**Лекція №1**

**Елементи електроенергетики. Принципи роботи і конструктивне виконання основних елементів електроенергетичної системи**

**1.1. Поняття про електричну систему**

Під **електроенергетичною системою** розуміється сукупність взаємопов'язаних елементів, призначених для виробництва, перетворення, передачі, розподілу та споживання електроенергії.

До **елементів електроенергетичної системи** відносяться: генератори, що здійснюють перетворення механічної енергії в електричну; трансформатори, що перетворюють величини напруг і струмів; лінії електропередачі, призначені для транспортування електроенергії на відстань; всіляке допоміжне обладнання, що змінює властивості системи, а також пристрої управління і регулювання

Режим системи, так званий її стан в даний момент часу характеризується **параметрами**, що визначають процес її функціонування. До таких параметрів режиму відносяться величини потужностей, напруг, струмів, частоти і т. д.

Режими підрозділяються на сталі і перехідні. Параметри сталих режимів зберігаються на розглянутому інтервалі часу незмінними або змінюються відносно повільно. **Перехідні** режими відповідають переходу системи від одного сталого режиму до іншого; для них характерні відносно повільні і малі або швидкі і значні зміни параметрів. Для того щоб електроенергетична система могла нормально функціонувати, а споживачі електричної енергії могли працювати згідно закладеним у їх конструкціях характеристикам, необхідна відповідність параметрів режиму певним величинам. При цьому забезпечується прийнятна якість електроенергії, що підводиться до споживачів, яка характеризується значенням напруги, частоти, симетрією (для трифазного струму) і синусоїдальні (формою кривої струму).

Фізичні властивості елементів електричної системи та взаємозв'язку елементів між собою. Характеризуються параметрами електричної системи. До таких параметрів відносяться: опір елементів, моменти інерції і постійні часу, що характеризують швидкості зміни електричних і механічних величин, і т. д.

Елементи електричної системи зв'язані єдністю процесів, що в них відбуваються. Так, на протікання електромагнітних процесів, викликаних, наприклад, збуреннями в електричній мережі, впливають режими роботи турбін, механічна енергія яких перетворюється в електричну. На ці ж процеси впливають режими роботи електричних двигунів і приєднаних до них виробничих механізмів, так як в двигунах електрична енергія перетворюється в механічну. Зміни режимів роботи турбіни, у свою чергу, викликають зміни параметрів пари в паропроводах, а отже, і роботи парогенераторів. Витрата вугілля, газу або якого-небудь іншого органічного палива на ТЕС чи витрата води на ГЕС залежить від споживання електроенергії в системі.

Системи вугледобувні, газо- і нафтопостачаючі і інші- спільно з електроенергетичною системою утворюють Єдину об'єднану енергетичну систему країни. Організація найбільш доцільної (економічно і технічно) оптимальної експлуатації Єдиної об'єднаної енергетичної системи має надзвичайно важливе значення для всього національного господарства. Тому в даний час особливо гостро ставиться проблема залучення якісно нових, найбільш досконалих методів управління, заснованих на новітніх досягненнях науки і техніки.

Електроенергетична система, таким чином, тісно пов'язана з іншими системами (в тому числі і з навколишнього біологічного середовищем), створюючими глобальну систему. При проектуванні розвитку електроенергетичної системи і управління її режимами ці зв'язки необхідно враховувати.

Частина електричної системи, призначена для передачі розподілення електричної енергії, що містить підстанції лінії електропередачі і розподільні пристрої, називається **електричною мережею**.

На підстанціях виробляється перетворення, а іноді і розподіл електричної енергії. Під перетворенням електричної енергії розуміється зміна величини напруги і струму в трансформаторах.

**1.2 Класифікація електричних мереж**

Електричні мережі класифікуються наступним чином (рис. 1.1)

Рисунок 1.1 – Класифікація електричних мереж

Електричні мережі **загального призначення** умовно можна розділити на:

1. **місцеві** – радіусом дії 15…30 км, напругою до 35 кВ (а також глибокі вводи 110 кВ на промислових підприємствах);
2. **районні** – напругою 110 кВ і вище.

**За напругою** розділяють мережі **до 1000 В** і **вище 1000 В**.

**За родом струму** – **постійного** та **змінного** струмів. Останні – або трифазні (три-, чотирипровідні), або одно- чи двофазні відгалуження від чотирипровідних мереж. Тягові мережі електрифікованих залізниць – однофазні.

**За призначенням – живлячі** та **розподільні**. Живлячі мережі зв’язують окремі електричні станції та районні підстанції. В останньому випадку їх часто називають районними мережами (напругою 110 кВ і вище). Розподільні мережі призначені для живлення трансформаторних підстанцій, окремих електроприймачів (двигунів, світильників) та їх груп.

**За конфігурацією** та схемами приєднання розрізняють розімкнені та замкнені мережі.

**До розімкнених** мереж відносяться ті, що отримують живлення з одного боку. Вони можуть бути радіальними та магістральними (рис. 1.2 а, б).

**Замкнені мережі** – такі, в яких живлення будь-якого споживача може бути виконано з двох боків. Кільцеві мережі також відносяться до замкнених (рис. 1.2 в, г).



Рисунок 1.2 - Схеми електричних мереж

**За конструктивним виконанням** – лінії, виконані проводами чи кабелями.

**За вимогами до надійності** електропостачання згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) електроприймачі розділяються на три категорії.

**І категорія** – електроприймачі, перерва в електропостачанні яких може викликати небезпеку для життя людей, призвести до значних збитків, пошкодження дорогого основного устаткування, масового браку, розладнання складних технологічних процесів; порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства. Такі електроприймачі повинні отримувати живлення від двох незалежних джерел, перерва в електропостачанні допускається лише на час автоматичного вмикання резервного джерела живлення.

Зі складу електроприймачів І категорії виділяється о с о б л и в а г р у -

п а електроприймачів, безперебійна робота котрих необхідна для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання життю людей, вибухів, пожеж та пошкодження дорогоцінного основного устаткування. Для них в якості третього незалежного джерела живлення, а для решти електроприймачів І категорії як друге джерело можуть бути використані місцеві електростанції, електростанції енергосистем (шини генераторної напруги), спеціальні агрегати безперебійного живлення, акумуляторні батареї та ін..

**ІІ категорія** – електроприймачі, перерва в електропостачанні котрих призводить до масового недовипуску продукції, масових простоїв робітників, механізмів та промислового транспорту, до порушення нормальної діяльності значної кількості міських та сільських жителів.

Допускається перерва в електропостачанні на час, необхідний для вмикання резервного живлення черговим персоналом чи виїзною бригадою. Допускається підводити до них живлення одноланцюговою ПЛ напругою 6 кВ і вище або однією кабельною лінією, розщепленою на два кабелі, кожний з яких приєднано через окремий роз’єднувач. Це – локомотивні і вагонні депо, залізничні селища, більшість нетягових споживачів, що живляться від тягових підстанцій.

**ІІІ категорія** – решта електроприймачів, що не відповідають визначенню І та ІІ категорій, перерва живлення їх допускається до однієї доби.

**1.3 Принцип роботи і конструктивне виконання основних елементів електроенергетичної системи**

До **основних елементів електроенергетичної системи** відносяться установки, що здійснюють вироблення електричної енергії, її перетворення, передачу на відстань і споживання.

У промислових масштабах електричну енергію отримують на електричних станціях перетворенням різних видів енергії - хімічної енергії органічного палива, внутрішньоядерної енергії, гідроенергії і т. д. Перетворення електричної енергії до виду, зручного для передачі, розподілу та споживання проводиться за допомогою трансформаторів. Передача електричної енергії на відстань здійснюється повітряним або кабельними лініями.

Синхронні генератори на станціях перетворюють механічну енергію турбін в електричну. На ТЕС турбогенератори виготовляються швидкохідними з номінальною частотою обертання відповідно до прийнятої у нас стандартної частоти змінного струму, рівною 50 Гц. Великі частоти обертання підвищують економічність роботи парових турбін, дозволяють зменшити габарити турбін і генераторів, На відміну від турбогенераторів гідрогенератори виконують тихохідними, з різними частотами обертання, обумовленими напором і витратою води в створі річки. Значно менші частоти обертання роторів гідрогенераторів призводять до відносного збільшення їх розмірів. Підвищення потужності генераторів може бути отримано збільшенням струмів в обмотках, напруг і магнітних потоків, що призводить до зростання розмірів ротора і статора. Проте максимальні розміри ротора обмежуються допустимими механічними навантаженнями. Тому одиничні потужності генераторів збільшують підвищенням щільності струму в обмотках, що супроводжується значним виділенням у них тепла і, отже, необхідністю застосовувати досконалі системи охолодження. Для охолодження генераторів використовують повітря, водні та воду. На одному валу з генератором розташовується турбіна. На ТЕС турбінні й котельні агрегати разом з допоміжним обладнанням з'єднують в незалежні блоки. Число блоків на станції зазвичай досягає 8 - 12, а потужність станції - 4000 - 6000 МВт. Місце розташування електростанції залежить не тільки від умов постачання її первинними енергоресурсами, а й від наявності в достатній кількості води.

Роботу головних агрегатів блоку забезпечують допоміжні машини, для приведення в дію яких витрачається електроенергія. Потужність, що витрачається на власні потреби блоку, становить 4-8% від його потужності. На ТЕС електроенергія витрачається на приготування палива, подачу води в котли, управління обладнанням і т.д. Витрати електроенергії на власні потреби ГЕС менше. Вони викликаються технічним водопостачанням, управлінням гідротехнічною і електротехнічним устаткуванням, охолодженням генераторів і т. д. На великих ГЕС власне споживання електроенергії складає долі відсотка від загального виробітку. До механізмів власних потреб електростанцій висувають високі вимоги щодо надійності їх роботи, так як відмови або зниження продуктивності механізмів можуть призвести до припинення вироблення електроенергії великим блоком і відключенню у зв'язку з цим великої кількості споживачів електроенергії. Для механізмів власних потреб передбачають резервне джерело живлення в якості якого зазвичай використовують систему.

При пуску блоку в роботу спочатку приводять в рух механізми власних потреб. У процесі пуску збільшують тиск, температуру пара, а швидкість обертання агрегату доводять до номінальної. Потім подають живлення до обмотки збудження і генератор електрично з'єднують з енергосистемою. Далі поступово навантажують блок, збільшуючи впуск пари в турбіну.

Часті пуски та зупинки блоків небажані, оскільки вони призводять до підвищеного зносу основних агрегатів і допоміжного обладнання, знижують надійність їх роботи, викликають додаткові витрати палива. Зазвичай блоки безперервно працюють протягом декількох місяців. У нічні години їх потужність знижують.

Турбогенератори виробляють електроенергію зазвичай при напрузі, що не перевищує 24 кВ. Щоб передати електроенергію на відстань, необхідно підвищити напругу до 110-750 кВ і вище. Для цього в блоки включають підвищувальні трансформатори; Електростанції в більшості випадків видають електроенергію на двох, іноді на трьох напругах, на яких проводиться розподіл електроенергії між лініями електропередач.

Наявні на ГЕС водосховища дозволяють регулювати витрати води, а отже, і потужність станцій таким чином, щоб забезпечити по можливості рівномірну роботу ГЕС в системі. При цьому в системі в цілому досягається найкращий економічний ефект.

У період часу, коли навантаження в системі зменшується, вода акумулюється у водосховищі ГЕС. Агрегати працюють з мінімальною потужністю або зупиняються. Як тільки навантаження різко зростає, наприклад в ранкові або вечірні години «пік», агрегати ГЕС працюють на повну потужність; витрата води в ці години може перевищувати її приток. Процес пуску і набору потужності гідроагрегатом повністю автоматизований і проводиться всього за кілька хвилин.

Гідравлічні турбіни добре пристосовані до змінного режиму роботи.

За період регулювання, який залежить від обсягу водосховища, витрата води ГЕС дорівнює її природному притоку. Період регулювання може становити добу, тижні і місяці. Під час паводків, щоб зменшити холосте скидання води через греблю, ГЕС працюють цілодобово з максимальною робочою потужністю.

Через великий об'єму будівельних робіт питома вартість більше, ніж у ТЕС, але собівартість вироблюваної електроенергії значно нижче.

Крім основних в електроенергетичній системі є різні додаткові пристрої, призначені для регулювання властивостей основних елементів: всілякі пристрої автоматики, комутаційні апарати, компенсуючі пристрої, що змінюють опір і провідності ліній електропередачі і т. д. Додаткові пристрої надають електричним системам якісно нові властивості, підвищують надійність роботи, полегшують керування, поліпшують якості електрогенергії. Ці пристрої разом з основними елементами становить органічну єдність - електричні системи.

**1.4 Передача енергії на відстань**

Необхідність спорудження ЛЕП пояснюється виробленням електроенергії в основному на великих електростанціях, віддалених від споживачів - щодо дрібних приймачів, розподілених на великих територіях.

Електростанції розміщуються з урахуванням сукупного впливу великої кількості факторів: наявності енергоресурсів, їх видів і запасів; можливості транспортування; перспектив споживання енергії в тому чи іншому районі і т.д.

Передача електричної енергії на відстань дає ряд **переваг**, дозволяє:

- застосовувати віддалені джерела енергії;

- зменшувати сумарну резервну потужність генераторів;

- використовувати розбіжність часу в різних географічних широтах при якому не збігаються максимуми розташованих у них навантажень;

- більш повно використовувати потужності ГЕС;

- збільшити надійність електропостачання споживачів і т.д.

ЛЕП, призначені для розподілу електроенергії між окремими споживачами в деякому районі і для зв'язку енергосистем, можуть виконуватися як на великі так і на малі відстані і призначатися для передачі потужностей різних величин. Для дальніх передач велике значення має пропускна здатність та найбільша потужність, яку можна передавати по ЛЕП з урахуванням всіх обмежуючих факторів.

ЛЕП відносяться до категорії відповідальних споруд, надійна робота яких забезпечується застосуванням різних компенсуючих пристроїв і установок автоматичного регулювання та керування. Для повітряних ЛЕП змінного струму можна наближено вважати, що та максимальна потужність, яку вони можуть передати, приблизно пропорційна квадрату напруги і обернено пропорційна довжині передачію Вартість спорудження також дуже грубо можна прийняти пропорційною величині напруги. Тому в розвитку передач електричної енергії на стояння спостерігається тенденція до збільшення напруги як головному засобу підвищення пропускної спроможності. Підвищення пропускної здатності ЛЕП досягається в основному за рахунок збільшення напруги, проте істотне значення має також зміна конструкції ЛЕП, введення різних додаткових компенсуючих пристроїв, при яких вплив параметрів, що обмежують передану потужність, виявляється зменшеним. Наприклад, на ЛЕП напругою 330 кВ розщеплюють дроти в кожній фазі на кілька електрично пов'язаних між собою провідників, при цьому істотно поліпшуються параметри ліній (зменшується її реактивний опір); застосовують так звану послідовну компенсацію - включення в лінію конденсаторів і т. д. Можливості подальшого підвищення граничних потужностей вимагають збільшення напруг і зміни конструкції ЛЕП. Вони пов'язані із загальним технічним прогресом, зокрема успіхами в напівпровідниковій техніці, зі створенням досконалих матеріалів, з розробками нових видів передачі енергії. Існує принципова можливість бездротової ЛЕП за допомогою електромагнітних хвиль або високочастотних коливань, спрямованих по хвилеводах. Проте практична реалізація цих ЛЕП в промисловості в даний час неприйнятна через низьку їх ефективності.

Для передачі електричної енергії можуть використовуватися надпровідні лінії, в яких може бути значно знижена напруга. Ефект, близький до надпровідності, досягається глибоким охолодженням провідників. У цьому випадку ЛЕП називають кріогенними. Це питання має історію. Ще в 1911 р голландський фізик Г. Камерлінг-Оннес встановив, що при охолодженні ртуті до температури нижче 4 0С її електричний опір зникає зовсім. Воно стрибком виникає знову при підвищенні температури понад критичного значення. Це явище назвали надпровідністю. Зрозуміло, що якби такі матеріали отримали енергетики, то вони замінили б ними звичайні провідники, ЛЕП доставляли б без втрат енергію у величезних кількостях на наддалекі відстані. Вдалося б помітно підвищити ККД потужних енергоємних пристроїв (електромагнітів, трансформаторів, електромашин), уникнути багатьох труднощів, пов'язаних з перегрівом, розплавленням, руйнуванням деталей.

Все це, однак, залишалося не більше ніж мріями, хоча в самому явищі сумніватися не доводилося. Надпровідників було виявлено чимало. У періодичній системі ними виявилися 28 елементів. Але найвища критична температура, що належить ніобію, не перевищувала 10 К. Можливості надпровідності, таким чином, різко обмежували дорожнеча і складність установок, що підтримують наднизькі температури Сплави молібдену з технецем просунули критичну температуру до 14 К. Далі вдалося отримати з'єднання ніобію, алюмінію і германію з критичною температурою 21 К.

Практичні дослідження показали, що зі зростання критичної температури число надпровідників різко убуває. Деякі фахівці навіть вважали, що вирватися з полону наднизьких температур не вдасться. Десь близько 25 К лежить найвища можлива критична температура.

Аналізуючи розвиток енергосистем в ряді країн, можна виділити дві основні тенденції:

1) наближення електричних станцій до центрів споживання в тих випадках, коли на території, яка охоплюється об'єднаної енергосистеми немає дешевих джерел енергії або коли джерела вже використані;

2) спорудження електростанцій поблизу дешевих джерел енергії та передача електроенергії до центрів її споживання.

Електропередачі, нафтопроводи і газопроводи утворюють Єдину систему енергопостачання країни. Системи електро-, нафто- і газопостачальння повинні конструюватися, споруджуватися і експлуатуватися в певній координації між собою, утворюючи Єдину енергетичну систему.

**1.5 Переваги об'єднання енергетичних систем**

На першій стадії розвитку електроенергетика являла собою сукупність окремих електростанцій, кожна з яких через власну мережу надсилала електроенергію до споживачів, не пов'язаним між собою. Надалі стали створюватися енергетичні системи, в яких електричні станції з'єднувалися електричними мережами та включалися на паралельну роботу. Окремі енергетичні системи у свою чергу також об'єднувалися, утворюючи більш -великі енергетичні системи. Тенденція до утворення по можливості найбільш великих енергетичних об'єднань виявляється практично у всіх країнах.

Єдина енергетична система України. Загальне прагнення до об'єднання енергетичних систем викликано величезними перевагами великих систем у порівнянні з окремими станціями.



Рисунок 1.3 – Зразковий вигляд графіка навантаження споживачів електроенергії

**Створення об'єднаних енергетичних систем дозволяє:**

**1. Зменшити сумарну встановлену потужність електростанцій**.

Велика сукупність споживачів електричної енергії характеризується графіком Р=f(t) рис. 12.3. Максимум сумарного навантаження Рт енергосистеми менше, ніж сума максимумів навантажень окремих споживачів. Це пояснюється відмінністю окремих максимумів через різні умови роботи споживачів. В енергетичних системах, що охоплюють великі географічні райони, розбіжність максимумів викликано розташуванням навантажень в різних часових поясах, країни, дозволить отримати більш рівномірний сумарний графік навантаження в порівнянні з графіком навантажень окремих споживачів. Встановлена потужність електростанцій в системі повинна бути достатньою для покриття максимальних навантажень споживачів.

Крім того, виходячи з вимог, що пред'являються до надійності роботи систем, повинна бути передбачена резервна потужність генераторів. При паралельній роботі електричних станцій резервна потужність може бути зменшена. Покажемо це на простому прикладі.

Нехай дві електростанції, кожна з яких має по чотири агрегати, працюють ізольовано. Тоді одна станція може виробляти електричну енергію, використовуючи 3/4 встановленої потужності, так як один агрегат повинен знаходитися в резерві. При з'єднанні двох електростанцій загальною мережею може бути використано 7/8 встановленої потужності. У першому випадку необхідна резервна потужність складає 25%, а в другому випадку вона може бути в два рази менше - 12,5%.

**2. Більш повно використовувати гідроенергетичні ресурси.**

Витрата води в річці коливається у великих межах. Для надійного постачання електроенергією споживачів потужність ГЕС (при ізольованій її роботі) потрібно вибирати виходячи з забезпеченого витрати води, який доводиться приймати досить малим. У разі великих витрат частину води довелося б скидати повз турбіни.

Розглянемо переваги об'єднання ТЕС з ГЕС на простому прикладі. Нехай потужності кожної станції рівні за 100 МВт. Кожна станція виробляє енергію для свого району, причому станції працюють ізольовано. Потужності навантажень в кожному районі рівні за 100 МВт. Потреби в електроенергії за добу у споживачів кожного району по 1600 МВт год. Далі припустимо, що по витраті води ГЕС за добу може виробити тільки 1200 МВт год. Отже, дефіцит електроенергії в районі з ГЕС складе 400 МВт год. ТЕС за добу може виробити 2400 МВт год, тобто в районі з ТЕС можуть бути додатково використані 800 МВт год. При об'єднанні на паралельну роботу ТЕС і ГЕС можна, змусивши ТЕС виробляти 2000 МВт год електроенергії, повністю задовольнити попит всіх споживачів. ГЕС більш придатні для покриття пікової частини графіків сумарного навантаження енергосистем.

1. **Підвищити економічність вироблення електроенергії.**

Внаслідок нерівномірності графіків навантажень ізольовані станції повинні працювати протягом деякого часу з недовантаженням, тобто. в не економічному режимі. У енергосистемах при провалах навантаження частина станцій може бути відключена, а для решти можна забезпечити найбільш економічні режими роботи. Крім того, різні станції мають неоднакові економічні показники вироблення електроенергії. Тому зі зростанням навантаження в системі прагнуть в першу чергу збільшити вироблення електроенергії на станціях з кращими економічними показниками.

1. **Збільшити одиничні потужності агрегатів.**

Із зростанням потужностей агрегатів Р поліпшуються їх технічні характеристики і знижується питома вартість вироблення електроенергії

**5. Підвищити надійність електропостачання споживачів.**

Окремі елементи енергетичної системи (генератори, трансформатори, ЛЕП і т. д.) в результаті аварій можуть виходити з ладу. У цих випадках частина споживачів може втратити живлення. Надійність енергетичної системи оцінюється імовірнісними показниками, так як відмови устаткування з'являються під дією випадкових факторів. З одного боку, підвищення надійності електропостачання супроводжується збільшенням вартості систем, з іншого боку, недостатня надійність призводить до шкоди від недовипуску електроенергії споживачам. Тому доцільні показники надійності електричних систем повинні встановлюватися з урахуванням цих факторів.