

doi:10.15199/48.2020.03.19

Dobór wartości znamionowych filtrów przemysłowych

Streszczenie. Parametry znamionowe układów kompensacyjno-filtrujących wyznaczane są w oparciu o harmoniczne prądów i napięć w stanach ustalonych co tyczy się głównie jednostek filtrujących o prostej topologii. Jednak w przypadku bardziej złożonych układów wymaga się, aby elementy były dostosowane do pracy zarówno w warunkach ustalonych, jak i przejściowych. Korzystając ze standardów oraz norm, w artykule omówiono procedurę doboru parametrów baterii kondensatorów i dławików układów filtrujących z pozycji ich bezawaryjnej pracy w sieciach przemysłowych.

Abstract. The component ratings of single-tuned or single branch harmonic filter applications are often specified based solely on a combination of steady state fundamental and harmonic voltages and currents. Although for more complex harmonic filter circuits are required to be adapted to operate as well in steady state and transient conditions. Using the standards and norms, the article discusses the procedure for selecting the ratings of capacitor banks and reactors of the filtering systems from the point of view of their trouble-free operation in industrial grids. **The procedure for selecting the ratings of capacitor banks and reactors of the filtering systems**

Słowa kluczowe: filtr wyższych harmonicznych, proces ustalony, procesy przejściowe, bateria kondensatorów, dławik filtrujący.

Keywords: harmonic filter, steady state, transients, capacitor bank, filter reactor.

Wstęp

Układ kompensacyjno-filtrujący zaprojektowany na podstawie modułu kondensatora spełnia z reguły dwie podstawowe funkcje w systemie. Ogranicza wpływ wyższych harmonicznych na sieć zasilającą oraz obniża poziom pobieranej z sieci mocy bierniej. Zastosowanie złożonych układów filtrujących opartych o kilka gałęzi filtrów strojonych do wymaganych częstotliwości rezonansowych znajduje powszechne zastosowanie w systemach zasilania energetyki zawodowej oraz układach przemysłowych. Bezpośrednią przyczyną zastosowania tego typu rozwiązań jest wzrost liczby układów energoelektronicznych i elektrycznych urządzeń łukowych w systemach zasilania zakładów przemysłowych, powodując zniekształcenie prądów roboczych. Niemniej jednak praktyka eksploatacji tak skonfigurowanych układów kompensacyjno-filtrujących pokazuje, iż wielokrotne komutacje łączeniowe dosyć często stają się przyczyną uszkodzenia elementów składowych filtrów. Można więc wnioskować, iż stawiane kryterium doboru, bazujące na parametrach stanów ustalonych, nie jest zbyt wystarczające, aby zapewnić bezawaryjną pracę układu kompensacyjno-filtrującego w systemie zasilania zakładu przemysłowego. Nie uwzględniania wpływu amplitud prądów oraz napięć przejściowych wielokrotnie przewyższających wartości znamionowe baterii oraz dławików filtrujących w stanach przejściowych i tym samym często prowadzi do uszkodzenia poszczególnych elementów filtru.

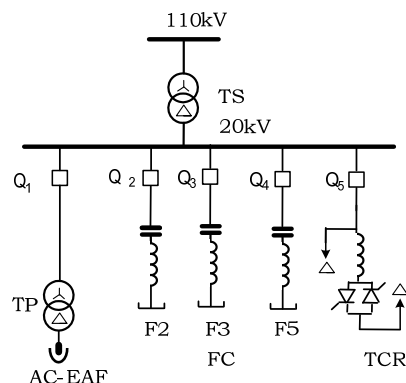
Należy nadmienić, iż praca filtrów harmonicznych tyrystorowych kompensatorów statycznych SVC (Static Var Compensator), powszechnie stosowanych w układach zasilających piece łukowe dużej mocy odbywa się w ekstremalnych warunkach eksploatacyjnych. Z kolei praktyka eksploatacji pieców łukowych wykazuje, iż łączenia transformatora piecowego i poszczególnych jednostek układu filtrów wywołują napięcia i prądy przejściowe kondensatorów i dławików filtrów, które charakteryzują się dużą krotnością i powtarzalnością. Przykładową strukturę układu filtrów SVC zaprezentowano na rys. 1.

Podstawową informacją podczas projektowania filtrów wyższych harmonicznych pracujących w złożonej topologii układu filtrującego, dla wybranego systemu przemysłowego jest zbiór następujących danych, których celem jest określenie:

- źródła wyższych harmonicznych, tj. widma amplitudowo-częstotliwościowego generowanego przez odbiory

nieliniowe, uzyskane na drodze pomiarów lub opisu technicznego filtrowanego urządzenia, wartość mocy bierniej podstawowej harmonicznej wymaganej ze względów kompensacyjnych,

- topologii sieci zasilającej, tj. wyznaczenie charakterystyki częstotliwościowo-impedancyjnej układu przemysłowego lub elektroenergetycznego w punkcie przyłączenia filtru, a w tym wartości mocy zwarciowej wraz ze schematem i danymi technicznymi najbliższego otoczenia punktu przyłączenia filtru, pierwotnego widma odkształcenia napięcia w rozpatrywanym punkcie, dopuszczalnego warunkami zasilania współczynnika odkształcenia napięcia THD_u wraz ze współczynnikiem udziału harmonicznych, - struktury układu filtrującego i parametrów technicznych baterii kondensatorów oraz dławików filtrujących, wyznaczonych w oparciu o stany ustalone oraz przejściowe występujące w analizowanym systemie zasilania.



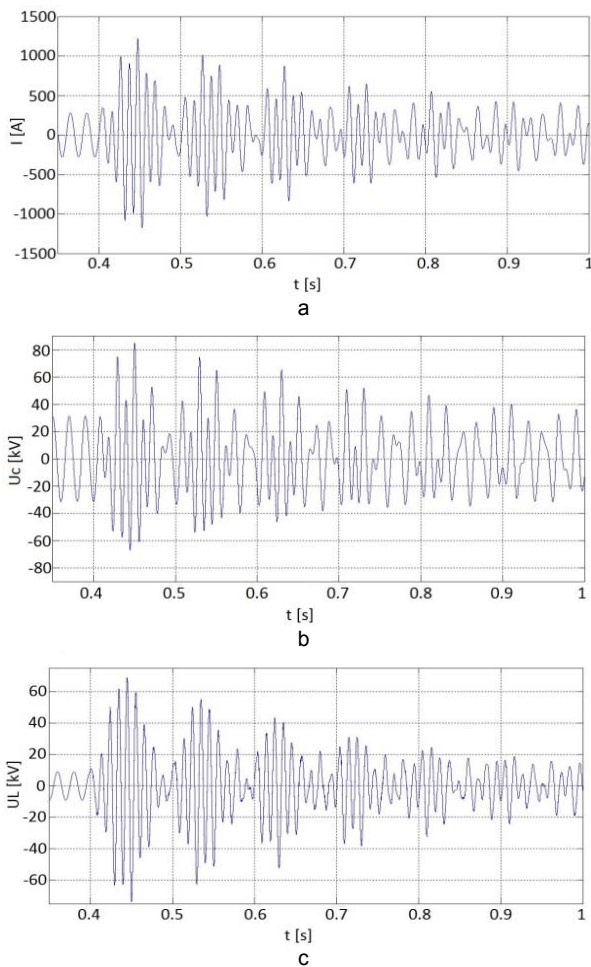
Rys. 1. Schemat ideowy układu zasilania pieca łukowego AC-EAF z udziałem układu kompensacyjnego

Parametry dławika filtrującego

Dławiki pracujące w układach kompensacyjno-filtrujących, przeznaczone do ciągłej pracy w stanach przejściowych, są tak projektowane, aby zapewnić wymagany poziom minimalizacji odkształcenia napięcia w systemie zasilania [1]. Każdy z dławików dobiera się z uwzględnieniem dopuszczalnych kryteriów oraz wymaganych tolerancji, uwzględniając poziom napięć oraz prądów przejściowych podanych w normie projektowej. Na etapie projektowania dławików, typowa dokumentacja techniczna powinna uwzględniać: wartość napięcia oraz częstotliwość zasilania systemu, dopuszczalne odchyłki technologiczne indukcyjności, prąd podstawowej

harmonicznej oraz widmo harmonicznych w punkcie przyłączenia, poziom mocy zwarciowej systemu, poziom izolacji zastosowanych uzwojeń, wymiary oraz sposób montażu cewek, czynniki środowiskowe oraz otoczenia m.in.: poziom zanieczyszczenia, temperaturę otoczenia. Szczegółowe dane wymagane podczas doboru parametrów dławików filtrujących określono w [2], [3].

Kryteria doboru izolacji i konstrukcji uzwojeń dławików filtrujących zależne są od poziomu maksymalnych napięć i prądów przejściowych występujących podczas łączeń technologicznych oraz stanów awaryjnych w systemie zasilania. Na rys.2 przedstawiono przykładowe przebiegi przejściowych prądu i napięć baterii kondensatorów i dławika podczas włączania transformatora piecowego w układzie zasilania pieca łukowego z rys.1.

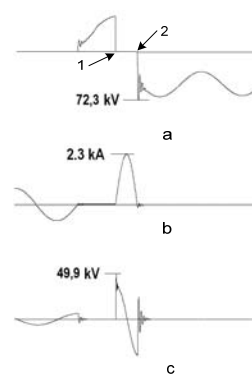


Rys. 2. Oscylogramy prądu (a) oraz napięć przejściowych na baterii (b) i dławikach (c) filtra F-2 podczas włączania transformatora piecowego

Na rysunku 2 można zaobserwować znaczne krotności napięć baterii kondensatorów i dławika filtra oraz prądu przejściowego w jego obwodzie. Powtarzalność tych łączeń w układzie zasilania pieca łukowego jest od 20 do 40 w ciągu doby.

Innym charakterystycznym zdarzeniem w analizowanym układzie zasilania jest włączanie/wyłączanie filtrów. W ciągu procesu przejściowego, gdy filtr jest włączany, obserwuje się też względnie wolno zapadające amplitudy prądów i napięć na elementach filtra, podobnie do tych, rejestrowanych podczas włączania transformatora piecowego. Natomiast podczas wyłączania filtra wskutek oddziaływania pasożytniczych pojemności szyn i urządzeń elektrycznych znacznie wzrasta stromość napięć

powrotnych na stykach wyłącznika, co może doprowadzić do powtórnego przeskoku łuku między stykami i powodować eskalację napięć na elementach filtra. Rysunek 3 przedstawia przykładowy stan przejściowy podczas odłączania filtra trzeciej harmonicznej, gdy między stykami wyłącznika występuje powtórny zapłon łuku w chwili 1 i następnie ostateczne wyłączenie fazy filtra w chwili 2. Na skutek szybko narastających amplitud napięć, zastosowana izolacja ulega stopniowej degradacji, a w konsekwencji po pewnym czasie następuje jej całkowite uszkodzenie. Stąd jej dobór musi spełniać dodatkowe kryteria uwzględniające czas trwania oraz liczbę zdarzeń przejściowych mogących wystąpić w systemie zasilania w ciągu roku. W przeciwnym wypadku długi czas utrzymywania się napięć natury łączeniowej może doprowadzić do przeskoków iskrowych na powierzchni izolacji oraz jej stopniowego i miejscowego uszkodzenia. Obecnie, mając na celu zapewnienie bezawaryjnej eksploatacji, dla dławików filtrujących stosuje się dodatkowe warstwy izolacji, a także cewki o dłuższych uzwojeniach [2,3].



Rys. 3. Napięcie na stykach wyłącznika (a), prąd (b) i napięcie (c) na dławiku filtra trzeciej harmonicznej podczas powtórnego zapłonu łuku między stykami wyłącznika

Przejściowe, często powtarzalne prądy w uzwojeniach oprócz nadmiernego grzania izolacji przyczyniają się do powstawania znacznych sił mechanicznych, które powodują stopniowe osłabienie mocowania uzwojeń dławika. Wzajemne elektromechaniczne oddziaływanie uzwojeń w konsekwencji uszkadza czołowe połączenia śrubowe oraz przyczynia się do szybszego ich uszkodzenia. Norma [2] i [3] określa też dopuszczalne temperatury izolacji dławików filtrujących w warunkach zwarciowych.

Na etapie projektowania uwzględnia się przeciętny czas użytkowania na poziomie powyżej 30 lat w warunkach dużej powtarzalności stanów przejściowych. Równocześnie jak pokazują badania eksperymentalne, dławiki filtrujące układu kompensacyjno-filtrującego powinny być tak dobrane, aby były odporne na cykliczne amplitudy prądów oraz napięć, których powtarzalność, ściśle zależy od charakteru procesu przejściowego. W tabeli 1 zestawiono prawdopodobieństwo występowania charakterystycznych zjawisk przejściowych w układach zasilania pieców łukowych o dużych mocach.

Tabela 1. Charakterystyczne operacje łączeniowe, czynniki oraz odpowiadająca im typowa liczba stanów przejściowych [2]

Czynnik generujący stan przejściowy	Liczba zjawisk przejściowych w ciągu roku
włączanie transformatora	1000 - 30000
włączanie baterii kondensatorów, filtrów	10 - 1000
powtórny zapłon łuku elektrycznego wyłącznika filtra	< 10

Dodatkowym aspektem, jaki należy uwzględnić podczas doboru dławików są warunki pracy, które w chwili pogorszenia mogą przyczynić się do nasilenia opisywanych zjawisk. Wzrost temperatury otoczenia oraz duży poziom zanieczyszczeń powodują szybsze nagrzewanie izolacji uzwojeń a także stwarzają pożądane warunki dla powstawania wyładowań niepełnych prowadzących do jej erozji. Wzrost wilgotności oraz zanieczyszczeń w postaci pyłu i drobinek kurzu jest przyczyną częstszych przeskoków iskrowych, co w konsekwencji prowadzi do szybszej degradacji izolacji.

Parametry baterii kondensatorów

Bateria kondensatorów filtra układu kompensacyjno-filtrującego, pracująca w systemie zasilania narażonym na wysoki poziom zjawisk przejściowych dobierana jest na podstawie standardu odnoszącego się do baterii kondensatorów energetycznych [4], [5] oraz pozostałych norm [6], [7]. Szczegółowe informacje wymagane podczas projektowania parametrów baterii kondensatorów systemu kompensacyjno-filtrującego opisano w [4], [5].

Kryteria doboru baterii kondensatorów filtra, zależą głównie od maksymalnych amplitud oraz czasu trwania napięć przejściowych, które pojawiają się w obwodzie filtra, przyczyniają się do uszkodzenia izolacji między zwijkami, zwarć wewnętrznych a także prowadzą do występowania przeskoków iskrowych między izolatorami lub na powierzchni izolacji. Generowanym przepięciom dynamicznym towarzyszą z kolei zwarcia oraz trwałe uszkodzenia dielektryka. W zależności od wartości maksymalnej przepięcia generowanego w obwodzie baterii kondensatorów systemu filtrującego określa się dopuszczalny czas pracy układu. Wzrost wartości skutecznej napięcia ponad wartość nominalną systemu zasilania skutkuje szybszym zadziałaniem zabezpieczeń baterii kondensatorów filtra. W dodatku wzrost wartości amplitud napięć przejściowych w odniesieniu do liczby stanów nieustalonych obserwowanych w ciągu roku skutkuje skróceniem czasu eksploatacji danej baterii kondensatorów filtra. Stąd, wzrost liczby operacji łączeniowych w ciągu doby zmniejsza dopuszczalną amplitudę napięcia przejściowego (liczbę przeciążeń napięciowych) jakie może zostać wygenerowane na izolacji w stanie nieustalonym [4], [5].

Na etapie projektowania kondensatorów filtra przyjmuje się, że prawdopodobieństwo wystąpienia operacji łączeniowych generujących stan przejściowy w obwodach przemysłowych występuje na poziomie od 4 do 4000 razy w ciągu roku [4], [5]. Stąd, korzystając z danych zawartych w tabeli 2 określa się bezpieczne, maksymalne wartości amplitud przepięć w stanach przejściowych, mogących wystąpić w obwodzie baterii kondensatorów filtra, w zależności od czasu utrzymywania się fali przepięciowej w analizowanym układzie.

Poszczególne, dopuszczalne wartości skuteczne napięcia uzyskuje się poprzez wymnożenie wartości skutecznej napięcia zasilania częstotliwości sieciowej przez zamieszczony w tabeli współczynnik kryterialny napięcia. W tabeli 2 przedstawiono liczbę dopuszczalnych zjawisk przejściowych mogących wystąpić w ciągu roku oraz podano odpowiadające im wartości współczynników kryterialnych, odnoszących się do maksymalnych, dopuszczalnych stanów przejściowych. Jak wynika z tabeli 2, wzrost cykli przepięć w systemie determinuje mniejsze wartości (krotności) maksymalnych amplitud napięcia, które mogą utrzymywać się na baterii kondensatorów bez jej trwałego uszkodzenia. Z kolei wzrost liczby zjawisk przejściowych w obwodzie zasilanym, skutkuje niższą wartością współczynnika przewymiarowania izolacji na etapie projektowania.

Tabela 2. Charakterystyczne maksymalne, dopuszczalne wartości amplitud napięcia oraz czasu trwania stanu przejściowego dla baterii kondensatorów filtra [4]

Amplituda przepięć, przy częstotliwości zasilania		Przepięcia o charakterze przejściowym	
Czas trwania	Współczynnik kryterialny dla maksymalnej, dopuszczalnej wartości skutecznej napięcia	Liczba zjawisk przejściowych w ciągu roku	Współczynnik kryterialny dla maksymalnych, dopuszczalnych stanów przejściowych
6 cykli	2,20	4	5,0
15 cykli	2,00	40	4,0
1 sekunda	1,70	400	3,4
15 sekund	1,40	4000	2,9
1 minuta	1,30	-	-
30 minut	1,25	-	-

Podczas obliczeń parametrów baterii kondensatorów w stanach przejściowych przyjmuje się, że zmierzona wartość pojemności w temperaturze otoczenia 25°C powinna zawierać się między: 0% a +10% (a w przypadku starszych egzemplarzy - między 0% a +15%) wartości nominalnej w odniesieniu do mocy baterii, napięcia oraz częstotliwości zasilania sieci przemysłowej. Należy zauważyć, że w przypadku filtrów praca kondensatora w szeregowym połączeniu z dławikiem filtrującym zwiększa poziom napięcia na zaciskach baterii kondensatorów filtra. W przypadku filtrów wyższych harmonicznych pracujących w warunkach silnego odkształcenia korzysta się z norm międzynarodowych [8], [9]. Baterie kondensatorów filtra są bardzo wrażliwe na jakość zasilania, a przede wszystkim na poziom zawartości wyższych harmonicznych. W związku z tym prawidłowy dobór pojemności powinien przebiegać zgodnie z odpowiednimi standardami odnoszącymi się do poszczególnych elementów, w tym: baterii kondensatorów [5] oraz sieci zasilającej [10].

Wymagania stanu ustalonego

W warunkach stanu ustalonego wszystkie moduły układu kompensacyjno-filtrującego charakteryzowane są z uwzględnieniem napięcia i prądu znamionowego urządzenia. Parametry znamionowe dławików i kondensatorów układów filtrujących zależne są od napięcia znamionowego sieci, poziomu harmonicznych, strojenia poszczególnych filtrów. W zależności od systemu zasilania, a tym samym określenia jakości filtracji wyższych harmonicznych oraz kompensacji mocy biernej wyznacza się typowe dopuszczalne, maksymalne temperatury pracy dławików filtrujących oraz baterii kondensatorów [2], [3], [4], [5]. Dodatkowym aspektem jest określenie pewnych specyficznych wymagań specjalnych, związanych z warunkami otoczenia, w jakich planuje się eksploatację izolacji urządzenia.

Dobór elementów układu filtrującego uwzględniający stany ustalone odbywa się na podstawie kryteriów wynikających z norm projektowych dotyczących dławików filtrujących [2], [3] oraz standardów i współczynników korygujących [4], [5] w aspekcie projektowania baterii kondensatorów energetycznych. Dla dławików filtrujących wyznaczane są:

- projektowa wartość skuteczna napięcia dławika dla stanu ustalonego, która reprezentuje maksymalną, dopuszczalną wartość napięcia z uwzględnieniem podłużnej izolacji dławika filtra, dla danej zawartości widma harmonicznych napięcia U_h :

$$(1) \quad U_{R(u)} = \sqrt{\sum_{h=1}^n U_h^2}$$

- projektowa wartość skuteczna prądu dławika dla stanu ustalonego, która reprezentuje maksymalne, dopuszczalne przeciążenie prądowe dławika filtru, dla danej zawartości widma harmonicznego prądu I_h :

$$(2) \quad I_{R(u)} = \sqrt{\sum_{h=1}^n I_h^2},$$

gdzie $n=40$, jest górną granicą sumowania harmonicznym.

- projektowa wartość skuteczna prądu zwarciovego dławika dla stanu ustalonego, która reprezentuje maksymalne, dopuszczalne przeciążenie dławika filtru podczas zwarcia:

$$(3) \quad I_{SC(u)} = \frac{U_{rob}}{\sqrt{3} X_L},$$

gdzie: U_{rob} – napięcie robocze systemu zasilania, X_L – reaktancja dławika filtru dla podstawowej harmonicznej.

Dla baterii kondensatorów wyznaczane są:

- projektowa wartość skuteczna napięcia baterii kondensatorów dla stanu ustalonego, która reprezentuje maksymalną, dopuszczalną wartość napięcia izolacji baterii filtru, dla danej zawartości harmonicznego napięcia U_h :

$$(4) \quad U_{C(u)} \geq \sum_{h=1}^n U_h,$$

- projektowa wartość skuteczna prądu baterii kondensatorów dla stanu ustalonego, która reprezentuje maksymalne, dopuszczalne przeciążenie prądowe baterii filtru, dla danej zawartości widma harmonicznego prądu I_h :

$$(5) \quad I_{C(u)} = \sqrt{\sum_{h=1}^n I_h^2}.$$

Dla stanów ustalonych dla baterii kondensatorów filtru podaje się moc projektową, którą wyznacza się wzorem:

$$(6) \quad S_{C(u)} = 3 I_{C(u)} \cdot U_{C(u)}.$$

Wymagania dla stanu przejściowego

Ważnym czynnikiem mającym decydujący wpływ na pracę układu kompensacyjno-filtrującego w stanach przejściowych, jest punkt przyłączenia systemu przemysłowego do sieci zasilającej, moc zwarciova determinowana głównie poprzez moc pozorną zainstalowanych w sieci transformatorów a także lokalizacja oraz topologia instalowanego układu kompensacyjno-filtrującego. Jak wskazują zrealizowane badania [11], [12], [13] parametry wyznaczone w oparciu o stany ustalone nie zapewniają bezawaryjnej pracy układu filtrującego w systemie zasilania zakładu przemysłowego. Możliwość uszkodzenia baterii kondensatorów lub dławików filtrujących rośnie, ze wzrostem liczby oraz czasu utrzymywania w systemie stanów przejściowych. Stąd, aby zapewnić poprawną pracę układu kompensacyjno-filtrującego w złożonej topologii połączeń, należy oprócz obliczeń parametrów uwzględniających stany ustalone, przeprowadzić analizę parametrów dla możliwych stanów przejściowych. Obliczenia parametrów filtrów oraz zakres dopuszczalnych wartości prądów i napięć przejściowych uwzględniający stany przejściowe przeprowadza się, korzystając z odpowiednich standardów oraz norm zalecanych dla projektowania baterii i dławików filtrujących [2], [3], [4], [5].

Wyznaczane są:

- projektowa wartość skuteczna napięcia dławika dla stanu przejściowego, która reprezentuje maksymalną,

dopuszczalną wartość napięcia na izolacji dławika filtru, uwzględniająca powtarzalność stanów przejściowych charakterystycznych dla danej operacji łączeniowej:

$$(7) \quad U_{R(p)} = \frac{U_{pk}}{a \cdot \sqrt{2}},$$

- projektowa wartość skuteczna prądu zwarciovego dławika dla stanu przejściowego, która reprezentuje maksymalne, dopuszczalne przeciążenie prądowe dławika filtru uwzględniające powtarzalność stanów przejściowych charakterystycznych dla danej operacji łączeniowej:

$$(8) \quad I_{SC(p)} = b \cdot \frac{I_{pk}}{\sqrt{2}},$$

- projektowa wartość skuteczna napięcia baterii kondensatorów dla stanu przejściowego, która reprezentuje maksymalną, dopuszczalną wartość napięcia na izolacji baterii filtru, uwzględniając powtarzalność charakterystycznych stanów przejściowych dla danej operacji łączeniowej:

$$(9) \quad U_{C(p)} = \frac{U_{pk}}{d \cdot \sqrt{2}},$$

gdzie: U_{pk}, I_{pk} – maksymalna amplituda napięcia i prądu przejściowego, a, b, d – wartości współczynników korygujących, charakterystycznych dla danej operacji łączeniowej z tabeli 3.

Tabela 3. Typowe współczynniki przetężeń oraz napięć dynamicznych w określonych stanach komutacyjnych [2], [4]

Operacja łączeniowa	Dławik filtrujący		Bateria kondensatorów
	Współczynnik normalizacji przetężeń, b	Współczynnik normalizacji napięć, a	Współczynnik normalizacji napięć, d
Włączanie transformatora	3,0	1,5	2,5
Włączanie filtrów harmonicznym	2,0	2,0	1,4
Przebiecia międzyistykowe wyłączników	1,5	2,0	3,0

Opisywane wielkości wyznaczone są w oparciu o badania eksperymentalne i podawane w normach oraz standardach międzynarodowych IEEE: [5] i [14].

Podobnie jak dla stanów ustalonych, dla stanów przejściowych określa się moc projektową zainstalowaną baterii kondensatorów filtru:

$$(10) \quad S_{C(p)} = 3 \cdot U_{C(p)} \cdot I_{C(p)}.$$

Kolejno dla filtrów poszczególnych harmonicznym wartości znamionowe napięć, prądów i mocy baterii kondensatorów oraz dławików są dobierane jako większe z porównywania wartości projektowych dla stanów ustalonych (z indeksem u) oraz przejściowych (z indeksem p).

Podsumowanie i wnioski

Na etapie projektowania układów filtrów dla sieci elektroenergetycznych zasilających instalacje przemysłowe dobór wartości znamionowych baterii kondensatorów i dławików filtru powinien być przeprowadzony z uwzględnieniem możliwych stanów ustalonych oraz przejściowych. Jak pokazuje doświadczenie eksploatacji, pozwoli to obniżyć awaryjność układu filtrów do minimum.

Wartości amplitud napięć i prądów na elementach filtrów dla charakterystycznych stanów przejściowych można ocenić na podstawie wyników symulacji układu zasilania zakładu przemysłowego. Należy zwrócić również uwagę, iż zdefiniowane w niniejszym artykule czynniki wpływające na dobór wartości znamionowych elementów filtrów mogą mieć różne wartości dla różnych układów przemysłowych.

Podziękowania:

Badania były finansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Grant AGH 16.16.210.476).

Autorzy: prof. dr hab. inż. Yuriy Varetsky, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Podstawowych Problemów Energetyki, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: jwarecki@agh.edu.pl; dr inż. Michał Gajdzica, TAMEH Polska Sp. z o.o., Zakład Wytwarzania Kraków, Oddział Ruchu Elektrycznego, ul. Ujastek 1, 31-752 Kraków, E-mail: michal.gajdzica@wp.pl.

LITERATURA

- [1] IEEE Standard 519 - 1992, "Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems", IEEE, 1992.
- [2] IEEE Std.P57.16/d7-2010,"Draft standard requirements, terminology, and test code for dry - type air - core series - connected reactors", New York, IEEE, 2010.
- [3] ANSI C57.16-1958,"Requirements, terminology and tests codes for dry – type air-core series connected reactors", New York, IEEE, 1993.
- [4] IEEE Std.18-2012, "Standard for shunt power capacitors", New York, IEEE, 2013.
- [5] IEEE Std. 1036 TM - 2010, "Guide for application of shunt power capacitors", New York, IEEE, 2011.
- [6] IEEE Standard 519 - 1992, "Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems", IEEE, 1992.
- [7] IEEE Std. 1031 TM - 2011, "Guide for the functional specification of transmission static var compensators", New York, IEEE, 2011
- [8] IEEE Std. 519 - 1992, "Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems", New York: IEEE, 1993.
- [9] IEEE Std.1531-2003, "Guide for Application and Specification of Harmonic Filters", New York: IEEE, 2003.
- [10] IEEE Std. 519 - 1992, "Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems", New York: IEEE, 1993.
- [11] Warecki J., Gajdzica M., "Załączanie transformatora łukowego w sieci z układem filtrów wyższych harmonicznych", Przegląd elektrotechniczny, 2015, no.4, pp.64-69.
- [12] Warecki J., Gajdzica M., "Transients impact on power filter circuit sizing", Computer applications in electrical engineering, vol. 13, Politechnika Poznańska, 2015, pp. 111 - 119.
- [13] Varetsky Y., Pavlyshyn R., Gajdzica M., "Harmonic current impact on transient overvoltages during filter switching-off ", Przegląd Elektrotechniczny, 2013, no. 4, s. 95–98.
- [14] ANSI C57. 16 - 1958, "Requirements, terminology and tests codes for dry – type air-core series connected reactors", New York, IEEE, 1993.