

Edward PIECHA, Tadeusz RODACKI

Instytut Podstawowych Problemów  
Elektrotechniki i Energoelektroniki  
Politechniki Śląskiej

## TYRYSTOROWO-MAGNETYCZNY UKŁAD ZASILANIA URZĄDZEŃ ŁUKOWYCH

Streszczenie. W artykule opisano budowę, uproszczoną zasadę działania regulatora tyrystorowo-magnetycznego oraz ważniejsze wyniki badań laboratoryjnych w otwartym i zamkniętym układzie regulacji.

### 1. Wstęp

Palniki łukowe są to nowoczesne przetworniki energii elektrycznej na ciepło. Znajdują one szerokie zastosowanie w wysokotemperaturowych procesach elektrotorniających, a szczególnie w chemii plazmy i w metalurgii. Grzejnictwo łukowe stworzyło jednak szereg problemów technicznych. Jednym z nich jest zagadnienie odpowiednich układów zasilania urządzeń łukowych. Zasilacze przewidziane do zasilania palników powinny:

- 1) zachować ciągłość przepływu prądu łuku w całym zakresie regulacji;
- 2) umożliwić płynne nastawienie prądu roboczego łuku w zakresie  $(0,1 - 1) I_{rN}$ ;
- 3) zapewnić zdolność do pracy w układzie automatycznego zamkniętego układu regulacji prądu łuku;
- 4) zapewnić uzyskanie dużej dokładności automatycznej regulacji prądu łuku ( $\leq 1\%$ ) oraz graniczenie przetężenia prądowego w stanach przejściowych do 10% wartości ustalonej;
- 5) umożliwić uzyskanie uniwersalnego zasilania palnika napięciem stałym lub przemiennym;
- 6) osiągać sprawność zasilacza 80%.

Powyższe wymagania może spełnić układ zasilania zbudowany w oparciu o regulatory tyrystorowo-magnetyczne [1].

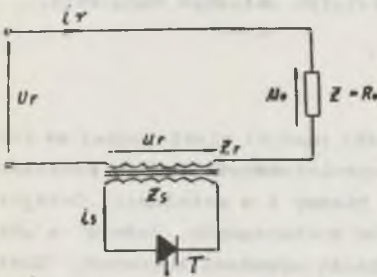
### 2. Zasada działania regulatora tyrystorowo-magnetycznego

Regulator tyrystorowo-magnetyczny (rys. 1,2) składa się z transformatora jednofazowego i tyrystora. W obwodzie pierwotnym, dalej nazywanym roboczym, w szereg z uzwojeniem roboczym  $z_r$  włączone jest obciążenie  $z_o$ .

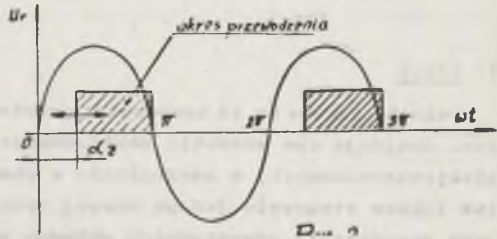
Natomiast w uzwojeniu wtórnym dalej nazwanym sterującym o liczbie zwojów  $z_s$  jest włączony tyrystor  $\mu T$ .

gdzie:

- $u_r = U_m \sin \omega t$  - napięcie zasilające,
- $i_r$  - prąd obwodu roboczego,
- $i_s$  - prąd obwodu sterującego,
- $z_r$  - liczba zwojów uzwojenia roboczego,
- $z_s$  - liczba zwojów uzwojenia sterującego,
- $Z_0$  - obciążenie (palnik łukowy),
- $T$  - tyrystor.



Rys. 1. Schemat regulatora tyrystorowo-magnetycznego



Rys. 2. Diagram sterowania regulatora tyrystorowo-magnetycznego

Aby wyjaśnić zasadę działania regulatora, przyjęto następujące założenia upraszczające:

- charakterystyka rdzenia regulatora jest idealna,
- indukcyjności rozproszenia i rezystancje uzwojenia roboczego i sterującego są pomijalnie małe,
- rezystancja tyrystorów w stanie przewodzenia jest równa zero,
- rezystancja tyrystora w stanie zaporowym jest równa nieskończoności,
- obciążenie ma charakter rezystancyjny  $Z_0 = R_0$ .

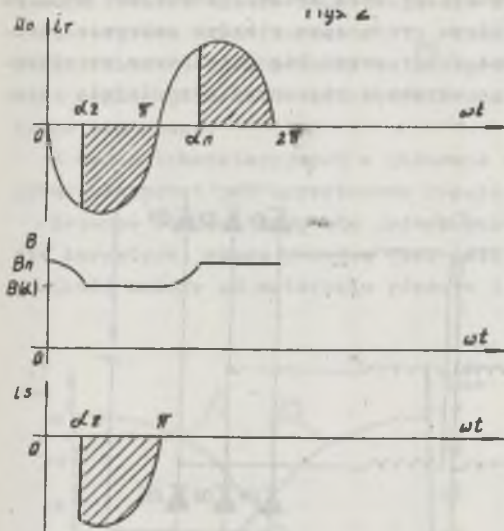
Okres pracy regulatora (rys. 3) podzielono na dwa półokresy:

- a) półokres sterowania, w którym poziom indukcji magnetycznej w rdzeniu jest ustalony przez włączenie tyrystora impulsem bramkowym, prąd płynie w uzwojeniu roboczym i sterującym;
- b) półokres nasycenia, w którym rdzeń jest przemagnesowany od indukcji  $B(\alpha)$  do indukcji nasycenia  $B_D$ .

Od chwili nasycenia się rdzenia prąd płynie tylko w uzwojeniu roboczym. Przy zasilaniu napięciem krytycznym  $U_{rm} = \omega z_r S B_D$  ( $S$  - przekrój rdzenia) w początku półokresu sterowania dla  $t = 0$  indukcja w rdzeniu będzie

równa  $B_n$ , a zatem w przedziale  $0 \leq \omega t \leq \alpha_z$  będzie się ona zmieniać od wartości  $B_n$ , według zależności:

$$B = B_n + \frac{U_{rm}}{\omega_z r S} \int_0^{\alpha} (-\sin \omega t) d(\omega t) = B_n \cos \alpha \quad (1)$$



W chwili wyzwolenia tyristora dla  $\omega t = \alpha_z$  do końca półokresu sterowania w układzie płynie prąd, którego wartość jest ograniczona rezystancją obciążenia.

Indukcja w rdzeniu w tym czasie ma wartość stałą:

$$B(\alpha) = B_n \cos \alpha_z$$

W czasie półokresu nasycenia w przedziale  $\pi \leq \omega t \leq \alpha_n$  indukja w rdzeniu opisana jest zależnością:

Rys. 3. Przebieg prądu roboczego, napięcia na obciążeniu, indukji i prądu sterującego

$$B = B(\alpha) + \frac{U_{rm}}{\omega_z r S} \int_0^{\alpha} \sin t \omega d(\omega t) = B(\alpha) + B_n (1 - \cos \alpha) \quad (2)$$

gdzie:

$\alpha$  - bieżący kąt liczony od początku półokresu nasycenia,

stąd:

$$B = B_n (1 - \cos \alpha + \cos \alpha_z) \quad (3)$$

Z zależności (3) wyznaczamy wartość kąta  $\alpha_n$ , przy którym rdzeń nasyci się:

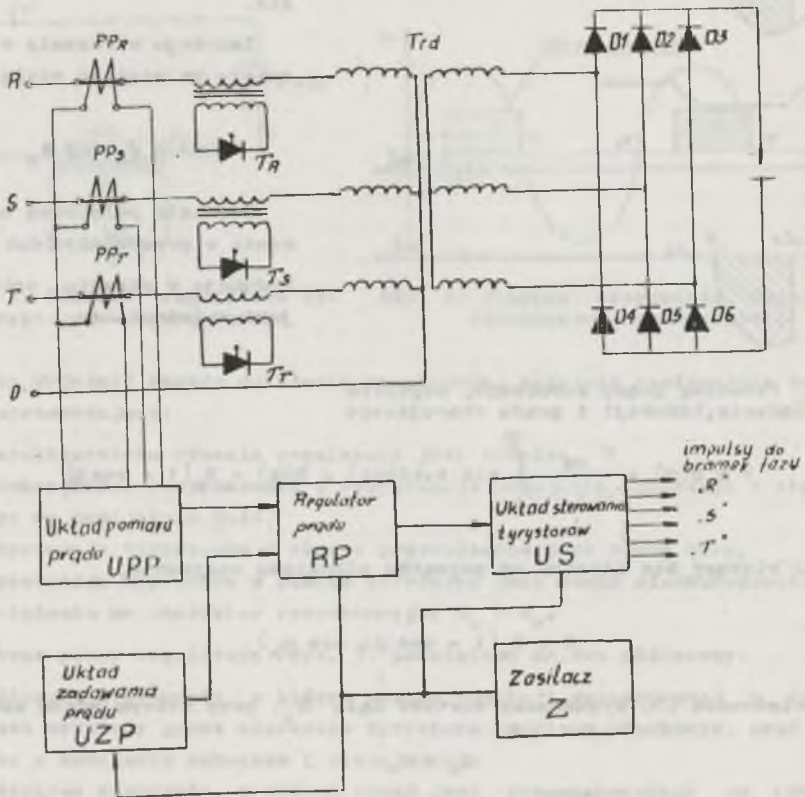
$$\alpha_n = \alpha_z$$

Z chwilą nasycenia się rdzenia do końca półokresu nasycenia indukja pozostaje stała i równa  $B_n$ , a w obwodzie roboczym płynie prąd ograniczony tylko rezystancją obciążenia. Dokładna analiza teoretyczna charakterystyk regulatora tyristorowo-magnetycznego przy uwzględnieniu rzeczywistej charakterystyki magnesowania rdzenia i impedancji wzdłużnej w schemacie

zastępczym transformatora jest bardzo złożona. Próbcę dokładnej analizy pracy takiego regulatora przedstawiono w pracy [2].

### 3. Nadania laboratoryjne

Uproszczona zasada działania regulatora oraz przebiegi czasowe prądu roboczego wykazują, że ciągłość przepływu prądu łuku w całym zakresie regulacji można uzyskać przez odpowiedni dobór prądu biegu jałowego regulatora. Dłinną regulację prądu roboczego uzyskuje się przez odpowiednie sterowanie bramką tyrystora T.



Rys. 4. Schemat ideowy układu zasilania łuku prądu stałego

$T_{rd}$  - transformator dopasowujący napięcie wtórne do potrzeb odbiornika,  
 $PP_R, S, T$  - przekładniki prądowe w fazach R, S, T

W regulatorze można zastosować układy sprzężeń zwrotnych, np.: prądowe, napięciowe. Stosując prostownik diodowy lub nie, można na wyjściu uzyskać napięcie wyprostowane lub przemienne. W laboratorium zbudowano model trójfazowego zasilacza tyristorowo-magnetycznego o mocy 20 kW (rys. 4). Zasilacz trójfazowy składa się z trzech regulatorów jednofazowych, których uzwojenia robocze są połączone w szereg z uzwojeniami pierwotnymi trójfazowego transformatora dopasowującego  $T_{rd}$ .

Na wejściu transformatora  $T_{rd}$  zastosowano prostownik diodowy. Układ laboratoryjny pozwala na przeprowadzenie pomiarów w otwartym układzie regulacji oraz w zamkniętym z zastosowaniem ujemnego sprzężenia zwrotnego prądowego.

Z badań laboratoryjnych w układzie otwartym wynika, że zasilacz ma podobne własności jak tyristorowy regulator napięcia przemienne.

Istotne różnice dają się jednak zauważyć przy dużych kątach wysterowania tyristora, czego powodem jest istnienie prądu biegu jałowego, którego wielkość zależy od materiału rdzenia i sposobu wykonania transformatora.

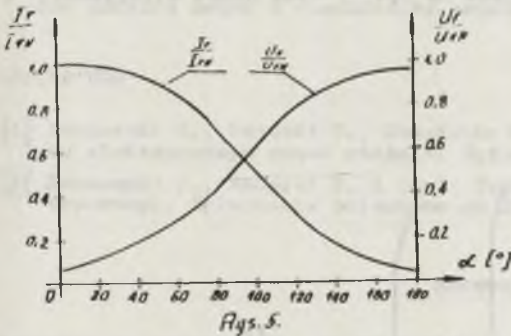
W regulatorze tyristorowo-magnetycznym występuje też spadek napięcia na indukcyjnościach rozproszenia i rezystancji uzwojenia roboczego i sterującego.

Przykładowo, na rys. 5 zamieszczone charakterystyki sterowania regulatora tyristorowo-magnetycznego dla obciążenia R i RL, a na rys. 6 jego charakterystyki zewnętrzne.

Aby zapewnić stabilne jarzenie się łuku elektrycznego przy zmianach prądu w szerokim zakresie dla odbiorników łukowych o różnych charakterystykach prądowo-napięciowych, źródło zasilania musi mieć charakterystykę zewnętrzną bardzo mięką, najlepiej przybliżoną do idealnego źródła prądowego.

W opisanym układzie osiągnięto ten efekt w układzie zamkniętym z zastosowaniem ujemnego sprzężenia prądowego.

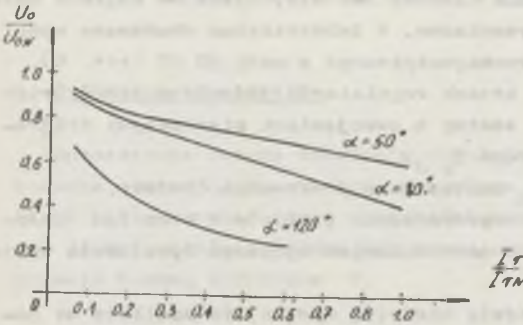
Układy regulacji prądu łuku zasilaczy trójfazowych mogą być budowane z jednym regulatorem prądu typu PI lub z trzema regulatorami typu PI od-



Rys. 5.

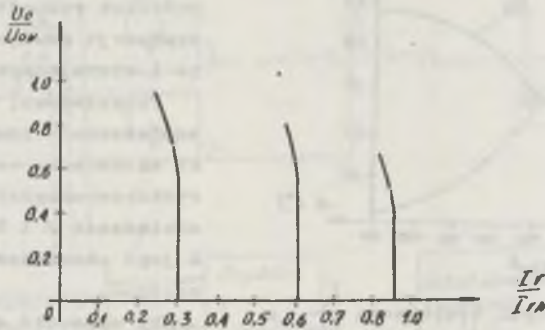
Rys. 5. Charakterystyki sterowania  $\frac{I_r}{I_{rN}} = f(\alpha_z)$  oraz  $\frac{U_r}{U_{rN}} = f(\alpha_z)$  dla obciążenia R i RL

$U_{rN}$  - znamionowe napięcie na uzwojeniu roboczym,  $I_{rN}$  - znamionowy prąd w uzwojeniu roboczym



Rys. 6. Charakterystyki zewnętrzne  $U_0 = f(I_r)$  dla  $\alpha_x = \text{const}$  przy obciążeniu R i RL

Odpowiedni dobór nastaw regulatora prądu typu PI pozwolił uzyskać charakterystyki zewnętrzne przedstawione na rys. 7 oraz dobre właściwości w stanach przejściowych.



Rys. 7. Charakterystyki zewnętrzne  $U_0 = f(I_r)$  dla zamkniętego układu regulacji

#### 4. Wnioski

W oparciu o badania i pomiary można sformułować następujące wnioski i uwagi:

- A. Tyristorowo-magnetyczny regulator napięcia można wykorzystać w układach zasilaczy zarówno łuku prądu stałego, jak i łuku prądu przemiennego.

dzielnymi dla każdej fazy. Jak wykazany badania, przy zasilaniu łuku prądu stałego lepsze wyniki daje zastosowanie jednego regulatora prądu, natomiast przy zasilaniu łuku prądu przemiennego zastosowanie trzech oddzielnych dla każdej fazy regulatorów prądu pozwala uzyskać bardziej równomierne obciążenie poszczególnych faz.

Pomiar prądu realizowano za pomocą przekładników prądowych i filtra RC.

- B. Zamknięte tyrystorowo-magnetyczne układy zasilania i regulacji łuku prądu stałego wykazują bardzo dobre własności statyczne i dynamiczne, jak np.: charakterystyka zewnętrzna źródła w szerokim zakresie zbliżona jest do charakterystyki idealnego źródła prądu; bardzo dobra stabilizacja prądu łuku; szeroki zakres regulacji prądu, dobra dynamika w stanach przejściowych.
- C. Układy zasilania i regulacji łuku prądu stałego powinny być budowane jako układy z jednym regulatorem prądu. W porównaniu do układów z trzema regulatorami prądu uzyskuje się w nich bardziej stabilną pracę łuku w szerokim zakresie regulacji oraz łatwiej jest dobrać optymalną nastawę regulatora prądu.
- D. Tyrystorowo-magnetyczny układ zasilania i regulacji łuku prądu przemiennego stwarza cały szereg dodatkowych trudności. Chcąc uzyskać dobre własności statyczne i dynamiczne należy zwrócić uwagę na prawidłowy dobór elementów układu w celu zapewnienia odpowiednio wysokiego napięcia jałowego biegu oraz na optymalny dobór parametrów filtra układów pomiaru prądu i regulatorów prądu.

## LITERATURA

- [1] Kuczewski Z., Rodacki T., Gierlotka K., Piecha E.: Układ zasilania łuku elektrycznego prądu stałego. Zgłoszenie patentowe nr P.222135.
- [2] Kuczewski Z., Rodacki T. i inni: Tyrystorowy układ zasilania łuku elektrycznego. Zgłoszenie patentowe nr 225777.

Recenzent: doc. dr inż. Józef Dancewicz

Wpłynęło do redakcji dn. 15.VI.1982 r.

## ТИРИСТОРНО-МАГНИТНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДУГОВЫХ УСТРОЙСТВ

## Р е з ю м е

В статье описана конструкция, упрощенный принцип действия тиристорно-магнитного регулятора, а также важнейшие результаты лабораторных исследований для разомкнутой и замкнутой системы регулирования.

## THYRISTOR - MAGNETIC FEED SYSTEM FOR ELECTRIC ARC CIRCUITS

## S u m m a r y

The construction and a simplified principle of operation of thyristor-magnetic feed system are described in the paper. Some important experimental test data of the system with automatic control are presented.