

## Лекція 20-22

### Розрахунок простої замкненої місцевої мережі Навантаження вуза електричної мережі

#### 1. Поняття навантаження

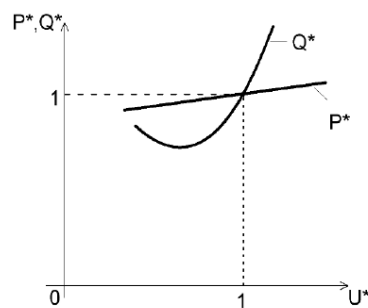
Види споживачів:

- асинхронні двигуни;
- синхронні двигуни
- комунально-побутове навантаження – пылососи, пральні машини, кондиціонери, холодильники, освітлення, нагрівальні прилади – раніше вважалося переважно активним;
- спеціальні види навантаження – випрямлячі і інвертори, електролізне навантаження, дугові сталеплавильних печі, електрифікований транспорт.

Істотну частину в споживанні електроенергії складають втрати в мережах.

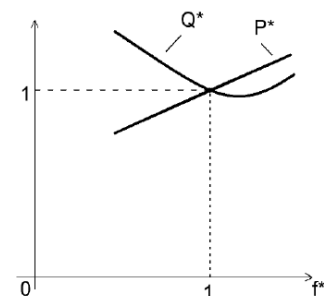
#### 2. Статичні характеристики комплексного навантаження

Характеристика навантаження споживача – значення активної і реактивної потужностей, що залежать від напруги (рис. 2) і частоти (рис.1).



$P_H(U), Q_H(U)$

Рис.1



$P_H(f), Q_H(f)$

Рис.2

Напруга і частота задані у відносних одиницях і приведені до номінальних значень.

$$U_H^* = U / U_H^0; \quad f_H^* = f / f_H^0;$$

За рисунком визначаємо:

$$P_H = P_H^* P_H^0; \quad Q_H = Q_H^* Q_H^0$$

$U_n^0, f_n^0, P_n^0, Q_n^0$  - значення напруги, частоти, активної та реактивної потужностей у вихідному режимі

Статичні характеристики відповідають усталеному режиму.

Динамічні характеристики відповідають перехідним режимам і враховують швидкість зміни їхніх параметрів.

### 3. Способи задання навантажень у розрахунках режимів електричних мереж.

Пасивні елементи електричної мережі - лінії і трансформатори.

Активні елементи електричних мереж – навантаження і генератори.

Є такі способи задання навантаження:

1) постійний по модулю і фазі струм навантаження:

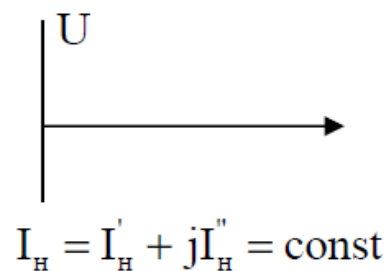


Рис. 3

Таку форму використовують під час розрахунків:

- розподільних мереж низької напруги (до 1000В);
- міських, сільських і промислових мереж з напругою до 35 кВ.

У розподільних мережах джерелами живлення є шини низької напруги районних підстанцій. Вважають, що напруга джерела живлення відома.

2) постійна по модулю потужність навантаження;

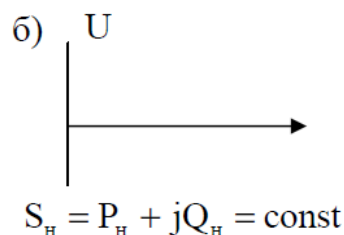


Рис.4

Використовують для розрахунку ustalених режимів живильних і розподільних мереж високої напруги.

У живильних мережах  $S_H = \text{const}$  задається при невідомій напрузі у вузлі.

Тобто, у вузлі задане нелінійне джерело струму, потужність якого залежить від напруги вузла

$$I_H = \frac{S_H^*}{\sqrt{3}U^*} = \frac{P_H - jQ_H}{\sqrt{3}U^*} = \text{var.}$$

3) постійні провідність або опір;

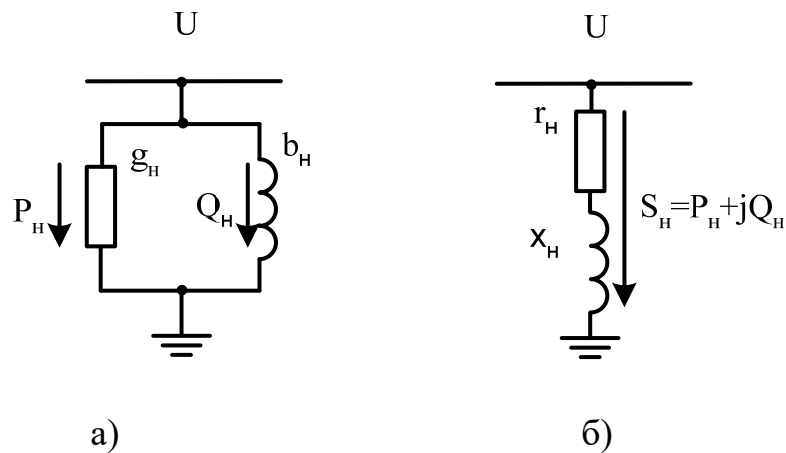


Рис.5

При послідовному з'єднанні елементів їх опори обчислюють так:

$$Z_H = \frac{U_{\phi H}}{I_H} = \frac{U_H}{\sqrt{3}I_H} = \frac{U_H U_H^*}{\sqrt{3}U_H^* I_H} = \frac{U^2}{S_H^*} = \frac{U^2 S_H}{S_H^* S_H} = \frac{U^2 S_H}{S^2} = \frac{U^2}{S^2} (P_H + jQ_H) = r_H + jX_H.$$

$$r_H = \frac{U^2}{S^2} P_H; \quad X_H = \frac{U^2}{S^2} Q_H; \quad P_H = S \cos \varphi; \quad Q_H = S \sin \varphi; \quad r_H = \frac{U^2}{S} \cos \varphi; \quad x_H = \frac{U^2}{S} \sin \varphi.$$

При паралельному з'єднанні елементів провідності обчислюють:

$$Y_H = \frac{1}{Z_H} = \frac{S_H^*}{U^2} = \frac{P_H - jQ_H}{U^2} = g_H - jb_H; \quad g_H = \frac{P_H}{U^2}; \quad b_H = \frac{Q_H}{U^2}.$$

$$g_H = \frac{S}{U^2} \cos \varphi; \quad b_H = \frac{S}{U^2} \sin \varphi.$$

По параметрах схеми а) можна обчислити параметри схеми б) і навпаки.

$$Z_H = \frac{1}{Y_H} = \frac{1}{g_H - jb_H} = \frac{g_H + jb_H}{g_H^2 + b_H^2} = r_H + jX_H; \quad r_H = \frac{g_H}{g_H^2 + b_H^2}; \quad X_H = \frac{b_H}{g_H^2 + b_H^2}.$$

$$Y_H = \frac{1}{Z_H} = \frac{1}{r_H + jX_H} = \frac{r_H - jX_H}{r_H^2 + X_H^2} = g_H - jb_H; \quad g_H = \frac{r_H}{r_H^2 + X_H^2}; \quad b_H = \frac{X_H}{r_H^2 + X_H^2}$$

Таке представлення відповідає залежності потужності від напруги.

Використовується при розрахунку електромеханічних перехідних процесів.

4) задання статичних характеристик навантаження

4.1) задання статичних характеристик навантаження по напрузі .

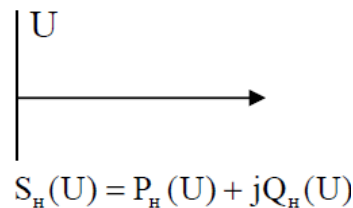


Рис.6

Таке задання більш повно відображає властивості навантаження, але зумовлює ускладнення розрахунків.

Ці характеристики не відомі і можливе застосування лише типових.

4.2) Статичні характеристики навантаження по частоті враховують для розрахунку післяаварійних усталених режимів, у яких має місце дефіцит потужності і частота відрізняється від номінальної.

Такі розрахунки сталих режимів враховують зміну частоти і використовуються для аналізу дії пристроїв регулювання частоти.

### Уточнення потокорозподілу в мережі з урахуванням втрат потужності

Другий етап розрахунку дозволяє уточнити параметри режиму електричної мережі. З урахуванням точки потокорозділу кільцеву мережу поділяють на дві розімкнуті схеми з одностороннім живленням. При цьому можливі два випадки:

1) **точки балансу активної та реактивної потужності співпали.** Тоді мережу розділяють в точці потокорозділу (точка 2, рис 1.1.) та отримують розрахункову схему, яка має дві розімкнуті мережі.

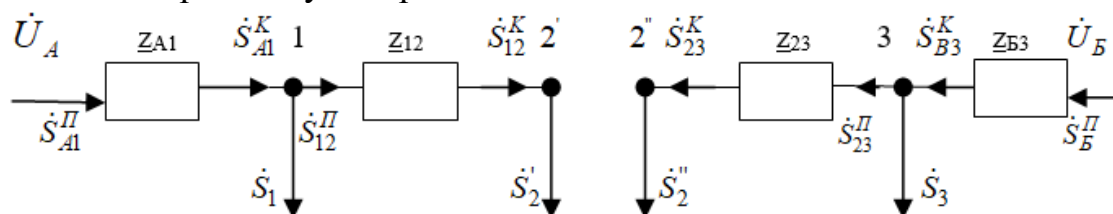


Рис. 1.1 - Перетворена схема заміщення мережі

Умова такого перетворення мережі:

$$\dot{S}'_2 = \dot{S}_{12}; \quad \dot{S}''_2 = \dot{S}_{23}. \quad (1.8)$$

На всіх ділянках визначають потужності з урахуванням їх втрат в лінії. Розрахунок починають від споживачів (точки потокорозділу) в напрямку до джерела живлення.

Втрати потужності на опорах проводів ПЛ  $i$  – ї ділянки:

$$\Delta P_i = \frac{(P_i^K)^2 + (Q_i^K)^2}{U_{ном}^2} R_i; \quad (1.9)$$

$$\Delta Q_i = \frac{(P_i^K)^2 + (Q_i^K)^2}{U_{ном}^2} X_i. \quad (1.10)$$

Потужність на початку ПЛ  $i$  – ї ділянки:

$$\dot{S}_i^\Pi = P_i^K + \Delta P_i + j(Q_i^K + \Delta Q_i) = P_i^\Pi + jQ_i^\Pi. \quad (1.11)$$

Після визначення потужностей всіх ділянок з урахуванням втрат, визначають напруги в вузлах мережі. Розрахунок починають від джерела живлення до точки потокорозділу. Напруги в точці потокорозділу, знайдені для обох розімкнених схем, повинні бути однаковими.

Напруга у ( $j$ )-му вузлі на кінці на  $i$ -ї ділянки.

$$\dot{U}_j^{(2)} = \dot{U}_{j-1} - \frac{P_i^\Pi r_i + Q_i^\Pi x_i}{\dot{U}_{j-1}} - j \frac{P_i^\Pi x_i - Q_i^\Pi r_i}{\dot{U}_{j-1}} = \dot{U}_{j-1} - \Delta U_i^{(2)} - j\delta U_i^{(2)}. \quad (1.12)$$

В районних мережах ( $U \geq 110$  кВ) враховують повздовжню та поперечну складові спаду напруги. В місцевих мережах ( $U < 110$  кВ) поперечною складовою спаду напруги нехтують. Тобто:

$$\dot{U}_j^{(2)} = \dot{U}_{j-1} - \frac{P_i^\Pi r_i + Q_i^\Pi x_i}{\dot{U}_{j-1}} = \dot{U}_{j-1} - \Delta U_i^{(2)}. \quad (1.13)$$

2) **точки балансу активної та реактивної потужності не співпали**, тобто, на певній ділянці напрям потоків потужності такий, що активна і реактивна потужності направлені у протилежні боки. Тоді таку ділянку виключають зі схеми заміщення (ділянка 2-3, рис. 1.2.)

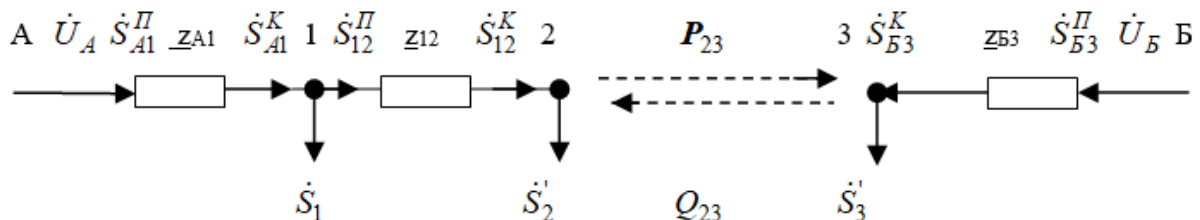


Рис. 1.2 - Перетворена схема заміщення

Умови такого перетворення:

$$\Delta P_{23} = \frac{P_{23}^2 + Q_{23}^2}{U_H^2} R_{23}; \quad (1.14)$$

$$\Delta Q_{23} = \frac{P_{23}^2 + Q_{23}^2}{U_H^2} X_{23}; \quad (1.15)$$

$$\dot{S}'_2 = P_{12} + jQ_{12} + j\Delta Q_{23}; \quad (1.16)$$

$$\dot{S}'_3 = P_{B3} + jQ_{B3} + \Delta P_{23}. \quad (1.17)$$

Слід зазначити, що при роботі мережі в замкнутому режимі найбільш низький рівень напруги виявляється в вузлі поточорозділу.

Для усунення додаткових втрат активної потужності замкнута мережа може бути розімкнута в будь-якій точці. Однак для забезпечення мінімальних втрат активної потужності в мережі її розмикання слід виконати в вузлі поточорозділу з боку меншого потоку потужності. Це забезпечить напруги в вузлах мережі приблизно такої ж величини, як при роботі мережі в замкнутому режимі. При розмиканні мережі в інших точках режим напруги погіршується. Перевірка мережі по втраті напруги здійснюється для точок найбільш електрично віддалених.

### **Розрахунок післяаварійного режиму**

Розрахунок післяаварійних режимів аналогічний розрахунку усталених режимів максимальних навантажень та передбачає: визначення поточорозподілу мережі у випадку обриву проводів ділянок; розрахунок напруги у вузлах мережі та втрати напруги в мережі; перевірку перерізів ЛЕП за умовою нагріву струмом післяаварійного режиму.

При цьому, розглядають найбільш важкі для системи випадки обривів проводів на різних ділянках.

### **Розрахунок вузлових навантажень**

Схема заміщення електричної мережі складається з схем заміщення її елементів, об'єднаних відповідно до принципової схемою мережі (рис. 1.3,а). Ємнісна провідність обумовлює проходження ємнісного (зарядного) струму та ємнісної (зарядної) потужності. Для ліній районної електричної мережі прийняті П-подібні схеми заміщення із зарядними потужностями. Для трансформатора прийнята спрощена Г-подібна схема заміщення з відбором потужності. Для більшості розрахунків режимів в мережах напругою 110-220кВ ЛЕП представляють схемою заміщення (рис. 1.3,б), в якій замість ємнісної провідності ліній враховується зарядна реактивна потужність, що генерується ємністю лінії, зосереджена на початку і кінці лінії та направлена на неї. Для спрощення схем заміщення (рис. 1.3,в) районних мереж визначають розрахункову потужність вузлових точок.

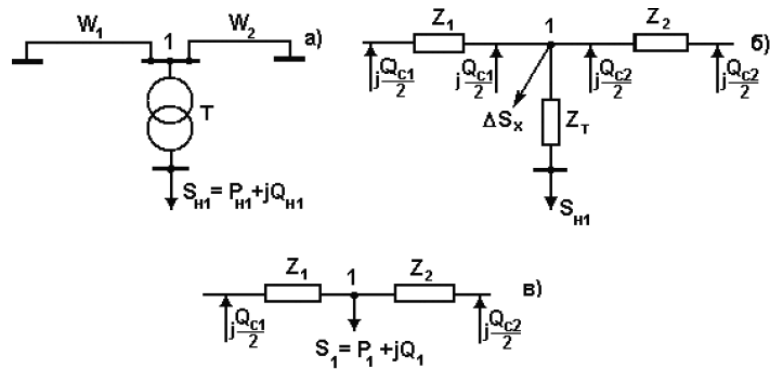


Рис. 1.3. Фрагмент схеми мережі

Вузлові навантаження мережі обчислюють з урахуванням потужності трансформатора на шинах ВН вузла мережі та зарядної потужності виходячи із схеми заміщення ЛЕП районної мережі. Розрахункове навантаження вузлової підстанції, приведене до сторони вищої напруги:

$$\dot{S}_p = P_{нав} + \Delta P_T + j \left[ Q_{нав} + \Delta Q_T - \sum_{i=1}^k \frac{Q_{ci}}{2} \right], \quad (1.32)$$

де  $P_{нав}$ ;  $Q_{нав}$  - навантаження вузла на стороні НН трансформатора;

$\Delta P_T$ ;  $\Delta Q_T$  - втрати потужності в трансформаторах;

$Q_{ci}/2$  - зарядна потужність лінії ділянки, що примикає до підстанції:

$$\frac{Q_c}{2} = \frac{U_l^2 \cdot L \cdot b_0 \cdot n_l}{2} \quad (1.33)$$

де  $U_l$  – номінальна напруга ліній, кВ;

$L$  – довжина ділянки мережі, км;

$b_0$  – ємнісна (реактивна) провідність, См/км;

$n_l$  - прийнята кількість ліній на ділянці мережі, шт.

Для ПЛ напругою 35кВ та нижче (місцеві мережі) поперечну вітку не враховують. Отже:

$$\dot{S}_p = P_{нав} + \Delta P_T + j [Q_{нав} + \Delta Q_T], \quad (1.34)$$