

**mgr inż. Grzegorz
Wasilewski**

ELMA energia, Olsztyn

PROBLEMY ŁĄCZENIA KONDENSATORÓW ENERGETYCZNYCH

Załączaniu i wyłączeniu baterii kondensatorów towarzyszą stany przejściowe charakteryzujące się występowaniem przetężeń prądowych i przepięć. Powyższe zjawiska mają charakter krótkotrwały, lecz w określonych, niesprzyjających warunkach mogą być przyczyną uszkodzeń kondensatorów, łączników oraz innych aparatów i urządzeń instalacji kompensacyjnej. Mogą również powodować załączenie zabezpieczeń.

1.1. Załączenie kondensatorów

Z punktu widzenia stopnia zagrożenia dla aparatów, urządzeń i kondensatorów, wskutek występowania stanów nieustalonych (przejściowych) towarzyszących procesom załączania kondensatorów należy rozpatrzyć dwa przypadki:

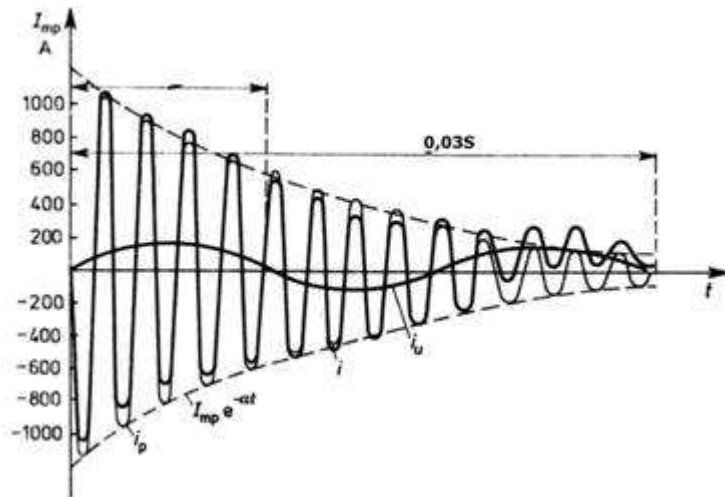
- do szyn zbiorczych, lub w danym punkcie sieci przesyłowej załączana jest pojedyncza bateria (np. jednoczłonowa bateria regulowana automatycznie),
- kondensatory załączone są w sieci (do szyn zbiorczych), w której załączone są już inne baterie kondensatorów, co odpowiada min. dołączaniu kolejnych członów baterii kondensatorów regulowanej automatycznie.

1.1.1. Załączanie pojedynczych baterii kondensatorów

Przypadek ten odpowiada sytuacji, w której w danym punkcie sieci załączana jest pojedyncza bateria kondensatorów (np. jednoczłonowa bateria regulowana automatycznie). Obecność innych baterii w systemie przesyłowo- rozdzielczym jest eliminowana przez reaktancje indukcyjne sieci (inne baterie oddalone są znacznie od załączanej baterii)

Załączeniu baterii kondensatorów towarzyszą przeciążenia prądowe, których amplituda i częstotliwość zależą od parametrów sieci oraz załączanej mocy pojemnościowej.

Największe wartości prądu stanu nieustalonego wystąpią, gdy załączenie baterii nastąpi w momencie osiągnięcia przez napięcie sieci (w układzie trójfazowym w danej fazie) wartości maksymalnej. Przykładowe przebiegi prądu załączania przedstawiono na rys. 1.1



Rys. 1.1. Przebiegi prądu w obwodzie załączanej baterii kondensatorów o mocy 1MVar i napięciu znamionowym 6,3 kV.

Maksymalna chwilowa wartość prądu w obwodzie zasilania kondensatorów (uwzględniając składową ustaloną oraz przejściową) wyniesie:

$$\max I_s = I_m \left(1 + \sqrt{\frac{X_C}{X_L}}\right) \quad \text{lub, inaczej} \quad \max I_s = I_m \left(1 + \sqrt{\frac{S_{VCL}}{Q_C}}\right)$$

gdzie:

I_m – amplituda prądu ustalonego baterii (dla równości napięcia sieci i znamionowego napięcia baterii kondensatorów $I_m = \sqrt{2} I_{gr}$ -prądu znamionowego baterii)

X_C – reaktancja pojemnościowa załączanej baterii

X_L – reaktancja indukcyjna systemu zasilająco- rozdzielczego

S_{VCL} – moc zwarciowa w miejscu zainstalowania baterii kondensatorów

Q_C – moc załączanej baterii kondensatorów

W realnych warunkach, te krótkotrwałe przeciążenia prądowe osiągają wartości nie przekraczające 20-krotnej wartości prądu znamionowego dołączanych kondensatorów.

Amplituda przebiegów towarzyszących dołączaniu pojedynczej baterii kondensatorów powodowanych zapaleniem się łuku elektrycznego oraz oscylacjami układu kondensatory- sieć po zapaleniu się łuku może osiągnąć wartość:

$$U_{\text{pr}} = 2\sqrt{2}U_N$$

gdzie:

U_N – znamionowe napięcie sieci.

Ponieważ, zgodnie z normą IEC 60871, kondensatory średnich napięć muszą wytrzymać:

- krótkotrwałe przeciążenia prądowe (w czasie 0,5 okresu) równe $100 I_{\text{CN}}$ (I_{CN} – znamionowy prąd kondensatora)
- krótkotrwałe napięcia $2\sqrt{2}U_{\text{CN}}$ (U_{CN} – napięcie znamionowe kondensatora)

pojedyncze baterie kondensatorów, z punktu widzenia stanów nieustalonych towarzyszących załączaniu, nie wymagają instalowania urządzeń, takich jak ograniczniki napięć, czy cewek ograniczających prąd załączania.

Ze względu na możliwość wystąpienia napięć atmosferycznych lub innych napięć łączeniowych, na zasilaniu baterii pojedynczej warto zainstalować ograniczniki napięć.

1.1.2. Załączanie kondensatorów do sieci, z której zasilane są inne kondensatory. Dołączanie kolejnych członów baterii regulowanej automatycznie.

Załączanie kondensatorów do pracy równoległej z innymi kondensatorami znajdującymi się pod napięciem powoduje wystąpienie przeciążeń prądowych stanowiących duże zagrożenie dla kondensatorów oraz aparatów i urządzeń rozdzielczych baterii kondensatorów. Maksymalna wartość prądu dla systemu trójfazowego wynosi:

$$I_s = \frac{\sqrt{\frac{2}{3}}U_N}{\sqrt{(X_{C1} + X_{C2}) \cdot X_{L12}}}$$

gdzie:

U_N – napięcie znamionowe (międzyprzewodowe) sieci

X_{C1} – reaktancja pojemnościowa wcześniej dołączonych kondensatorów

X_{C2} – reaktancja pojemnościowa załączanych kondensatorów

X_{L12} – reaktancja indukcyjna pomiędzy pojemnościami C1 i C2

Ponieważ reaktancja X_{L12} – między dwoma bateriami (dwoma członami baterii regulowanej automatycznie) jest bardzo mała, prąd I_s może teoretycznie osiągnąć

wartości dążące do nieskończoności. W rzeczywistych układach osiągają poziom prądów zwarciovych.

Aby ograniczyć amplitudę prądów załączania towarzyszących dołączaniu kondensatorów do współpracy równoległej (dołączaniu kolejnych członów baterii regulowanej automatycznie) w sieciach średniego napięcia należy, zgodnie z normą IEC 60871, zainstalować w torach zasilających poszczególne baterie (człon baterii automatycznie regulowanej) cewki ograniczające prąd załączania. Zasady doboru indukcyjności tych cewek określa w/w norma.

Ponieważ największe przeciążenia kondensatorów występują w przypadku dołączania baterii kondensatorów (człon baterii automatycznie regulowanej) o najmniejszej mocy do maksymalnej możliwej mocy baterii już pracujących, ten przypadek winien stanowić podstawę doboru indukcyjności cewek ograniczających prąd załączania.

Dobór cewek ograniczających prąd załączania obejmuje następujące parametry:

- napięcie znamionowe: U_N
- minimalna indukcyjność: L_N
- prąd znamionowy: I_N
- wytrzymałość zwarciova 1-sekundowa: I_{1s}
- wykonanie: napowietrzne/wnętrzowe
- warunki środowiskowo- klimatyczne

Napięcie znamionowe cewek ograniczających

Napięcie to musi być równe lub większe o napięcia znamionowego sieci zasilającej z uwzględnieniem możliwości wzrostu napięcia roboczego ponad wartość znamionową.

Dobór minimalnej indukcyjności cewek ograniczających prąd załączania

Dobór indukcyjności cewek ograniczających prąd załączania jest zgodny z normą IEC 6871. Warunkiem jest aby załączaniu kondensatorów krótkotrwałe przeciążenia prądowe nie przekraczały 100 krotnej wartości prądu znamionowego załączanych jednostek.

Podstawą analizy jest zależność określona wzorem:

$$I_s = \frac{\sqrt{\frac{2}{3}} U_N}{\sqrt{(X_{c1} + X_{c2}) \cdot X_{L_n}}}$$

W zależności od parametrów sieci i baterii kondensatorów wymagana indukcyjności cewek ograniczających przyjmują wartości od kilkunastu do kilkuset mH.

W układach kompensacyjnych średnich napięć wyposażonych w dławiki rezonansowe (ochronne lub w układzie filtrów wyższych harmonicznych) zastosowane dławiki posiadają indukcyjność rzędu mH. Są to indukcyjności co najmniej o dwa rzędy wyższe niż wymagana minimalna indukcyjność ograniczająca prąd załączania. Dławiki rezonansowe skutecznie chronią instalacje kompensacyjne przed przeciążeniami łączeniowymi.

Przykładowe rozwiązania z cewkami ograniczającymi prąd załączania przedstawiono na rys 1.2



Rys. 1.2 Cewki ograniczające prąd załączania baterii (członów baterii automatycznie regulowanej)

Znamionowy prąd cewek ograniczających prąd załączania

Prąd znamionowy cewek I_N winien spełniać warunek:

$$I_N \geq 15I_{CN}$$

gdzie:

I_{CN} – znamionowy prąd baterii (członu baterii regulowanej automatycznie), w której przewidziane są cewki ograniczające.

Wartości znamionowe

Cewki ograniczające prąd załączania winny wytrzymywać prądy zwarciove (określone jako prądy cieplne 1-sekundowe) przewidziane dla baterii lub członu baterii z uwzględnieniem zastosowanych zabezpieczeń zwarciove.

1.2. Wyłączanie baterii kondensatorów SN

Analiza zjawisk towarzysząca wyłączeniu baterii kondensatorów jest bardzo złożonym problemem. Przepięcia i przeciążenia zależą od takich czynników jak:

- indukcyjność, rezystancja i pojemność,
- moc baterii
- moc już załączonych kondensatorów do sieci
- typy łącznika
- ilość jednocześnie wyłączanych baterii
- rodzaje punktu zerowego sieci (uziemiony, izolowany)

Przepięcia w czasie wyłączania baterii kondensatorów nie stanowią niebezpieczeństwa a przeciążenia nie przekraczają dozwolonej wartości jeżeli wykorzystujemy łączniki bez powtórnego zapłonu łuku. Biorąc to pod uwagę do załączania baterii kondensatorów należy używać łączników próżniowych lub SF 6.