

EDWARD PRZENIOSŁO, HENRYK KOLKA

PRZETWORNICA TYRYSTOROWA Z KOMUTACJĄ RÓWNOLEGŁĄ

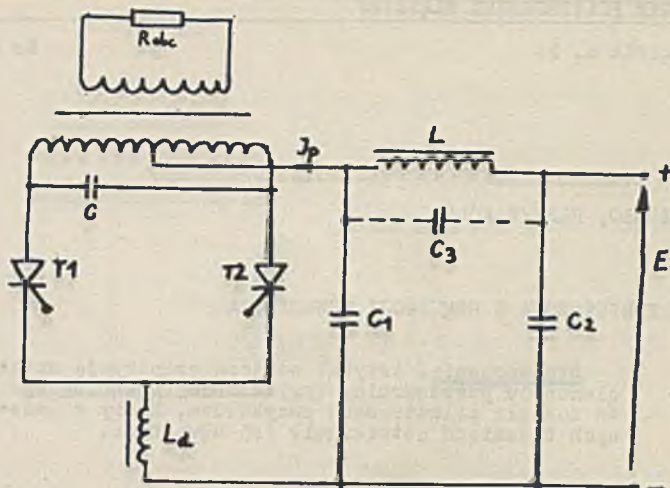
Streszczenie. Artykuł zawiera propozycję metody doboru elementów przetwornicy tyrystorowej równoległej. Metodę tą została zilustrowana przykładem, który w przeprowadzonych badaniach potwierdził jej słuszność.

1. Wstęp

W artykule podano uproszczony sposób doboru elementów przetwornicy z komutacją równoległą, który został zastosowany przy obliczaniu i wykonywaniu przez autorów praktycznego układu zasilacza tyrystorowego. Metoda ta pozwala na łatwe i szybkie korygowanie obliczeń w trakcie badań układu (obserwacja przebiegów czasowych). Obliczony zasilacz tym różnił się od najczęściej spotykanych w literaturze przypadków, że musiał spełnić dodatkowe bardzo ostre wymagania, które wyłoniły się w czasie kilkuletniej eksploatacji pierwotnego urządzenia. Wymaganiami tymi są:

- niezawodność pracy w różnych warunkach,
- praca przy dużych zmianach obciążenia (od 10% do pełnego obciążenia),
- występowanie dużych zmian napięcia wejściowego (-30% ÷ +10%)
- problem startu i przerw w napięciu zasilającym.

Biorąc pod uwagę te wymagania w artykule zajęto się szczegółowo filtrem wejściowym i przetwornicą właściwą, natomiast pozostałe elementy układu jak: prostownik, filtr wyjściowy i stabilizator zostają pominięte jako często spotykane w literaturze. Na podstawie charakterystyk przedstawionych w artykule we wnioskach opisano drogę postępowania przy obliczaniu i korygowaniu wartości elementów przetwornicy. Dla analizy założono, że przetwornica przedstawiona na rys. 1.1 pracuje w zakresie ciągłego przepływu prądu, obciążenie jest czysto oporowe i liczba zwojów uzwojenia wtórnego transformatora TR2 jest taka sama jak każdej z połówek uzwojenia pierwotnego. Gdy ten ostatni warunek nie jest spełniony, to przez przeliczenie rezystancji obciążenia $R = n^2 \cdot R_{obc}$ można każdy układ sprowadzić do tego przypadku.



Rys. 1.1. Schemat filtra wejściowego i przetwornicy

2. Filtr wejściowy

Filtr wejściowy, w skład którego wchodzi elementy C_1 , C_2 , C_3 i L , może spełniać podwójną rolę:

- jako filtr od zmian napięcia zasilającego (przy bliżej nieokreślonych zmianach wyliczenie jest niemożliwe)
- jako filtr zaporowy od przetwornicy do sieci [3] [4] przy założonej ciągłości przepływu prądu.

Zajmiemy się bliżej przypadkiem drugim. Stosowane są trzy rodzaje filtrów: typu Γ , typu \mathbb{I} (zwykły) i typu \mathbb{I} z rezonansowym obwodem dla częstotliwości pracy. Najczęściej stosowany jest filtr typu \mathbb{I} , ponieważ za pomocą filtru Γ [6] trudno zaspokoić wymagania niskiej wartości amplitudy szumów, a kondensator C_1 dodatkowo spełnia tu rolę akumulatora energii.

Gdy przetwornica pracuje w zakresie ciągłego przepływu prądu ekwiwalentne dopuszczalne napięcie szumów [4] wprowadzone do sieci z przetwornicy musi spełnić następujący warunek:

$$\frac{T I_p}{\sqrt{2} x^2 \eta C_1 C_2 L} \sqrt{\frac{k_1^2}{\omega_1^4} + \frac{k_3^2}{9 \omega_3^4}} \leq U_e \text{ dop}, \quad (2.1)$$

przy czym

$$U_e \text{ dop} = \sqrt{(U_1 k_1)^2 + (U_2 k_2)^2 + \dots + (U_n k_n)^2}$$

T - okres pracy przetwornicy

I_p - prąd pobierany przez przetwornicę

η - sprawność filtru

ω_n - n-ta harmoniczna

k_n - współczynnik psfometrycznego oddziaływania

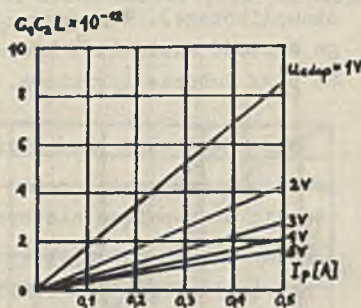
U_n - napięcie n-tej harmonicznej.

W zaprojektowanym i przebadanym układzie najlepsze warunki pracy były dla $f = 500$ Hz ($T = 0,002$ sek).

Wówczas $\eta = 0,95$; $k_1 = 1,12$; $k_3 = 0,52$; i wtedy zależność (2.1) przybiera postać (rys. 2.1)

$$C_1 C_2 L \geq \frac{17,1 \cdot 10^{-12}}{U_{e \text{ dop}}} I_p. \quad (2.2)$$

Jeżeli jest znany w przybliżeniu prąd I_p na podstawie równania (3.2) i przy wymaganej $U_{e \text{ dop}}$ znajdujemy z rys. 2.1 wartość elementów filtru wejściowego. Dobre efekty daje włączenie kondensatora C_3 dostrojonego z indukcyjnością L do pierwszej harmonicznej. Można zauważyć, że najbardziej ekonomiczny jest przypadek, gdy $C_1 = C_2$.



Rys. 2.1. Zależność elementów filtru wejściowego od prądu przetwornicy i dopuszczalnego napięcia wprowadzanego do sieci

3. Przetwornica tyrystorowa

W tej części zostaną omówione kolejne parametry przetwornicy ważne przy projektowaniu.

3.1. Moc wyjściowa przetwornicy

Moc wyjściową limituje tyrystor zastosowany w układzie wg zależności

$$\frac{P_{wy}}{\eta E} = I_p < I_{FAV}, \quad (3.1)$$

gdzie

η - sprawność przetwornicy i transformatora wyjściowego
 I_{PAV} - średni dopuszczalny prąd przewodzenia tyrystora.

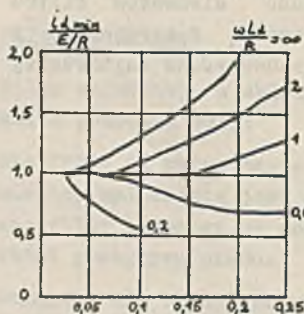
3.2. Prąd pobierany ze źródła

Zależność średniego prądu pobieranego przez przetwornicę ze źródła od parametrów układu [1] jest opisana równaniem (przy $L_d \rightarrow \infty$)

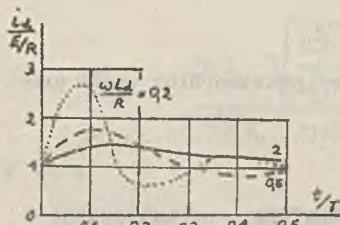
$$\frac{I_D}{E/R} = \frac{1}{1 - \frac{\sigma}{\pi} RC\omega \frac{1 - e^{-\pi/4RC\omega}}{1 + e^{-\pi/4RC\omega}}}, \quad (3.2)$$

gdzie

R - oporność obciążenia przeniesiona na stronę pierwotną transformatora.



Rys. 3.3. Zależność minimalnego prądu tyrystora od parametrów obwodu



Rys. 3.1. Przebiegi prądu płynącego przez tyrystor

Przy badaniu gotowego układu okazało się, że przebieg czasowy prądu i_D ma charakter pokazany na rys. 3.1. Wynika on stąd, że elementy L_d , C i R tworzą szeregowy obwód rezonansowy (określenie teoretyczne warunków oscylacji jest bardzo skomplikowane). W każdym półokresie prąd i_D osiąga wartość minimalną, która musi być uwzględniona przy doborze tyrystora.

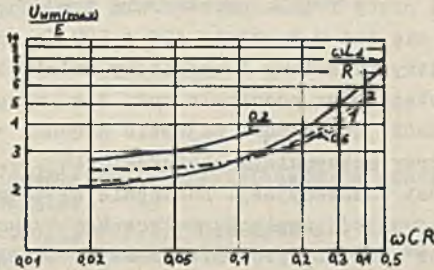
3.3. Minimalny prąd obciążenia (R_{max})

Przy dużym zmniejszeniu prądu obciążenia występują następujące niekorzystne zjawiska:

- silny wzrost maksymalnej wartości ujemnego napięcia anodowego na tyrystorach [1] (może ona wielokrotnie przekroczyć wartość napięcia zasilającego - rys. 3.2)
- wyraźna zmiana kształtu prądu anodowego przy zmianie $\frac{\omega L_d}{R}$ i może się zdarzyć, że prąd anodowy osiągnie wartość mniejszą od I_H (prąd podtrzymania) - powodując w konsekwencji przepięcia na dławiku katodowym, a tym samym na anodach tyrystorów, co czyni pracę przetwornicy niestabilną.

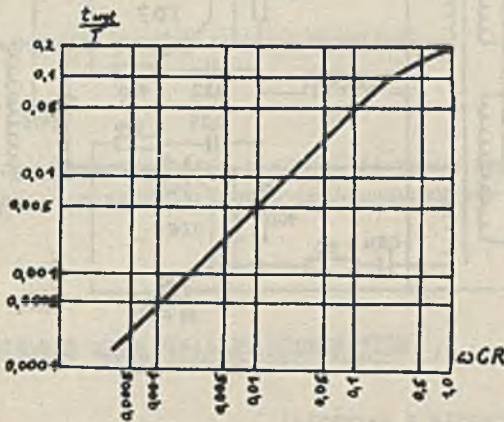
Zatem wielkość dławika katodowego L_d dobiera się tak, aby przebieg prądu w tyrystorze w całym o-

kresie nie zszedł poniżej prądu podtrzymania. Na rys. 3.3 została przedstawiona zależność między minimalnym prądem tyrystora a elementami obwodu [1] [5].



Rys. 3.2. Krzywe dla wyznaczenia maksymalnego wstecznego napięcia na tyrystorach

Elementy obwodu komutacyjnego muszą dodatkowo zapewnić to, by ujemna wartość napięcia anodowego na wyłączanym tyrystorze trwała wystarczająco długo dla odzyskania własności zaporowych przez przyrząd. Zależność czasu wyłączenia - $t_{wył}$ od elementów obwodu [1] [2] jest przedstawiona na rys. 3.4. Z małym błędem można założyć, że parametr ten nie jest zależny od indukcyjności katodowej L_d .



Rys. 3.4. Zależność czasu wyłączenia w jednofazowej przetwornicy równoległej od elementów obwodu

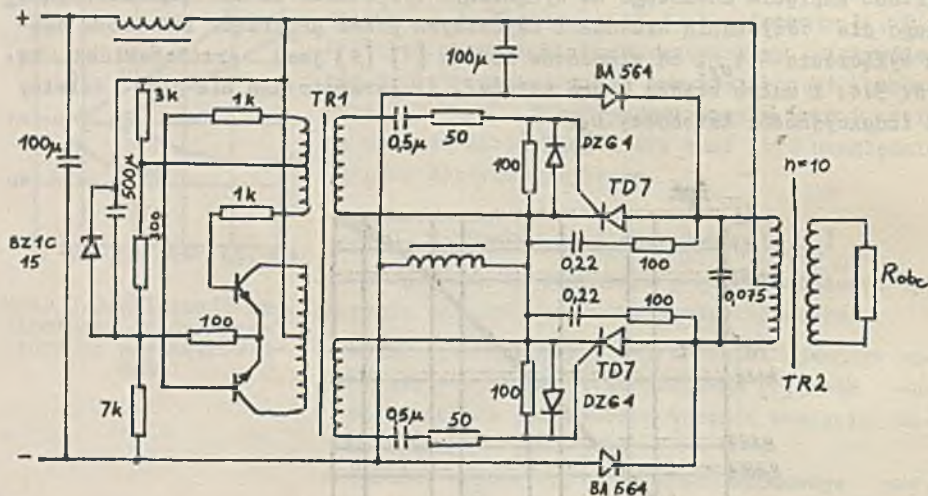
4. Wnioski

Doświadczenie wskazuje następujący sposób doboru elementów przetwornicy. Projektowanie rozpoczynamy od określenia wielkości wyjściowych. Są nimi:

- napięcie zasilania układu E ,
- obciążenie maksymalne układu (R_{\min}),
- wartości znamionowe tyrystora (p. 3.1).

Zakładamy częstotliwość pracy f (dla przetwornic tyrystorowych równoległych małej mocy mieści się ona w zakresie $400 \div 800$ Hz, ponieważ ze wzrostem częstotliwości filtry wejściowy i wyjściowy maleją ale jednocześnie sprawność maleje) i następnie na podstawie rys. 3.4 określamy wartość bezwymiarowego parametru ωCR , który musi zapewnić warunki pewnej komutacji. Musi to być spełnione przy maksymalnym obciążeniu (R_{\min}). Stąd łatwo wyznaczyć wartość pojemności komutacyjnej. Następnie na podstawie rys. 3.2 mając daną dopuszczalną wartość napięcia wstępnego tyrystora wyznaczamy ωCR_{\max} (przyjmujemy, że wpływ L_d jest nieznaczny). Znając I_H , oraz ωCR_{\max} wyznaczamy z rys. 3.3 minimalną wartość indukcyjności katodowej L_d .

Jak się można zorientować z tego krótkiego opisu, możliwe są zmiany obliczonych wartości elementów, jednakże każdorazowo należy sprawdzić czy przyjęte nowe wartości zapewniają niezawodną pracę układu. W ten sposób dobiegany był układ przedstawiony na rys. 4.1.



Rys. 4.1. Schemat ideowy zasilacza

Układ ten pracował poprawnie w zakresie:

- napięciowym ($40 \div 250$ V)
- prądowym ($50 \div 500$ mA)
- przy sprawności $\eta_{\max} = 54\%$
- częstotliwości pracy $f = 500$ Hz.

Wykazał on dużą odporność na zmiany skokowe I_{obc} oraz napięcia zasilającego E . Niska sprawność jest wynikiem dużych strat komutacyjnych (przy małej mocy pobieranej).

Układ wyzwalający jest przetwornicą Royera.

LITERATURA

1. Lekorgije Ż.: Uprawlamyje elektriczeskije wentili i ich primienienie. Moskwa 1971. Energia.
2. Gentry F.E., Gutzwiller F.W., Holonyak N., Von Zastrow E.E.: Tyrystory półprzewodnikowe prostowniki sterowane. Warszawa 1969. WNT.
3. Burie J.G., Szewczenko W.W.: Wchodnoje filtry staticzeskich preobrazowatelei elektriczeskowo podwiznowo sostawa postojannowo toka. Elektriczestwo nr 5. 1970.
4. Sztiben G.A.: Wybor filtra dla elektropodwiznowo sostawa s impulsnym regulirowanien naprazenia. Elektrotermia nr 7. 1971.
5. Słuchockij A.E., Wasiliew A.S., Gurlewicz S.G., Carewskij W., Arkuskij L.J.: Wybor schiem jonnych preobrazowatelej czastoty dla pitania ustanowok indukcionnowo nagriewa. Elektrotermia nr 10. 1966.
6. Birzniek L.W., Walejnis J.A.: Opriedielenie parametrów sglaziwajuszczich filtrow dla sistemy impulsnowo bezreostatnowo puska elektropodwiznowo sostawa postojannowo toka. Trudy Wsiesojuznowo nauczno-issledowatielskowo instituta wagonostrojenja nr 8. 1968.

ТИРИСТОРНЫЙ ИНВЕРТЕР С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КОМУТАЦИЕЙ

Резюме

В статье предлагается метод подбора элементов параллельного инвертера. Метод этот иллюстрируется примером доказывающим его правильность.

THYRISTOR INVERTER WITH PARALLEL COMMUTATION

Summary

In this paper the method of determining components of the parallel thyristor inverter is proposed. An example is also given on the experimental results taken from the device, which was built, have proved this method.