ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: ELEKTRYKA z. 38 Nr kol.357

WŁADYSŁAW PASZEK, PIOTR DRYSZ,
EDWARD NYCZ, WALENTY WYCISK

Zakłady Wytwórze Sprzętu Sieciowego BELOS Bielsko-Biała
Instytut Metrologii i Maszyn Elektrycznych

ZESPOŁY ZASILAJĄCE KOMORY ELEKTROFILTRÓW Z TYRYSTOROWYMI CZŁONAMI WYKONAWCZYMI

Streszczenie. Omówiono podstawowe funkcje, jakie spełnia zespół zasilający komory elektrofiltrów z tyrystorowym członem wykonawczym w instalacji elektrostatycznego oczyszczania gazu. Podano sposób obliczenia wielkości elektrycznych decydujących o doborze tyrystorów do zespołów zasilających. Przedstawiono alternatywę układu regulacji zespołu zasilającego komory elektrofiltrów z tyrystorowym członem wykonawczym oraz korzyści techniczne i ekonomiczne wynikające z jego zastosowania.

1. Wstęp

Proces elektrostatycznego oczyszczania gazu przeprowadzany jest w specjalnie do tego celu przeznaczonej instalacji zwanej elektrofiltrem. Źródłem energii elektrycznej dostarczanej do komory elektrofiltru, gdzie przebiega proces oczyszczania gazu, jest zespół zasilający komorę elektrofiltru. Zespół zasilający komorę elektrofiltru złożony z elementów łączeniowych, zabezpieczających i sygnalizacyjnych umieszczonych w szafie sterowniczej oraz członu wykonawczego, transformatora wysokiego napięcia i prostownika złożonego z elementów półprzewodnikowych zamkniętych w kadzi zespołu prostowniczego ma do spełnienia trzy zasadnicze funkcje:

- funkcję regulacyjną, decydującą o skuteczności działania elektrofiltru, czyli o ilości wytrąconego z gazu pyłu lub zawiesin płynnych,
- funkcję ograniczającą wartość prądu obciążenia decydującą o stanie elementów obwodu głównego tego urządzenia, a szczególnie o stanie członu wykonawczego, transformatora i prostownika wysokiego napięcia,
- funkcję szybkiego wygaszania zwarć łukowych powstających w komorze elektrofiltru podczas trwania procesu, a wpływających na stan elektrod ulotowych tej komory.

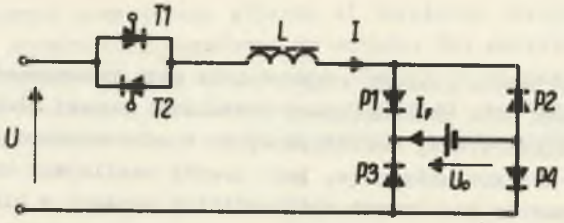
Jako człony wykonawcze produkowanych w kraju zespołów zasilających komory elektrofiltrów stosowane są transduktory oraz tyrystory.

Tyrystorowy człon wykonawczy stosowany w zespołach stanowi przeciwrównoległy układ sterowanych diod półprzewodnikowych, w którym ze zmianą kąta przewodzenia zmienia się natężenie prądu w obwodzie głównym urządzenia. Zmiana kąta przewodzenia powoduje również zmianę współczynnika kształtu

prądu głównego zespołu zasilającego komorę elektrofiltru, definiowanego jako stosunek wartości skutecznej do wartości średniej prądu wyprostowanego Wartość skuteczna prądu głównego decydująca o wymiarach tyrystorów stosowanych w członie wykonawczym ograniczana jest dławikiem włączonym w obwodzie niskiego napięcia zespołu. Dławik zastosowany w zespole zasilającym wpływa korzystnie na stan elementów tego urządzenia oraz powoduje zmniejszenie elektroerozji elektrod ulotowych w komorze elektrofiltru. Tyrystorowy człon wykonawczy sterowany jest elektronicznym układem regulacyjnym wykonującym określone zadanie regulacji polegające na uzyskaniu maksymalnej skuteczności działania elektrofiltru.

2. Określenie wartości średniej, skutecznej i maksymalnej prądu zespołu zasilającego komorę elektrofiltru

Podstawą rozważań technicznych podczas projektowania elementów zespołów zasilających komory elektrofiltrów jest przybliżony schemat zastępczy głównego obwodu prądowego tego urządzenia. W schemacie tym (rys. 1), na-



Rys. 1. Schemat zastępczy zespołu zasilającego komorę elektrofiltru z tyrystorowym członem wykonawczym

Objaśnienia: T1, T2 - tyrystory, L - indukcyjność obwodu głównego, P_1, P_2 P_3, P_4 - gałęzie prostownika zespołu, U - napięcie zasilania zespołu, U_o - napięcie wyładowania samodzielnego w komorze elektrofiltru przeniesione na stronę obwodu głównego, I - prąd obwodu głównego zespołu, I_F - prąd komory elektrofiltru przeniesiony na stronę obwodu głównego zespołu zasilającego

pięcie wyprostowane przyłożone do układu elektrod komory elektrofiltru, przy którym pojawia się prąd ulotu odpowiedzialny za skuteczność oczyszczania gazu, zastąpiono przez stałe napięcie U_o. Przyjęcie stałego napięcia źródłowego jest możliwe wobec istnienia pojemności komory elektrofiltru zmniejszającej pulsacje napięcia wyprostowanego przyłożonego do układu elektrod zbiorczych i ulotowych tej komory.

Na podstawie przyjętego schematu zastępczego określić można przebieg czasowy prądu obwodu głównego:

$$I(t) = \frac{X_m}{X} \left[\cos x_1 - \cos x + \frac{U_o}{U_m}(x_1 - x)\right] \qquad (1)$$

gdzie:

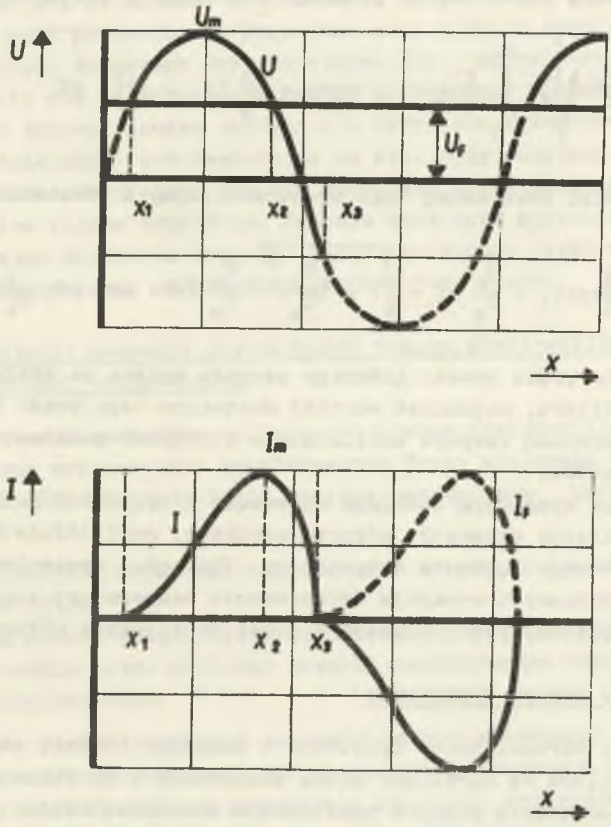
$x = \omega t$

U_m - wartość maksymalna napięcia zasilania zespołu,

U_o - wartość początkowego napięcia ładowania samodzielnego w komorze elektrofiltru przeniesiona na stronę obwodu głównego zespołu,

$X = \omega l$ - reaktancja indukcyjna obwodu głównego zespołu,

x_1 - argument (miara kątowa czasu), przy którym pojawia się prąd ulotu w komorze elektrofiltru korelujący z kątem zapłonu tyrystorów,



Rys. 2. Przebiegi czasowe napięcia i prądu w obwodzie zastępczym zespołu zasilającego komorę elektrofiltru

Objaśnienia: U_m - wartość maksymalna napięcia zasilającego, I_m - wartość maksymalna prądu obwodu głównego

Przebieg czasowy prądu obwodu głównego stanowi podstawę dla obliczenia wartości średniej, skutecznej i maksymalnej wymienionego prądu.

Wartość średnią prądu obwodu głównego zespołów zasilających komory elektrofiltrów obliczamy z równania:

$$I_{śr} = \frac{U_m}{\pi X}\left[\sin x_1 - \sin x_3 - (x_3 - x_1)\cos x_1 - \frac{U_o}{U_m}\frac{(x_3 - x_1)^2}{2}\right], \qquad (2)$$

przy czym argumenty x_1 oraz x_3 są oznaczone na rys. 2, argument x_3 może być obliczony z równania (1) po przyjęciu $I(t) = 0$.
Wartość skuteczną prądu obwodu głównego określamy z zależności:

$$I = \frac{U_m}{X}\sqrt{\frac{1}{\pi}\int_{x_1}^{x_3}\left[\cos x_1 - \cos x + \frac{U_o}{U_m}(x_1 - x)\right]^2 dX} \qquad (3)$$

natomiast wartość maksymalną tego prądu obliczamy z równania:

$$I_m = \frac{U_m}{X}\left[\cos x_1 + \frac{U_o}{U_m}x_1 + \sqrt{1 - \left(\frac{U_o}{U_m}\right)^2} - \frac{U_o}{U_m}\left(\pi - \arcsin\frac{U_o}{U_m}\right)\right] \qquad (4)$$

Wartość średnia prądu obwodu głównego zespołu wpływa na skuteczność działania elektrofiltru, natomiast wartość skuteczna tego prądu określa straty mocy w elementach zespołu zasilającego i stanowi podstawę do wymiarowania tych elementów.

Jeszcze inne wymagania stawiają stosowane w zespołach zasilających komory elektrofiltrów elementy półprzewodnikowe, czyli diody krzemowe prostowników wysokiego napięcia i tyrystory. Własności wymienionych elementów półprzewodnikowych wymagają ograniczenia temperatury złącza zależnej głównie od amplitudy prądu płynącego przez te elementy półprzewodnikowe.

3. Zagadnienie doboru tyrystorów

Specyficzne warunki pracy tyrystora w układzie zespołu zasilającego komorę elektrofiltru są określone przez znamionowy prąd obciążenia zespołu oraz przez przetężenia prądowe spowodowane zwarciami między elektrodami komory filtru. Uzyskanie maksymalnej skuteczności odpylania w elektrofiltrze wymaga stałego utrzymywania wartości napięcia zasilającego komorę elektrofiltru w pobliżu granicy wytrzymałości elektrycznej na przebicie jej przestrzeni międzyelektrodowej. Jedynym sposobem określenia wytrzymałości elektrycznej na przebicie przestrzeni międzyelektrodowej komory elektrofiltru jest doprowadzenie do przeskoku iskrowego. Przewiduje się wielokrotne doprowadzanie do przeskoków iskrowych w komorze elektrofiltru. W zależności od warunków gazowo-pyłowych w komorze elektrofiltru częstotliwość takich przeskoków iskrowych jest różna, może jednak osiągnąć wartość

do 1000 przeskoków w okresie jednej minuty. Typowy czas trwania takiego przeskoku wynosi 10 ms. Z powyższego wynika, że przetężenia prądowe spowodowane przeskokami iskrowymi w komorze elektrofiltru należy traktować jako stan normalnej pracy zespołu i tyrystora jako jego elementu składowego.

Przeskok zwarciowy w komorze elektrofiltru występuje najczęściej w chwili, kiedy napięcie między elektrodami zbiorczymi i ulotowymi tej komory osiąga wartość maksymalną, a zatem przetężenie prądowe występuje w momencie niekorzystnym dla tyrystora. Z drugiej strony obecność przeskoku iskrowego w komorze elektrofiltru powoduje interwencję ze strony układu regulacji polegającą na zmianie kąta zapłonu tyrystorów i w konsewkencji na zmniejszenie kąta przewodzenia tyrystora oraz podaniu impulsu blokującego tyrystor. Blokada tyrystora jest potrzebna dla zapobieżenia możliwości przekształcenia się pojedynczego impulsu zwarciowego w komorze elektrofiltru w zwarcie łukowe, groźne zarówno dla tyrystora, jak również ze względu na silne działanie elektroerozyjne na elektrody ulotowe komory elektrofiltru. Blokada tyrystora ponadto umożliwia pewne wystudzenie nagrzanego przetężeniem złącza tyrystora. Jedynym właściwym kryterium doboru tyrystora jest zatem kryterium dopuszczalnego obciążenia termicznego jego złącza, przy uwzględnieniu omówionych warunków jego pracy.

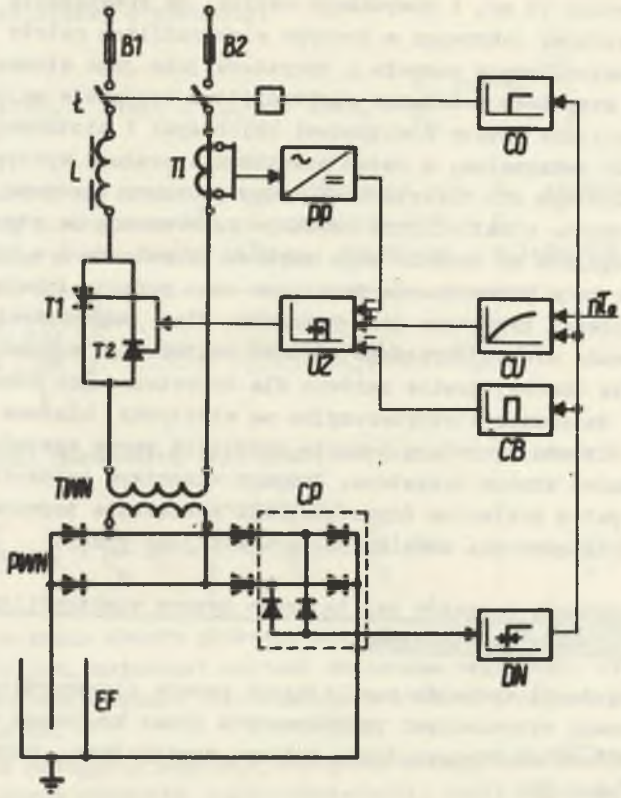
4. Układ regulacji zespołów zasilających komory elektrofiltrów z tyrystorowymi członami wykonawczymi

Układ regulacji zespołów zasilających komory elektrofiltrów z tyrystorowymi członami wykonawczymi produkowanych przez krajowego wytwórcę tych urządzeń ZWSS BELOS Bielsko-Biała zawiera następujące tory sprzężenia zwrotnego (rys. 3):

- tor stabilizacji intensywności przeskoków iskrowych występujących w komorze elektrofiltru,
- tor blokady obwodu bramek tyrystorów po każdym przeskoku iskrowym,
- tor ograniczenia prądu głównego zespołu zasilającego oraz tor zabezpieczenia podnapięciowego.

Zaniki sygnału proporcjonalnego do napięcia wyprostowanego komory elektrofiltru są spowodowane występującymi w komorze przeskokami iskrowymi. Miarą częstości i czasu trwania przeskoków iskrowych występujących w komorze jest intensywność tych przeskoków rozumiana jako sumaryczny czas trwania przeskoków w danym okresie czasu do wartości tego okresu.

W torze stabilizacji intensywności przeskoków iskrowych złożonym z członu pomiarowego CP, detektora zaników napięcia DN, członu uśredniającego CU i układu zapłonowego tyrystorów UZ odbywa się pomiar i regulacja intensywności przeskoków w komorze elektrofiltru. Wzrost intensywności przeskoków iskrowych ponad wartość zadaną podawany na wejście członu uśredniającego powoduje zmniejszenie kąta zapłonu tyrystorów, zaś brak tych przeskoków

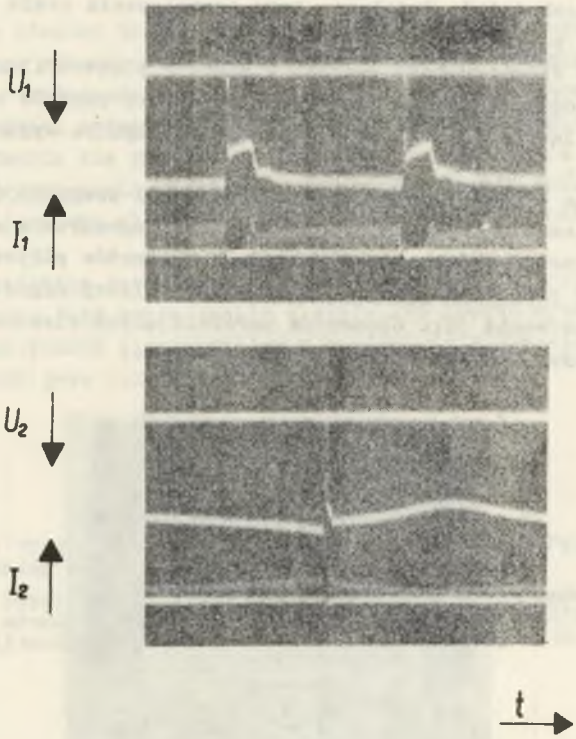


Rys. 3. Schemat blokowy układu regulacji zespołu zasilającego z tyrystorowym członem wykonawczym

Objaśnienia: UZ - układ zapłonowy tyrystorów, CU - człon uśredniający, CB - człon blokady tyrystorów po każdym zaniku napięcia, PP - przetwornik pomiarowy, CO - człon opóźniający, DN - detektor zaników napięcia, T1, T2 - tyrystory, L - dławik, TI - przekładnik prądowy, TWN - transformator wysokiego napięcia, PWN - prostownik wysokiego napięcia, EF - komora elektrofiltru, B1, B2 - bezpieczniki mocy, Ł - łącznik niskiego napięcia, EP - człon pomiarowy, n_{Io} - zadana wartość intensywności przeskoków iskrowych

zwiększenie kąta zapłonu tyrystorów oraz tym samym zwiększenie wartości prądu ulotu i napięcia wyprostowanego komory elektrofiltru.

W torze ograniczenia prądu głównego zespołu złożonym z przekładnika prądowego TI, przetwornika pomiarowego PP i układu zapłonowego tyrystorów odbywa się pomiar i regulacja średniej wartości prądu głównego zespołu, przy czym wartość zadana prądu jest proporcjonalna do wartości sygnału wyjściowego członu uśredniającego.



Rys. 4. Przebiegi czasowe napięcia wyprostowanego i prądu ulotu komory elektrofiltru zasilanej zespołem z tyrystorowym członem wykonawczym
Objaśnienia: U_1 - napięcie wyprostowane komory elektrofiltru przy blokowaniu bramki tyrystora po wystąpieniu wyładowania gasnącego, I_1 - prąd ulotu dla tej alternatywy działania układu, U_2 - napięcie wyprostowane komory elektrofiltru przy braku blokady bramki tyrystora po wystąpieniu wyładowania gasnącego, I_2 - prąd ulotu dla tej alternatywy działania układu regulacji zespołu

W torze blokady obwodu bramek tyrystorów złożonym z detektora zaników napięcia, członu blokady CB i układu zapłonowego tyrystorów odbywa się szybkie gaszenie łuku w komorze elektrofiltru. Człon blokady generuje przy każdym zaniku napięcia wyprostowanego pojedynczy impuls o określonym czasie trwania, który podany na wejście układu zapłonowego powoduje wygaszenie impulsów zapłonowych tyrystorów, dzięki czemu może nastąpić zgaszenie łuku w komorze elektrofiltru.

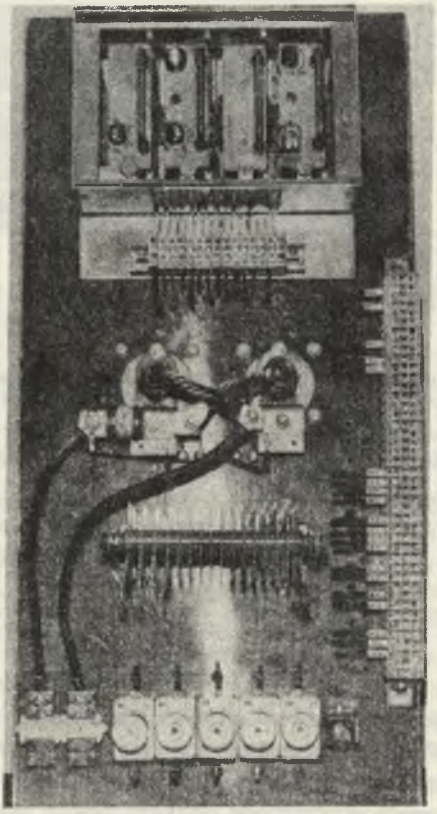
Zastosowanie obwodu blokady tyrystorów, wpływa na wartość napięcia wyprostowanego poprzez zmianę prądu ulotu komory elektrofiltru. Blokada ta uniemożliwia rozwinięcie się wyładowania gasnącego w trwałe zwarcie dzię-

ki czemu nie dochodzi do działania toru ograniczenia prądu głównego zespołu przy każdym przeskoku iskrowym (rys. 4).

W przypadku długotrwałego zwarcia w komorze elektrofiltru w torze zabezpieczenia podnapięciowego złożonym z detektora zaników napięcia DN i członu opóźniającego CO następuje wytworzenie impulsu wyłączającego zespół zasilający.

W dotychczas produkowanych układach regulacji zespołów (rys. 5) są stosowane jako elementy uśredniające wzmacniacze magnetyczne o znacznie większej niezawodności działania od krajowych elementów półprzewodnikowych.

Wobec dużej pracochłonności wykonania wzmacniaczy magnetycznych przewiduje się zastosowanie jako elementów uśredniających elektronicznych układów zawierających scalone wzmacniacze operacyjne.



Rys. 5. Regulator zespołu zasilającego komorę elektrofiltru z tyrystorowym członem wykonawczym zawierający wzmacniacze magnetyczne jako elementy uśredniające

Podstawowym efektem technicznym zastosowania układu regulacji z tyrystorowym członem wykonawczym jest poprawa własności dynamicznych zespołu w odniesieniu do własności zespołu z transduktorowymi członami wykonawczymi. Dzięki szybkiej interwencji tyrystorów w procesie regulacji,można uniknąć przeradzania się przeskoków iskrowych w wyładowania łukowe, a w przypadku ich wystąpienia następuje szybka likwidacja łuku, dzięki czemu znacznie zmniejsza się elektroerozja elektrod ulotowych zainstalowanych w tej komorze.

Dodatkowym efektem zastosowania układów regulacji z tyrystorowymi członami wykonawczymi jest zmniejszenie o około 25% kosztu wytwarzania zespołu zasilającego komory elektrofiltru w porównaniu z urządzeniem zawierającym transduktory jako człony wykonawcze.

LITERATURA

1. White H.I.: "Industrial electrostatic precipitation" Pergamon Press, Oxford - London - Paris - Frankfurt 1963.
2. Paszek W., Drysz P., Nycz E.: "Kierunki badań i pomiarów w zakresie nowoczesnych urządzeń do zasilania elektrycznego elektrofiltrów".Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Elektryka zeszyt 32, 1970.

АГРЕГАТЫ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ С СИЛОВЫМИ ТИРИСТОРНЫМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Р е з ю м е

Рассматриваются основные функции, которые выполняет тиристорный агрегат питания электрофильтров в установках электростатической очистки газа.

Представлен способ расчета электрических величин для выбора тиристоров

Рассмотрен принцип схемы регулирования агрегата питания электрофильтров, а также технические преимущества вытекающие из применения тиристорных исполнительных элементов.

THYRISTOR SUPPLYING EQUIPMENT FOR ELECTROSTATIC PRECIPITATORS

S u m m a r y

There were described the functions of thyristor supplying equipment for electrostatic precipitators.

The method of calculating of the basic values of the SCR for this equipment have been presented.

Automatic control circuit with SCR for high-voltage equipment for electrostatic precipitators is presented and both technical and economical advantages of their use were discussed.