

## Производство на електрическа енергия

Преобразуването на природните източници на енергия се извършва в **електрически централи**. Те представляват комплекс от съоръжения, обединени от общ технологичен процес. В зависимост от вида на използваната първична енергия електрическите централи са термични (ТЕЦ), водни (ВЕЦ) и атомни (АЕЦ).

Етапите на преобразуване на енергията в термичните електроцентрали (ТЕЦ) са показани на фиг. 1.1.



фиг. 1.1.

При централите, работещи с твърдо гориво, въглицата се смилат и полученият прах постъпва заедно с поток горещ въздух в пещта на парогенератора, където изгаря. В пещта са разположени вертикални тръбни снопове, в които чрез помпи се подава вода. Получената при горенето топлина загрева водата и почти напълно я изпарява. Чрез система от паропрегреватели парата се прегрява до температура 520-560 С и налягане 14-20 МРа.

В парната турбина потенциалната енергия на парата се превръща в механична енергия.

Парните турбини са многостъпални, за да се получи максимален коефициент на полезно действие.

Във всяко стъпало парният поток най-напред се ускорява в неподвижни направляващи дюзи, от които постъпва в работните лопатки на турбината. Валът на турбината е свързан директно с вала на синхронния генератор. В него механичната енергия се превръща в електрическа енергия на променлив ток.

В редица наши термични електроцентрали работят синхронни турбогенератори с номинална мощност 210 MW, номинална честота на въртене 3000 min<sup>-1</sup> и номинално напрежение 15,75 kV.

След като излезе от парната турбина, парата се охлажда в кондензатора. През него преминава охлаждаща вода, която от своя страна чрез принудителна циркулация се охлажда в езера или охладителни кули. Кондензираната вода с помощта на помпа се връща в парогенератора за повторно изпарение.

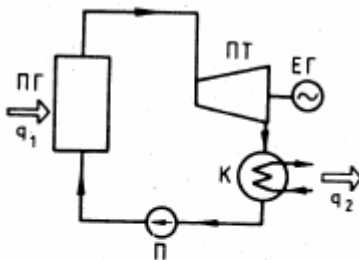
Параметрите на състоянието на термодинамичната система — абсолютната температура  $T$ , налягането  $p$  и специфичният обем  $v$ , са свързани с уравнението

$$P = vRT$$

Количеството топлина  $q$ , което се внася или отнема в термодинамичната система, според втория закон на термодинамиката може да се определи чрез температурата  $T$  и ентропията  $s$ ;

$$q = \int_{s_1}^{s_2} T ds.$$

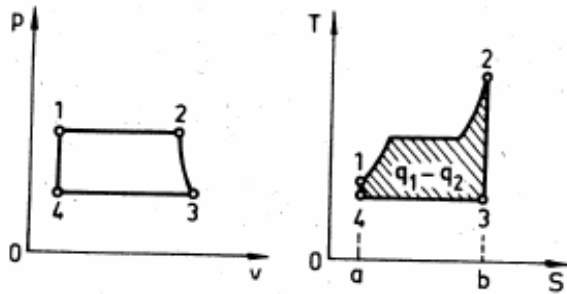
При затворен непрекъснат термодинамичен цикъл топлината се превръща в механична работа, ако термичният двигател (парната турбина) работи с два източника на топлина с различни температури. Поради необратимостта на термомеханичното преобразуване на енергията този процес е съпроводен със загуба на енергия, чиято мярка е **ентропията**.



Фиг. 1.2. Принципна схема на паротурбинна инсталация

ПГ — парогенератор, ПТ — парна турбина, ЕГ — електрически генератор, К — кондензатор, П — помпа

На фиг. 1.2 е показана принципната схема на **паротурбинна инсталация**. Процесите при термодинамичния цикъл могат да се обяснят чрез диаграмите  $p(v)$  и  $T(s)$  — фиг. 1.3.



Фиг. 1.3. Към обяснението на процесите при термодинамичния цикъл

**Процес 1-2.** В парогенератора ПГ се внася топлина в цикъла по *изобара* ( $p = \text{const}$ ). Температурата на водата се повишава до температурата на кипене. Кипенето протича по *изопгерма* ( $T = \text{const}$ ), след което парата се прегрява. Количеството топлина  $q_1$  което се предава на работното тяло при изгарянето на горивото, се определя по (1.2) чрез площта  $a-1-2-b-a$  на диаграмата  $T(s)$ .

**Процес 2-3.** Това е *адиабатно* разширение на прегрялата пара в парната турбина ПТ).

**Процес 3-4.** Топлината от цикъла се отвежда чрез **кондензатора К** по *изобара* и *изотерма* до пълното втечняване на парата.

Количеството топлина  $q_2$  което според (1.2) се отделя в околната среда, се представя с площта  $a-4-3-b-a$  на диаграмата  $T(s)$ .

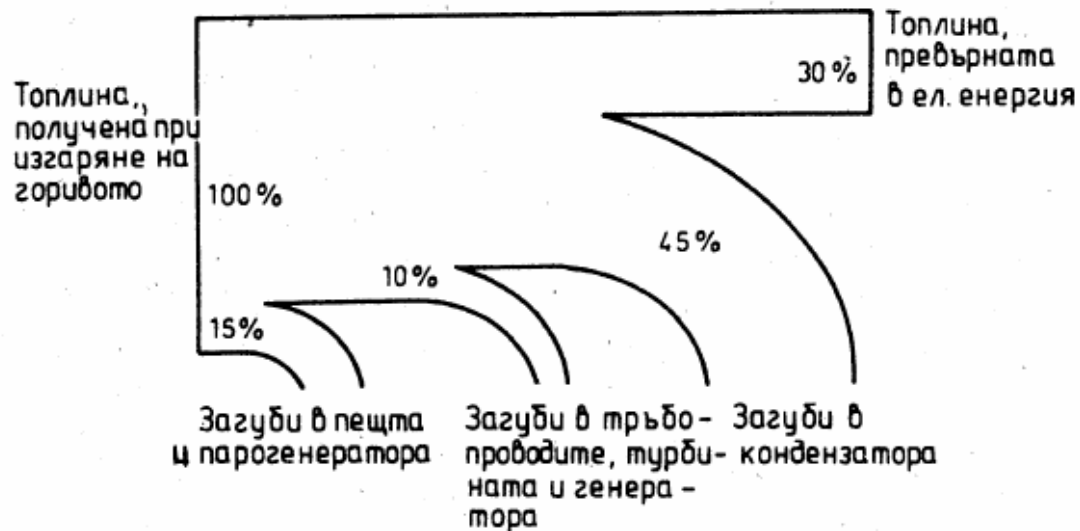
**Процес 4-1.** Това е *адиабатно* повишаване на налягането на водата в помпата П. Тъй като водата практически е несвиваема, съгъстяването в помпата е *изохорно* ( $v = \text{const}$ ).

Термичният к. п. д. на цикъла е

$$(1.3) \quad \eta_{\tau} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} .$$

Вижда се, че термичният к. п. д. е толкова по-висок, колкото е по-голяма разликата между параметрите на състоянието преди и след парната турбина, респ. между топлината, внесена в горещия източник (парогенератора), и топлината, отведена в студения източник (кондензатора).

Термичният к. п. д. на съвременните паротурбинни инсталации достига до **45%**. Освен чисто термодинамичната загуба  $q_2$  съществуват и други загуби в останалите съоръжения: **парогенератор, турбина, помпа, тръбопроводи** и др.

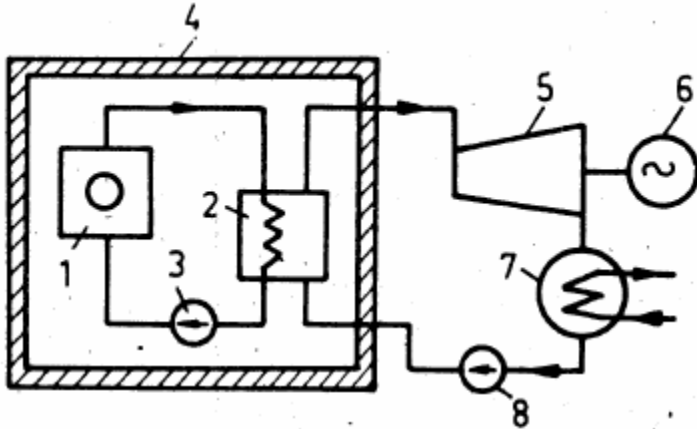


Фиг. 1.4. Енергиен баланс на кондензационна електроцентрала

На фиг. 1.4 е показан топлинният баланс на **кондензационна електроцентрала**. Тя служи за производство само на електроенергия. В нашата енергетика с голяма мощност са кондензационните електроцентрали ДЕЦ „Варна“, ТЕЦ „Д. Дичев“, ТЕЦ Марица-изток 2“, ТЕЦ „Бобов дол“.

За да се подобри енергийният баланс, се строят и **топлофикационни електроцентрали** край по-големите градове. Те са предназначени за производство на електрическа енергия и топлина, която се използва за технологични нужди в промишлеността и за отопление в бита. У нас със средна мощност са топлофикационните централи ТЕЦ „София“, ТЕЦ „Изток“, ТЕЦ „Пловдив“.

**България е бедна на енергийни ресурси.** От общите запаси на въглища 90% са лигнитни, а 9% — кафяви. Независимо от това у нас се използват успешно нискокалоричните твърди горива. Тъй като те не са достатъчни, внасят се въглища и нефт. С течено гориво работят предимно топлофикационните и отоплителните централи.



Фиг. 1.5. Принцилна схема на АЕЦ с два контура

1 — ядрен реактор, 2 — парогенератор, 3 — помпа, 4 — биологична защита, 5 — турбина, 6 — генератор, 7 — кондензатор, 8 — помпа

За условията на нашата страна **атомните електроцентрали (АЕЦ)** са ефективен и перспективен електроенергиен източник. Принципната схема на АЕЦ с два контура е показана на фиг. 1.5.

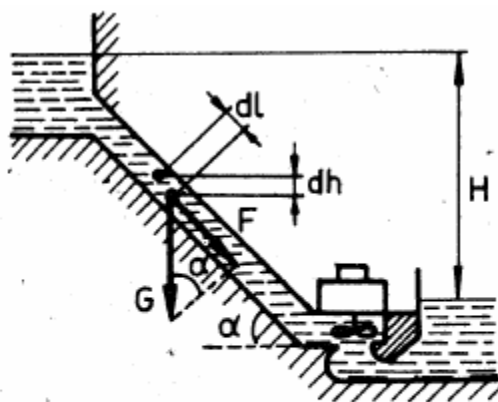
**Първият контур включва** ядрения реактор 1, парогенератора 2 и циркуляционната помпа 3. Той е защитен чрез биологична защита 4. В активната зона на ядрения реактор протича управляема ядрена верижна реакция, при която се отделя голямо количество топлина. Ядреното гориво е природен или слабо обогатен уран. В нашата енергетика работят водоводни енергийни реактори тип ВВЕР на бавни неутрони. Наричат ги така, защото водата служи за забавяне на неутроните и за топлоносител. Реакторите са снабдени със система за управление и защита. Тя е предназначена да регулира, поддържа и прекратява верижната реакция на деление на ядрата. В първия контур циркулира вода под налягане, чиито параметри на изхода от реактора са температура 320 С и налягане 16 МРа.

**Парогенераторът е обединяващо звено на първи и втори контур.** Чрез него се разделят топлоносителите в двата контура. Постъпващата в парогенератора вода на втория контур се изпарява. Парата задвижва турбината 5, която предава механична енергия на генератора 6. Останалите елементи на втория контур са кондензаторът 7 и помпата 8. Вторият контур по принцип не се

отличава от паротурбин-ната инсталация на ТЕЦ. Същото важи и за термомеханич-ното преобразуване на енергията .

В АЕЦ „Козлодуй“ работи най-големият турбогенератор в нашата страна със следните данни: номинална мощност 1000 MW; номинална честота на въртене  $1500 \text{ min}^{-1}$ ; номинално напрежение 24 kV. След изграждането на шестия енергиен блок общата мощност на генераторите в централата ще достигне 2000 MW.

**Водно-електрическите централи (ВЕЦ)** произвеждат електрическа енергия с по-ниска себестойност в сравнение с останалите видове централи, без да замърсяват околната среда. Принципната схема на ВЕЦ е показана на фиг. 1.6.



Фиг. 1.6. Принципна схема на ВЕЦ

Водата от горното езеро (водохранилището) по напорния тръбопровод се подвежда към водната турбина и след нея се изпуска в долното езеро. В турбината енергията на водата се превръща в механична енергия, която се преобразува в електрическа в хидрогенератора. Работата  $A$ , която се извършва при преместване на водата  $dl$ , се определя чрез силата  $F$ , действаща на сечението на тръбопровода. Тази сила може да се изрази чрез силата на тежестта  $G$  на елементарен обем  $Ai$ ). Тогава работата е

$$(1.4) \quad dA = F dl = G \sin \alpha dl = G dh.$$

От своя страна силата  $G$  се определя чрез плътността на водата  $\rho$  и земното ускорение  $g$

Хидравличната мощност  $P$  се получава,

$$(1.8) \quad P = \rho g Q H$$

където

- *плътността на водата  $\rho$  и*
- *земното ускорение  $g$*
- *напор  $H$*
- *дебит  $Q$*
- 

Горният израз дава теоретичната хидравлична мощност на централата при пренебрегване на загубите на налягане в тръбопровода. Вижда се, че хидравличната мощност не зависи от ъгъла на наклона  $\alpha$ , от сечението на тръбопровода и скоростта на водното сечение в него. Затова при зададени стойности на напора  $H$  и дебита  $Q$  трябва да се определят оптимални размери на хидравличната инсталация (например диаметър на тръбопровода) и да се избере подходящ тип на водната турбина.

Необходимо е да се има предвид, че хидравличната мощност на ВЕЦ не е постоянна. Дебитът се променя в зависимост от сезона, хидрометеорологичните условия, използването на вода за напояване и др.

Освен по описаната схема ВЕЦ се строят и по течението на големи пълноводни реки. В този случай напорът се създава чрез преградна стена и е сравнително малък, а дебитът - голям. Когато реката е плавателна, за преминаване на корабите се изграждат шлюзове. Разнообразието на природните условия, при които се строят ВЕЦ, определя голямо разнообразие в конструктивното изпълнение на водните турбини.

Мощността им се изменя от няколко мегавата до 850 MW, а честотата на въртене — от  $16^{2/3}$  до  $1000 \text{ min}^{-1}$ .

**Бързоходни** турбини се използват при **голям напор**, а **бавноходни** — при голям дебит и по-малък напор.

У нас най-големите водни турбини са с мощност 136 MW при  $333 \text{ min}^{-1}$ . Общата мощност на каскадата Белмекен-Сестримо е 770 MW.

Честотата на въртене на турбината не се избира произволно. Тя съответствува на синхронната честота на въртене на електрическия генератор при зададена честота на мрежата и брой на полюсите .

В електроцентралите работят повече от един (от два до двадесет) агрегати турбина-генератор.

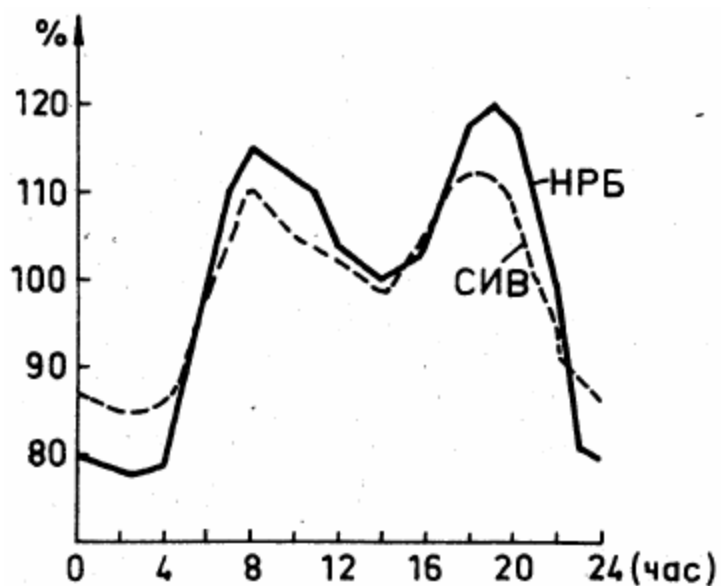
Генераторите на всички електроцентрали в дадена страна са включени паралелно към обща електрическа мрежа и отдават енергия към нея. Към същата мрежа са свързани и консуматорите на електроенергия.

Съвкупността от съоръженията, предназначени за производство, преобразуване, пренасяне, разпределение и потребление на електрическата енергия, образува **електроенергийната система** на страната.

Производството и потреблението на електрическа енергия са взаимносвързани процеси. Тъй като **променливотоковата електрическа енергия не може да се акумулира**, консумираната енергия в системата трябва по всяко време да бъде равна на произведената. По различни причини **консумацията е неравномерна** и зависи от сезона, от деня през седмицата, от часа през денонощието. Тази неравномерност се изразява с **товаров график**, който представлява изменението на сумарната мощност на потребителите във времето.

**Най- голяма неравномерност** се получава в работен ден през зимата, защото тогава се включват и изключват най-много потребители за отопление и осветление. Денонощният график [на натоварването на нашата енергийна система (плътна линия) и на обединените енергийни системи на страните от Източна Европа (прекъсната линия), в работен ден през зимата е показан на фиг. 1.7.





Фиг. 1.7. Денонощен график на натоварването на енергийната система в % от средното натоварване

Изменението на натоварването е дадено в % от средното натоварване за денонощието. Първият максимум в графика е причинен от започването на работния ден в учрежденията и повечето от промишлените предприятия. Вторият максимум се дължи на включването на осветлението, електрическите нагревателни уреди, електродомакинските уреди, телевизорите и др. Консумацията на електрическа енергия намалява значително през нощта. Общата енергия, която се произвежда в енергийната система, трябва да се изменя по същия начин. Това е възможно, тъй като общата мощност на генераторите във всички централи е по-голяма от сумарната мощност на всички потребители.

Електрическите централи са *базови и върхови*. В базовите централи (всички АЕЦ и повечето ТЕЦ) генераторите работят денонощно с номиналната си мощност.

За върхови централи се използват предимно ВЕЦ и някои ТЕЦ с по-малка мощност. Те работят с пълната си мощност по време на върховите натоварвания и се изключват или работят с намалена мощност в периода на излишък на електрическа енергия.

Предимство на агрегатите във ВЕЦ е, че се пускат бързо. В маневрени режими ТЕЦ **работят по-бавно и с по-големи загуби**, но използването им с повишена ефективност е възможно чрез регулиране на отношението между електрическата и топлинната енергия при топлофикационните централи.

Вземат мерки за изравняване на графика на натоварването, например повишаване **сменността на работа, по-ниска тарифа на нощната енергия**, топлоакумулиращи електроотоплителни уреди и др. Независимо от това променливият характер на натоварването е следствие на обективни обстоятелства. Затова маневрирането в режима на електропроизводството е неизбежно. То се управлява от централен диспечерски пункт. Изключването на консуматори при дефицит на електроенергия се използва само като крайна мярка.

**За регулиране на мощността на системата съществена е ролята на помпено - акумулиращите електрически централи (ПАВЕЦ).** При тях съоръженията се проектират така, че да бъдат обратими. Една и съща **хидравлична машина може да работи като турбина или помпа**, а една ѝ съща електрическа машина - като генератор или двигател. Режимът на агрегата се променя чрез промяна на посоката на въртене. По принцип схемата на ПАВЕЦ не се отличава от тази на фиг. 16.

По време на върховото натоварване на системата ПАВЕЦ работи както ВЕЦ и отдава електрическа енергия към мрежата. През **нощните часове ПАВЕЦ** връща вода от **долното водохранилище в горното**, като се самозапасава с енергия за следващия цикъл. В този случай двигателите консумират електрическа енергия от системата, преобразуват я в механична и задвижват помпите. По такъв начин ПАВЕЦ създават благоприятни условия за работа на базовите централи с постоянно натоварване и за намаляване на неравномерността в денонощния график.

У нас съществува една от най-големите в Европа ПАВЕЦ — „Чаира“. Номиналната мощност на електрическите машини на всеки от четирите агрегата е 240 MVA като генератор или 216 MW като двигател. Номиналното напрежение е 19 kV, а номиналната честота на въртене — 600  $\text{min}^{-1}$ . Пускането на един агрегат трае 3—4 минути.

## Пренасяне, разпределение и потребление на електрическата енергия

Електроенергийната система обединява всички производители и потребители на електрическа енергия в страната. Концентрацията на електрическите товари (големи градове и промишлени центрове) не съвпада с местоположението на повечето електрически централи.

Това налага пренасяне на големи мощности на големи разстояния.. Производството и пренасянето на електрическата енергия става с **трифазен променлив ток**.

Пълната мощност, изразена чрез линейното напрежение  $U_{\text{л}}$  и линейния ток  $I_{\text{л}}$ , е

$$(1.9) \quad S = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}$$

Загубите на мощност в трифазен електропровод са

$$(1.10) \quad p = 3 R I_{\text{л}}^2,$$

където  $R$  е съпротивлението на една фаза на електропровода.

След като се изрази токът чрез мощността, се получава

$$(1.11) \quad p = \frac{S^2}{U_{\text{л}}^2} R.$$

При определена дължина и сечение на проводниците ( $R = \text{const}$ ) и зададена мощност ( $S = \text{const}$ ), за да се намалят загубите в електропровода, е необходимо да се увеличи напрежението. **Номиналните напрежения за пренасяне** на електрическа енергия са **110, 220, 400, 500 и 750 kV**.

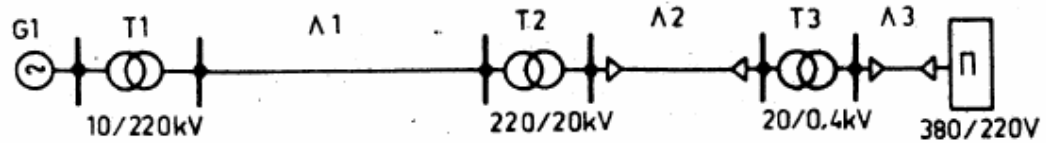
**Изборът на номинално напрежение** зависи главно от **мощността и дължината на електропровода**. В близост до потребителите енергията се пренася по разпределителни електропроводи, които са по-къси и с по-малка мощност. Номиналните напрежения на **разпределителните електропроводи са 6, 10, 20 и 110 kV**. Номиналните напрежения на **потребителите са 380 V (трифазно) и 220 V (еднофазно)**.

Различните напрежения, чрез които се **пренася, разпределя и консумира електрическата енергия**, изискват **многостепенно преобразуване** на напрежението на електропроводите между централите и потребителите. Това преобразуване на стойностите на напрежението и тока се извършва в **трансформаторни подстанции** чрез повишаващи и понижаващи трансформатори. В подстанциите освен силовите трансформатори са монтирани **апаратите за комутация и средствата за измерване, защита и автоматика**.

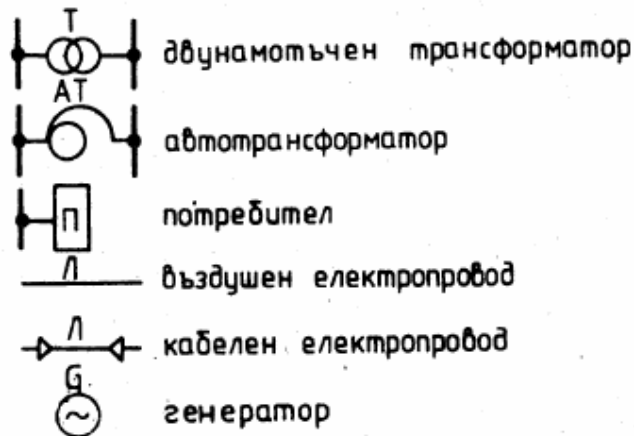
Частта от електроенергийната система, която служи за пренасяне и разпределение на енергията, се **нарича електрическа мрежа**. Тя се състои от електропроводите и трансформаторните подстанции. Според номиналното напрежение електрическите мрежи са за ниско напрежение (**до 1000 V**), за средно напрежение (**6,10 и 20 kV**) и за високо напрежение (**110 kV и повече**).

При мрежите за високо напрежение се увеличават загубите от **коронен разряд** (електрически разряд във въздуха около проводниците). Тези загуби се вземат предвид при проектирането на електропроводите за високо напрежение наред със загубите в съпротивлението на проводниците.

Принципната схема на един клон от електрическа мрежа е показана на фиг. 1.9.



Условни означения:



Фиг. 1.9. Принципна схема на един клон от електрическа мрежа

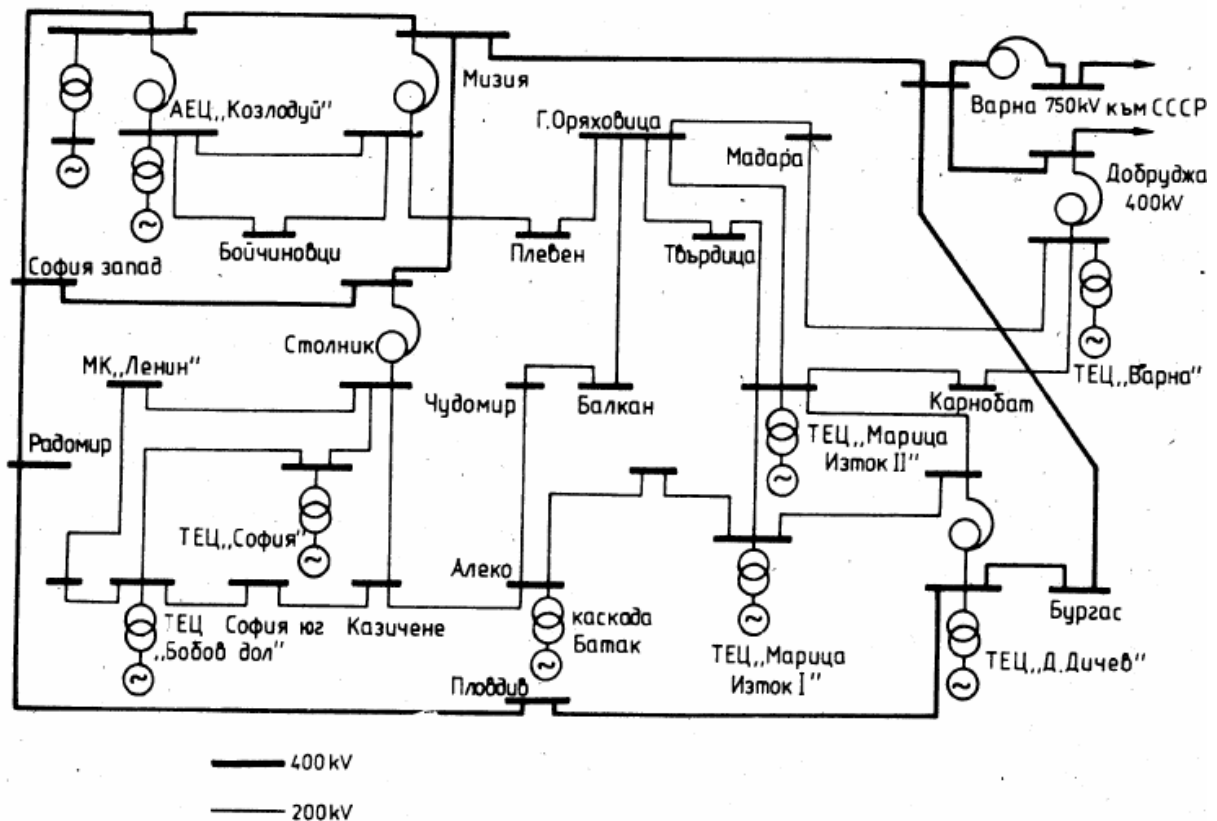
*G1* — генератор, *T1* — повишаваща подстанция, *L1* — преносен електропровод, *T2* — понижаваща подстанция, *L2* — разпределителен електропровод, *T3* — трансформаторен пост, *L3* — електропровод за ниско напрежение, *П* — потребители

Повишаващата трансформаторна подстанция 2 е близко до генераторите 1 в електрическата централа.

Преносният електропровод 3 е свързан с понижаващата подстанция 4, а разпределителният електропровод 5 достига до трансформаторния пост 6, който чрез електропровод за ниско напрежение 7 захранва потребителите 8.

Електрическите мрежи се изпълняват така, че потребителите да бъдат захранени с електрическа енергия от няколко електропровода. С това се повишава надеждността на електроснабдяването при повреда на съоръженията (електропровод, трансформатор и др.).

На фиг. 1.10 е показана опростена схема на електроенергийната система на България.



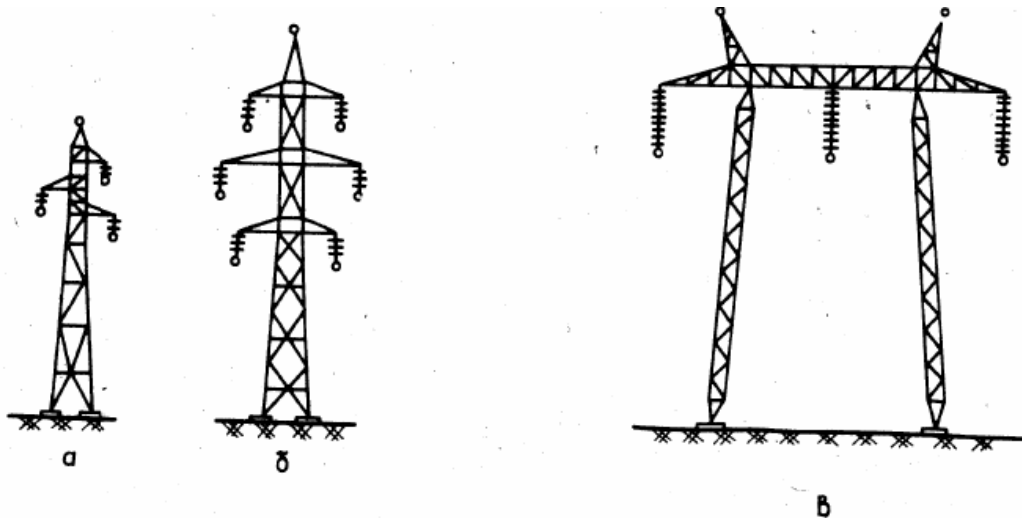
Фиг. 1.10. Опростена схема на електроенергийната система в Република България (с тънка линия са означени електропроводите за напрежение 220 kV, а с дебела линия — за 400 kV)

На нея са дадени основните централи, подстанции и преносни електропроводи. Номиналните напрежения, които се използват при пренасянето на електрическата енергия у нас, са 220 и 400 kV. В схемите се използват еднолинейни изображения и условни означения на елементите. В действителност всички елементи на мрежата са трифазни

**Електропроводите са въздушни и кабелни.**

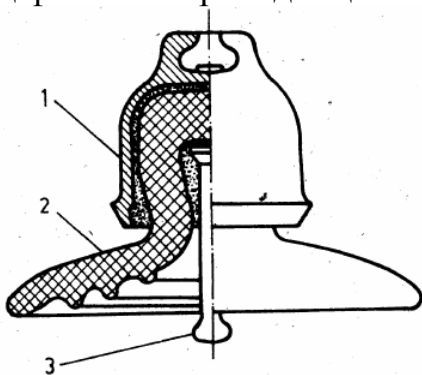
**Въздушните мрежи** се строят на открито. При тях се използват голи **стоманено-алуминиеви проводници**. Те имат стоманени вътрешни жила, които повишават механичната якост. Външните жила са алуминиеви и притежават добра електрическа проводимост и устойчивост на корозия.

При въздушните електропроводи се използват различни видове стълбове. На фиг. 1.11 са показани три конструкции на метални решетъчни стълбове за различни номинални напрежения.



Фиг. 1.11. Конструкции на метални стълбове за различни номинални напрежения  
*a* — 20 kV, *б* — 110 kV, *в* — 400 kV

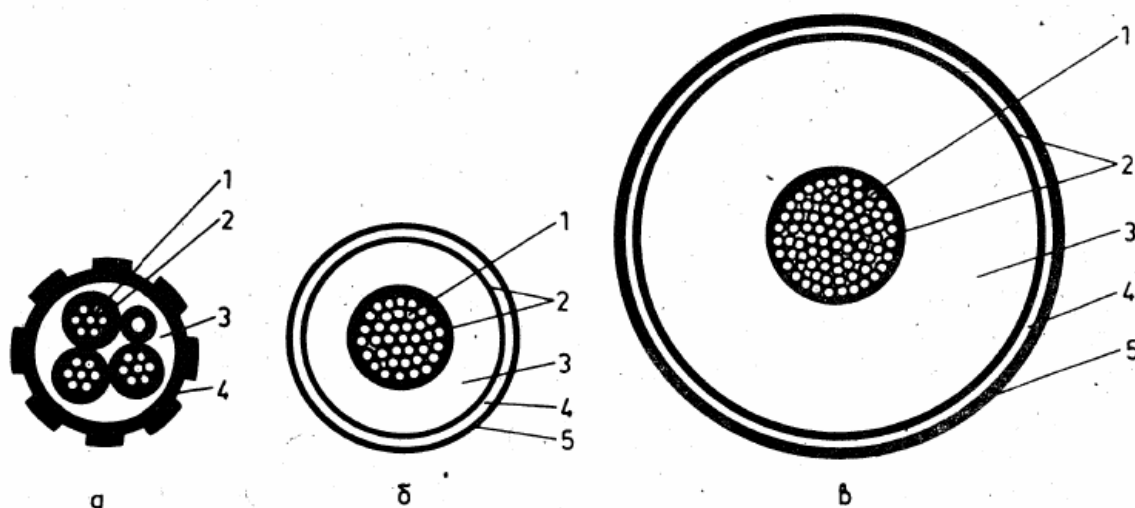
Стълбовете от фиг. 1.13 б се използват за монтиране на два отделни трифазни електропровода, при което се намаляват разходите и се увеличава надеждността на електрозахранването. Проводниците са закачени върху стълбовете с помощта на изолатори. По такъв начин те са изолирани както помежду си, така и спрямо земята и стълбовете. В горния край на стълбовете са закрепени стоманени проводници, които са заземени. Те са разположени над фазовите проводници и ги защитават от мълнии.



Фиг. 1.12. Изолаторен елемент за висящи изолатори на въздушни електропроводи  
*1* — метална шапка, *2* — изолационно тяло, *3* — специален болт

В електропроводите за високо напрежение се използват висящи изолатори (фиг. 1.12), които се състоят от отделни елементи с възможност за шарнирно свързване във верига. Изолаторните елементи са изработени от порцелан или стъкло. Броят им зависи от номиналното напрежение на електропровода.

С кабели се изграждат електроразпределителните мрежи за ниско и средно напрежение в населените места и в промишлените предприятия. Токопроводящите жила са многожични, изработени от мед или алуминий. В зависимост от броя им кабелите са едно-, дву-, три- и четирижилни. За електрическа изолация на кабелните жила се използват кабелна хартия, каучукова смес или пластмаси. Дебелината и видът на изолацията зависят от номиналното напрежение (фиг. 1.13). Външно кабелите са предпазени от механични повреди, влага и корозия чрез подходящи обвивки. У нас кабели се произвеждат в завод Бургас.



Фиг. 1.13 Напречен разрез на кабели за различни номинални напрежения

а — четирижилен кабел за ниско напрежение (до 1 kV); 1 — токопроводими жила, 2 — изолация на жилата (поливинилхлорид), 3 — пълнител, 4 — защитна обвивка; б — едножилен кабел за средно напрежение (20 kV); в — едножилен кабел за високо напрежение (110 kV); 1 — токопроводимо жило, 2 — електростатичен екран, 3 — изолация (полиетилен), 4 — броня (медна лента), 5 — защитна обвивка (поливинилхлорид)

Въздушните електропроводи се строят с по-малки капиталовложения от кабелните. При тях възникналите повреди се откриват и се отстраняват по-лесно. Обаче поради необходимостта от значителни изолационни разстояния за въздушните електропроводи е необходима сравнително голяма площ. Кабелните електропроводи се полагат непосредствено в земята или в специални канали. Те са независими от атмосферните влияния.



Сеченията на проводниците на електропроводите са стандартизирани. Изборът на сечението и напрежението на дадена електрическа мрежа е технико-икономическа задача, при решаването на която са възможни различни варианти. Критерий за определянето на ефективността на приетия вариант е **минимумът на сумата от капиталните вложения и разходите за експлоатация, отнесени за една година.**

Освен това се прави проверка за **допустимото загряване** на проводниците и допустимото изменение на напрежението в мрежата.

**Изменение на линейното напрежение** е разликата между линейните напрежения в началото и в края на електропровода. При симетрична трифазна система то е

$$(1.12) \quad \Delta U = U_1 - U_2 = \sqrt{3} Z I,$$

където  $Z$  е импедансът на една фаза на електропровода. Желателно е напрежението **на потребителите да бъде равно на номиналното**, т. е.  $U_2 = U_n$ . Това условие е трудноизпълнимо, тъй като **изменението на напрежението зависи от тока**, който се мени поради включването и изключването на потребители в мрежата. Отклонението на напрежението от номиналното оказва неблагоприятно влияние върху режима на работа на потребителите на електрическа енергия. Следователно промяната на този и други параметри трябва да бъде ограничена в допустими граници. По такъв начин се осигурява качеството на електрическата енергия. Отклонението на напрежението в проценти от номиналното се определя от израза

$$(1.13) \quad \Delta u = \frac{U_2 - U_n}{U_n} 100 \%$$

**Нормирани са следните допустими стойности на  $\Delta u$ :**

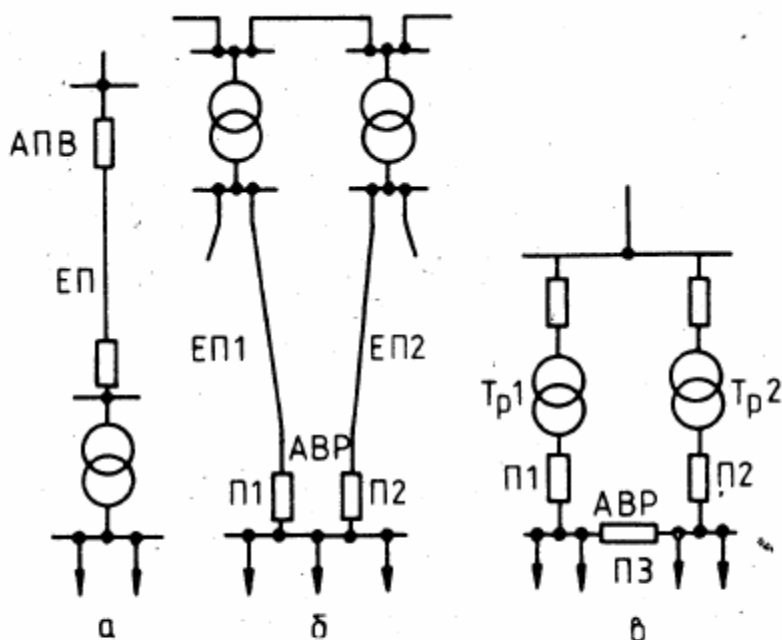
- за осветлението в промишлени предприятия от  $-2,5$  до  $+5\%$ ;
- за напрежението на електрическите двигатели: от  $-5$  до  $+10\%$ ;
- за останалите потребители:  $\pm 5\%$ .

**Допустимото отклонение от номиналната честота (50 Hz) е 0,1 Hz.**

По подобен начин са **нормирани допустими стойности за несиметрията на напреженията при трифазна система**, за **отклонението на формата на напрежението** от синусоидната и др.

Голямо е значението на **надеждността** на енергийната система за непрекъснатото снабдяване на потребителите с електрическа енергия. Надеждността се оценява с **вероятностни показатели**, тъй като отказите на съоръженията възникват под действието на **случайни фактори**. При определяне на оптимални показатели за надеждност трябва да се имат предвид следните основни съображения. От една страна, повишаването на надеждността е свързано с увеличаване на капиталовложенията (например за изграждане на няколко електропровода, които захранват големи и отговорни потребители на електроенергия). От друга страна, недостатъчната надеждност води до значителни загуби при прекъсване на електроснабдяването и спиране на производството.

Непрекъснатото електроснабдяване на потребителите се осигурява с **релейната защита и автоматизацията на електроенергийната система**, която е система от устройства, предназначени да **изключват повредени** участъци на мрежата, да защитават електрическите съоръжения и др.



Фиг. 1.14. Принцилни схеми на устройства за автоматично повторно включване—АПВ (а), и за автоматично включване на резервното захранване — АВР (б, в)

Към тях се отнасят устройствата за **автоматично повторно включване** (АПВ), които служат за ликвидиране на преходни къси съединения. При поява на късо съединение през електрическа дъга АПВ **изключва кратковременно електропроводът ЕП** (фиг. 1.14 а). През безтоковата пауза дъгата загасва, а диелектричните свойства на изолацията в мястото **на късото** съединение се възстановяват. След автоматичното повторно включване на прекъсвача продължава нормалната работа на потребителите, които почти не усещат моментното **прекъсване** на захранването. Ако късото съединение е трайно, релейната защита изключва окончателно електропровода.

**Принципът на автоматичното включване на резервното захранване (АВР)** може да се обясни с помощта на фиг. 1.14 б и в.

Подстанцията, показана на фиг. 1.14 б долу, е захранена от работния електропровод *ЕП1*, докато електропроводът *ЕП2* е резервен (прекъсвач *П2* е изключен). При повреда на *ЕП1* автоматично чрез АВР се изключва прекъсвачът *П1*, след което се включва *П2* и потребителите се захранват ст *ЕП2*.

Трансформаторите в подстанцията на фиг. 1.14 е се резервират взаимно. Те захранват две групи потребители (прекъсвачът ПЗ е изключен). При повреда в който и да е от двата трансформатора уредбата за АВР го изключва и включва ПЗ. Така всички потребители се захранват от работещия трансформатор.

Според терминологията на кибернетиката **електроенергийните** системи спадат към категорията на големите системи. Те съдържат много голям брой взаимносвързани елементи, По различни причини в системата се получават големи и малки смущения — къси съединения, изключване и включване на **електропроводи**, трансформатори и генератори, изменение на натоварването и Т. н. Под влияние на смущенията състоянието на системата се променя непрекъснато. Колебят се напрежението и честотата, изменят се енергийните потоци по електропроводите и др.

Съвременните електроенергийни системи притежават висока степен на организираност благодарение на **автоматичното управление**. С него се постига **устойчивост** на електроенергийната система. Това е свойство на системата да се връща в изходното си установено състояние след извеждането ѝ от него поради смущаващи въздействия. По такъв начин се запазва целостта на системата, осъществява се непрекъснат баланс на произведената и консумираната електрическа енергия и се регулират в определени граници напрежението и честотата.

При изучаване на енергийната система различните видове преобразуватели на електрическа енергия в друг вид енергия бяха **наречени потребители**. Такива са електрическите двигатели, които превръщат електрическата енергия в механична, **електрическите нагреватели и пещи** превръщат електрическа енергия в топлина, **електрическите лампи** — в светлина и др. Терминът потребител се използва и за по-големи единици, обединени с общ технологичен или административен признак, например промишлени предприятия, електрически транспорт, битови потребители и др.

Загубите на мощност при пренасяне на електрическата енергия зависят от коефициента на мощността  $\cos \varphi$ , който може да се изрази чрез активната мощност  $P$  и пълната мощност  $S$ :

$$(1.14) \quad \cos \varphi = \frac{P}{S} \cdot$$

След като се замести  $S$  от (1.14) в (1.11), се получава

$$(1.15) \quad \rho = \frac{P^2}{U_{\text{л}}^2 \cos^2 \varphi} R.$$

Вижда се, че при еднакви други условия загубите на мощност в електропровода  $\rho$  са обратнопропорционални на коефициента на мощността в квадрат. Оттук следва, че с повишаване на  $\cos \varphi$  съществено се намаляват експлоатационните разходи при доставянето на електрическа енергия на потребителя. При изясняване на възможностите за **подобряване на  $\cos \varphi$**  трябва да се има предвид, че в промишлеността работят много голям брой асинхронни двигатели, които консумират от мрежата активна и реактивна (индуктивна) енергия. Стойността на  $\cos \varphi$ , с който работи асинхронният двигател, зависи от степента на натоварването му. Когато асинхронният двигател е натоварен с мощност, по-малка от номиналната, коефициентът на мощността му **намалява**. Следователно, за да се повиши  $\cos \varphi$ , е необходимо:

- при проектиране на **електрозадвижването да се избират асинхронни двигатели с мощност, много близка до мощността**, необходима за задвижване на работния механизъм;
- производството да се организира така, че да се сведе до **минимум делът на асинхронните двигатели**, работещи с по-малък товар от номиналния;
- да се използват **синхронни двигатели вместо асинхронни** в случаите, когато задвижването позволява това.

Другата възможност за повишаване на  $\cos \varphi$  е да се произведе необходимата реактивна мощност (или част от нея) при самите потребители. Този метод се нарича **компенсиране на реактивната мощност**. Източник на реактивна мощност в електрическите мрежи за ниско напрежение са предимно **кондензаторните батерии**, които се свързват паралелно на мрежата в промишлените предприятия.

Рационалното използване на електрическата енергия има съществено влияние върху икономическите показатели на електроенергийната система, тъй като загубите на енергия в електрическата мрежа са около 10% от общата произвеждана енергия.

Производство на електрическа енергия – ТЕЦ, АЕЦ, ВЕЦ. Пренасяне, разпределение и потребление на електрическата енергия.