

Лекція 6-8

Компенсація реактивної потужності в умовах підприємства

Джерела реактивної потужності

Потреби підприємства в реактивній потужності покриваються за рахунок джерел енергосистеми, основними з яких є генератори електростанцій, і власних джерел реактивної потужності (ДРП) на підприємстві.

Власні ДРП в системах електропостачання:

1) синхронні двигуни (СД). Якщо СД призначений для нормальної роботи в режимі перезбудження, (з випереджаючим $\cos\varphi$), то навіть при 100%-ному завантаженні активним струмом він може компенсувати реактивне навантаження мережі.

Компенсуюча здатність СД - це відношення реактивної потужності, що віддається двигуном в мережу (кВАр), до повної потужності двигуна (кВАр).

Щоб уникнути перегріву ротора її не слід підвищувати на тривалий час шляхом збільшення струму збудження понад його номінальне значення.

Для збільшення компенсуючої здатності на тривалий період необхідно знизити активне навантаження СД при постійному струмі збудження, рівному номінальному.

2) синхронні компенсатори (СК). Синхронний компенсатор - спеціальна синхронна машин, призначена для генерації чи споживання реактивної потужності, яка не несе механічного навантаження, крім покриття механічних втрат на обертання.

СК є дорогими; мають ускладнену експлуатацію (порівняно, наприклад, з конденсаторними батареями); значні втрати активної потужності; складні умови пуску при великих потужностях; створюють шум під час роботи.

Переваги:

- плавне і автоматичне регулювання величини генерованої реактивної потужності в широкому діапазоні;
- можливість швидкого регулювання в імпульсному режимі;
- незалежність генерації реактивної потужності від напруги на їх шинах,
- достатня термічна і динамічна стійкість обмоток компенсаторів під час коротких замикань,
- можливість відновлення пошкоджених синхронних компенсаторів шляхом проведення ремонтних робіт.

3) нерегульовані і регульовані конденсаторні установки високої та низької напруги. Конденсатори – спеціальні ємності, призначені для вироблення реактивної потужності.

Батареї конденсаторів - окремі конденсатори потужністю до 125 кВАр, зібрані разом шляхом послідовно - паралельного з'єднання M послідовно включених конденсаторів у N паралельних гілках.

Конденсаторні батареї, призначені для генерації реактивної потужності та підвищення $\cos\varphi$ у вузлах навантаження й у споживачів, називаються косинусними і включаються за шунтовою схемою (паралельно до навантаження), тобто є пристроями поперечної компенсації.

Можуть працювати лише як генератори реактивної потужності.

Конденсатори випускаються в однофазному і трифазному виконаннях на номінальну напругу 0,22–10,5 кВ.

Для збільшення робочої напруги БК – використовують послідовне з'єднання конденсаторів.

Для збільшення потужності БК - використовують паралельне з'єднання конденсаторів.

Конденсатори з'єднують в зірку або в трикутник

Потужність при з'єднанні конденсаторів в трикутник у три рази більша, ніж при з'єднанні зіркою.

Зазвичай БК включають в мережу трифазного струму по схемі трикутника.

Переваги конденсаторних батарей:

- 1) малі втрати активної потужності (0,0025 – 0,005 кВт/квар);
- 2) низька вартість;
- 3) простота схеми
- 4) простота експлуатації (зважаючи на відсутність частин, що обертаються і труть);
- 5) простота виробництва монтажних робіт (мала вага, відсутність фундаментів);
- 6) для установки конденсаторів може бути використано будь-яке сухе приміщення.

Недоліки:

- 1) відсутність регулювання потужності;
- 2) залежність реактивної потужності, що генерується ними, від напруги
- 3) кидки струму під час увімкнення та напруги під час вимкнення;
- 4) недостатню міцність (легко ушкоджуються, особливо при КЗ і напругах вище номінального).

4) статичні тиристорні компенсатори реактивної потужності. Статичні компенсатори використовуються для компенсації реактивної потужності і стабілізації напруги в мережах, до яких підключені електроприймачі з різко змінним характером навантаження (прокатні стани, дугові печі, потужні зварювальні установки тощо).

Робота таких ЕП поряд зі стрибковими змінами потужності і спаду напруги супроводжується викривленнями форми струму і напруги.

До переваг статичних компенсаторів належать:

- висока швидкодія зміни реактивної потужності;
- широкий діапазон регулювання реактивної потужності;
- малі втрати активної потужності.

Визначення потужності компенсуючих пристроїв

Під час проектування компенсуючі пристрої вибирають одночасно з усіма елементами СЕП, оскільки за рахунок використання засобів компенсації зменшуються струми, що протікають по мережі.

Варіанти компенсації реактивної потужності:

- 1 Без компенсації реактивної потужності.
- 2 Групова компенсація нерегульованими низьковольтними конденсаторними батареями .

3 Індивідуальна компенсація нерегульованими конденсаторними батареями спареними з електроприймачами.

4 Загальна компенсація нерегульованими високовольтними конденсаторними батареями.

5 Компенсація конденсаторними батареями керованими за часом.

6 Компенсація автоматичними конденсаторними установками низької напруги.

7 Компенсація за допомогою автоматичної системи регулювання реактивної потужності синхронного двигуна.

8 Компенсація статичними тиристорними компенсаторами.

Найбільша сумарна реактивна потужність підприємства в період максимуму активних навантажень в енергосистемі дорівнює

$$Q_{maxI} = K_{nc} \cdot Q_p,$$

де K_{nc} – коефіцієнт, що враховує неспівпадання в часі найбільшого активного навантаження в енергосистемі і реактивної потужності підприємства. Приймається залежно від галузі промисловості.

Сумарна потужність компенсуючих пристроїв $Q_{к\Sigma}$, яка визначається балансом реактивної потужності на межі розподілу підприємства і енергосистеми в період найбільшого активного навантаження:

$$Q_{к\Sigma} = Q_{кI} = Q_{maxI} - Q_{EI}.$$

У мережах загального призначення в якості засобів компенсації використовуються БК напругою до 1 кВ і вище 1 кВ і синхронні двигуни.

У мережах зі специфічними навантаженнями застосовуються фільтрокомпенсуючі пристрої, симетрувальні пристрої, фільтросиметруючі пристрої, пристрої динамічної (СД та СК) та статичної (БК, СТК) компенсації з швидкодіючими системами управління і спеціальні швидкодіючі синхронні компенсатори.

Розподіл знайденої сумарної потужності компенсуючих пристроїв $Q_{к\Sigma}$ за рівнями системи електропостачання здійснюється за критерієм мінімуму сумарних приведених витрат на виробництво і передачу реактивної потужності з урахуванням балансу реактивної потужності в кожному вузлі навантаження.

Низьковольтні електричні мережі найбільш віддалені від джерел електроенергії і до них підключається велика частина електроприймачів, які споживають реактивну потужність.

Коефіцієнт потужності навантаження напругою до 1 кВ не перевищує 0,7-0,8.

Вибір потужності компенсуючих пристроїв для другого та третього рівнів (в основному батареї конденсаторів напругою до 1 кВ) проводиться спільно з вибором числа і потужності трансформаторів цехових ТП.

Початковим орієнтиром для вибору КУ напругою до 1 кВ може служити тангенс кута сумарної розрахункової потужності підприємства після компенсації реактивної потужності ($tg \varphi_k$).

При умові постійності $tg \varphi_k$ потужність компенсуючих пристроїв на напрузі до 1 кВ:

$$Q_{кн} = Q_{\Sigmaн} - P_{\Sigmaн} \cdot tg \varphi_k,$$

де $P_{\Sigma n}$ і $Q_{\Sigma n}$ – сумарна розрахункова активна і реактивна потужності низьковольтних ЕП.

Якщо за рахунок додаткових КУ, вдається зменшити число трансформаторів цехових ТП, то це економічно виправдано.

В інших випадках потужність КУ визначається з урахуванням повного використання вибраних трансформаторів ЦТП.

Сумарна потужність БК напругою до 1 кВ, що розподіляється між окремими трансформаторами цеху, пропорційно їх реактивним навантаженням.

Після вибору КУ в мережах напругою до 1 кВ сумарна потужність КУ в мережі 6-10 кВ:

$$Q_{кв} = Q_{\Sigma к} - Q_{кн}.$$

Під час визначення потужності високовольтних компенсуючих пристроїв слід враховувати незкомпенсовану реактивну потужність на шинах 6-10 кВ кожного трансформатора цехової трансформаторної підстанції. Сумарна реактивна потужність ВКБ розподіляється між шинами 10 кВ ЦРП, окремими РП та ПС і округляється до найближчої стандартної потужності ККУ. Встановлення окремих ВБК рекомендується передбачати на тих РП, де реактивне навантаження відповідає потужності ВБК і є технічна можливість їх приєднання.

До кожної секції РП рекомендується підключати компенсуючі пристрої однакової потужності, але не менше 450 кВАр. У випадку меншої потужності ВКБ її розподіляють між ЦТП пропорційно їх навантаженню (докомпенсують з низького боку – встановлюють додаткові НКБ, або замінюють вибрані раніше НКБ на більш потужні) або встановлюють БК на живильній ПС, якщо вона належить промислового підприємству.

Вибір кількості і потужності трансформаторів ЦТП і компенсуючих пристроїв

Під час проектування компенсуючі пристрої вибирають одночасно з усіма елементами СЕП. Найбільшим економічним є розташування засобів компенсації реактивної потужності поблизу ЕП з найбільшим споживанням реактивної потужності.

Живлення ЕП I-ї та II-ї категорії передбачають від двотрансформаторних підстанцій [5]. Однотрансформаторні підстанції рекомендується застосовувати для живлення ЕП III категорії, якщо перерва електропостачання, необхідна для заміни пошкодженого трансформатора, не перевищує 1 доби. ЕП III категорії замість двох однотрансформаторних підстанцій може бути встановлена одна двотрансформаторна підстанція без облаштування АВР, з повним навантаженням трансформаторів в нормальному режимі.

На основі експериментальних досліджень обгрунтовано, що номінальну потужність ЦТП (яка вибирається, як правило, однаковою для всієї групи цехових трансформаторів потужного цеху) доцільно вибирати за питомою густиною навантаження цеху :

$$\sigma = \frac{S_p}{F},$$

де S_p – розрахункове навантаження об'єкту, кВА;

F – площа об'єкту, м².

Якщо значення густини навантаження 0,2 кВ·А/м² і більше доцільно застосовувати трансформатори потужністю 400 кВ·А, 630 кВ·А і 1000 кВ·А; якщо густина навантаження (0,2÷0,3) кВ·А/м² економічною є потужність трансформаторів 1600 кВ·А; якщо густина навантаження більше ніж 0,3 кВ·А/м² доцільно порівняти трансформатори потужністю 1600 кВ·А і 2500 кВ·А. Кількість типорозмірів трансформаторів на одному підприємстві має бути мінімальною.

Для кожної групи цехових трансформаторів однакової потужності визначається мінімальна їх кількість, необхідну для живлення розрахункової активної навантаження :

$$N_{\min} = \frac{P_p}{K_3 S_T} + \Delta N,$$

де P_p – сумарне розрахункове навантаження, кВт;

K_3 – коефіцієнт завантаження трансформатора;

S_T – номінальна потужність трансформатора, кВА;

ΔN – добавка до найближчого цілого числа.

Завантаження ЦТП залежить від категорії надійності електропостачання, числа трансформаторів та способу резервування.

Отримане значення N_{\min} округлюється до більшого цілого числа.

Оптимальна кількість трансформаторів:

$$N_{opt} = N_{\min} + m,$$

де m – додаткова кількість трансформаторів ;

N_{\min} - мінімально необхідна кількість цехових трансформаторів.

Реактивна потужність, яку вигідно передати в мережу до 1 кВ:

$$Q_{\max T} = \sqrt{(N_{opt} K_3 S_T)^2 - P_{\Sigma}^2}.$$

Потужність конденсаторних батарей на напругу до 1 кВ:

$$Q_{нк1} = Q_{\Sigma} - Q_{\max T},$$

де Q_{Σ} – сумарне розрахункове реактивне навантаження за найбільш завантажену зміну. Якщо $Q_{і\delta 1} < 0$, то установка НБК не потрібна.

Додаткова потужність НБК для зменшення втрат в трансформаторі:

$$Q_{нк2} = Q_{\Sigma} - Q_{нк1\phi} - \gamma N_{opt} S_T,$$

де γ – розрахунковий коефіцієнт, який залежить від коефіцієнтів K_{p1} і K_{p2} та схеми живлення ЦТП.

Якщо $Q_{нк2} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність $Q_{нк2}$ приймається рівною нулю.

Сумарна розрахункова потужність НБК:

$$Q_{нк} = Q_{нк1\phi} + Q_{нк2\phi},$$

де $Q_{нк1\phi}$, $Q_{нк2\phi}$ – фактичні сумарні потужності батарей, кВАр.

Визначення потужності високовольтних компенсуючих пристроїв

При визначенні потужності високовольтних компенсуючих пристроїв слід враховувати некомпенсовану реактивну потужність на шинах 6-10 кВ кожного трансформатора цехової трансформаторної підстанції.

Некомпенсоване реактивне навантаження $Q_{НС.Т}$ на стороні високої напруги кожного трансформатора:

$$Q_{нс.т} = Q_{р.т.} - Q_{нк.ф} + \Delta Q_T,$$

де $Q_{р.т.}$ – найбільше розрахункове реактивне навантаження трансформатора; $Q_{нк.ф}$ - фактично прийнята потужність НБК; ΔQ_T – сумарні реактивні витрати в трансформаторі при його коефіцієнті завантаження з врахуванням компенсації.

Якщо в технологічному процесі приймають участь високовольтні синхронні двигуни, то необхідно враховувати реактивну потужність синхронних електродвигунів, які працюють з перезбудженням.

Технічна можливість використання СД як ДРП обмежується найбільшою реактивною потужністю, яку він може генерувати в нормальному режимі роботи:

$$Q_{сд} = Q_m = \alpha_m \sqrt{P_{сдн}^2 + Q_{сдн}^2}$$

$Q_{сдн}$ – номінальна реактивна потужність СД:

$$Q_{сд} = (P_{ном} \operatorname{tg}\varphi) / \eta,$$

де $P_{ном}$ – встановлена потужність СД; $\operatorname{tg}\varphi$ – відповідає коефіцієнту потужності $\cos\varphi$, η – номінальний КПД;

α_m - коефіцієнт допустимого перевантаження двигуна (найбільша завантажувальна здатність СД по реактивній потужності)

СД нормальних серій виготовляються з випереджаючим $\cos\varphi=0,9$ незалежно від реактивної потужності, яку підприємство може використовувати.

При розрахунку сумарного реактивного навантаження споживачів для СД, що працюють з «випереджаючим» коефіцієнтом потужності $Q_{сд}$ буде зі знаком мінус.

Наявна реактивна потужність, яка може бути генерована групою СД:

$$Q_{сд} = Q_m = \alpha_m \cdot Q_{сдн} \cdot N$$

N - кількість двигунів в групі

Сумарну розрахункову потужність ВБК для всього підприємства визначаємо з умови балансу реактивної потужності . Крім того, враховуючи, що згідно умов проектування від шин проекрованої підстанції підприємства необхідно передбачити живлення субспоживачів, необхідно врахувати їх реактивну потужність:

$$Q_{ВБК} = Q_{М1} + \Delta Q_{ЦТП} - Q_{нкф} - Q_{сд} + Q_{суб} - Q_{Е1},$$

де $Q_{суб}$ - реактивна потужність субабонентів на напругу 10 кВ

Якщо виявиться, що потужність $Q_{ВБК} < 0$, то приймають: $Q_{ВБК} = 0$.

За узгодженням з енергосистемою, яка видала технічні умови на приєднання споживачів, визначають нове значення вхідної реактивної потужності $Q_{Е1}$.

Сумарна реактивна потужність ВБК розподіляється між шинами 10 кВ РП або ГПП (ЛГВ), окремими РП та ПС і округляється до найближчої стандартної потужності ККУ.

Встановлення окремих ВБК рекомендується передбачати на тих РП, де реактивне навантаження відповідає потужності ВБК і є технічна можливість їх приєднання.

До кожної секції РП рекомендується підключати компенсуючі пристрої однакової потужності, але не менше 450 кВАр.

При меншій потужності ВБК її розподіляють між ЦТП пропорційно їх навантаженню (докомпенсують з низького боку – встановлюють додаткові НКБ, або замінюють вибрані раніше НКБ на більш потужні) або встановлюють БК на живильній ПС, якщо вона належить промислового підприємству.

Якщо енергосистема задає вхідну реактивну потужність на стороні 35 кВ і вище ГПП підприємства, то повинні бути враховані втрати реактивної потужності в трансформаторах зв'язку з енергосистемою.

Індивідуальна та групова компенсація реактивної потужності

За місцем приєднання розрізняють наступні схеми компенсації:

- загальна – на вводі підприємства, або структурного підрозділу;
- групова – на лінії групи однотипних електроприймачів;
- індивідуальна – в безпосередній близькості до електроприймача.

Установки конденсаторів бувають індивідуальні, групові та централізовані.

Індивідуальна компенсація – конденсаторна установка (КУ) наглухо приєднується до виводів ЕП.

Все електричне коло від джерела живлення до ЕП розвантажується від реактивного струму.

Індивідуальні установки застосовуються частіше на напругах до 660 В.

Недолік – погане використання конденсаторів (з відключенням приймача відключається й компенсуюча установка).

Групова компенсація - КУ приєднуються до розподільних пунктів цехової мережі (розподільних шаф або шинопроводів).

Така компенсація застосовується в цехах, середовище яких не агресивна і не є небезпечною по пожежі і вибуху.

В іншому випадку КУ розміщуються в окремому приміщенні і така компенсація називається централізованою.

Використання встановленої потужності конденсаторів дещо збільшується.

Централізована компенсація - КУ підключаються до шин 0,4 кВ ТП, до шин розподільного пункту напругою 6-10 кВ або шин 6-10 кВ ГПП.

Використання встановленої потужності конденсаторів є найвищим.

Однак при цьому не розвантажується від реактивного струму електрична мережа від РП (РУ-6-10 кВ) до ЕП.

Загальні рекомендації щодо компенсації реактивної потужності

Вибір засобів компенсації повинен виконуватися одночасно з вибором усіх елементів живлячої і розподільчої електричної мережі для нормального і післяаварійного режимів роботи.

За наявності на підприємстві декількох конденсаторних установок застосовується багатоступеневе регулювання сумарної реактивної потужності, яка

генерується усіма конденсаторними установками, шляхом різночасного увімкнення окремих батарей у відповідності з графіком навантаження.

Розподіл компенсуючих пристроїв на різних ступенях системи електропостачання виконується на підставі ТЕР. Найбільший економічний ефект забезпечується розташуванням цих засобів близько від ЕП з найбільшим споживанням реактивної потужності.

Конденсаторні батареї напругою до 1000 В встановлюють, як правило, в цеху біля розподільчих пунктів або приєднують до магістральних шинопроводів.

Централізована установка конденсаторів напругою до 1000 В на ТП або на головній ділянці магістрального шинопроводу допускають лише тоді, коли установка конденсаторів в цеху не можлива за умовами пожежної безпеки.

Установку конденсаторів напругою 6 (10) кВ передбачають:

- на цехових підстанціях, які мають РУ на напругу 6 (10) кВ;
- на розосереджених ПГВ або ГПП, безпосередньо від яких виконується розподіл електроенергії між цеховими підстанціями.

Індивідуальна компенсація може бути допущена як виняток у потужних ЕП з низьким коефіцієнтом потужності та з великою кількістю годин роботи на рік.