

LEON LASEK

Katedra Elektroniki Przemysłowej

ZWŁOCZNY PRZEKAŹNIK LAMPOWY  
Z UJEMNYM SPRĘŻENIEM ZWROTNYM

Streszczenie. W pracy przeprowadzono analizę działania przełącznika zwłocznego z ujemnym sprzężeniem zwrotnym w katodzie. Główny nacisk położono na zbadanie możliwości regulacji zmian czasu zadziałania. Wychodząc z wzoru:

$$t_{\text{zadz}} = n\tau \left[ \left| \ln \left( 1 - \frac{I_{\text{zadz}}}{I_{\text{max}}} \right) \right| - \left| \ln \left( 1 - \frac{1}{n} \right) \right| \right]$$

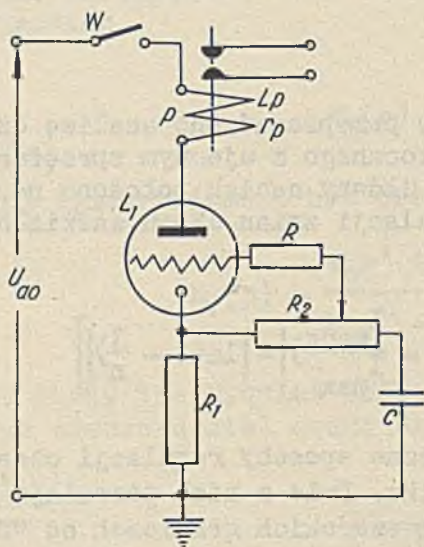
Podano cztery praktyczne sposoby regulacji czasu zadziałania przełącznika. Dwie z nich pozwalają na zmianę  $t_{\text{zadz}}$  w bardzo szerokich granicach od "0" do kilkudziesięciu minut, w zależności od użytych elementów. W zakończeniu omówiłem wytyczne, które mogą być pomocne przy projektowaniu tego układu.

## 1. Wstęp

Uzyskanie dużych czasów zwłoki w przełącznikach lampowych o opóźnionym działaniu jest możliwe na różnej drodze. Jedną z metod jest zastosowanie w przełączniku ujemnego sprzężenia zwrotnego w obwodzie katody, w układzie wtórnika katodowego dzięki czemu przy minimalnej ilości zastosowanych w układzie elementów uzyskuje się bardzo duże opóźnienia czasowe, z możliwością ciągłej regulacji czasu zwłoki w bardzo szerokim zakresie. Układy przełączników czasowych, z regulowanym czasem zadziałania znajdują zastosowanie w takich urządzeniach jak generatory taktu, w urządzeniach grzejnictwa wielkiej częstotliwości, w zgrzewarkach punktowych itp.

## 2. Analiza pracy przekaźnika

Rozpatrzmy zasadę działania przekaźnika z ujemnym sprzężeniem zwrotnym, którego schemat pokazano na rys. 1. Zmianę czasu zadziałania takiego przekaźnika można wykonać przez:



Rys. 1

- I. Zmianę położenia zacze-  
pu w dzielniku  
napięciowym  $R_2$  jak  
na rys. 2.
- II. Zmianę wartości opo-  
ru opornika  $R_1$ .
- III. Zmianę stałej cza-  
sowej  $R_2C = \tau$ .
- IV. Bocznikowanie prze-  
kaźnika w sposób jak  
na rys. 3.

Na wykresach w niniejszej pracy oprócz zależności wyliczonych z wzorów przytoczonych niżej, będą podane również charakterystyki zdjęte doświadczalnie dla układu podanego na rys. 1 i zbudowanego przy użyciu następujących elementów:

$L_1$  - ECC 85 (obie triody połączone równolegle),

$R$  - 100 k $\Omega$ ,

$P$  - przekaźnik,

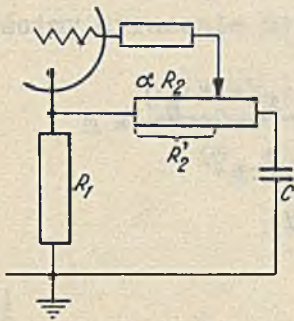
$r_p$  - 185  $\Omega$   $L_p = 0,12$  mH,

$K_a = 50$  V/V,

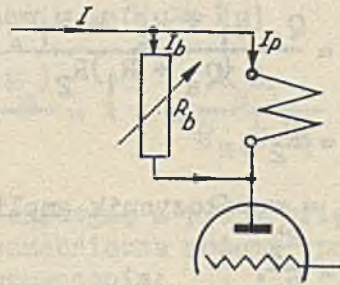
$Q_a = 7,2$  k $\Omega$ .

Na rys. 4 przedstawiono układ zastępczy przekaźnika czasowego z rys. 1. Układ równań opisujący ten schemat zastępczy ma wygląd następujący

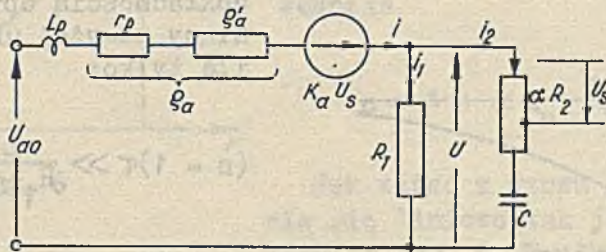
$$\left\{ \begin{array}{l} U_{a0} - i_0 a - L \frac{di}{dt} + K_a U_s - U = 0 \\ i - i_1 - i_2 = 0 \\ U - i_1 R_1 = 0 \\ U - i_2 R_2 - \frac{1}{C} \int i_1 dt = 0 \\ U - i_2 \alpha R_2 = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$



Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4

Rozwiążemy najpierw uproszczony układ równania 1. Uproszczenie polega na pominięciu w równaniu 1 czynnika  $L \frac{di}{dt}$ , otrzymamy wówczas wyrażenie na wartość prądu  $I$  w następującej postaci:

$$I = I_{\max} \left[ \frac{1}{n} - \left(1 - \frac{1}{n}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{n\tau}}\right) \right] \quad (2)$$

gdzie:

$$I_{\max} = \frac{U_{ac}}{Q_a + R_1} \text{ (mA)},$$

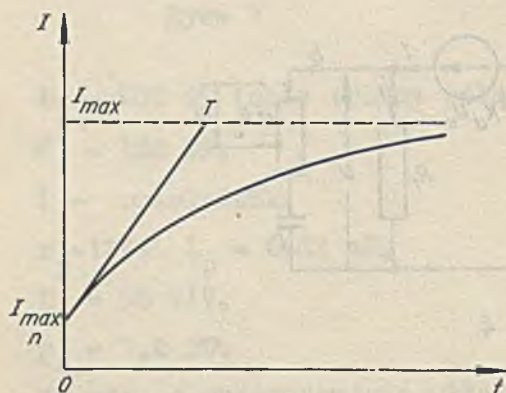
$$n = \frac{Q_a (R_1 + R_2) + R_1 R_2 (1 + \alpha K_a)}{(Q_a + R_1) R_2},$$

$$\tau = R_2 C,$$

$K_a$  = współczynnik amplifikacji lampy,

$$\alpha = \frac{R'_2}{R_2}.$$

$Q_a$  = oporność wewnętrzna lampy.



Rys. 5

Równanie prądu opisane zależnością 2 jest przedstawione wykreślnie na rys. 5. Równanie to z wystarczającą dokładnością opisuje wspomniany powyżej układ równań o ile tylko:

$$(n - 1)\tau \gg \frac{L}{R_1 + Q_a} \quad (2')$$

co można sprawdzić podstawiając rozwiązanie (2) do równania (1).

Układ przeze mnie badany spełnia w zupełności warunek (2), a więc rozwiązanie (2) wystarczająco dokładnie opi-

suje zjawiska fizyczne zachodzące w rzeczywistym układzie przekaźnika czasowego. Należy tylko pamiętać, żeby rozważań otrzymanych na podstawie zależności (2) nie rozciągać na cały obszar wartości  $n$ . Można wykazać, że nawet dla  $n$  bliskich 1 powyższe rozwiązanie jest prawidłowe.

Przedyskutujmy teraz wyrażenie 2 dla poszczególnych przypadków, regulacji czasu opóźnienia.

### Przypadek I

Uprościmy wyrażenie na  $n$  przy założeniu, że  $R_2 \gg R_1$

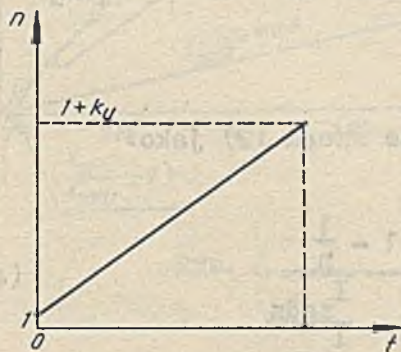
$$n = \frac{g_a (R_1 + R_2) + R_1 R_2 (1 + \alpha K_a)}{(g_a + R_1) R_2} = 1 + \alpha \frac{K_a R_1}{g_a + R_1}$$

Przez analogię z pracą triody jako wzmacniacza możemy wprowadzić oznaczenie:

$$k_u = \frac{K_a R_1}{g_a + R_1}$$

Wówczas

$$n = 1 + \alpha k_u \quad (3)$$

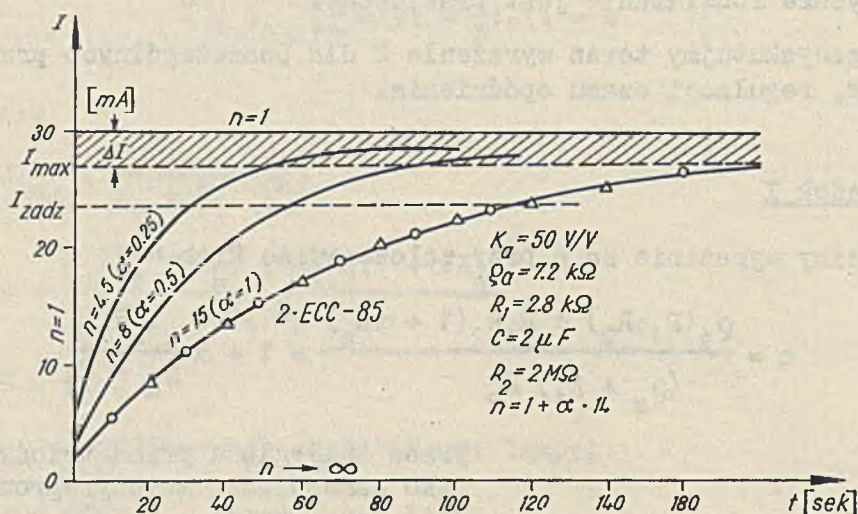


Rys. 6

Jak widać z wzoru  $n=f(\alpha)$  zmienia się liniowo tak jak to pokazano na rys. 6. Wynika stąd, że zmiany  $\alpha$  pozwalają na bardzo szerokie zmiany wartości  $n$ , a co za tym idzie na znaczną zmianę czasu zadziałania przekaźnika  $t_{zadz}$ . Przy zmianach  $\alpha(0,1)$  krzywe  $I = f(t)$  przekaźnika mieszczą się w obszarze ograniczonym rzędnymi 0 i  $I_{max}$

oraz odciętą 0 tak jak to pokazano na rys. 7. Na rys. 7 wrysowano również przykładowo prąd zadziałania przekaźnika. Już

z rysunku można się zorientować, że przez zmianę  $\alpha$  pośrednio poprzez zmianę "n" można wpływać na czas zadziałania prze-  
kaźnika.



Rys. 7

Czas zadziałania  $t_{zadz}$  znajdujemy ze wzoru (2) jako:

$$t_{zadz} = n\tau \ln \frac{1 - \frac{1}{n}}{1 - \frac{I_{zadz}}{I_{max}}} \quad (4)$$

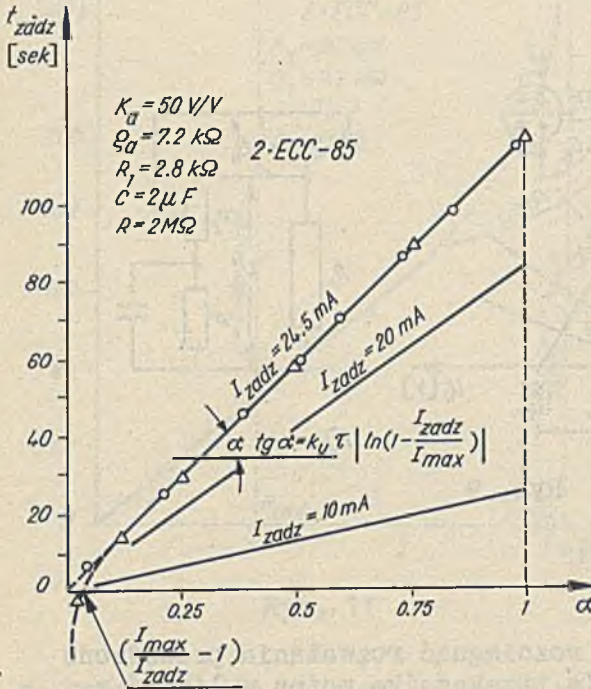
lub inaczej

$$t_{zadz} = n\tau \left[ \left| \ln \left( 1 - \frac{I_{zadz}}{I_{max}} \right) \right| - \left| \ln \left( 1 - \frac{1}{n} \right) \right| \right] \quad (5)$$

Na podstawie wzoru (5) można wykreślić zależność  $t_{zadz} = f(\alpha)$   
rys. 8. Dla dużych "n" czynnik  $\left| \ln \left( 1 - \frac{1}{n} \right) \right|$  jest bliski zera

i nachylenie funkcji  $t_{zadz} = f(\alpha)$  można określić jako:

$$\operatorname{tg} \alpha = k_u \tau \left| \ln \left( 1 - \frac{I_{zadz}}{I_{max}} \right) \right|$$



Rys. 8

Na rys. 8 jest przedstawiona zależność  $t_{zadz} = f(\alpha)$  otrzymana na podstawie znajomości parametrów układu (punkty oznaczono  $\Delta$ ) oraz ta sama zależność zdjęta doświadczalnie (punkty oznaczono  $\circ$ ).

Mimo iż oporność w obwodzie anodowym nie ulega zmianie, to jednak  $I_{max}$  nie jest stałe dla

każdego  $\alpha$ . W stanie ustalonym napięcie na siatce jest równe zero, a więc wartość maksymalna prądu byłaby (rys. 9) równa  $I'_{max}$ , mając jednak

na uwadze upływność kondensatora ( $R'$ ) napięcie na siatce będzie nieco mniejsze i równe

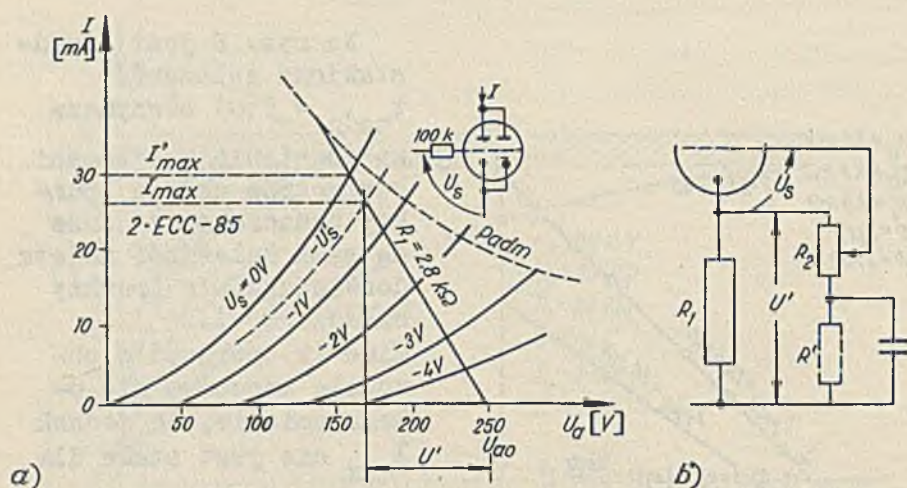
$$U_B = - \frac{U'}{R_2 + R'} \alpha R_2$$

gdzie:

$R'$  - upływność kondensatora.

Rzeczywista wartość prądu, jaka się ustali w obwodzie będzie więc różna od  $I'_{max}$  i będzie wynosiła  $I_{max}$  (rys. 9). Nale-

ży tu zaznaczyć, że wraz z maleniem " $\alpha$ " maleje również wartość  $U_s$ , a co za tym idzie rośnie  $I_{max}$ ; jest to przyczyną deformacji odciętej  $I=I_{max}$  do obszaru  $I \in [I_{max}, I_{max} + \Delta I]$  tak jak to pokazano na rys. 7.



Rys. 9

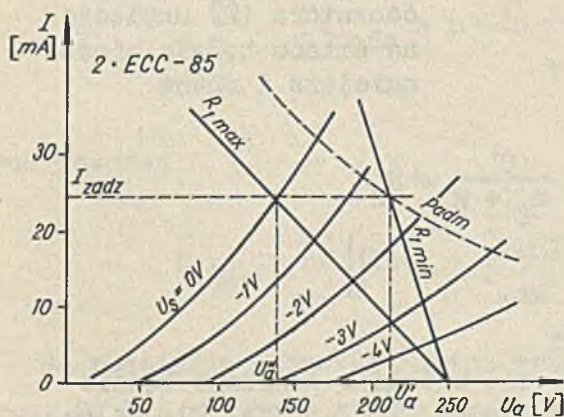
### Przypadek II

Na przypadek ten wystarczy rozciągnąć rozważania prowadzone poprzednio. Czas zadziakania przekaźnika można wyliczyć z

wzoru (5). Należy jednak pamiętać o ograniczeniach, jakie należy spełnić:

- a) wartość oporności  $R_1$  ograniczona jest z dołu mocą admisyjną lampy (rys. 10) i równa się:

$$R_{1min} = \frac{U_{a0} - U'}{I_{zadz}}$$



Rys. 10

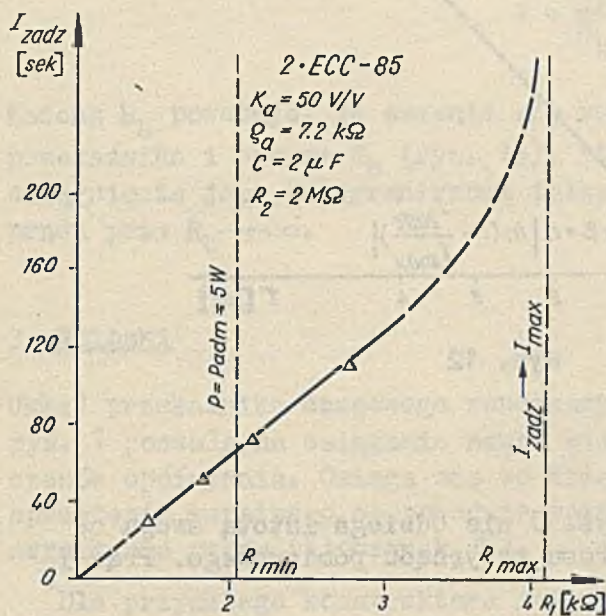


b) ta sama oporność  $R_1$  ograniczona jest z góry przez prąd

$$I_{zadz} = I_{max}, \text{ dla której to wartości } \left| \ln \left( 1 - \frac{I_{zadz}}{I_{max}} \right) \right| \rightarrow \infty$$

tak więc jak widać wprost z rys. 10 powyższy przypadek zachodzi dla

$$R_{1max} = \frac{U_{a0} - U_a}{I_{zadz}}$$



Rys. 11

Przykładowy wykres zmian czasu  $t_{zadz} = f(R_1)$  jest pokazany na rys. 11 z zaznaczonymi wartościami  $R_{1min}$  oraz  $R_{1max}$ .

Z powyższego wykresu nietrudno zauważyć, że tego typu zmiana czasu zadziałania odbiega od liniowej, jak również i zakres zmiany tego czasu jest ograniczony

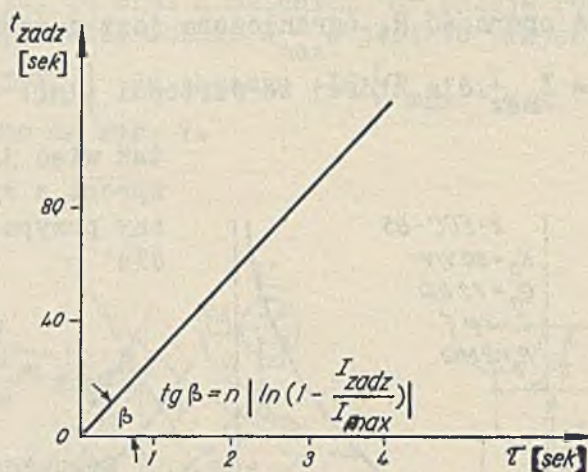
w porównaniu do tych zmian, jakie uzyskaliśmy w przypadku I.

### Przypadek III

Przy tego typu regulacji czasu zadziałania należy mieć na uwadze założenia upraszczające przyjęte na wstępie niniejszej pracy a mianowicie  $R_2 \gg R_1$  i warunek (2'). Czas działania liczymy również z wzoru (5). Przykładowy przebieg jest pokazany na rys. 12. Jest to przebieg liniowy, który można opisać równaniem linii prostej o nachyleniu:

$$\text{tg } \beta = n \left| \ln \left( 1 - \frac{I_{zadz}}{I_{max}} \right) \right|$$

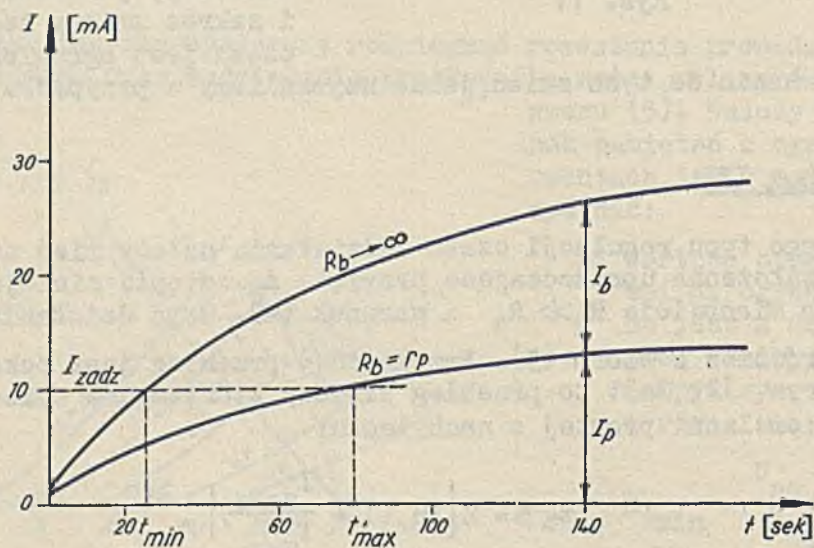
przy założeniu, że czynnik  $n$  jest duży.



Rys. 12

Przypadek IV

Sposób przedstawiony na rys. 3 nie odbiega istotą swoją od problemu rozszerzenia zakresu przyrządu pomiarowego. Prąd  $I_p$



Rys. 13

płynący przez przekaźnik jest równy:

$$I_p = \frac{I}{1 + \frac{r_p}{R_b}}$$

Zmiana  $R_b$  powoduje, że zmienia się rozptyw prądu między cewką przekaźnika i oporem  $R_b$  (rys. 13). Strefa czasów możliwych do osiągnięcia jest tu ograniczona tylko stałą czasową narastania prądu przy  $R_b \rightarrow \infty$ .

### 3. Wnioski

Układ przekaźnika czasowego zbudowany tak jak to pokazano na rys. 1 pozwala na osiaganie nawet kilkudziesięciominutowych czasów opóźnienia. Osiaga się to dzięki istnieniu ujemnego sprzężenia zwrotnego, co powoduje powiększenie stałej czasowej narastania prądu (iloczyn  $k_u \tau$ ).

Dla przyszłego konstruktora może być istotne, aby przy projektowaniu tego typu przekaźnika łączyć przypadki pracy podane w niniejszej pracy. I tak można wykorzystać przypadek IV pracy układu do korekcji rozrzutu parametrów prądu zadziałania przekaźników, dla raz przyjętego skalowania opornika  $R_2$ . Elementy powinny spełniać następujące warunki:

Kondensator C obok żądanej pojemności powinien posiadać jak największą wartość oporu upływu  $R'$ .

Lampę powinno charakteryzować duże  $K_a$  i możliwie małe  $Q_a$ .

Wybór  $R_1$  powinien być zgodny z wytycznymi przytoczonymi w niniejszej pracy w punkcie II.

Liniiowość zależności  $t_{zadz} = f(\alpha)$  będzie ściśle uzależniona od liniowości potencjometru  $R_2$ .

## LITERATURA

- [1] Zagajewski T.: Układy Elektroniki Przemysłowej, WNT Warszawa 1964 r.

## ЛАМПОВОЕ РЕЛЕ ВЫДЕРЖКИ ВРЕМЕНИ С ОТРИЦАТЕЛЬНОМ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

## Р е з ю м е

В статье разобрано анализ действия лампового реле времени с отрицательной, катодной, обратной связью. Главным образом обращено внимание на изучение возможности регулировки выдержки. Основываясь на формуле для времени срабатывания

$$t_{zadz} = n\tau \left[ \left| \ln\left(1 - \frac{I_{zadz}}{I_{max}}\right) \right| - \left| \ln\left(1 - \frac{1}{n}\right) \right| \right]$$

представлено четыре практические способы регулировки выдержки. Два из них разрешают изменять время срабатывания в очень широких пределах - от нуля до нескольких десятков минут - зависимо от примененных составных частей. В заключении представлено директивные указания, полезные при проектировании таких устройств.

## THE TIME-LAG RELAY WITH DEGENERATIVE FEED-BACK

## S u m m a r y

In this paper is presented the analysis of the time lag of the electronic relay with negative feed-back in the cathode. Special attention was put on research the possibilities of regulation the operating time of the relay according to the equation:

$$T_{zadz} = n\tau \left[ \left| \ln\left(1 - \frac{I_{zadz}}{I_{max}}\right) \right| - \left| \ln\left(1 - \frac{1}{n}\right) \right| \right]$$

In this work are mentioned four practical methods of changing the operating time of the relay. Two of these have very large range of the operating time regulation from "0" to several minutes, depending on used elements. On the end of this paper there are some practical informations for design this relay.