**Лекція 1**

**Загальні відомості про електричні системи і електричні підстанції**

**1.1 Загальні поняття**

В курсі дисципліни використовуються поняття та терміни, що характеризують призначення окремих елементів систем електропостачання. Не знання цих понять та термінів не дозволяє користуватися технічною літературою в даній області знань. З огляду на вищесказане почнемо із загальних визначень.

**Енергетичною системою** називається сукупність електростанцій, електричних та теплових мереж, з’єднаних між собою та пов’язаних спільністю режиму в неперервному процесі виробництва, перетворення і розподілу електричної енергії та теплоти при загальному керуванні цим режимом.

Електричну частина енергосистеми, що складається з генераторів і розподільного устаткування електричних станцій, підвищувальних та знижувальних підстанцій; повітряних ліній (ПЛ) та кабельних ліній (КЛ) передачі різних напруг та електричних приймачів різних типів, називають **електричною системою.**

Електроустановка, на якій виробляється електрична, а нерідко і теплова енергія, називається **електростанцією.** Виробництво електричної енергії, в основному, зосереджено на тепло-, гідро- та атомних електростанціях (АЕС) (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Виробництво електроенергії

Теплові електростанції (ТЕС) діляться на конденсаційні (КЕС) та теплоцентралі (ТЕЦ); гідростанції (ГЕС) – на руслові, пригребельні, дериваційні, гідроакумулюючі, припливні.

Розглянемо процес виробництва та перетворення енергії на простому прикладі (рис. 1.2)



1 – генератор, 2 – підвищувальна підстанція, 3 – знижуюча підстанція, 4 – підстанція для живлення споживачів 380/220 В (400/230 В)

Рисунок 1.2 – Схема виробництва, передачі та розподілу електроенергії змінного струму

Як правило **підвищувальні підстанції** споруджується безпосередньо на електростанціях. Вони необхідні для зв’язку електростанції з електричною системою та передачі електроенергії до споживачів високою напругою.

Різна потужність та віддаленість споживачів електроенергії від їх джерел зумовлюють необхідність використовувати для виробництва, передачі та розподілення електроенергії різні напруги. Як правило електроенергія виробляється на одній напрузі, перетворюється в енергію більш високої напруги та передається по електричним мережам до споживачів, де напруга знижується до необхідного рівня. Такі перетворення найбільш просто та економічно здійснювати за допомогою трансформаторів. Тому виробництво та розподілення електроенергії здійснюється за системою трьохфазного струму частотою 50 Гц.

**Знижуючі підстанції** призначені для перетворення первинної напруги живлячої мережі в більш низьку вторинну напругу, при якій електроенергія передається споживачам, приєднаним до даної підстанції. Вони можуть бути з однією вторинною напругою 6-10 кВ і двома вторинними напругами 6-10 кВ і 35 кВ, як підстанція 2 на рис. 1.2. На перших встановлюються двох обмоткові трансформатори, а на других - трьох обмоткові. Напругу 35 кВ використовують для живлення віддалених від підстанції споживачів, а напругу 6-10 кВ для живлення споживачів, що розташовані поблизу підстанції. Підстанція 3 (рис. 1.2.) призначена для електропостачання великих районів з промисловими міськими та іншими споживачами, які називаються районні.

**Електрична мережа** – сукупність електроустановок для передачі та розподілу електричної енергії, що складається з підстанцій, розподільних улаштувань, струмопроводів, повітряних та кабельних ліній електропередачі, котрі працюють на певній території.

**Електроустановка** –називається сукупність машин, апаратів, ліній та допоміжного обладнання (разом зі спорудами та приміщеннями, в котрих вони встановлені), що призначені для виробництва, перетворення, трансформації, передачі, розподілу електроенергії та перетворення її в інший вид енергії.

Відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) за умовами електробезпеки розрізняють електроустановки напругою до 1000 В і вище 1000 В.

**Розподільчий пристрій (РП)** – електроустановка, призначена для прийому та розподілення електричної енергії на одній напрузі, що містить комутаційні апарати, допоміжні пристрої та з’єднуючі їх апарати.

**Електрична підстанція** – електроустановка, або сукупність електричних пристроїв для перетворення електричної енергії за напругою, родом струму або частоті та розподілу її між споживачами.

**Тягова підстанція (ТП) –** електрична підстанція, що призначена для живлення транспортних засобів на електричній тязі через контактну мережу. Від тягових підстанцій отримують живлення й інші споживачі.

Тягові підстанції розділяють за наступними ознаками (рис. 1.3)

Електрифікація залізниць велась та ведеться як на постійному струмі 3,3 кВ, так і на змінному струмі напругою 25 кВ. Також існує більш потужна система 225 кВ. Звідки отримали розповсюдження ТП постійного струм, ТП змінного струму та стикові ТП (поєднують постійний та змінний струм).



Рисунок 1.3 – Класифікація тягових підстанцій

**Опорні ТП** (рис. 1.4, а) отримують живлення відразу по декільком повітряним лініям (не менше трьох).

**ТП на відпайках** (рис. 1.4, б) отримують живлення по двом лініям. Такі ТП підключаються глухими відпайками.

**Транзитні ТП** (рис. 1.4, в) отримують живлення по одній лінії. Такі ТП здійснюють транзит потужності через живлячі РП.

**Кільцеві (тупикові) ТП** (рис. 1.4, г) отримують живлення від двох незалежних секцій шин районної підстанції, по двом паралельно прокладеним ПЛ (радіальним лініям).

**Незалежною секцією шин** вважають секцію на якій зберігається напруга при пошкодженні та відключенні іншої секції.

Іноді ТП поєднують з іншими пристроями електропостачання: з районними підстанціями, з дистанціями контактної мережі, або черговими пунктами. Такі ТП називають **суміщеними.**

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |
|  |  |
| в) | г) |
|  |  |

Рисунок 1.4 – Тягові підстанції за схемою приєднання до мережі зовнішнього електропостачання: а – опорна ТП, б – ТП на відпайках, в – транзитна ТП, г - тупикова ТП.

**1.2 Живлення тягових підстанцій**

Схема зовнішнього електропостачання електрифікованої залізниці повинна забезпечувати живлення тягових підстанцій (крім розташованих на слабозавантажених ділянках) від енергосистеми на умовах, передбачених для споживачів з електроприймачами I категорії, щоб вихід з роботи однієї з підстанцій (секції шин) енергосистеми або лінії живлення не призводило до відключення тягової підстанції. З цією метою тягові підстанції повинні мати, як правило, двостороннє живлення від двох підстанцій енергосистеми або по двох радіальних лініях від різних систем шин однієї підстанції енергосистеми, що має не менше двох джерел живлення. За допомогою двоколової тупикової повітряної лінії електропередачі (ПЛ) допускається живлення не більше однієї тягової підстанції.

При двосторонньому живленні підстанцій по одноколовій ПЛ число проміжних підстанцій (у тому числі нетягових), що включаються у розтин ПЛ між опорними підстанціями за схемою рис.1.5, як правило, **не повинно бути більше трьох.**



Рисунок 1.5 – Схема живлення тягових підстанцій по одноколовим ПЛ

Приєднання тягових підстанцій до одноколової ПЛ **на відгалуженнях (на відпайках) не допускається**.

Від двоколової ПЛ (за умови підвішування обох кіл на загальних опорах) з двостороннім живленням на ділянці між двома опорними підстанціями рекомендується живлення не більше нижчепереліченої кількості проміжних підстанцій (включаючи нетягові), що приєднуються за схемою рис.1.6:

- для ПЛ 220 кВ – **не більше п'яти** при електрифікації тяги як на постійному, так і на змінному струмі;

- для ПЛ 110 кВ – **не більше п'яти** при електрифікації тяги на постійному і **не більше трьох** – на змінному струмі.

|  |
| --- |
| а) |
|  |
| б) |
|  |
| в) |
|  |

а – для ПЛ 110 кВ на змінному струмі; б, в – для ПЛ 220 кВ як на постійному, так і на змінному струмі та ПЛ 110 кВ на постійному струмі

Рисунок 1.6 – Схеми живлення тягових підстанцій по двоколовим ПЛ на загальних опорах

|  |
| --- |
| а) |
|  |
| б) |
|  |
| в) |
|  |

а – для ПЛ 110 кВ на змінному струмі; б, в – для ПЛ 220 кВ як на постійному, так і на змінному струмі та ПЛ 110 кВ на постійному струмі

Рисунок 1.7 – Схема живлення тягових підстанцій по двом одноколовим ПЛ

На слабозавантажених ділянках залізниць допускається забезпечення надійності живлення тягових підстанцій як споживачів з електроприймачами II категорії: одностороннє живлення тягових підстанцій, живлення тягових підстанцій від однієї секціонованої лінії електропередачі за умови підключення суміжних підстанцій до різних секцій лінії, підключення підстанцій до живильної лінії електропередачі відпайкою за допомогою одного вводу з вимикачем.

Тип і кількість проміжних тягових підстанцій між опорними, у тому числі при будівництві додаткових підстанцій, повинні бути узгоджені з енергопостачальними організаціями.

Тягові підстанції підрозділяють на підстанції постійного і змінного струму. Тягові підстанції постійного струму (рис. 1.8) розрізняють: по первинній напрузі — 6 або 10 кВ (ТП8), 35 кВ (ТП7), 110 або 220 кВ (ТП1-ТП5); по ролі й призначенню в електричній схемі живильної енергосистеми — тупикові (ТП7-ТП8), проміжні, які підрозділяються на транзитні (ТП5) і відпайкові (ТП3), і опорні (ТП1).

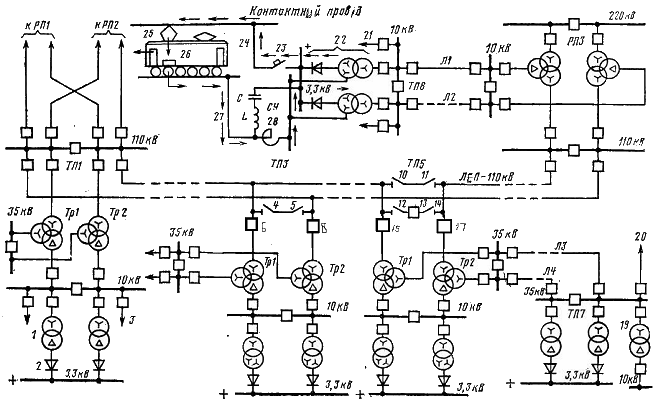


Рисунок 1.8 – Спрощена схема живлення тяги і не тягових споживачів від ТП постійного струму

Опорні тягові підстанції служать для розподілу електроенергії, що надходить від електричної системи; від їхніх шин відходять лінії електропередачі в різних напрямках для живлення інших тягових підстанцій. Опорною вважається підстанція, до шин 110-220 кВ якої приєднується не менш трьох живильних ліній електропередачі.

Виходячи із забезпечення надійності електропостачання проміжних тягових підстанцій до двохланцюгової ЛЕП із двостороннім живленням дозволяється приєднувати при напрузі 220 кВ не більше п'яти тягових підстанцій як при електрифікації на постійному, так і на змінному струмі, включаючи підстанції для живлення не тягових споживачів, при напрузі 110 кВ – не більше п'яти при електрифікації на постійному й не більше трьох при електрифікації на змінному струмі. Між двома підстанціями, включеними в розсічку ЛЕП-110 (220) кВ, може перебувати не більше однієї відпайкової підстанції. При двохланцюговій ЛЕП, у яких обидві ланцюги підвішені на загальних опорах, застосовують приєднання проміжних підстанцій тільки в розсічку ЛЕП. У цьому випадку пошкодження навіть обох ланцюгів на якій-небудь ділянці ЛЕП не викличе випадання з роботи жодної підстанції після відключення ушкодженої ділянки. Підстанції на відпайках не мають цю властивість.

На підстанціях, включених у розсічку ЛЕП (ТП5), вимикач 13 і роз'єднувачі 12 й 14 нормально включені, а роз'єднувачі 10 й 11 відключені й включаються тільки на час виведення в ремонт вимикача 13. Вимикачі 15 й 17 призначені відокремлювати від ЛЕП ушкоджені трансформатори Тр1 і Тр2, вимикачів 16 і 18 — для відключення ЛЕП при пошкодженні Тр1 або Тр2. На відпайковій підстанції (ТПЗ) вимикачі 6, 8 мають таке ж призначення, що й на транзитній; роз'єднувачі 4 й 5 нормально відключені й включаються, коли обидва трансформатори живляться від одного ланцюга ЛЕП.

На підстанціях з первинною напругою 110 (220) кВ (ТП1) перетворювальні агрегати, що складаються із трансформатора й випрямляча 2, приєднують до шин 10 кВ. На підстанціях з первинною напругою 35 кВ (ТП7) перетворювальні агрегати приєднують до шин 35 кВ. Для підстанції ТП8 як приклад показане коло випрямленого струму від перетворювального агрегату 22 через плюсову шину, ШВ 23, що живить лінією 24, контактну мережу, струмоприймач 25 до двигуна 26 електровоза. Струм через обмотки двигунів електровоза проходить у рейки й потім через лінію, що відсмоктує, 27, реактор 28 і мінусову шину до нульової точки трансформатора.

Тягові підстанції забезпечують електроенергією не тільки електричну тягу, але залізничні не тягові, споживачі (локомотивні й вагонні депо, майстерні, навантажувальні площадки, освітлення залізничних об'єктів, зв'язок й автоблокування й ін.). Одночасна більшість тягових підстанцій живить прилягаючі промислові, комунальні й сільськогосподарські навантаження, здійснюючи тим самим функції районних підстанцій. Не тягові споживачі одержують живлення або від шин первинної напруги тягових підстанцій (20, 21 на ТП7 і ТП8) або від шин зниженої напруги (3 на ТП1). Вибір напруги й числа ліній для живлення не тягових споживачів залежить від місцевих умов і категорії споживачів.

**1.3 Рід струму та номінальна напруга електроустановок**

На електростанціях виробляється трифазний змінний струм частотою 50 Гц і напругою 3,15; 6,3; 10,5; 15,75 і 21 кВ. Частина електричної енергії передається споживачам по ЛЕП на генераторній напрузі, інша частина поступає на підвищувальну трансформаторну підстанцію, де напруга підвищується до десятків або сотень кіловольт.

Одним із основних параметрів будь-якої електроустановки являється її **номінальна напруга**, тобто напруга при якій вона призначена для нормальної роботи.

В табл. 1.1 представлені номінальні напруги тягових мереж постійного та змінного струмів

Таблиця 1.1 – Номінальні напруги тягових мереж

|  |  |
| --- | --- |
| Рід струму | Напруга, кВ |
| Постійний струм | 0,600; 0,825; 1,5; 3,0 |
| Змінний струм | 25; 225 |

0,600 кВ – використовують в мережах трамвая та тролейбуса.

0,825 кВ – для метрополітену.

3,0 кВ – для тягової мережі електрифікованих залізниць

0,600; 1,5 або 3,0 кВ – в тягових мережах промислового транспорту.

25 та 225 кВ змінного струму використовується в тягових мережах залізниць та промислового транспорту.

Прийняті наступні стандартні номінальні напруги, для стаціонарних електроустановок і тягових мереж електрифікованих залізниць (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Стандартні номінальні напруги до 1000 В

|  |  |
| --- | --- |
| Рід струму | Напруга, В |
| Постійний струм | 110\*; 220; 440; 660; 750; 1000 |
| Трифазний змінний струм | 220/127\*; 380/220; 660 |

\* старі мережі

Мережі 220/127 зараз не споруджують, через велику втрату електроенергії та витрату кольорових металів.

Мережі 380/220 (380 – між фазна напруга 220 – фазна напруга) виконують чотирьох провідними (3 фази та нульовий провід) з заземленою нейтраллю, що забезпечує автоматичне відключення пошкодженої фази при замиканні на землю і, як наслідок, підвищує безпеку обслуговування цих мереж. Використовуються для живлення освітлювальних установок а також електродвигунів невеликої потужності.

Для двигунів великої потужності використовується напруга 660 В.

Розглянемо напруги приймачів вище 1000 В (табл. 1.3).

6; 10 кВ – використовують в електричних мережах міст, промислових та сільськогосподарських розподільчих мережах та для живлення потужних двигунів (сотні-тисяч кВт).

35; 110 (150); 220 кВ – в живлячих та розподільчих мережах (міст та промислових підприємств).

220; 330; 500; 750; 1150 кВ – для спорудження магістральних ліній електропередач і передачі електроенергії від електростанцій до потужних споживачів, що віддалені на великі відстані.

Таблиця 1.3 - Номінальні та найбільші робочі напруги мереж і приймачів вище 1000 В

|  |  |
| --- | --- |
| Номінальні міжфазні напруги мереж і приймачів, кВ | Найбільші робочі напруги електротехнічних виробів, кВ |
| 3  6  10  20  35  110  150  220  330  500  750  1150 | 3,6  7,2  12  24  40,5  126  172  252  363  525  787  1200 |

Прийнято вибирати напругу ЛЕП з розрахунку 1 кВ на 1 км довжини ЛЕП. Зміна напруги електромережі у бік збільшення або зменшення спричиняє зміну рівня ізоляції ліній електропередачі, перерізу проводів, отже, витрат металу на ЛЕП і їхню вартість. Економічно вигідну напругу для передачі у кожному окремому випадку вибирають на підставі відповідних техніко-економічних розрахунків.