

**ДВНЗ «Національний гірничий
університет»**

Кафедра систем електропостачання

Дисципліна «Управління електроспоживанням»

**ТЕМА 3 – «*Управління
потоками реактивної
енергії*»**

3.1. Поняття про реактивну потужність, її джерела та приймачі

Широке застосування цієї величини в електроенергетиці вимагає пояснення таких пов'язаних з нею понять, як *напрямок реактивної потужності, її інтегрування, використання у балансових розрахунках.*

Для синусоїдальної напруги $u = \sqrt{2}U \sin \omega t$ та струму $i = \sqrt{2}I \sin(\omega t - \varphi)$ миттєва потужність p на затискачах струмоприймача обчислюється за виразом:

$$\begin{aligned} p = ui &= \sqrt{2}U \sin \omega t \sqrt{2}I \sin(\omega t - \varphi) = \\ &= UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t - \varphi), \end{aligned} \quad (3.1)$$

де U, I – діючі значення напруги та струму; ω – кутова частота; φ – фазний кут між напругою та струмом.

Вираз (3.1) дозволяє чисто формально виділити дві складові миттєвої потужності. Перша – незмінна величина, друга – гармонічно мінлива величина подвійної частоти. Саме це вказує на те, що термін “реактивна потужність” (РП) відповідає теорії нормальних режимів симетричних електричних ланцюгів синусоїдального струму та напруги, а її присутність вказує на те, що між джерелом та СП відбувається обмін енергією. *В усіх інших випадках режим системи або її елемента цілком визначається лише зміною миттєвої потужності.*

З виразу (3.1) виходить, що співвідношення між першою та другою складовими миттєвої потужності при незмінних струмі та напрузі визначаються кутом φ , який характеризує розбіжність за фазою синусоїд напруги і струму. При збігу цих синусоїд за фазою ($\varphi=0$) миттєва потужність $p=UI(1-\cos 2\omega t) \geq 0$ і, судячи з рис. 3.1, а, вона в усі моменти часу лишається позитивною, тобто обміну

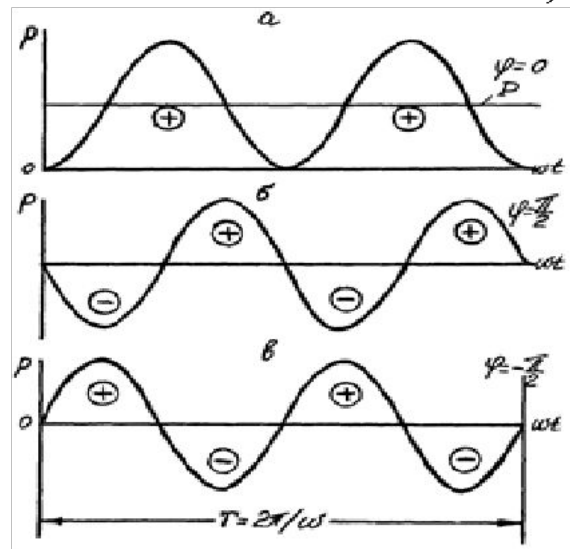


Рис. 3.1. Графік зміни миттєвої потужності

енергією між джерелом та приймачем не відбувається, а вся енергія передається від джерела струмоприймачу (навантаженню).

Середнє значення миттєвої потужності $p = UI(1 - \cos 2\omega t) \geq 0$ за період T (див. рис. 3.1, а) повністю визначається першою складовою у виразі (3.1), тобто:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T [UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t - \varphi)] dt = UI \cos \varphi + 0. \quad (3.2)$$

Ця величина називається активною потужністю, характеризує енергію, яка витрачається в одиницю часу на виконання корисної роботи та завжди позитивна, що дозволяє поставити у відповідність знак миттєвої потужності й напрямок передачі ЕЕ. І якщо потужність позитивна, вважати, що енергія передається від джерела (генератора) до струмоприймача (навантаження) і навпаки від'ємні значення розглядати як періоди передачі певних кількостей енергії від СП до джерела.

Для двох крайніх випадків ($\varphi = \pi / 2, p = -UI \sin 2\omega t$) та ($\varphi = -\pi / 2, p = UI \sin 2\omega t$) постійна складова миттєвої потужності, як це видно (рис. 3.1, б, в) відсутня і проходження струму пов'язане лише з обміном енергії.

Якщо повну потужність на затискачах СП записати у комплексній формі:

$$S = U \dot{I}^* = UI e^{j\varphi} = UI \cos \varphi + UI \sin \varphi, \quad (3.3)$$

де $U = U \cdot e^{j\omega t}$ – діюче значення напруги; $\dot{I}^* = I \cdot e^{-j(\omega t - \varphi)}$ – спряжене діюче значення струму (тут струм і напруга в комплексній формі), то побачимо, що отриманий вираз вміщує дві складові, одна з яких співпадає з активною потужністю P у виразі (3.2), а друга характеризує ту частину повної потужності, яка пов'язана з періодичним обміном енергією між джерелом та СП. Називають її *реактивною потужністю* і позначають літерою Q .

Для неї (див. рис. 3.1, б, в), як і для активної, зручно поставити її знак у відповідність з певним напрямком умовної передачі реактивної енергії, тобто знак плюс означає передачу реактивної енергії від джерела до приймача, а знак мінус – у зворотному напрямку.

Визначимо загальну кількість енергії A , яка генерується (споживається) протягом періоду змінного струму промислової частоти:

$$A = \int_0^T [UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t - \varphi)] dt = PT - 0. \quad (3.4)$$

Отриманий вираз наочно показує, що сумарна енергія за період T , яка пов'язана з реактивною потужністю, дорівнює нулю. Тому в цьому випадку термін “реактивна енергія” невиправданий. Проте, якщо чітко собі уявити умовність цього терміну, то в деяких випадках його використання в інженерній практиці виявляється виправданим. Скажімо, реактивну енергію за аналогією з активною виявляють з виразу:

$$W_e = \int_0^t Q(t) dt, \quad (3.5)$$

для чого в енергетичних установках застосовують спеціальним чином сконструйовані вимірювальні прилади – лічильники реактивної енергії, що реєструють величину, яка визначається виразом (3.5).

Одна з характерних особливостей електроенергії – практичний збіг у часі її виробництва та споживання.

Генерована у мережі джерелами відповідна потужність завжди дорівнює сумарній потужності споживання ЕЕ:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m P_{Гі} &= \sum_{j=1}^n P_{СПj}; \\ \sum_{i=1}^m Q_{Гі} &= \sum_{j=1}^n Q_{СПj}. \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$








У лівих частинах рівнянь (3.6) містяться потужності всіх джерел енергії, у правих – сумарні потужності усіх споживачів з урахуванням втрат потужності у лініях між споживачами та джерелами.

Це положення дозволяє розділити елементи електричного ланцюга на – споживачів електроенергії та джерела живлення. При цьому вважається, що *коли струм відстає по фазі від напруги (індуктивний характер навантаження), то реактивна потужність споживається і має позитивний знак*, а елемент ланцюга відноситься до споживачів реактивної потужності; якщо струм випереджає напругу (ємнісний характер навантаження), то реактивна потужність має негативний знак, а елемент ланцюга вважається її джерелом.

З точки зору генерації та споживання між P і Q існують такі суттєві відмінності.

1. Більша частина активної енергії споживається СП, а менша втрачається при її передачі. Умовно також рахують, що СП *споживають* реактивну енергію (РЕ), а в елементах мереж вона *втрачається*. При цьому слід зазначити, що поділення елементів та установок на споживачів й генераторів реактивної енергії здійснюється за кутом φ між струмом й напругою на їх затискачах. Якщо $\varphi < 0$, тобто, струм відстає від напруги, то елемент є споживачем, при $\varphi > 0$ – генератором Q .

У промисловості споживачами РЕ являються:

-  СП з АД – 50%;
-  Трансформатори – 25%;
-  Освітлювальні установки – 10%;
-  ЕПУ – 5%; 5. ЛЕП – 5%;
-  Зварювальні установки – 2%;
-  Перетворювальні установки – 2%;
-  Індукційні регулятори, індуктивні елементи реле, пристроїв обліку тощо – 1%.

2. Активна енергія виробляється в основному генераторами електростанцій, а реактивна, крім цього, – синхронними компенсаторами (СК) та двигунами (СД), батареями конденсаторів (БК), повітряними і кабельними лініями (ПЛ, КЛ) та тиристорними джерелами реактивної енергії.

Критерій підтримання балансу активної потужності – це частота змінного струму (f , Гц), яка в кожний момент часу однакова у всіх вузлах ЕЕС. Тобто, частота струму – це загальносистемний критерій.

Показник підтримання балансу реактивної потужності – рівень напруги, який для кожного вузла навантаження та ступеня номінальної напруги істотно різний. Тому баланс реактивної потужності необхідно забезпечувати не лише за системою у цілому, а й у вузлах навантаження. Вирішується це питання за результатами техніко-економічного аналізу варіантів компенсації реактивної потужності для кожного вузла.

Особливість вироблення реактивної енергії полягає у впливу обмінних процесів, які пов'язані з ***Q***, на ***техніко-економічні показники при*** її передачі від джерел до струмоприймачів та споживачів ЕЕ

Централізація вироблення реактивної енергії недоцільна з таких причин:

- При передачі значних потоків реактивної енергії в елементах системи електропостачання виникають додаткові втрати активної потужності та енергії:

$$а) \Delta P = (P^2 + Q^2)R / U^2, \Delta W_{\text{вб}} = (P^2 + Q^2)R\tau / U^2;$$

$$б) \Delta \varnothing = I(P^2 + Q^2) / I^2, \Delta W_{\text{вб}} = (P^2 + Q^2)X \cdot \tau / U^2.$$

- Передача реактивної енергії викликає додаткові втрати напруги, які особливо суттєві у мережах з напругою 110 кВ та вище:

$$\Delta U = (PR + QX) / U.$$

- Через завантаження реактивними струмами зменшується пропускна здатність провідників повітряних та кабельних ліній, а також трансформаторів:

$$а) \text{ проектування нових об'єктів: } I_{\text{м}} = \sqrt{P^2 + Q^2} / \sqrt{3}U_n;$$

$$б) \text{ в експлуатації: } P_{\text{дон}} = \sqrt{(\sqrt{3}UI_{\text{дон}})^2 - Q^2}.$$