

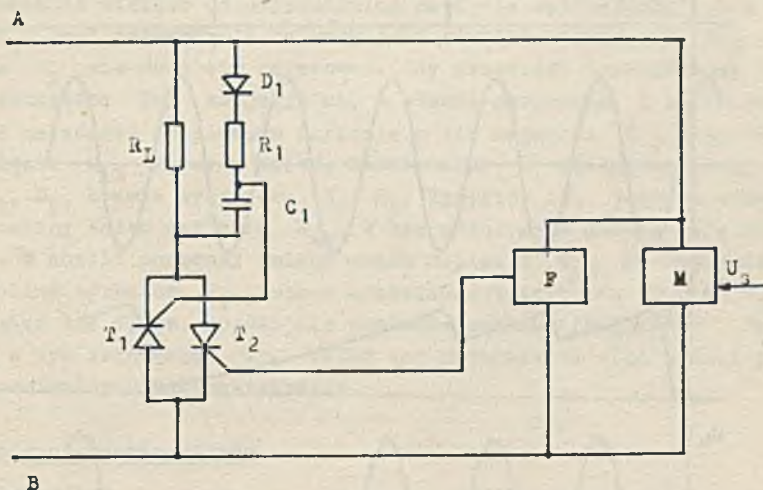
Maciej Kulawik, Henryk Kolka  
Instytut Elektroniki

### IMPULSOWY STEROWNIK PRĄDU PRZEMIENNEGO

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono metodę projektowania układu sterującego dla tyrystorów pracujących w układzie odwrotnie równoległym, w przypadku, gdy okres pracy tyrystorów jest większy od okresu napięcia sieciowego.

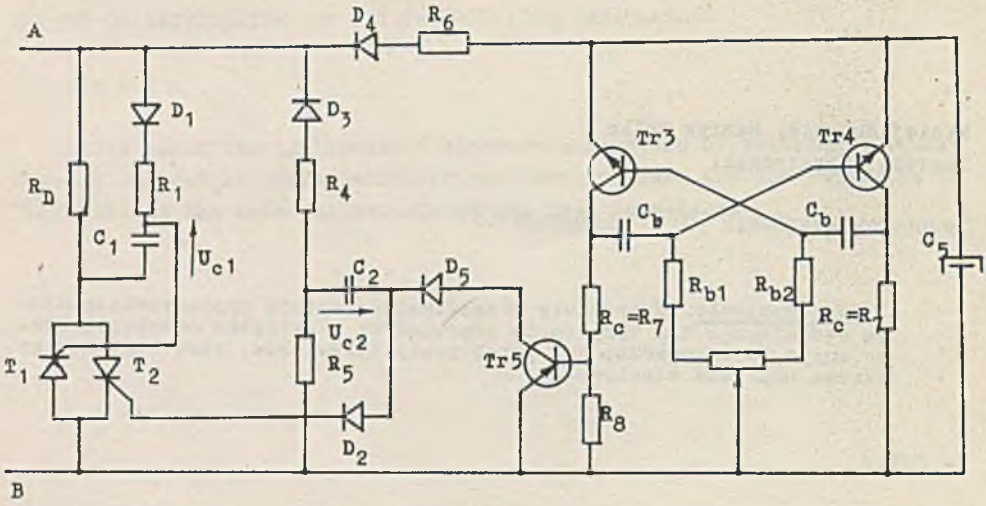
#### 1. Wstęp

Zasadę pracy wykonanego układu przedstawiają rys. 1 i 2. Sinusoidalne napięcie zasilające  $U_z$  na wejściu układu jest podawane na obciążenie  $R_L$  poprzez sterownik tyrystorowy, będący połączeniem dwóch tyrystorów w ukła-

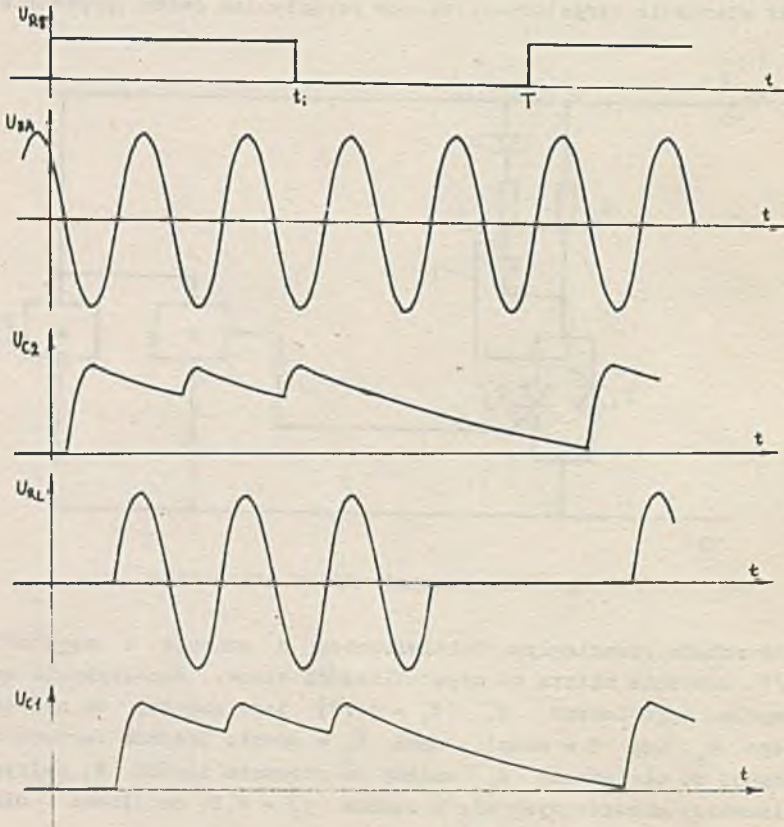


Rys. 1a. Schemat układu sterownika

dzie odwrotnie równoległym. Multiwibrator M pracuje z częstotliwością  $f = 1/T$  znacznie niższą od częstotliwości sieci. Współczynnik wypełnienia impulsu wyjściowego  $\tau_1$  ( $\tau_1 = t_1/T$ ) jest zależny od napięcia sterującego  $U_g$ . Gdy  $T = \text{const.}$  oraz  $R_L = \text{const.}$  średnia wartość mocy dostarczonej do obciążenia  $R_L$  zależy od stosunku ilości  $N_1$  pełnych okresów sinusoidy mieszczących się w czasie  $t_1 = \tau_1 T$  do ilości okresów  $N$



Rys. 1b. Schemat układu sterownika



Rys. 2. Przebiegi czasowe napięć w układzie

wypełniających czas  $T$ . Jest to słuszne przy założeniu, że  $t_1 = N_1 T_0$  i  $T = NT_0$  (gdzie  $T_0$  jest okresem napięcia sieciowego) oraz, gdy początek sygnału sterującego z multiwibratora jest zsynchronizowany z chwilą przejścia przez zero napięcia zasilającego.

Wartość współczynników  $\zeta_{1min}$ ,  $\zeta_{1max}$  oraz  $T$  wynika z wymaganego zakresu regulacji mocy. Układy takie są stosowane najczęściej w przypadku zasilania urządzeń grzejnych (np. piece elektryczne), gdzie stała czasowa obiektu jest znacznie większa od czasu  $T$  i taki rodzaj sterowania nie wpływa na jakość procesu technologicznego. Prostota układu polega na tym, że sterowany jest tylko tyrystor  $T_2$  a wyzwalenie tyrystora  $T_1$  następuje automatycznie po nim. Idea układu jest przedstawiona rys. 1a, 1b, 2. Multiwibrator  $M$  określa częstotliwość  $f = 1/T$  pracy całego układu. Sygnał z tego układu pozwala uformować impulsy wyzwajające tyrystor  $T_2$ , którego załączenie stwarza warunki do wyzwolenia tyrystora  $T_1$ . Właściwości takiego sposobu sterowania układu odwrotnie równoległego omówiono szczegółowo w [1].

## 2. Zasada działania układu

Multiwibrator zbudowany na tranzystorach  $Tr_3$  i  $Tr_4$  posiada okres drgań znacznie większy od okresu zmian napięcia zasilającego. Gdy tranzystor  $Tr_3$  jest zatkany, to zatkany jest również tranzystor  $Tr_5$  i kondensator  $C_2$  nie może się naładować. Gdy przewodzi tranzystor  $Tr_3$ , to wtedy tranzystor  $Tr_5$  znajduje się w stanie nasycenia i kondensator  $C_2$  może się naładować do pewnego napięcia o ile napięcie  $U_{AB}$  jest dodatnie. Gdy napięcie  $U_{AB}$  zaczyna maleć, kondensator  $C_2$  rozładowuje się w obwodzie  $C_2, D_2$ , bramka tyrystora  $T_2, R_5$ . Tyrystor  $T_2$  zostaje wyzwolony z chwilą zmiany znaku napięcia  $U_{AB}$ . W tym półokresie ładuje się kondensator  $C_1$ . W chwili ponownej zmiany znaku napięcia  $U_{AB}$  na dodatnie zostaje wyzwolony tyrystor  $T_1$ . Proces wyzwiania tyrystorów  $T_1$  i  $T_2$  trwa na przemian tak długo, dopóki nie zostanie zatkany tranzystor  $Tr_3$  i w związku z tym tranzystor  $Tr_5$ . Układ ten przepuszcza więc paczki przebiegów sinusoidalnych pełnookresowych.

### 2.1. Dobór elementów układu

#### a. Multiwibrator

Zakładając częstotliwość drgań multiwibratora  $f = 2$  [Hz], przyjęto  $R_{b1} = R_{b2} = 150$  [k $\Omega$ ]. Ponieważ dla zastosowanych tranzystorów BC 527,  $\beta = 200$ , więc  $R_c \geq R_b / \beta = 0,75$  [k $\Omega$ ].

Przyjęto  $R_c = 4,7$  [k $\Omega$ ]. Stąd:

$$C_{b1} = \frac{1}{2fR_b} = \frac{10^{-3}}{2 \cdot 2 \cdot 150} = 1,5 \text{ } [\mu\text{F}].$$

Aby umożliwić sterowanie tranzystorem  $Tr_5$ , w szereg z opornikiem  $R_7$  tranzystora  $Tr_3$  został włączony opornik  $R_8$ . Zakładając  $U_{c5} \approx 15$  [V] otrzymuje się:

$$U_{r8} = \frac{U_{c5} R_8}{R_7 + R_8}$$

Dla  $U_{r8} = 1$  [V] otrzymuje się  $R_8 = 330$  [ $\Omega$ ].

#### b. Układ zasilania multiwibratora

Obliczenie układu zasilania multiwibratora można przeprowadzić jak dla układu prostownika jednofazowego obciążonego pojemnościowo [2]. Przyjęto  $C_5 = 1000$  [ $\mu F$ ]  $U_{c5} = 15$  [V] oraz  $U_z = 24$  [V]

$$U_{c5} = \sqrt{2} \cdot U_z \cdot \frac{R_7}{R_7 + R_6} \cdot \sin \phi' \cdot \sin \phi, \quad (1)$$

gdzie

$$\operatorname{tg} \phi' = \frac{R_7 + R_6}{\omega \cdot C_5 \cdot R_7 \cdot R_6} \quad (2)$$

oraz

$$\operatorname{tg} \phi = \omega \cdot R_7 \cdot C_5 \quad (3)$$

zatem

$$\phi \approx 90^\circ$$

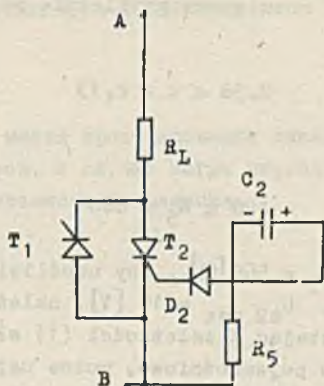
Przy założeniu że  $R_6 \ll R_7$  otrzymuje się:

$$R_6 = \frac{\sqrt{2} \cdot U_z}{\omega \cdot U_{c5} \cdot C_5} = \frac{\sqrt{2} \cdot 24}{15 \cdot 314 \cdot 10^{-3}} = 72$$
 [ $\Omega$ ]

Przyjęto  $R_6 = 100$  [ $\Omega$ ].

#### c. Układ wyzwalańia tyrystora $T_2$

Kondensator  $C_2$  rozładowuje się w obwodzie jak na rys. 3. Ponieważ od początku rozładowania kondensatora  $C_2$  do momentu wyzwolenia tyrystora  $T_2$  upływa czas około 5 ms (rys. 2), więc należy tak dobrać elementy tego obwodu, aby umożliwić jeszcze wyzwolenie tyrystora po tym czasie. Dla użytego tyrystora KT 502,  $I_{GT} \geq 10$  mA. Przyjęto  $C_2 = 20$  [ $\mu F$ ] i  $U_{c2max} = 10$  [V].



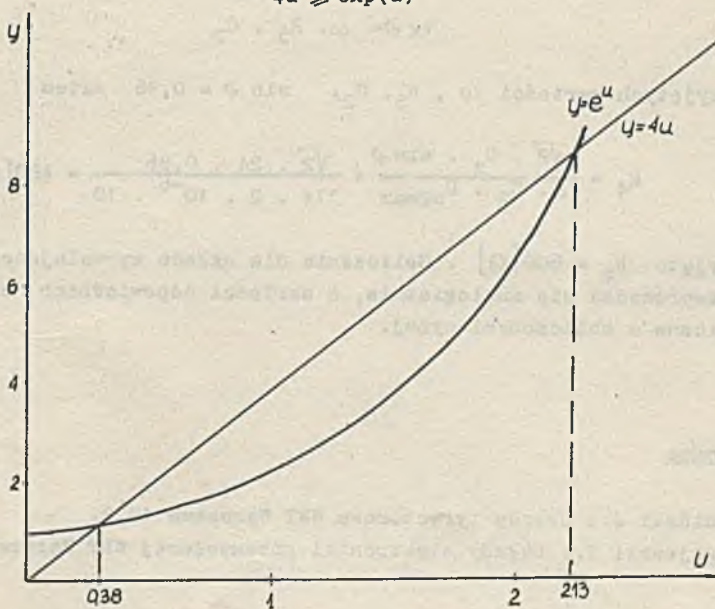
Rys. 3. Obwód rozładowania kondensatora  $C_2$

Wynika stąd następujący warunek:

$$\frac{U_{C2max}}{R_5} \exp\left(-\frac{t_1}{R_5 \cdot C_2}\right) \geq I_{GT} \quad (4)$$

Po podstawieniu wartości liczbowych i wprowadzeniu nowej zmiennej  $u = 250/R_5$  otrzymuje się warunek:

$$4u \geq \exp(u) \quad (5)$$



Rys. 4. Graficzne rozwiązanie nierówności (5)

Nierówność (5) została rozwiązana graficznie na rys. 4. Z wykresu otrzymano warunek:

$$0,38 \leq u \leq 2,13$$

lub inaczej

$$120 \leq R_5 \leq 660$$

W układzie przyjęto  $R_5 = 560 [\Omega]$ . Aby umożliwić naładowanie się pojemności  $C_2$  do wartości  $U_{c2 \max} = 10 [V]$ , należy odpowiednio dobrać wartość opornika  $R_4$ . Korzystając z zależności (1) słusznej dla prostownika jednofazowego obciążonego pojemnościowo, można napisać, pomijając spadek napięcia na diodzie  $D_5$  i tranzystorze  $Tr_5$

$$U_{c2 \max} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_z \cdot R_5}{R_5 + R_4} \cdot \sin \varphi' \cdot \sin \varphi,$$

gdzie

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{R_4 + R_5}{\omega \cdot R_4 \cdot R_4 \cdot C_2}$$

oraz

$$\operatorname{tg} \varphi = \omega \cdot R_5 \cdot C_2$$

Dla przyjętych wartości  $\omega$ ,  $R_5$ ,  $C_2$ ,  $\sin \varphi = 0,96$  zatem

$$R_4 = \frac{\sqrt{2} \cdot U_z \cdot \sin \varphi}{\omega \cdot C_2 \cdot U_{c2 \max}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 24 \cdot 0,96}{314 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 10} = 480 [\Omega]$$

Przyjęto  $R_4 = 600 [\Omega]$ . Obliczenia dla układu wyzwalającego tyrystora  $T_1$  przeprowadza się analogicznie, a wartości odpowiednich elementów są analogiczne z obliczonymi wyżej.

#### LITERATURA

- [1] Luciński J.: Układy tyrystorowe WNT Warszawa 1972.
- [2] Zagajewski T.: Układy elektroniki przemysłowej WNT Warszawa 1971.

ИМПУЛЬСНЫЙ РЕГУЛЯТОР ПЕРЕМЕННОГО НАПЯЖЕНИЯ

Р е з ю м е

В статье представлен метод проектирования системы управления для встречно-параллельных тиристоров, в случае когда период работы тиристоров значительно больше периода питающего напряжения.

SWITCHING REGULATOR FOR ALTERNATING CURRENT

S u m m a r y

In this paper a method of design for a control device to the anti-parallel thyristors has been presented, (in the case when the, period of the thyristor's work is much longer then the period of supply voltage).