

Lesław ŁADNIAK¹
Joan RULL²

SYMETRYZACJA OBCIĄŻEŃ W UKŁADACH ZASILANIA TRAKCJI KOLEI DUŻYCH PRĘDKOŚCI

W artykule opisano problemy związane z zasilaniem układów trakcji kolei dużych prędkości spowodowane niesymetrią obciążeń oraz przedstawiono sposoby i układy do kompensacji tych niesymetrii. Prezentowane w artykule równania umożliwiają wyznaczenie odpowiedniej wartości mocy elementów kompensatora zarówno w normalnych, jak i awaryjnych warunkach zasilania.

SYMMETRIZATION OF LOADS IN POWER SYSTEM SUPPLYING HIGH SPEED RAILWAY TRACTION

This paper presents same problems of supplying high speed railway traction causes by asymmetric loads. There are also presented the methods and schemes for compensation this asymmetric. The equation presented in this paper enables calculation the correct value of power for compensator elements for normal and fault supplying conditions.

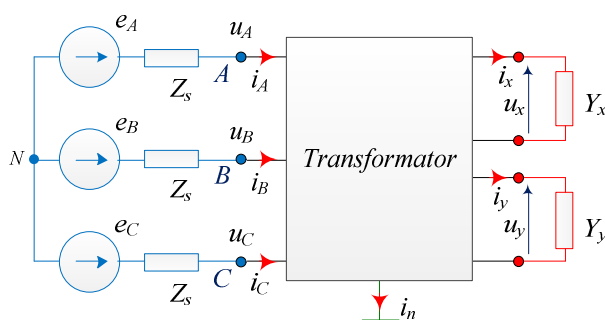
1. SYSTEM ZASILANIA KDP I NIESYMETRIA NAPIĘĆ

Układy zasilania trakcji kolei dużych prędkości są zasilane z trójfazowego systemu energetycznego poprzez transformator o specjalnym układzie połączeń. Podstawowym zadaniem tego transformatora jest przekształcenie trójfazowego układu napięć zasilających na układ dwufazowy. W zależności od zastosowanego układu połączeń uzwojeń pierwotnych i wtórnych transformatora uzyskuje się dwa sinusoidalnie zmienne przesunięte względem siebie napięcia o wartości skutecznej 25 kV. Niezależnie od zastosowanego układu połączeń uzwojeń pierwotnych i wtórnych transformatora zasilającego do systemu energetycznego jest wprowadzana niesymetria napięć i prądów [1, 2]. Wynika to z faktu, że przyłączone do dwóch faz strony wtórnej transformatora obciążenie jest niesymetryczne między innymi z powodu różnej liczby pojazdów zasilanych w danej chwili z poszczególnych uzwojeń transformatora.

¹Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii,
50-370 Wrocław, Wybrzeże St. Wyspiańskiego 27, e-mail: l.ladniak@pwr.wroc.pl

²Univerisitat Politecnica de Catalunya, CITCEA-UPC,
08034 Barcelona, C. Jordi Girona, 31, e-mail: rull@ee.upc.edu

Na rys. 1 przedstawiono uproszczony schemat układu zasilania trakcji kolei dużych prędkości, w którym wyróżniono trzy zasadnicze elementy: źródło siły elektromotorycznej, transformator trakcyjny oraz odbiory trakcyjne. Wartość siły elektromotorycznej E zastępczego trójfazowego źródła przyjmuje się równą napięciu znamionowemu zasilającej sieci energetycznej, a impedancja wewnętrzna Z_s źródła wyznaczona jest z mocy zwarciowej systemu energetycznego S_S . Admitancje Y_x oraz Y_y przyłączone do strony wtórnej transformatora odwzorowują wypadkowe obciążenie uzwojeń x oraz y transformatora wynikające z mocy zasilanych pojazdów oraz strat mocy w sieci trakcyjnej.



Rys. 1. Schemat zastępczy układu zasilania trakcji KDP

Miarą niesymetrii wprowadzanej do zasilającego systemu energetycznego jest wyrażony w procentach stosunek skutecznych wartości składowej przeciwnej napięcia U_2 do składowej zgodnej napięcia U_1 w miejscu zasilania:

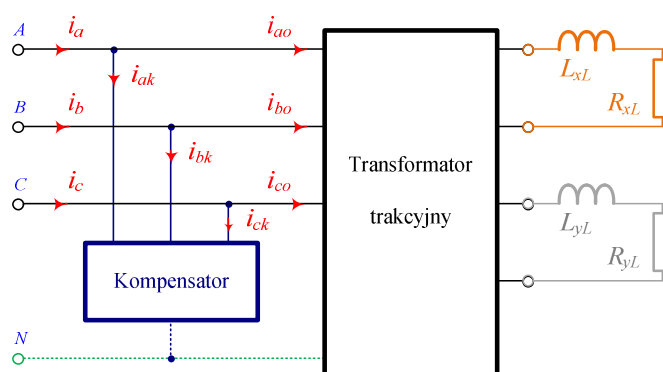
$$\varepsilon_u = \frac{U_2}{U_1} 100\% \quad (1)$$

Ogólne wymagania w zakresie niesymetrii napięć w systemie najwyższych napięć określone w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji, określają, że średnia wartość niesymetrii napięć obliczona dla dowolnych 10 minut z 95 % tygodniowego czasu obserwacji nie powinna przekraczać 1 %.

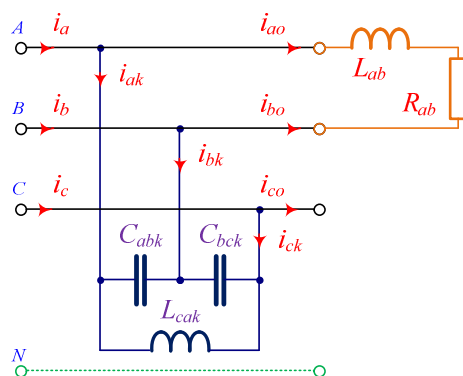
Jak wynika z przeprowadzonych analiz warunków zasilania [3, 4] dla planowanych do budowy układów trakcji KDP z podstacjami o mocy 60 MVA wyposażonych w transformatory o układzie połączeń V, w normalnych warunkach zasilania, gdy wszystkie urządzenia w poszczególnych podstacjach są sprawne, spełnione są wszystkie wymagania, co do symetrii napięć. Niestety w trybie awaryjnym, gdy wymagane jest zasilanie sieci trakcji kolejowej tylko z jednego transformatora lub w przypadku wydłużenia zasilanego odcinka sieci trakcyjnej z powodu awarii sąsiedniej podstacji trakcyjnej współczynnik niesymetrii napięć osiąga wartość ok. 1,5 %. Problem ten dotyczy 2 z 8 podstacji trakcyjnych przewidzianych do zasilania układów trakcji KDP. Dla tych dwóch podstacji zarówno wartość chwilowa, jak i wartość średnia napięć niesymetrii obliczona dla 10 minut przekracza wartości graniczne wynikające z przepisów.

2. KOMPENSACJA NIESYMETRII OBCIĄŻENIA

Jednym ze sposobów likwidacji niesymetrii napięć spowodowanych niesymetrią obciążenia jest zastosowanie układu kompensującego o odpowiednio dobranych elementach biernych. Na rys. 2 przedstawiono schemat obwodu odwzorowującego fragment sieci trakcyjnej wraz transformatorem, do którego zacisków pierwotnych został przyłączony układ kompensujący. Znając układ połączeń transformatora oraz jego przekładnię zwojową wartość admittancji obciążenia można przeliczyć na wartość admittancji po stronie pierwotnej transformatora, co prowadzi do uroszczenia układu.



Rys. 2. Schemat układu zasilania trakcji KDP z kompensatorem

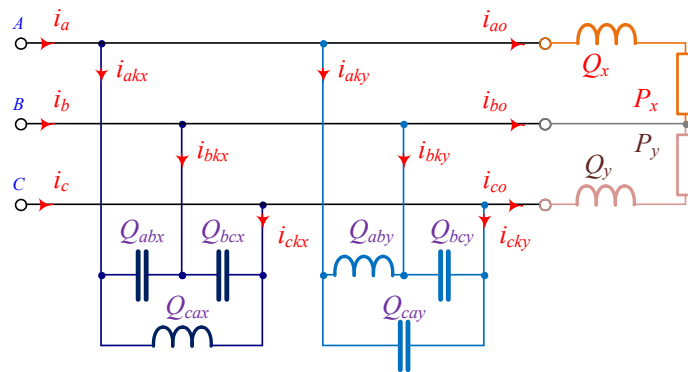


Rys. 3. Schemat połączeń układu kompensacyjnego

Przyjmijmy, że do zacisków AB trójfazowego symetrycznego źródła napięcia jest przyłączony jednofazowy odbiornik o charakterze indukcyjnym. Jeżeli kompensację przeprowadzamy dla częstotliwości składowej podstawowej napięcia i prądu zasilania, to moc obciążenia S_{ab} odbiornika włączonego między fazy AB można rozłożyć na dwie ortogonalne składowe P_L i Q_L . Korzystając z bilansu mocy dla wartości zespolonych dochodzimy do wniosku, że do zacisków odbiornika S_{ab} należy równolegle przyłączyć

element o mocy $Q_{ab} = -Q_L$ kompensujący moc bierną odbiornika S_{ab} . Natomiast między fazy BC należy włączyć element o mocy $Q_{bc} = -\frac{P_L}{\sqrt{3}}$, a między fazy CA element o mocy $Q_{ca} = -Q_{bc}$. Dobierając w ten sposób moc poszczególnych elementów układu kompensującego osiągniemy pełną symetrię obciążenia względem źródła zasilania. Po kompensacji wypadkowy współczynnik mocy jest równy jedności, a moc poszczególnych faz układu jest równa jednej trzeciej mocy czynnej odbiornika jednofazowego. Schemat układu połączeń kompensatora zwany układem Steinmetza przedstawiono na rys. 3.

Dla podstacji trakcyjnej z transformatorami jednofazowymi pracującymi w układzie V , potrzebna jest symetryzacja dwóch obciążeń S_x oraz S_y przyłączonych do uzwojeń wtórnych transformatora. W tym przypadku w celu kompensacji niesymetrii obciążenia należy zastosować kompensator o układzie połączeń przedstawionym na rys. 4.



Rys. 4. Zasada symetryzacji odbiorów jednofazowych

W celu uzyskania pełnej symetrii obciążenia w układzie przedstawionym na Rys. 4 niezbędne jest zainstalowanie trzech elementów o mocy obliczonej w następujący sposób:

$$\begin{aligned} Q_{ab} &= Q_{abx} + Q_{aby} = -Q_x + \frac{P_y}{\sqrt{3}} \\ Q_{bc} &= Q_{bcx} + Q_{bcy} = -Q_y - \frac{P_x}{\sqrt{3}} \\ Q_{ca} &= Q_{cax} + Q_{cay} = \frac{P_x}{\sqrt{3}} - \frac{P_y}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (2)$$

Wartość elementów układu kompensującego dobierana jest dla przypadku, w którym asymetria obciążeń faz x oraz y strony wtórnej transformatora trakcyjnego jest największa. Dobierając wartość elementów układu kompensującego należy pamiętać, że przy pełnej kompensacji układu wystąpią w układzie przepięcia i przetężenia wywołane zjawiskiem rezonansu.

Do spełnienia wymagań określonych w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci NN wystarczy symetryzacja częściowa, która pozwala na zaprojektowanie rozwiązań

mniejszych i tańszych. Korzystając z liniowej interpolacji można oszacować wartość współczynnika niesymetrii napięć po kompensacji ε_{up} znając wartość maksymalną współczynnika niesymetrii napięć ε_{im} przed kompensacją, maksymalną moc odbiornika przed kompensacją S_m oraz moc znamionową S_k urządzenia kompensującego:

$$\varepsilon_{up} \approx \frac{S_m - S_k}{S_m} \varepsilon_{uo} 100\% \quad (3)$$

Wartość mocy urządzenia kompensującego S_k należy tak dobrać, aby dla każdej fazy źródła zasilania spełnić warunki symetrii napięć w sieci przesyłowej przez 100 % czasu, nawet przy najmniej korzystnych warunkach zasilania.

3. POSUMOWANIE

Wartość współczynnika niesymetrii napięć ε_u zależy przede wszystkim od impedancji zwarciowej sieci zasilającej oraz mocy i układu połączeń transformatora trakcyjnego. Dokonując wyboru węzłów systemu energetycznego, z których będą zasilane poszczególne podstacje trakcyjne należy przede wszystkim sprawdzić relację między mocą podstacji, a mocą zwarciową systemu zasilania.

W przypadku, gdy dla danego węzła sieci energetycznej nie są spełnione wymagania należy rozważyć możliwość zastosowania układów do kompensacji niesymetrii obciążeń lub transformatora o innym układzie połączeń.

Jak wykazano w artykule niesymetrię napięć w układach zasilających trakcję KDP można ograniczyć do zadanego poziomu wartości stosując kompensator statyczny złożony z elementów biernych połączonych w trójkąt o odpowiednio dobranych mocach.

Poszukiwanie skutecznych i tanich rozwiązań jest istotnym aspektem przy wyborze sposobu zasilania KDP, gdyż koszty produkcji, instalacji i eksploatacji poszczególnych elementów układu zasilania mają decydujące znaczenie dla całego przedsięwzięcia.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Burchi G., Lazaroiu C., Golovanov N., Roscia M.: *Estimation of Voltage Unbalance in Power Systems Supplying High Speed Railway*, Electrical Power Quality and Utilisation, Vol. XI, No. 2, pp. 113-119, 2005.
- [2] Sutherland P. E., Waclawiak M., McGranaghan M. F.: *Analysis of Harmonics, Flicker and Unbalance of Time-Varying Single-Phase Traction Loads on a Three-Phase System*, International Conference on Power Systems Transients, Canada, June 19-23, 2005.
- [3] Ładniak L., Rojewski W., Sobierajski M.: *Opracowanie koncepcji budowy układów zasilania kolei dużych prędkości*, Raport Serii Sprawozdania, Politechnika Wroclawska 2011.
- [4] Ładniak L.: *Wpływ układu połączeń transformatora trakcyjnego na niesymetrię napięć w sieci zasilającej*, X Międzynarodowa Konferencja „Nowoczesna Trakcja Elektryczna”, Poznań 2011.