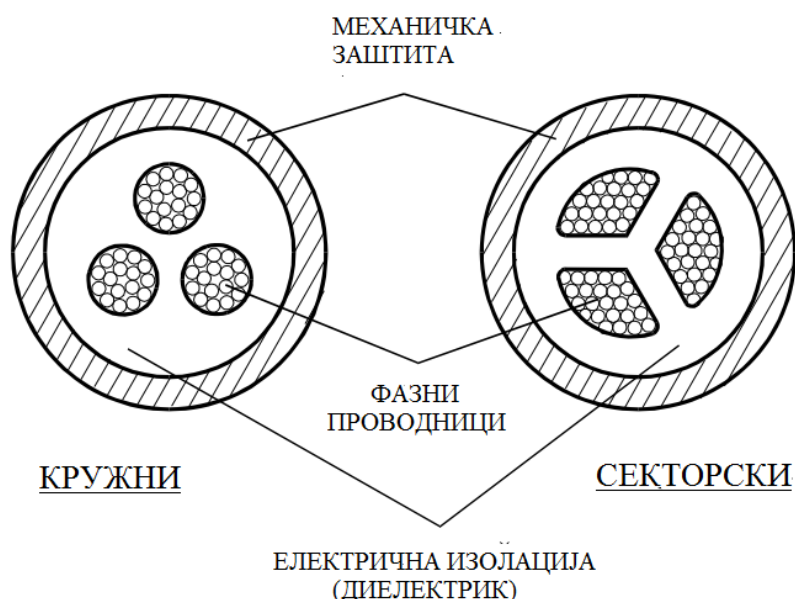
Ако се такав (уравнотежен) вод прикључи на електроенергетски систем у симетричном режиму, тј. прикључи се на оба краја на симетричне напоне, у њему ће се успоставити симетричне струје. Дакле, он ће бити уравнотежен пошто не ремети симетрију режима у који се прикључује.

За све водове на слици 4 није тешко реализовати први захтев. Други захтев се решава транспозицијом. Под транспозицијом се подразумева да проводници на свакој трећини деонице вода сукцесивно мењају положај. Тако, на целој деоници, сваки проводник има положај једнак с положајима остала два (како у односу на преостала два проводника, тако и у односу на земљу).

Трофазни каблови

Каблови су намењени преносу и дистрибуцији електричне енергије, исто као и надземни водови. Пошто су скупљи, они се користе углавном када су пренос и дистрибуција надземним водовима тешко изводљиви (у самим насељима, у индустријским погонима, за подводни пренос електричне енергије,...). Изводе се (у нашој земљи) за следеће напонске нивое: 0.38, 6, 10, 20, 35 и 110 kV. Основни елементи каблова су: 1 - проводници од бакра или алуминијума (када су мањег пресека они су пуни, а када су већег, поужени); 2 - изолација (импрегнисани папир, PVC - поливинил хлорид, итд.) и 3 - механичка заштита (челик, олово). Изглед попречног пресека каблова, за случајеве кружних и секторских фазних проводника, дат је на слици 5. Ако се око кабла налази метална заштита (челик, олово), тада је његова уравнотеженост очигледна са слике: фазни проводници су смештени у темена "једнакостраничног троугла", а механичка заштита се доводи на потенцијал земље и

тиме се сви проводници стављају у исту ситуацију, како међусобно, тако и према земљи, што чини каблове уравнотеженим елементима



Слика 5: Попречни пресек кабла [3]

Сва четири макро-ефекта надземних водова - R , L , G и C , заступљена су и овде. Њихово поређење за водове и каблове истог напона, снаге и дужине следи:

За отпорност кабла и надземног вода важи следећа релација: $R_k \approx R_v$, што је последица чињенице да се за пренос исте снаге истим напонам захтева иста струја. Иста струја захтева исту количину бакра или алуминијума. Због отежаног хлађења, полупречник фазног проводника кабла треба да буде нешто већи од одговарајућег код надземног вода, па је тако и редна отпорност кабла нешто мања од редне отпорности надземног вода.

За индуктивност кабла и надземног вода важи следећа релација $L_k \ll L_v$. То је последица сразмере индуктивности и логаритма односа међусобног растојања и полупречника проводника. Код кабла је то растојање (d) много мање него код надземног вода па је и индуктивност кабла много мања.

За капацитивност кабла и вода важи следећа релација: $C_k \gg C_v$. То је последица сразмере капацитивности и логаритма односа полупречника проводника и њиховог међусобног растојања. Код кабла је то растојање (d) много мање него код надземног вода, па је и капацитивност кабла много већа.

Одводност кабла и вода су последице суштински различитих ефеката. Одводност кабла чине губици у диелектрику (дефинисани тангенсом угла губитака - $\text{tg}\delta$), пошто је у питању несавршен кондензатор, а код вода су у питању пузајуће струје и корона. [3]

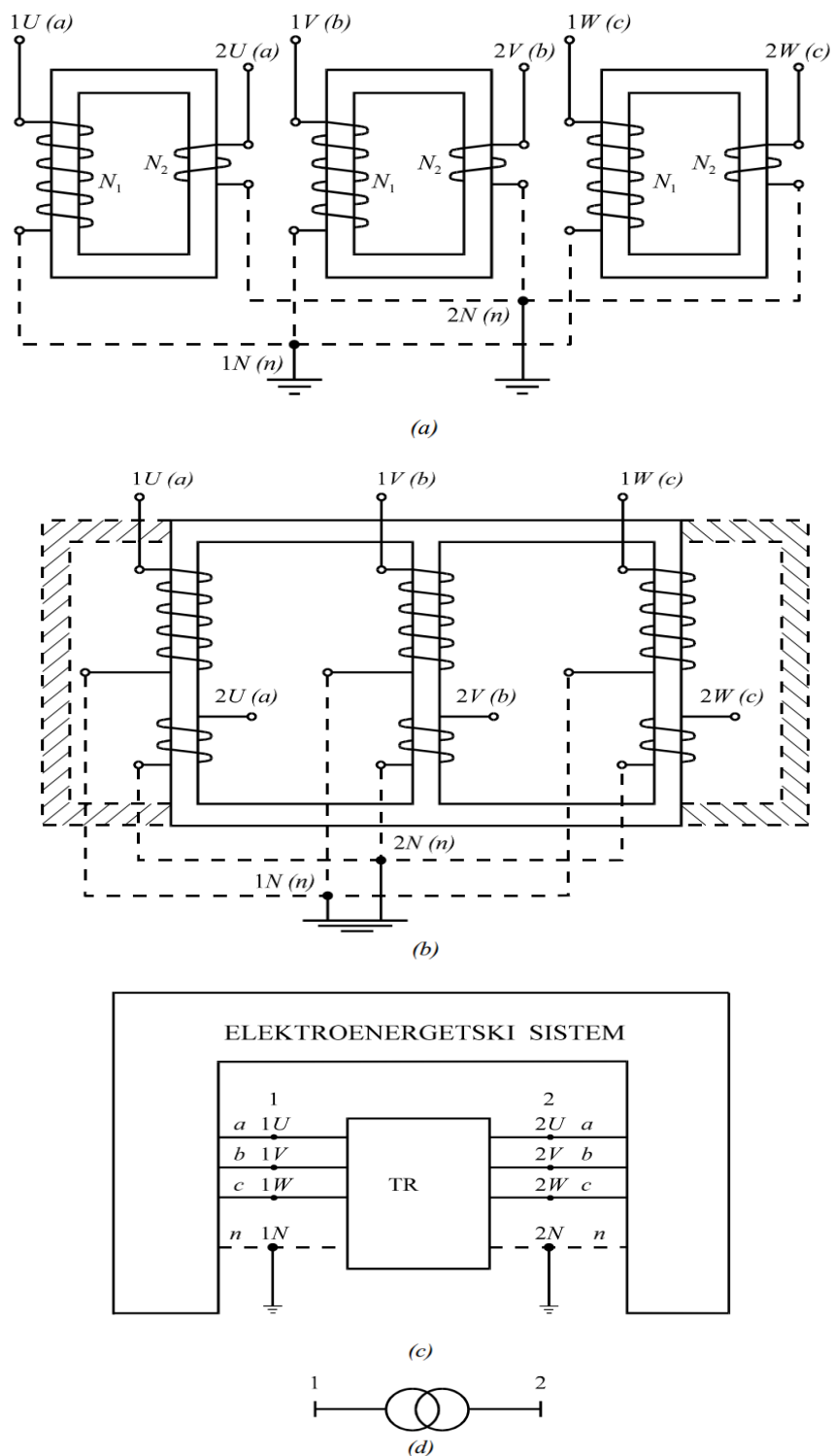
2.4 Трансформатори

Електроенергетски трансформатори су статички уређаји (немају обртне делове). Они су намењени преносу, односно унутрашњој "трансформацији" електричне енергије (у електричну), уз промену њеног квалитета (напона и струје) и уз минималну (занемариву) промену квантитета (количине електричне енергије, тј. снаге). Они, дакле, трансформишу електричну енергију једног напона и струје у електричну енергију другог напона и струје, уз минималне (занемариве) губитке. Трансформатори, као елементи електроенергетског система налазе се у три подсистема: *производња, пренос и дистрибуција*:

- У подсистему производње, у термоелектранама се уз генераторе налазе и трансформатори (у тзв. "блок споју") блок трансформатори. Они служе за подизање напона генератора на ниво преноса.
- У подсистему преноса, тзв. преносни трансформатори, служе за повезивање преносних мрежа различитих напонских нивоа (у Србији су то трансформатори за повезивање преносних мрежа 400 и 220 kV), или за интерконективно повезивање преносних мрежа два суседна електроенергетска система, као и за прикључење дистрибутивних мрежа на преносне мреже - трансформатори за повезивање преносних мрежа (400 и 220 kV) с дистрибутивним мрежама (110 kV).
- У дистрибуцији, тзв. дистрибутивни трансформатори служе за спуштање напона с нивоа преноса, сукцесивно, до напона елементарних потрошача.

Две су уобичајене варијанте конструкције трофазних трансформатора: 1 - изведбе у виду три идентична монофазна трансформатора (слика 6 а), повезана као трофазни - трофазни трансформатор с независним магнетним колима; 2 - изведбе на јединственом тростубном (четворо или петостубном - извучени шрафуром) магнетном колу (слика 6 б). Варијанта 2 (слика 6 б) је нешто сложенија и изоставиће се из разматрања. Прикључци фаза (а, б и с) и неутралног проводника н на високонапонској страни су означени са: 1U, 1V, 1W и 1N, респективно, а на нисконапонској страни са: 2U, 2V, 2W и 2N, респективно.

Ако су сва три монофазна трансформатора конструктивно иста, тада је тај трофазни трансформатор уравнотежен. Прикључење оваког трансформатора на електроенергетски систем у симетричном режиму, између два трофазна чвора одговарајућих напонских нивоа (1 и 2 на слици 6 с), неће пореметити симетрију режима (и у њему ће се успоставити симетричан режим). На слици 6 д приказан је симбол трансформатора.



Слика 6: Принциписке шеме трофазних трансформатора: две варијанте (a) и (b), глобални приказ (c) и симбол трансформатора (d). [3]

(a) – шема трофазних трансформатора која је највише заступљена у САД-у

(b) – шема трофазних трансформатора која је највише заступљена у Европи

2.5 Синхроне машине

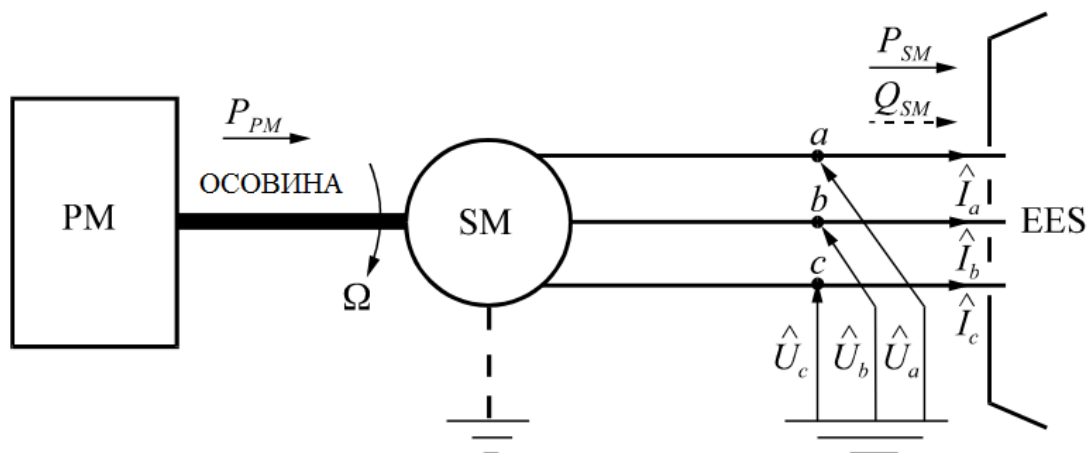
Синхроне машине, у оквиру електроенергетских система, представљају уређаје за трансформацију механичке у електричну енергију и обрнуто (оне су као и све остале наизменичне електричне машине реверзибилне). Њихова употреба се може сагледати с три аспекта.

1. Са аспекта активне снаге, синхроне машине су углавном произвођачи активне електричне енергије (снаге) - синхрони генератори, а ређе њени потрошачи - синхрони мотори.
2. Са аспекта реактивне снаге, синхроне машине су, опет, углавном произвођачи - генератори, а ређе потрошачи - апсорбери реактивне електричне енергије (снаге).
3. Са аспекта напона, синхроне машине представљају изворе напона.

Управо могућности синхроних машина, наведене у оквиру другог аспекта (аспект реактивне снаге), тј. њихове могућности генерисања и апсорпције реактивне енергије, у зависности од тога да ли је има вишка или мањка у електроенергетском систему, као и могућности за производњу напона (аспект напона) пресудне су за избор синхроних машина као основних ресурса за производњу електричне енергије у електроенергетском систему. ни једна друга машина наизменичне електричне енергије (нпр. асинхрона) нема те могућности.

Јефтиније асинхроне машине, које с првог аспекта (аспект активне снаге) могу да замене синхроне, немају могућност за производњу реактивне енергије (оне је искључиво апсорбују -- троше), нити могу да производе напон.

С циљем да се одреде радни режими синхроне машине, на слици 7 начелно су приказане синхрона машина (SM) прикључена на електроенергетски систем (EES) и погонска (погођена) машина (PM).



Слика 7: Начелан приказ погона синхроне машине [3]

Са P_{PM} означена је механичка снага (енергија) која се размењује између погонске или погоњене (радне машине) - РМ и синхроне машине - SM, с брзином обртања Ω ; са P_{SM} и Q_{SM} означене су електрична активна и реактивна снага (енергија) које се размењују између синхроне машине и електроенергетског система, под фазним напонима U_a, U_b, U_c , као и струјама I_a, I_b, I_c . Уз све установљене снаге означени су одговарајући референтни смерови.

Синхрона машина се у електроенергетском систему најчешће среће у статусу генератора. Синхрони генератор (производи активну снагу у електроенергетском систему). Погонска машина (РМ), која обезбеђује механичку енергију (P_{PM}) тада је парна, водна, гасна турбина, итд. У статусу генератора, синхрона машина најчешће ради у тзв. натпобуђеном стању, и тада производи реактивну снагу потребну потрошачима. У периодима малих потрошњи (ноћу), када растеређени водови углавном генеришу реактивну снагу, те у електроенергетском систему има њеног вишка, синхрона машина ради у тзв. потпобуђеном стању -- апсорбује тај вишак реактивне снаге. У специјалним случајевима погона, синхрона машина нити генерише нити апсорбује реактивну енергију ($Q_{SM}=0$).

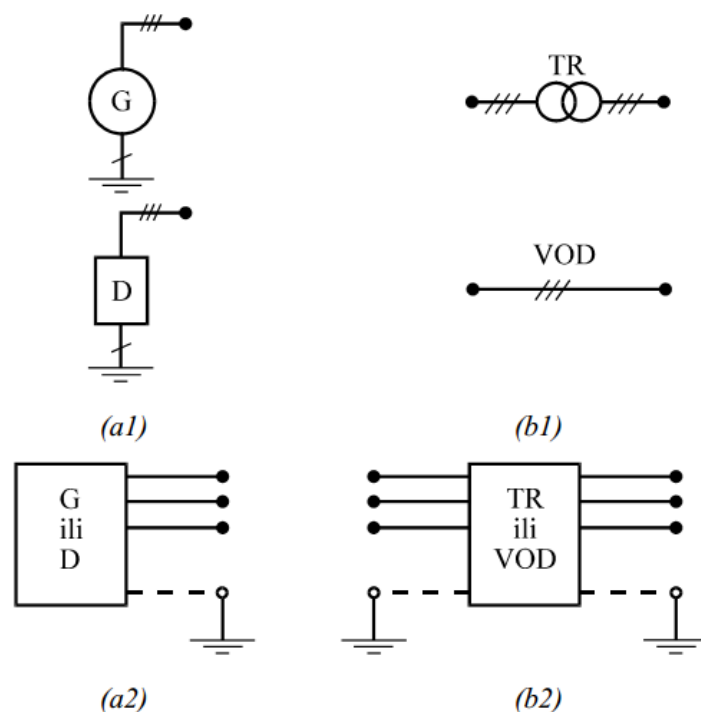
У индустријским погонима, с великим машинама (нпр. пресе с више стотина kW), за њихов погон се често користе синхрони мотори (троше активну снагу из електроенергетског система). На тим моторима, исто као и на синхроним генераторима, може да се мења производња реактивне снаге, односно да се производи напон, па се тако њима може "помагати" дистрибутивној мрежи из које се њима испоручује активна снага.

Синхрони компензатори су синхрони мотори у празном ходу (на њих није прикључена погоњена машина). Они су намењени за производњу само реактивне снаге (енергије) када она недостаје у мрежи, односно за њену апсорпцију када има њеног вишка. Дакле, они компензују позитивну или негативну разлику производње и потрошње (са губицима) реактивне снаге у електроенергетском систему, те тако, на исти начин као и синхрони мотори, "потпомажу" синхроним генераторима у систему (с аспекта реактивне енергије и напона). Често се синхрони компензатори уграђују на погодним местима у подсистем преноса, близу потрошачких подручја, па служе за производњу реактивне снаге (енергије) за потребе потрошача, те се тако растеређују генератори производње, а преносна мрежа преноса реактивне снаге. (Реактивна снага генератора, која се свакако реализује одговарајућом струјом, заузима њихове капацитете за производњу, а у преносној мрежи заузима капацитете за пренос активне снаге.) [3]

Добре особине синхроног мотора су: добар фактор снаге, добар степен корисног дејства, велико преоптерећење и неосетљивост на промене напона. Недостаци: покреће се сам само ако има посебан намотај за покретање, побуђује се једносмерном струјом, број обртаја је исти при свим оптерећењима и не може се подешавати. Код прејаких оптерећења синхрони генератор испада из синхронизма и стаје, па се мора поново покретати. Синхрони мотори се граде са једносмерну и трофазну струју. [2]

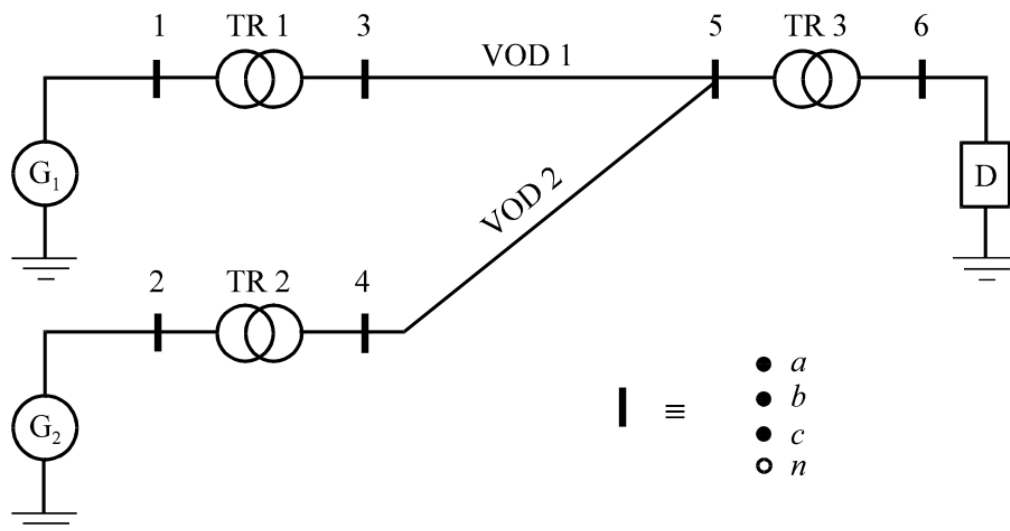
2.6 Електроенергетска разводна постројења

Електроенергетска разводна постројења су објекти за "развијање" напона и електричне енергије у електроенергетским системима, односно то су места у којима се стичу, тј., места у којима се повезују основни елементи, гране електроенергетског система (генератори, водови, трансформатори, потрошачи). Тек повезани основни елементи у електроенергетским разводним постројењима чине електроенергетски систем. Тако, електроенергетска разводна постројења су практична реализација трофазних чворова електроенергетских система.



Слика 8: Основни (трофазни) елементи -гране електроенергетског система: а - оточне гране и б - редне гране (а1 и б1 - једнополне шеме, а2 и б2 - трополне шеме) [3]

На слици 8 приказане су монофазно (симболи -- "једнополне шеме") и трофазно, оточна грана (потрошач - D, или генератор - G) -- слике 8а, односно редна грана (трансформатор -- TR, или вод) - слике 8 б.



Слика 9: Једнополна шема једноставног електроенергетског система [3]

Приказани елементи повезани су у оквиру једног малог репрезентативног електроенергетског система, приказаног једнополном шемом на слици 9. Парови генератор G_1 и трансформатор TR_1 , односно G_2 и TR_2 , чине два блок генератортрансформатора, односно две електране с којима се водовима VOD_1 и VOD_2 напаја потрошач осмог нивоа у трофазном чвору 5 (трансформатор TR_3 и потрошња D). [3]

3 Праћење и унапређење сигурности рада електроенергетских система Србије у његовом ширем окружењу

Обезбеђење потребног нивоа сигурности рада савремених електроенергетских система идаље има изузетан значај и актуелности из разлога добро познатих не само ужем кругу специјалиста из ове проблематике. Јер, уколико се не обезбеди жељени ниво сигурности, није могуће успешно да се остваре ни остали циљеви који такође имају високи приоритет и значај, а који су везани за обезбеђивање економичног и квалитетног погона, односно за обезбеђивање енергетске ефикасности у производњи, преноси и дистрибуцији електричне енергије.

Последњих година процес либерализације тржишта електричне енергије и консеквентно томе реструктурирање електропривредних компанија (као једном од најзначајнијих, а рекло би се и најсложенијих и најделикатнијих сегмената процеса реформи енергетског сектора) унели су веома широк спектар нових методолошких и практичних аспеката, а нарочито у погледу нових захтева и изазова у планирању, експлоатацији и управљању сада не само појединачних електроенергетских система, већ и електроенергетских интерконекција у којима се они налазе.

У блиској прошлости проблематика сигурности имала је изузетан практичан значај за ЕЕС Србије и СР Југославије с обзиром на физичко раздвајање од западноевропске интерконекције UCPTЕ (сада UCTЕ), које је настало 22. септембра 1991. године. Од тада ЕЕС СР Југославије је наставио да ради у синхронном паралелном раду са ЕЕС Македоније, Грчке и Албаније. У условима тако формираног „острва“ на просторима Балкана били су, између осталог, посебно заострени услови квалитетног одвијања примарне регулације фреквенцији, који су се знатно побољшали уласком ЕЕС-а Румуније (април 1994) и Бугарске (април 1996) у заједнички синхрони паралелни рад.

Наравно посебна искушења за сигурност рада ЕЕС СР Југославије била је током агресије НАТО алијансе на нашу земљу, али огромно пожртвовање и професионализам радника Електропривреде Србије су максимално ублажили последице веома неповољних ефеката низа употребљених средстава за угрожавање нормалног рада, укључујући и физичка разарања кључних електроенергетских објеката.

Међутим, и поред несумњиво позитивних ефеката ширења интерконекције на просторима Балкана, и релативно брзог опоравка ЕЕС Србије након НАТО агресије, услови у погледу обезбеђења жељеног нивоа сигурности рада биће и даље заострени. То је посебно условљено разлозима везаним за стагнацију развоја, пре свега произвољних капацитета, односно значајним потешкоћама око уравнотежења сопственог електроенергетског биланса. Проблеми сигурности овог типа ће изгубити на својој актуелности и након повезивања друге UCTЕ (прва UCTЕ синхрона зона),

која је студиски детаљно проучено и чија је успешна реализација обављена 10 октобра 2004. године. EES Србије приказан је на слици 10.



Слика 10: Електроенергетска мрежа Србије.[5]

Поменути процес либерализације тржишта електричне енергије и консеквентно томе, реструктурирање електропривредних компанија, веома су актуелне и за Србију и за њену електропривреду. Планира се њихово интензивирање које непосредно следи из чињенице да је у току процес формирања и успостављања регионалног тржишта електричне енергије (REM- Regional Electricity Market) у југоисточној Европи. Сагласно томе, од 1. јула 2005. године, Електропривреда Србије је подељена на два дела: EPS(Електропривреда Србије) и EMS (Електромрежа Србије).

У поменутом контексту формирања REM-а проблематика сигурности, односно питање утврђивања граничних преносних капацитета добија прворазредни практични значај. Неопходно је да се што тачније утврђује колико је могуће пренети снаге између дефинисаних пунктова у разматраној интерконекцији. Дакле потребно је унапред да се

зна које су стварне техничке границе за анализиране размене, респектујући низпостојећих различитих ограничења која су присутна у експлоатацији сваког од EES-а у посматраној електроенергетској интерконекцији.

Све предходно наведено говори о потреби перманентног истраживачког рада на пољу сигурности рада, сада не појединачних EES-а већ електроенергетских интерконекција у којима се они налазе. Суштински циљеви ових активности су даљи развој и унапређење методологија и одговарајућих рачунарских програма, који би се прилагођавали насталим новим проблемима и изазовима, а тиме били од непосредне практичне помоћи електропривредним организацијама у новим условима рада.

Проблематика сигурности рада EES-а дуго се ради и негује у институту „Никола Тесла“. Део значајних истраживачких активности и резултата у тој проблематици већ су били изложени у низу домаћих и страних радова. Посебно су апострофиране интернационалне студије, које је урадио институт „Никола Тесла“, а које су се непосредно бавиле релевантним техничким условима и могућностима интеграције EES-а на просторима Балкана, која је остварена у пракси и низу корисних ефеката и за EES Србије и Југославије, није потребно посебно да се говори, јер су они познати најширој јавности. [4]

4 Подела Електродистрибутивних система

Електродистрибутивни системи се према територији и врсти места које напајају деле на:

- Градске EDS-е,
- Сеоске EDS-е,
- Индустијске EDS-е.

4.1 Градски EDS

Снабдевање градова електричном енергијом врши се преко градских EDS. Градски EDS је скуп међусобно повезаних електроенергетских објеката и уређаја: *сопствених електрана, напојних и дистрибутивних водова, трансформаторских станица и потрошача*, изграђених и лоцираних на територији града и ближој околини са циљем обезбеђења потребне електричне енергије за све технолошке процесе у домаћинствима, комунално-друштвеним и другим пратећим објектима, транспорту и др., као и у малим индустријским објектима смештеним на припадној градској територији.

Сви потрошачи на територији града чине целину градског EDS. Основни потрошачи електричне енергије градских EDS су домаћинства и тзв. пратећа потрошња (објекти трговине, ситне индустрије и занатских делатности, администрације и друштвених делатности, комуналне инфраструктуре, расвета, дечији вртићи, школе, факултети, објекти културне делатности, здравствени објекти и др.). Преко градских EDS се напајају и приградска подручја, а често и удаљенија сеоска насеља. Тада издвајање сеоских EDS као посебне „категорије“ нема потребну тежину. Адекватније, то су сеоске дистрибутивне мреже у склопу јединственог градског EDS. Преко градских EDS електрична енергија се расподељује и мањим индустријским погонима и ти потрошачи се са аспекта EDS система третирају као тзв. директни потрошачи, а сама дистрибуција електричне енергије унутар погона проучава се у склопу конкретне индустријске дистрибутивне мреже као елемента градског EDS. Напајање већих индустријских објеката остварује се „директно“ преко индустријских EDS.

Са аспекта проучавања градских EDS -а, градови се деле на:

- мале градове: до око 30 000 становника,
- градове средње величине: од 30 000 до 200 000 становника и
- велике градове са преко 200 000 становника.

Посебну групу чине метрополе са (више) милионским бројем становника. Основне карактеристике градских EDS -а су:

- Високе вредности површинске густине оптерећења g_p [MW/km²]

$$g_p = \frac{P_V}{A} \text{ [MW/km}^2\text{]}$$

где је: P_V [MW] - извршна снага посматраног насеља (дела града)

A [km²] - површина посматраног насеља (дела града).

Вредности површинских густина у градским EDS -има су од десетина MW/km² до више стотина MW/km². Трговачко-административна подручја великих градова и метропола имају изузетно високе вредности површинске густине оптерећења, реда више стотина MW/km² (нпр. Менхетн-острвска трговачка четврт Њујорка, је још 1970 год. достигнута густина оптерећења од 500 MW/km²). У стамбеним подручјима вриједност површинске густине оптерећења је најшеће реда више десетина MW/km²

- Примена кабловских мрежа на дистрибутивним нивоима.
- На напојном нивоу је присутна примена надземних водова високог напона, а за велике градове и водова веома високог напона, а такође и примена кабловских водова високог напона, па и веома високог напона (нпр. у систему Берлина каблова 400 kV).
- Примена конфигурација које обезбеђују висок ниво поузданости (вишеструко напајање, двострано напајање, прстенасте конфигурације, радијалне конфигурације са укључењем резерве,...). [6]

4.2 Специфичности сеоских EDS

Сеоски EDS произилазе из карактеристика градова који напајају ове системе. То су конзуми великих површина са разбацаним – међусобно удаљеним оптерећењима мање снаге. Отуда и произилази основна карактеристика сеоских EDS:

- Ниска површинска густина оптерећења, која се овде изражава у [KW/km²].
- Примена ваздушних мрежа.
- Велике дужине водова, знатно веће него код градских EDS -а. Овде су и на ниском напону (NN) присутне дужине водова од више km (дужине водова NN треба држати у границама 300-500 m),

- Због великих дужина водова често је нарушен квалитет електричне енергије, односно повећени су губици, падови напона и струје земљоспоја. Ради обезбеђења потребног квалитета електричне енергије, на нивоу средњег напона (SN) иде се на примену виших напона, нпр. 20 kV.
- Конфигурације су доминантно радијалне. Веће поузданост обезбеђује се одговарајућом заштитом која нпр. обезбеђује искључење само огранка у квару, а не читавог главног вода и сл.
- У сеоским EDS-има се као “извори напајања” поред постројења EES-а као напојних тачака појављују и мале електране (хидро и ветро генератори, соларна постројења,...). [6]

4.3 *Индустријски EDS*

Индустријски EDS -и су намењени напајању и дистрибуцији електричне енергије унутар већих индустријских комплекса (нпр. КАР са снагом од преко 470 MW, Жељезара са снагом од око 20 MW; Укупна вршна снага EES CG је око 800 MW). Мањи индустријски погони су обично смештени на градској територији и напајају се у склопу градског EDS -а.

Основна специфичност индустријских EDS-а огледа се у другачијем, у односу на градске и сеоске EDS -е, приступу и методама проучавању система: методе прогнозе оптерећења, избор конфигурација, прорачуни квалитета електричне енергије, одабир каблова и опреме која задовољава специфичне услове средине и др.[6]

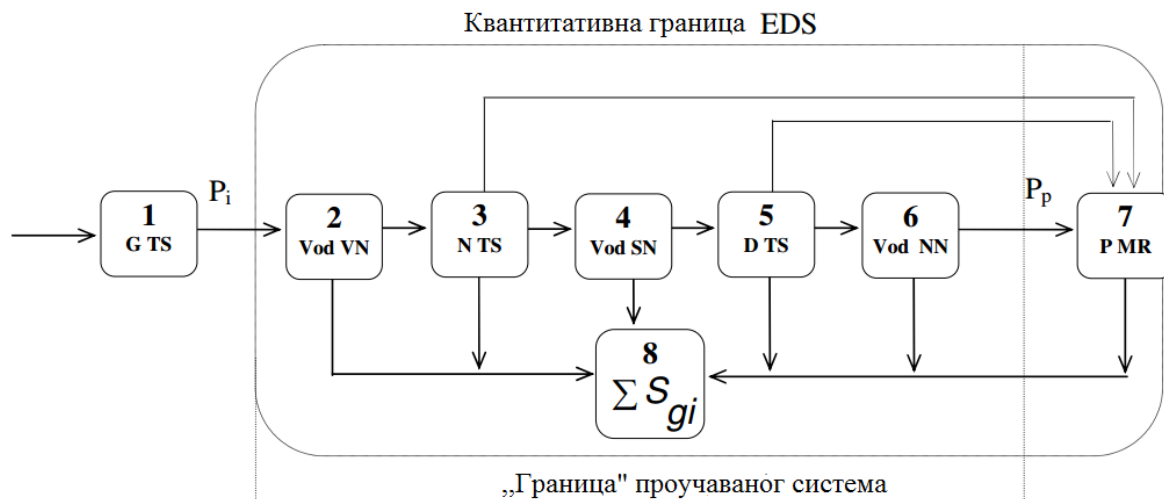
5 Структура електродистрибутивних система

Структура електродистрибутивног система се исказује преко подсистема. Подела EDS-а на подсистеме може се извршити на основу више критеријума, нпр. према функцији подсистема, према напонском нивоу, према територијалној лоцираности и др.

1) Према функцији у оквиру EDS-а разликујемо:

- Сопствене изворе електричне енергије (сопствене електране),
- Напојне електричне мреже (водови VN и напојне TS) ;
- Дистрибутивне електричне мреже (водови SN, дистрибутивне TS SN/NN и водови NN – EDS директне трансформације; водови VSN, међутрансформација VSN/SN, водови SN, дистрибутивне TS SN/NN и водови NN – EDS са међутрансформацијом);
- Потрошачке електричне мреже и
- Потрошаче електричне енергије.

На слици 11 је дат функционални блок дијаграм EDS-а директне трансформације, формиран према току електричне енергије.



Слика 12: Функционални блок дијаграм EDS-а директне трансформације [6]

Електрична снага је основни параметар према коме се пројектују сви елементи, односно ED систем у целини. Сваком блоку са слици 11, изузев блоку 8, у реалном систему одговара скуп елемената истог типа, присутних у оквиру појединих подсистема јединственог EDS-а. Блок 1 представља напојну тачку, односно „изворе

напајања" EDS-а, конкретно главне TS VVN/VN. У оквиру напојне мреже фигуришу високи напон (VN) напојни водови - блок 2 и напојне TS VN/NN - блок 3. Дистрибутивна мрежа садржи елементе SN мрежа и NN мрежа: блок 4 - водови SN, блок 5 - дистрибутивне TS SN/NN и блок 6 - водови NN. Крајња граница ED система су потрошачке мреже са потрошачима електричне енергије - блок 7. Блок 8 симболички сумира губитке електричне снаге у ED систему. Са појединих нивоа потрошачи се могу напајати директно: везе $3 \Rightarrow 7$ и $5 \Rightarrow 7$.

2) Према напонском нивоу у оквиру EDS-а разликујемо:

- Подсистем високог напона (напојне мреже: водови VN са напојним TS);
- Подсистем средњег напона (водови SN и дистрибутивне TS SN/NN – EDS директне трансформације; водови VSN, међутрансформација VSN/SN, водови SN, дистрибутивне TS SN/NN – EDS са међутрансформацијом)
- Подсистем ниског напона (дистрибутивне NN мреже: водови NN и потрошачке мреже).

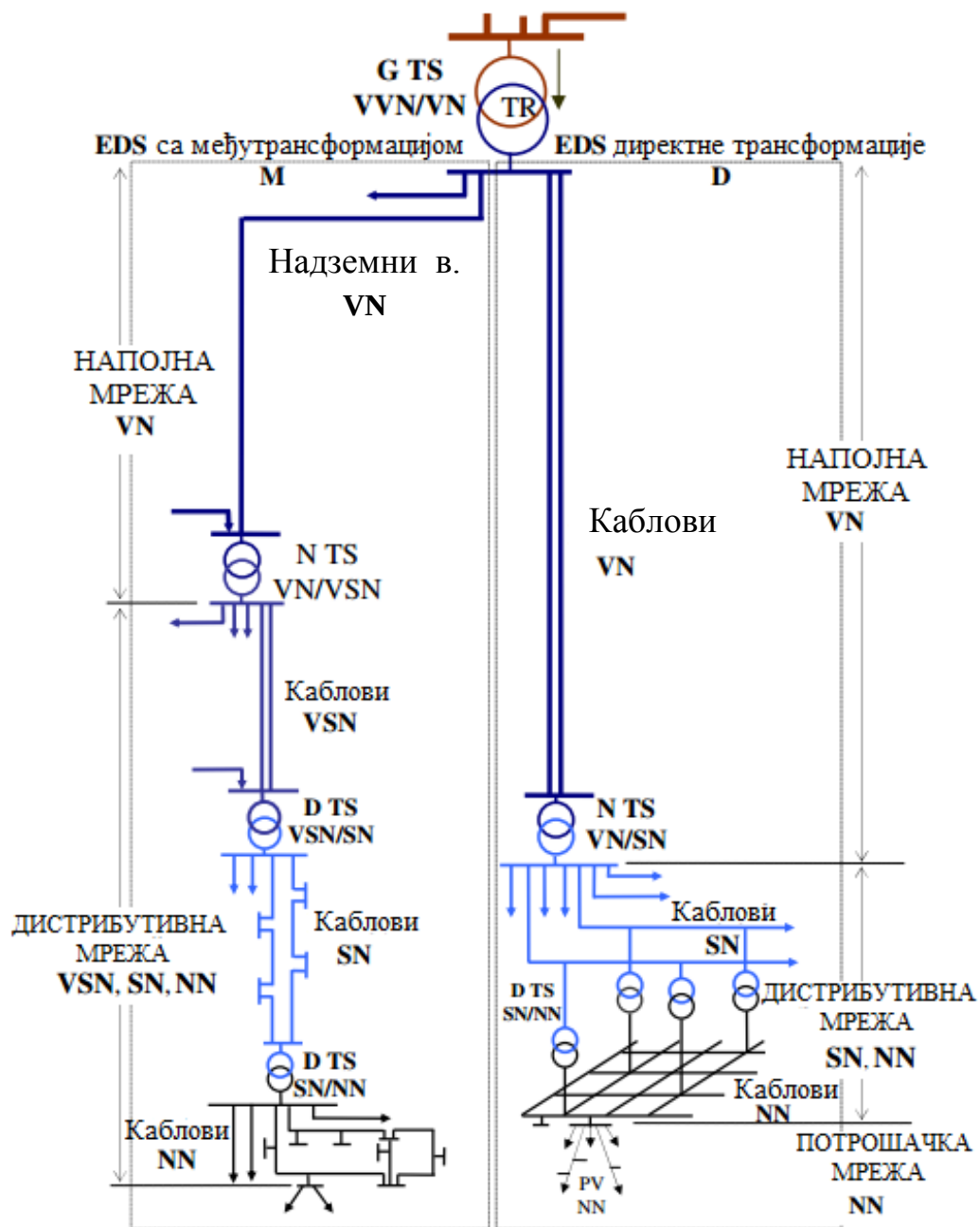
3) По критеријуму територијалне лоцираности објеката у оквиру градских EDS-а

- Подсистеме спољашњег напајања града;
- Унутрашње градске електричне мреже и
- Потрошачке мреже.

Подсистеме спољашњег напајања града чине водови прстена веома висок напон (VVN), односно VN, обично ваздушни, са одговарајућим напојним трафо станицама (TS). Лоцирани су на периферији града. У подсистем спољашњег напајања могу се уврстити и SN ваздушне мреже које напајају приградске потрошаче лоциране на удаљенијим подручјима, као и напојне мреже сеоских насеља које су повезане са посматраним градским ED системима. Унутрашње градске електричне мреже чине напојне мреже „дубоког увода“ (каблови VN са TS VN/SN у одговарајућој - SR6, изведби), као и градске дистрибутивне мреже SN и NN (које се у градским условима доминантно реализују са кабловским водовима) са одговарајућим TS.

Структурна шема EDS-а приказана је на слици 13. Приказане су две варијанте EDS-а: D - систем директне трансформације и M – систем са међутрансформацијом.

У EDS-у директне трансформације – грана D: Напојна мрежа је у облику „дубоког увода“ са двоструким кабловским водовима и аутономним (саме себи обезбеђују резерву) напојним TS VS/SN. Дистрибутивна мрежа је конфигурације вишеструко радијално напајане сложено-петљасте нисконапонске мреже. Оваква решења карактеристична су за конзуме са јаким и концентрисаним оптерећењима, односно са високом површинском густином оптерећења.



Слика 13: Структурна шема EDS-a¹ [6]

У EDS-у са међутрансформацијом – грана М : Напојна мрежа је изведена у облику полупрстена (прстена) са јаким (двоструким) надземним водовима. У оквиру дистрибутивне мреже средњег напона фигуришу: мрежа вишег SN, у конфигурацији двоструко напајање, и мрежа SN, у прстенастој конфигурацији. Дистрибутивна мрежа NN је радијалне конфигурације која има могућност „ручног пребацивања“ појединих „важнијих“ потрошача на напајање из суседног кабла у случају испада основног кабла.

¹ Скраћенице су написане латиничним писмом

6 Подела електричних мрежа

У оквиру ЕЕС-а, а такође и у оквиру ЕДС-а фигуришу мреже различитих карактеристика. Поделу мрежа можемо извршити према различитим критеријумима, односно карактеристикама:

- По напонском нивоу коме припадају,
- Према функцији у јединственом процесу производње, преноса, дистрибуције и потрошње електричне енергије,
- Према тополошкој изради, односно конфигурацији,
- Према конструктивној изради основних елемената и др.

1) По напону, разликујемо:

- мреже веома високог напона (мреже VVN-а: нпр. 400 kV, 750 kV, 1150 kV),
- мреже високог напона (мреже VN-а: нпр. 110 kV, 220 kV),
- мреже средњег напона (мреже SN-а: нпр. 10 kV, 20 kV,...) и
- мреже ниског напона (мреже NN-а: 0.4 kV).

Издвојеним напонским нивоима могу припадати мреже из ширег напонског дијапазона. Тако нпр., у напонски ниво средњег напона можемо сврстати и мреже 35 kV, односно 35 kV напон. Тада је то тзв. виши средњи напон (VSN).

2) Према функцији, разликујемо:

- преносне мреже,
- напојне мреже,
- дистрибутивне мреже и
- потрошачке мреже.

Преносне мреже имају функцију преноса електричне енергије великих снага на велике удаљености. Оне унутар припадних ЕЕС-а повезују електране са удаљеним потрошачким подручјима, међусобно повезују електране, као и потрошачка подручја, а такође остварују и везу са суседним ЕЕС-има. Преносне мреже се реализују у класи високих и веома високих напона: нпр. напони: 110 kV, 220 kV и 400 kV код нас, а у великим системима и напони нпр. 750 kV и 1150 kV.

Преносне снаге ових мреже су реда снага моћних генераторских група и вршних снага великих насеља, реда: стотине, више стотина MW, па и хиљада MW. Преносне мреже преносе електричну енергију на велике удаљености, реда удаљености извора од потрошачких подручја - градова, међусобне удаљености извора

и међусобне удаљености градова, и то не само унутар припадног EES-а, односно државе, већ и у оквиру суседних EES-а, односно држава. То су растојања реда више стотина km и више хиљада km.

Преносне мреже се „завршавају” електроенергетским постројењима лоцираним близу потрошачких подручја. То су тзв. главне TS (G TS, нпр. 400/110 kV), које представљају напојне тачке EDS-а, односно „изворе напајања” EDS-а (IN).

Напојне мреже су мреже највиших напонских нивоа у оквиру EDS-а. Њихова функција је пренос, односно расподела електричне енергије од крајњих тачака преноса (главне TS, нпр. GTS 400/110 kV) до појединих делова насеља односно језгара потрошње унутар крадова, где се лоцирају тзв. напојне TS (N TS, нпр. 110/10 kV) као крајње тачке напојних мрежа. Напојне мреже се реализују у класи високих напона. Карактеристични напонски ниво ових мрежа у нашим условима је 110 kV, а у EDS-има великих градова (метропола) напојне мреже се реализују и у класи веома високих напона (нпр.: 400 kV – EDS Берлина, 750 kV – EDS Париза)

Карактеристичне снаге преноса напојних мрежа су: више десетина MW, као и више стотина MW. Карактеристичне дужине водова су реда више km и више десетина km, у складу са карактеристикама и величином подручја града и његове околине.

Дистрибутивне мреже су мреже EDS-а чија је функција да унутар потрошачких подручја разводе и дистрибуирају електричне енергије до самих потрошача, односно њихових уређаја за регистровање потрошње. То су мреже средњег напона (мреже SN-а, нпр. мреже 10 kV) и мреже ниског напона (мреже NN-а, односно мреже 0.4 kV).

У EDS-има на нивоу средњег напона могу постојати мреже једног средњег напона, нпр. 10 kV. То су тзв. EDS-и директне трансформације. Уколико у оквиру EDS-а на нивоу средњег напона постоје мреже два средња напона, нпр. мреже напона 10 kV и мреже напона 35 kV са међутрансформацијом 35/10 kV, то су EDS-и са међутрансформацијом.

Дистрибутивне мреже SN-а дистрибуирају снаге реда више MW до више десетина MW. Напојне тачке дистрибутивних мрежа SN-а су напојне TS, нпр. N TS 100/10 kV са TR-има назначених снага (у нашој пракси): 20 MVA, 40 MVA, 63 MVA. Крајње тачке дистрибутивних мрежа SN-а су дистрибутивне TS, нпр. 10/0.4 kV са TR-има назначених снага (у нашој пракси): 160 kVA, 250 kVA, 400 kVA, 630 kVA, 1000 kVA, 1600 kVA.

Снаге TR-а у међутрансформацији 35/10 kV су, нпр: 4 MVA, 8 MVA, 12.5 MVA, 16MVA. Дистрибутивне мреже средњег напона преносе снагу реда више стотина kW и више MW па и до више десетина MW. Веће вредности су карактеристичне за мреже вишег средњег напона.

Дистрибутивне мреже NN-а су мреже напона 0.4 kV, које полазе од дистрибутивних TS 10/0.4 kV и преко NN водова дистрибуирају електричну енергију до самих потрошача, односно до разводних ормара (RO) са уређајима за регистровање потрошње електричне енергије. Одатле даље иду потрошачке мреже (инсталације) до појединачних потрошача електричне енергије. Дистрибутивне мреже ниског напона преносе снагу од више десетина до више стотина kW.

Потрошачке мреже: Подсистем потрошње обухвата потрошачке мреже са потрошачима електричне енергије. Потрошачке мреже напајају непосредно електричне апарате малих снага (од дела kW до више kW), нпр. електричне апарате у домаћинствима, или нешто већих снага (реда десетина и стотина kW), какав је случај са потрошачким мрежама у оквиру индустријских предузећа.

Потрошачке мреже треба да осигурају висок степен заштите, јер су у директном „контакту“ са корисницима. Применом ниског напона могу се ускладити како ови тако и остали захтеви у погледу изолације, поузданости напајања и др. У оквиру потрошачких мрежа су карактеристична три дијапазона напона: 20 V до 50 V за тзв. безопасне инсталације (играчке, инсталације у влажним просторијама); напон 220/380 V, односно 230/400 V су напони карактеристични за инсталације у домаћинствима и тзв. осталој потрошњи и дијапазон 500 V до 1000 V карактеристичан за индустријске мреже. Индустријске потрошачке мреже се могу реализовати и у класи средњег напона (3 kV, 6 kV, 10 kV), зависно од врсте и снаге уређаја које напајају.

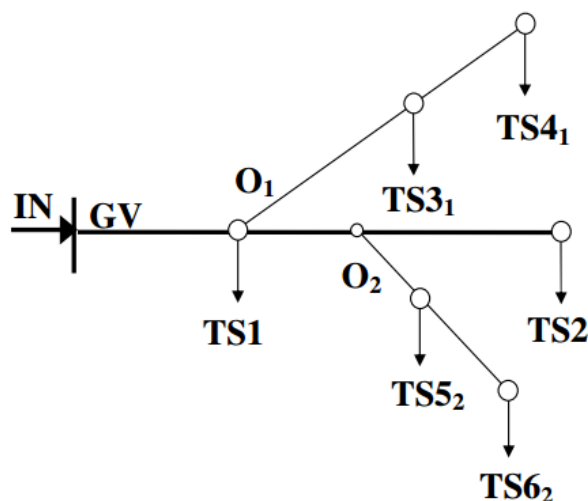
3) Према топологији мреже се могу сврстати у две основне групе:

- радијалне мреже и
- прстенасте мреже

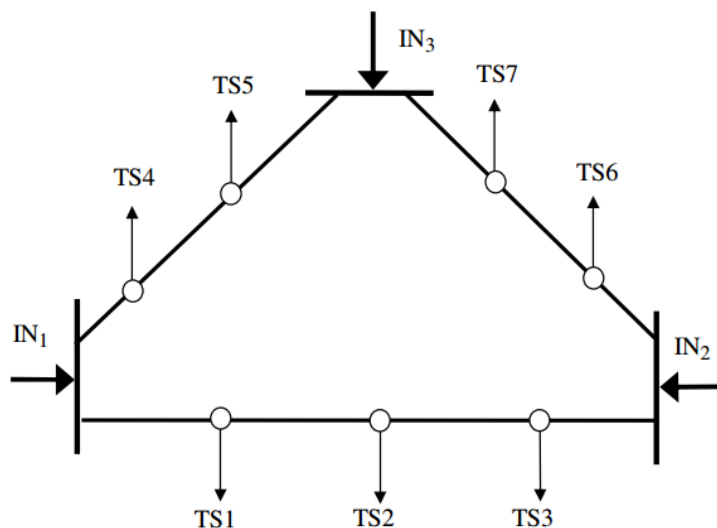
Основни критеријум поделе мрежа на ове две групе су могући смерови протока електричне енергије по деоницама водова, односно путеви напајања потрошачких чворова посматране мреже.

Радијалне мреже карактерише само један смер протока електричне енергије по деоницама водова мреже и једнострано напајање потрошачких чворова. Реализују се у различитим варијантама: радијално напајање у тачки, чисто радијално напајање, радијално напајање са огранцима (слика 14) и

Прстенасте конфигурације карактерише могућност протока електричне енергије по деоницама водова у оба смера, а што се обезбеђује међусобним повезивањем деоница водова и везивањем напојних деоница на један или више извора напајања (слика 15).

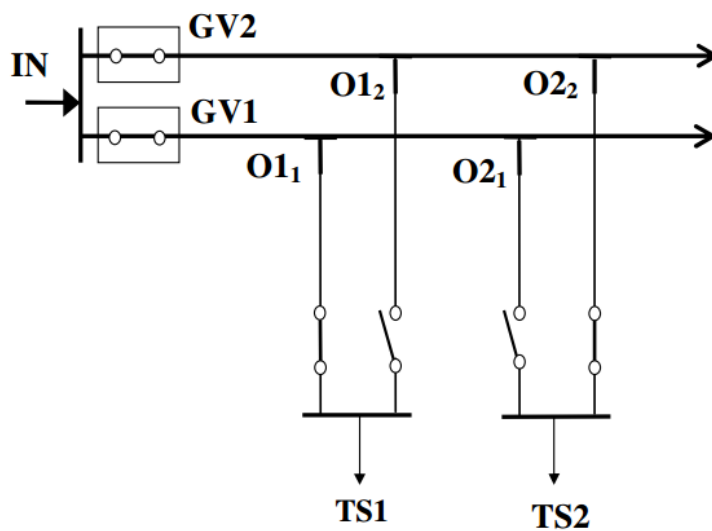


Слика 14: Радијално напајање [6]

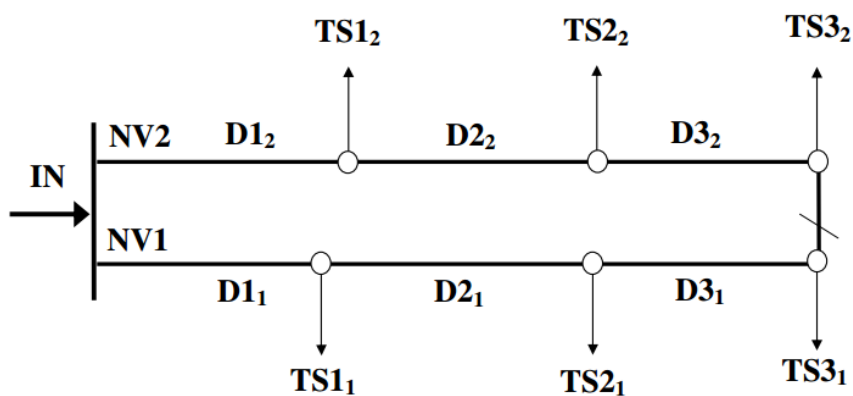


Слика 15: Прстенаста конфигурација [6]

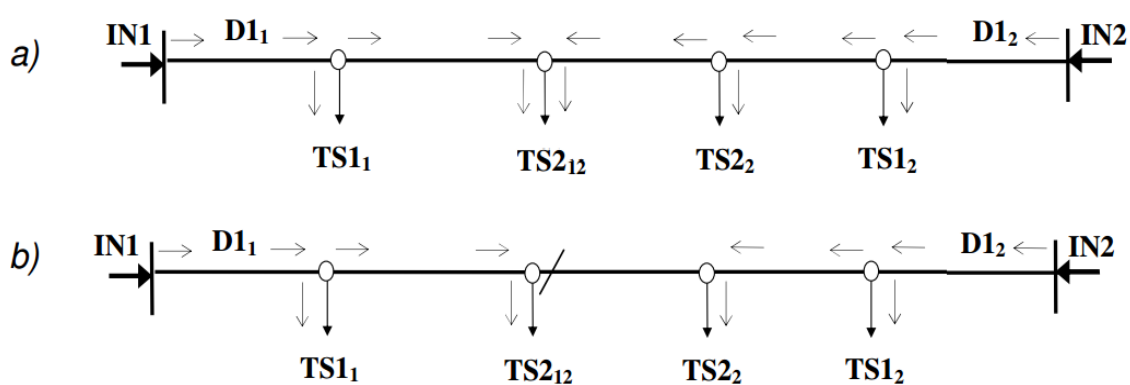
Конфигурације се према начину напајања односно везивања напојних деоница на изворе напајања могу сврстати у три основне групе: мреже код којих се све напојне деонице водова напајају из истог извора напајања (двоструко напајање – слика 16, прстенаста конфигурација – слика 17) мреже код којих се повезују водови чије се напојне деонице ослањају на два извора напајања (двострано напајање - слика 18) и мреже напајане из више извора (петљасти конфигурација – слика 19).



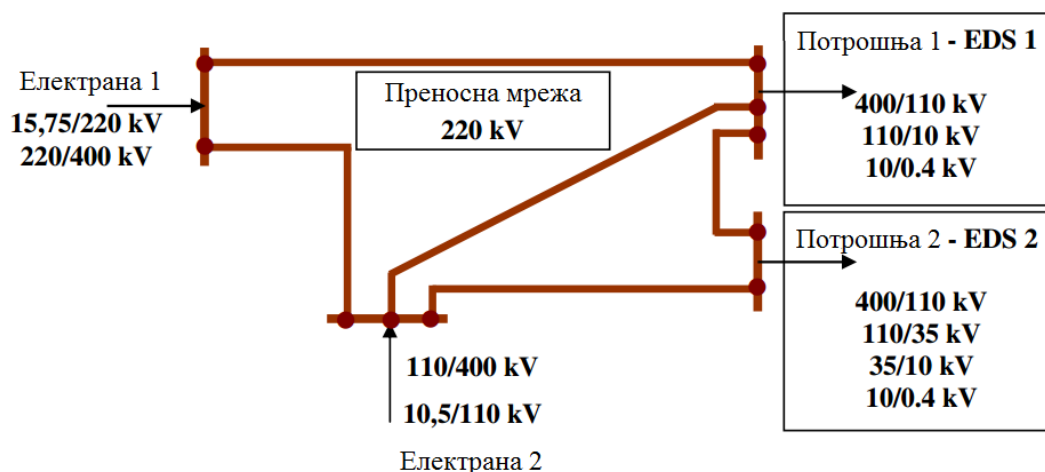
Слика 16: Двоструко напајање [6]



Слика 17: Прстенаста конфигурација [6]



Слика 18: Двострано напајање: а) затворени погон, б) отворени погон [6]



Слика 19: Пратенаста конфигурација [6]

4) Према конструктивној изведби основних елемената, а то су електроенергетски водови, мреже се дијеле на:

- надземне или ваздушне мреже,
- кабловске или подземне мреже

Надземне мреже се примењују у преносу, у оквиру напојних мрежа EDS-а, као и на дистрибутивном нивоу у сеоским и приградским подручјима. Цене кабловског преноса на највишим напонима знатно су више (реда десет пута) од оних надземним путем.

Зато се напојне мреже EDS најчешће реализују као ваздушне. Ради бољег коришћења коридора у урбаним срединама, у свету се првенствено граде вишесистемски водови са већим бројем проводника у снопу и различитих напонских нивоа. Тако су нпр. у Немачкој већ одавно у експлоатацији вишесистемски водови напона 2x400 kV и 4x110 kV. Са порастом оптерећења конзума треба ићи на повећање, односно примену већих пресека фазних проводника. Тако је код водова 110 kV, преласком са пресека 240/40 mm² на пресек 490/65mm², за исту ширину коридора, могуће повећати специфично оптерећење (оптерећење по дужном метру вода [MW/m]) за око 47%. Истовремено, ако се користе два проводника у снопу, могуће је повећати специфично оптерећење за око 30%.

Напојне мреже се изводе као кабловске у случају просторних ограничења, урбанистичких захтева, негативног утицаја надземних водова на околину, повећаних захтева за поузданошћу напајања. Најчешће се реализују у облику тзв. „дубоког увода“, где се снажним двоструким кабловским водовима високог напона иде до самих градских центара, односно центара потрошње.

Дистрибутивне мреже градских EDS су у основи кабловске, као и индустријске дистрибутивне мреже. Као ваздушне реализују се дистрибутивне мреже које напајају удаљенија приградска и сеоска подручја.[6]

7 Закључак

Електроенергетски и електродистрибутивни системи углавном датирају још из времена СФР Југославије, што значи да је потребно модернизовати енергетске системе у земљи. Модернизација се може извршити изградњом нових система, али може се извршити у виду реконструкције постојећих, што је с обзиром на финансиску ситуацију у нашој земљи више вероватно. Пошто су хидро и термоелектране старе по неколико деценија, јасно је да оне нису енергетски ефикасна постројења, тако да се може посветити пажња повећању ефикасности. Поред тога енергетски систем би могао да се унапреди применом обновљивих извора енергије, којима се све више земаља окрећу.

Европске земље су изградиле стратегију усмерену ка обновљивим изворима енергије и повећању енергетске ефикасности, уз истовремени извоз технологије. Према одлуци Европске комисије, обновљиви извори енергије су не само истраживачки, већ и политички приоритет.

Према плану електроенергетског развоја Републике, упоредо са изградњом мини хидроелектрана, акценат ће такође бити стављен на изградњу соларних електроана. Конверзија соларне енергије се сматра једном од најперспективнијих обновљивих енергетских технологија, која има могућност да значајно допринесе одрживом снабдевању енергије и која потпомаже ублажавању емисија гасова стаклене баште. Још један у низу планова електроенергетског развоја Републике у електроенергетски систем уводиће се и ветрогенератори. Планирано је да се они користе на подручју југоисточне Србије, јер су ту већ рађена истраживања руже ветрова. То би могло да покрене привреду. Обновљиви извори енергије су веома уносна инвестиција, јер се уз мала улагања много добија. Добро би било да ветрогенераторе почну да праве приватна предузећа која би добила добар посао. Ветрогенератор кошта око 150000 евра и најлогичније је да се постави близу неког далеководу у који би директно слао струју. Она се читава, мери и ЕПС плаћа испоручиоцу. Сви ветрогенератори, као и мини хидроелектране на којима се такође ради, заокружили би систем обновљивих извора електричне енергије. Поред тога, запослио би се велики број људи у тој области, а такође би се повећао извоз. Реч је о технологији која је свима потребна, а коју ми можемо да освојимо. [7]

Пошто се домаћи енергетски систем у највећој мери ослања на угаљ, тј термоелектране, неопходно је реновирати енергетски систем, с обзиром на чињеницу да је угаљ ограничен извор енергије. Време је да се окренемо другим „зеленим“ видовима добијања енергије, што је у свету већ одавно уређено законским регулативама и постало уобичајени начин за снабдевање електричном енергијом.

Литература:

- [1] Миљанић П., Нахман Ј., Стојић М., Електроенергетски системи, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, Београд, 2006.
- [2] Радуловић Ј., Електротехника са електроником, Машински факултет Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2011
- [3] <http://muricmilorad.files.wordpress.com/2011/11/07-glava-3-osnovni-elementi-eesa.pdf>, 15.05.2012
- [4] www.viser.edu.rs/download.php?id=4002, 11.05.2013
- [5] <http://www.srbel.net/2012/10/07/eps-planira-da-se-zaduzi-10-milijardi-dinara/elektroenergetski-sistem-srbije/>, 11.05.2013
- [6] <http://www.etf.ucg.ac.me/materijal/1317970034IKolEDSPred11-12.pdf>, 17.05.2013
- [7] <http://www.vibilia.rs/srpski/izvestaj/0508/Dopuna%20za%20elektroenergetski%20sistem%20Srbije%20Obnovljivi%20izvori%20energije.pdf>, 20.05.201
- [8] http://bs.wikipedia.org/wiki/Elektroenergetski_sistem, 05.05.2013