

Dławiki w układach filtrów wyższych harmonicznych

Mirosław Łukiewski

Znaczny poziom wyższych harmonicznych w przemysłowych oraz miejskich sieciach elektroenergetycznych jest spowodowany szybkim wzrostem ilości eksploatowanych przekształtników i odbiorników nieliniowych. Odkształcenie sinusoidy napięcia prowadzi do zwiększenia strat, a w skrajnych sytuacjach nawet do zakłóceń w pracy maszyn i urządzeń.

W celu ograniczenia niekorzystnego wpływu odbiorników nieliniowych i przekształtników na sieć elektroenergetyczną, zasilane z niej maszyny oraz na połączone z siecią baterie kondensatorów stosuje się układy filtrów wyższych harmonicznych. Firma Elhand Transformatory z Lublińca jest producentem dławików typu ED3F przeznaczonych do pracy w układach filtrów LC wyższych harmonicznych.

Zadania filtrów wyższych harmonicznych w sieciach elektroenergetycznych

W najczęściej spotykanych układach przekształtników trójfazowych mostkowych (układy sześciopulsowe) przebieg prądu po stronie pierwotnej transformatora – przy założeniu symetrii napięć zasilających, impedancji komutacyjnych i kątów opóźnienia wyłączania tyrystorów – będzie zawierał oprócz składowej podstawowej harmonicznej min.: 5, 7, 11, 13, których numery określa ogólne równanie (1).

$$n = kp \pm 1 \quad (1)$$

gdzie: n – rząd harmonicznej, k – liczba naturalna, p – liczba pulsów napięcia wyprostowanego.

Wartości amplitud składowych harmonicznych możemy wyznaczyć korzystając z równania (2).

$$A_n = \frac{1}{n} A_1 \quad (2)$$

gdzie: A_1 – amplituda podstawowej harmonicznej napięcia, A_n – amplituda n -tej harmonicznej.

Zbyt duża zawartość wyższych harmonicznych prądu zasilającego może spowodować znaczny wzrost strat mocy w urządzeniach i maszynach współpracujących z przekształtnikiem w wyniku przepływu prądu o podwyższonej częstotliwości lub wywołać zaburzenia w pracy urządzeń przez zniekształcenie napięcia zasilającego. Szczególnie odnosi się to do baterii kondensatorów pracujących równolegle z układem przekształtnikowym. Zmniejszenie impedancji kondensatorów połączone ze wzrostem częstotliwości może spowodować uszkodzenia baterii na skutek przeciążenia prądami o częstotliwościach wyższych harmonicznych.

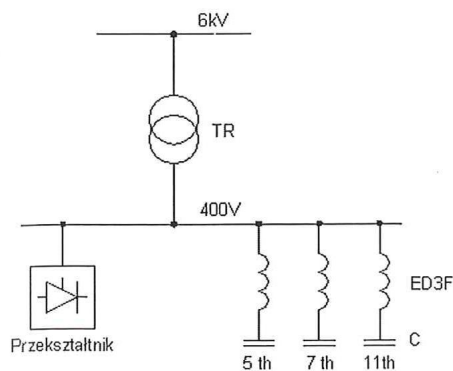
Ponadto niebezpiecznym zjawiskiem jest rezonans równoległy w układzie. Harmoniczne wytwarzane przez bezstopniowe układy napędowe mogą być wzmocnione aż 10-15 razy w obwodzie rezonansu równoległego utworzonego przez reaktancję

pojemnościową baterii kondensatorów i indukcyjność sieci. Zjawisko to może doprowadzić do uszkodzenia zarówno baterii kondensatorów, jak i przekształtnika.

Składowe harmoniczne w niekorzystnych warunkach mogą stanowić zagrożenie dla konstrukcji mechanicznej maszyn elektrycznych. Pary harmonicznych np. 5 i 7 mogą wywołać drgania mechaniczne przy częstotliwości 6-tej harmonicznej w generatorze lub silniku. Drgania te powstają wskutek wahań momentu obrotowego w wyniku zniekształcenia krzywej napięcia zasilającego. Gdy częstotliwość tych drgań zbiegnie się z częstotliwością rezonansu mechanicznego, wówczas konstrukcja mechaniczna maszyny narażona będzie na znaczne przeciążenia.

Uciążliwy efekt głośniejszej pracy maszyn elektrycznych będący skutkiem zjawiska magnetostrykcji jest ze względu na stosunkowo wysokie częstotliwości składowych harmonicznych prądu dodatkowo wzmocniony. Prądy odkształcone zawartością wyższych harmonicznych powodują ponadto znacznie intensywniejsze nagrzewanie przewodów i kabli elektroenergetycznych w skutek zjawiska naskórkowości oraz efektu bliskości.

Rolą filtrów LC, których elementami są dławiki typu ED3F jest ograniczenie



Rys. 1. Uproszczony schemat obwodu kompensacji mocy biernej i filtracji harmonicznych [na podstawie literatury].

niekorzystnego wpływu wyższych harmonicznym prądu na sieć elektroenergetyczną i wszystkie urządzenia z nią połączone.

Rysunek 1 przedstawia typowy układ do kompensacji mocy biernej oraz filtracji harmonicznych. Występują tu trzy gałęzie filtrujące dostrojone do 5, 7, 11-tej harmonicznej. Ilość zainstalowanych gałęzi filtrujących zależy od wymaganej mocy biernej koniecznej do kompensacji oraz od pomiarów i dokładnej analizy zawartości poszczególnych harmonicznych w sieci.

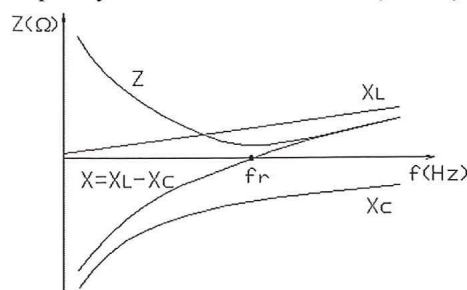
Filtry to szeregowo układy rezonansowe LC włączone równolegle w obwód zasilania przekształtnika, które spełniają podwójną rolę: kompensują moc bierną pobieraną przez układ napędowy oraz zapobiegają przedostawaniu się wyższych harmonicznych do sieci elektrycznej. Reaktancja filtru w zależności od numeru harmonicznej wynosi (3).

$$X_{nf} = n\omega L_f - \frac{1}{n\omega C_f} \tag{3}$$

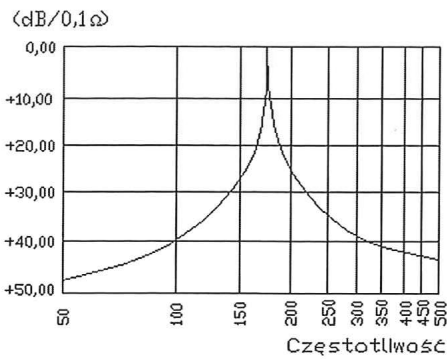
gdzie: L_f, C_f – indukcyjność oraz pojemność gałęzi obwodu stanowiącej filtr; n – rząd harmonicznej; ω – pulsacja [5,6].

Przy odpowiednio dobranych wartościach indukcyjności i pojemności filtr dla harmonicznej podstawowej oraz dla harmonicznych niższego rzędu niż nr (częstotliwość rezonansowa) będzie stanowił obciążenie pojemnościowe, natomiast dla wszystkich harmonicznych wyższych rzędów obciążenie indukcyjne. Dla częstotliwości rezonansowej gałęzi LC będzie miała niewielką impedancję równą w zasadzie rezystancji uzwojeń dławika. Prąd o częstotliwości rezonansowej będzie zamykał się między przekształtnikiem a filtrem, nie przedostając się do sieci zasilającej. Dla podstawowej harmonicznej gałęzie filtru zawsze mają charakter pojemnościowy, co w praktyce oznacza realizację kompensacji mocy biernej (Rys.2)[2].

Odmianą dławików typu ED3F są dławiki tłumiące używane do ochrony baterii kondensatorów. Własności użytkowe tych dławików opisywane są współczynnikiem tłumienia $p(\%)$. Wartość współczynnika tłumienia można wyznaczyć z równania (4).



Rys. 2. Charakterystyka impedancyjna filtru LC [1].



Rys. 3. Charakterystyka tłumienia układu LC z dławikiem ochronnym o współczynniku $p=7\%$. [na podstawie literatury].

$$\Rightarrow p(\%) = 100 \frac{U_L}{U_C} = 100 \left[\frac{f}{f_r} \right]^2 \quad (4)$$

gdzie: U_L, U_C – napięcie na indukcyjności oraz pojemności gałęzi L_C ,

f – częstotliwość sieciowa, f_r – częstotliwość rezonansowa.

Najczęściej realizuje się dławiki o współczynnikach tłumienia $p=7\%$ oraz $p=5\%$, co odpowiada częstotliwościom rezonansowym odpowiednio $f_r=189\text{Hz}$ i $f_r=223\text{Hz}$ (rys.3). Dławiki o takich współczynnikach tłumienia stosowane są powszechnie w układach kompensacyjnych, w których niebezpiecznie wysoki poziom osiągają harmoniczne piąta i siódma. W układach o znacznej zawartości trzeciej harmonicznej używa się dławików o współczynniku tłumienia $p=14\%$, czyli częstotliwości rezonansowej $f_r=133\text{Hz}$.

Przykładowe realizacje pasywnych filtrów LC

Istnieje wiele rozwiązań technicznych w zastosowaniach przemysłowych, jednak najczęściej występują pasywne filtry LC (rys. 4).

Gałęzie filtru LC przedstawionego na (rys. 4a) znajdują się w czasie pracy pod napięciem przewodowym sieci. W związku z tym baterie kondensatorów i dławiki będą tu – szczególnie w zakresie średnich napięć – znacznie droższe niż w układach (rys.4 b,c). Dlatego konfiguracja filtru (rys. 4a) powszechnie stosowana jest w układach niskonapięciowych. Wadą tego rozwiązania jest brak możliwości filtrowania harmonicznych potrójnych. Jest to możliwe wyłącznie w układzie gwiazdy z uzziemionym punktem zerowym.

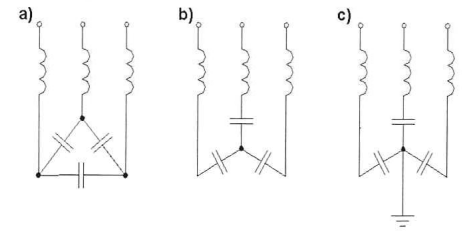
W układzie z (rys.4b) rozkład napięć na poszczególnych fazach filtru uzależniony jest od pojemności oraz indukcyjności każdej gałęzi. Ze względu na konieczność zapewnienia prawidłowego napięcia pracy we wszystkich trzech fazach wymagana jest ścisła symetria pojemności i indukcyjności.

Układy (rys.4a,b) mogą być stosowane w dowolnym systemie sieci trójfazowej. Natomiast układ (rys.4c) nie może być stosowany w sieci z izolowanym punktem zerowym lub z punktem zerowym uzziemionym przez dławik gaszący. W układzie takim gałęzie filtru pracują praktycznie pod równymi napięciami. W przypadku zwarcia jednej fazy z ziemią na pozostałych gałęziach pojawia się napięcie międzyprzewodowe. Napięcie to jest razy większe niż w stanie normalnej pracy. Bateria kondensatorów w takiej sytuacji powinna zostać wyłączona bardzo szybko (t Ł 1min.). Natomiast w sieciach o izolowanym punkcie zerowym zwarcia doziemne są przeważnie jedynie sygnalizowane i utrzymują się znacznie dłużej, co stanowi poważne zagrożenie dla układu filtrów [1,2].

Budowa dławików stosowanych w układach filtracji harmonicznych

Dławiki typu ED3F produkowane są w wykonaniu trójfazowym. Indukcyjność i prądy dławików przeznaczonych do pracy w układach filtracji harmonicznych mieszczą się odpowiednio w przedziałach od dziesiątych części do kilku milihenrów oraz od kilku do kilkuset amperów. Parametry te uzależnione są wyłącznie od układu filtru oraz pojemności i mocy baterii kondensatorów, z którą dławik będzie współpracował.

Rdzeń dławika wykonuje się z elektrotechnicznej blachy krzemowej o grubości (0,25 – 0,5) mm. Uzwojenia wykonane przewodem nawojowym okrągłym lub profilowym, nawinięte na karkasach, umieszcza się na kolumnach rdzenia. Następnie po zamknięciu rdzenia całość poddaje się impregnacji próżniowej, która skutecznie zabezpiecza dławik przed oddziaływaniami środowiskowymi. Po wyposażeniu dławika w zaciski lub końcówki



Rys. 4. Przykładowe układy pasywnych filtrów LC

kablowe oraz osprzęt mechaniczny poddaje się gotowe urządzenie serii testów na stacji prób elektrycznych. Badania te ujawniają wszelkie ewentualne wady wyrobu, które mogły pozostać niezauważone w procesie produkcji.

Wszystkie czynności począwszy od zakupu materiałów używanych do produkcji, aż do wysyłki gotowego wyrobu wykonywane są w oparciu o procedury systemu zapewnienia jakości ISO-9002, co gwarantuje najwyższą jakość produkowanych maszyn i urządzeń.

Mirosław Łukiewski
Autor jest pracownikiem firmy Elhand Transformatory



Literatura

- [1] Hanzelka Z., Klempka R. Pasywne filtry wyższych harmonicznych Napędy i Sterowanie nr 9,10 2000r.
- [2] Nartowski Z. Baterie kondensatorów do kompensacji mocy biernej. WNT W-wa 1967r.
- [3] Barlik R., Nowak M. Technika tyrystorowa WNT W-wa 1994r.
- [4] Nowak M., Barlik R. Poradnik inżyniera energoelektronika WNT W-wa 1998r.
- [5] Kuczewski Z. Energoelektronika WNT W-wa 1980r.
- [6] CIRCUTOR – Filtering reactors katalog 2000r.

KONTAKT



ELHAND TRANSFORMATORY

42-700 Lubliniec
ul. PCK 22
tel. +48 (34) 353 17 10
fax. +48 (34) 356 40 03
e-mail: info@elhand.com.pl
http://www.elhand.com.pl