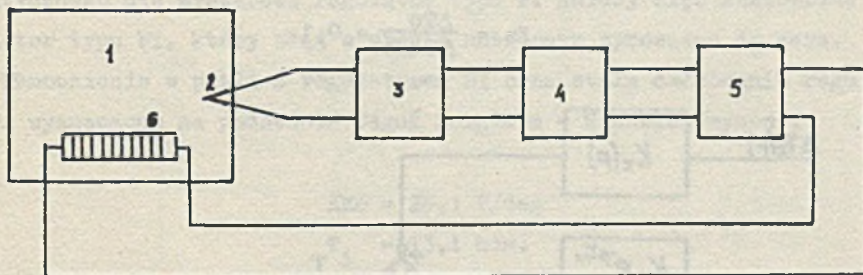


Edward Hrynkiewicz

UKŁAD REGULACJI TEMPERATURY  
Z TYRYSTOROWYM URZĄDZENIEM WYKONAWCZYM

Streszczenie. W artykule podano krótki opis i szkic analizy układu regulacji temperatury. Dla układu regulacji, który zastosowano w suszarce laboratoryjnej, podano schematy ideowe i opis działania poszczególnych członów, ze szczególnym uwzględnieniem tyrystorowego urządzenia wykonawczego.

Częstym problemem występującym w grzejnictwie elektrycznym jest problem utrzymywania temperatury w zamkniętym pomieszczeniu na stałym poziomie. Realizuje się to często w układzie, którego schemat przedstawia rys. 1.



Rys. 1

1 - komora, 2 - czujnik temperatury, 3 - przetwornik pomiarowy, 4 - regulator, 5 - urządzenie wykonawcze, 6 - grzejnik

W niniejszej pracy przedstawiono jedno z możliwych rozwiązań tego zagadnienia dla następujących założeń:

a) błąd regulacji w stanie ustalonym  $\Delta T_o < 0,2^\circ\text{C}$

- b) temperatura utrzymywana na stałym poziomie nastawiana skokowo co  $10^{\circ}\text{C}$  w zakresie  $(30-80)^{\circ}\text{C}$ ,  
 c) obiekt - suszarka laboratoryjna typu SP-U-4 o mocy grzejnika  $1,2\text{kW}$ .

Własności obiektu zostały wyznaczone metodą rejestracji odpowiedzi temperatury wewnętrznej na skok jednostkowy napięcia wejściowego (zasilającego grzejnik).

Przebieg tej odpowiedzi w zadanym zakresie temperatur można aproksymować następującą zależnością:

$$\frac{\Delta T_o(p)}{\Delta U_{we}(p)} = K_o(p) = \frac{K_o \cdot e^{-pT_m}}{1 + pT},$$

gdzie

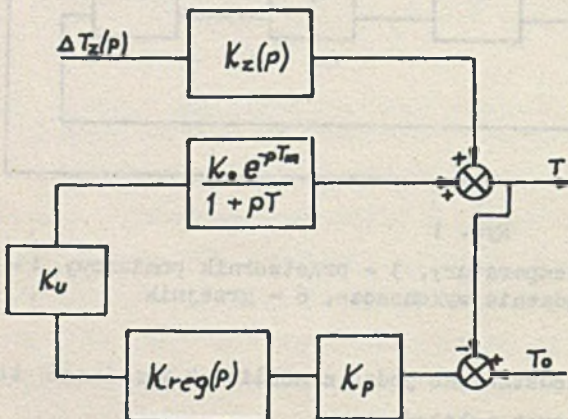
$$K_o = 0,7^{\circ}\text{C}/\text{V};$$

$$T_m = 2,4 \cdot 10^2 \text{s};$$

$$T = 81 \cdot 10^2 \text{s}.$$

Współczynnik określający wpływ temperatury otoczenia na temperaturę w suszarce jest równy

$$K_z = \frac{\Delta T_o}{\Delta T_{amb}} = 0,1.$$



Rys. 2

$K_p$  - wzmacnienie przetwornika pomiarowego,  
 $K_u$  - wzmacnienie urządzenia wykonawczego

W oparciu o powyższe zależności można narysować schemat blokowy układu regulacji pokazany na rys. 2.

Błąd statyczny w układzie z regulatorem typu P określa równanie (1)

$$\Delta T_o = \frac{T_o}{1+K K_o} + \frac{K_z \Delta T_z}{1+K K_o}, \quad (1)$$

gdzie

$K = K_{reg} K_p K_w$ .

Z równania tego wynika, że aby  $\Delta T_o$  w stanie ustalonym było mniejsze od  $0,2^\circ\text{C}$ ,  $K K_o$  powinno spełniać zależność

$$K K_o \geq \frac{T_o_{\max} + K_z \Delta T_z}{0,2^\circ\text{C}} - 1. \quad (2)$$

Z drugiej strony aby układ był stabilny

$$K_1 K_o < \frac{T}{2} \cdot \frac{T}{T_m}. \quad (3)$$

Okazuje się, że warunki (2) i (3), dla rozpatrywanego przypadku są ze sobą sprzeczne. Wynika stąd wniosek, że dla uzyskania zadanego błędu statycznego nie wystarcza regulator typu P. Należy więc zastosować regulator typu PI, który błąd w stanie ustalonym sprowadza do zera.

Wzmocnienie w pętli z regulatorem PI oraz stała całkowania regulatora wyznaczone na podstawie reguł Zeiglera - Nicholasa wynosi:

$$K K_o = 24,1 \text{ V/deg}$$

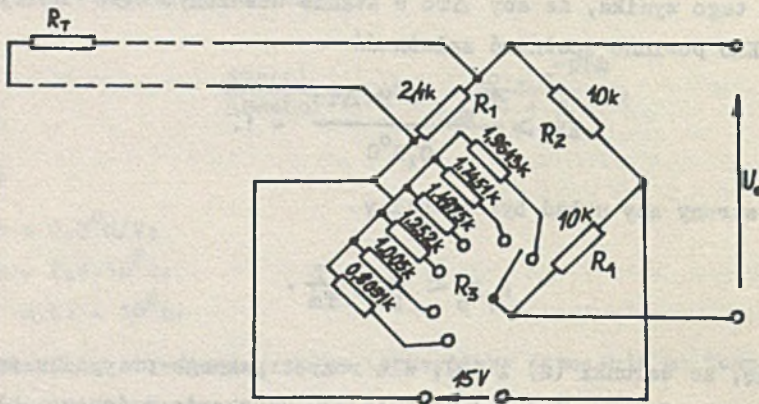
$$T_i = 13,4 \text{ min.}$$

Uzyskane wyniki wykorzystano jako dane wyjściowe do zaprojektowania trzech podzespołów układu regulacji z rys. 1: przetwornika pomiarowego, regulatora i urządzenia wykonawczego.

Niżej zamieszczono krótki opis tych podzespołów wykonanych głównie w oparciu o układy elektroniczne.

### 1. Przetwornik pomiarowy

Jako przetwornik pomiarowy zastosowany został w układzie niezrówno ważony mostek prądu stałego z termistorowym czujnikiem temperatury. Schemat przedstawia rys. 3.



Rys. 3

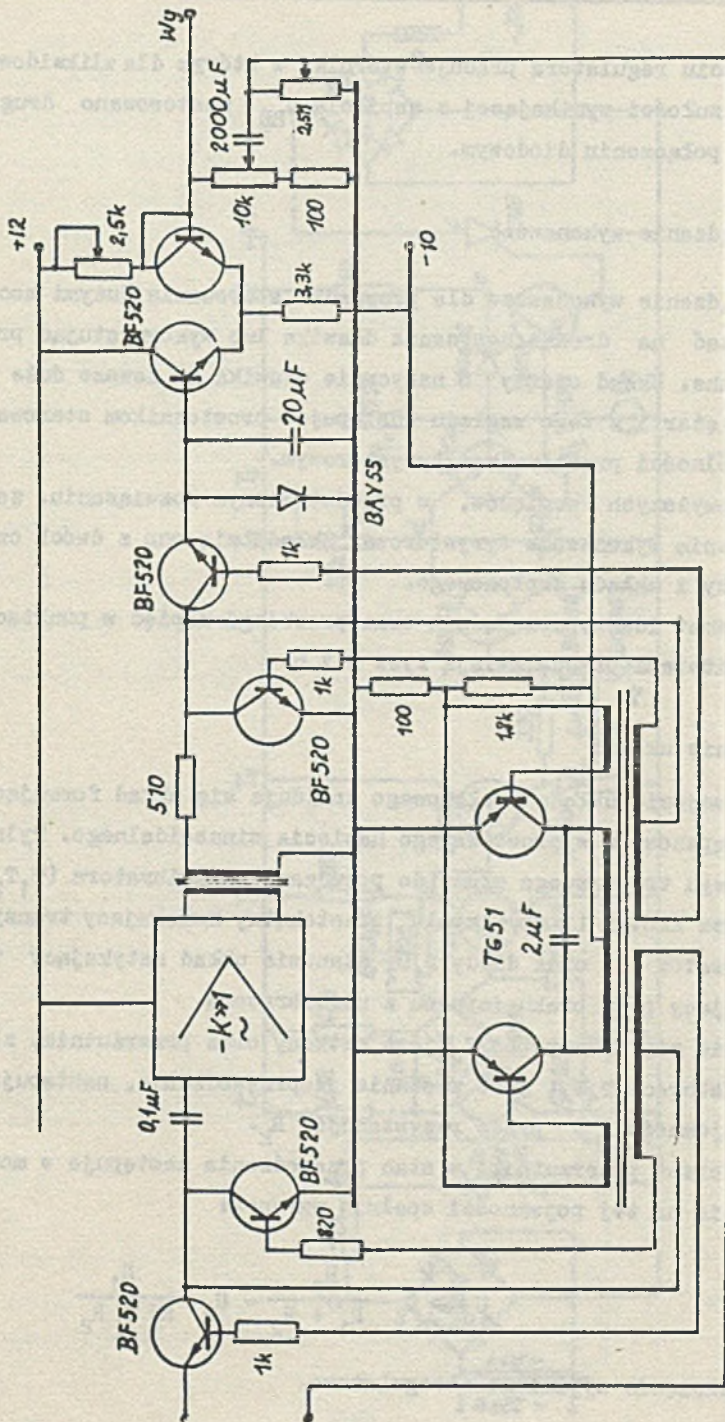
Nastawianie wartości zadanej odbywa się przez zmianę wartości rezystancji  $R_3$ , przy czym poszczególne wartości tej rezystancji dobrane są tak, aby nastawianie odbywało się z dokładnością  $0,01^\circ\text{C}$ . Średnią wartość współczynnika wzmocnienia  $K_P = 27,2 \cdot 10^{-3} \text{ V/deg}$ , a maksymalna zmiana tego współczynnika wynosi  $\pm 6\%$ .

### 2. Regulator

Układ o funkcji przejścia regulatora PI uzyskano (w oparciu o znaną zasadę) obejmując wzmacniacz prądu stałego o  $K_u \gg 1$  różniczkującym z inercją sprzężeniem zwrotnym (rys. 4).

Zakres proporcjonalności regulatora:  $1 < X < 100\%$ .

Stała całkowania:  $0,5 \text{ min} < T_i < 26 \text{ min}$ .



Rys. 4

Na wyjściu regulatora pracuje wtórnik, w którym dla zlikwidowania strefy nieczułości wynikającej z napięcia  $U_{BE}$  zastosowano drugi tranzystor w połączeniu diodowym.

### 3. Urządzenie wykonawcze

Urządzenie wykonawcze dla przypadku sterowania dużymi mocami można rozwiązać na drodze nasycania dławika lub wykorzystując prostowniki sterowane. Układ oparty o nasycanie dławika ma zawsze duże wymiary i duży ciężar i z tego względu ustępuje prostownikom sterowanym, a w szczególności prostownikom tyrystorowym.

Z powyższych względów, w przedstawionym rozwiązaniu, zastosowano urządzenie wykonawcze tyrystorowe. Składa się ono z dwóch części: stopnia mocy i układu zapłonowego.

Schemat ideowy urządzenia oraz przebiegi napięć w punktach oznaczonych literami przedstawiają rys. 5 i 6.

#### Działanie układu

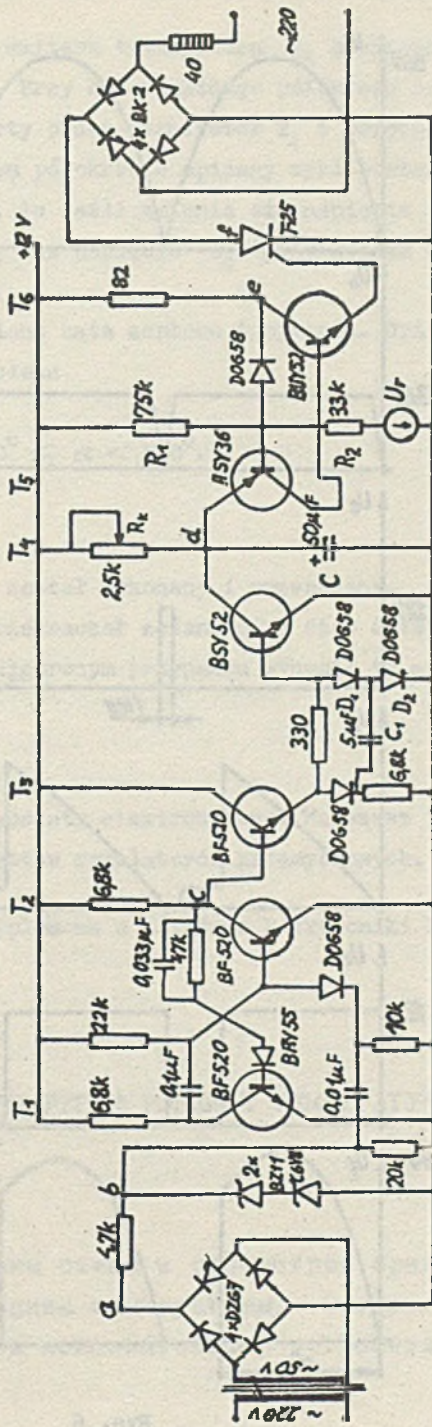
Na wejściu układu zapłonowego znajduje się układ formujący napięcie trapezowe z wyprostowanego napięcia sinusoidalnego. Tylne zbocze przebiegu trapezowego służy do pobudzania uniwibratora ( $T_1, T_2$ ), który wytwarza krótki (1 ms) impuls prostokątny zderzający tranzystor  $T_4$ . Kondensator  $C_1$  oraz diody  $D_1, D_2$  stanowią układ zatykający tranzystor kluczujący przy braku impulsu z uniwibratora.

W czasie gdy tranzystor  $T_4$  jest zatkany oraz przerzutnik, zbudowany na tranzystorach  $T_5, T_6$ , jest w stanie nieprzewodzenia, następuje ładowanie pojemności  $C$  przez rezystancję  $R_k$ .

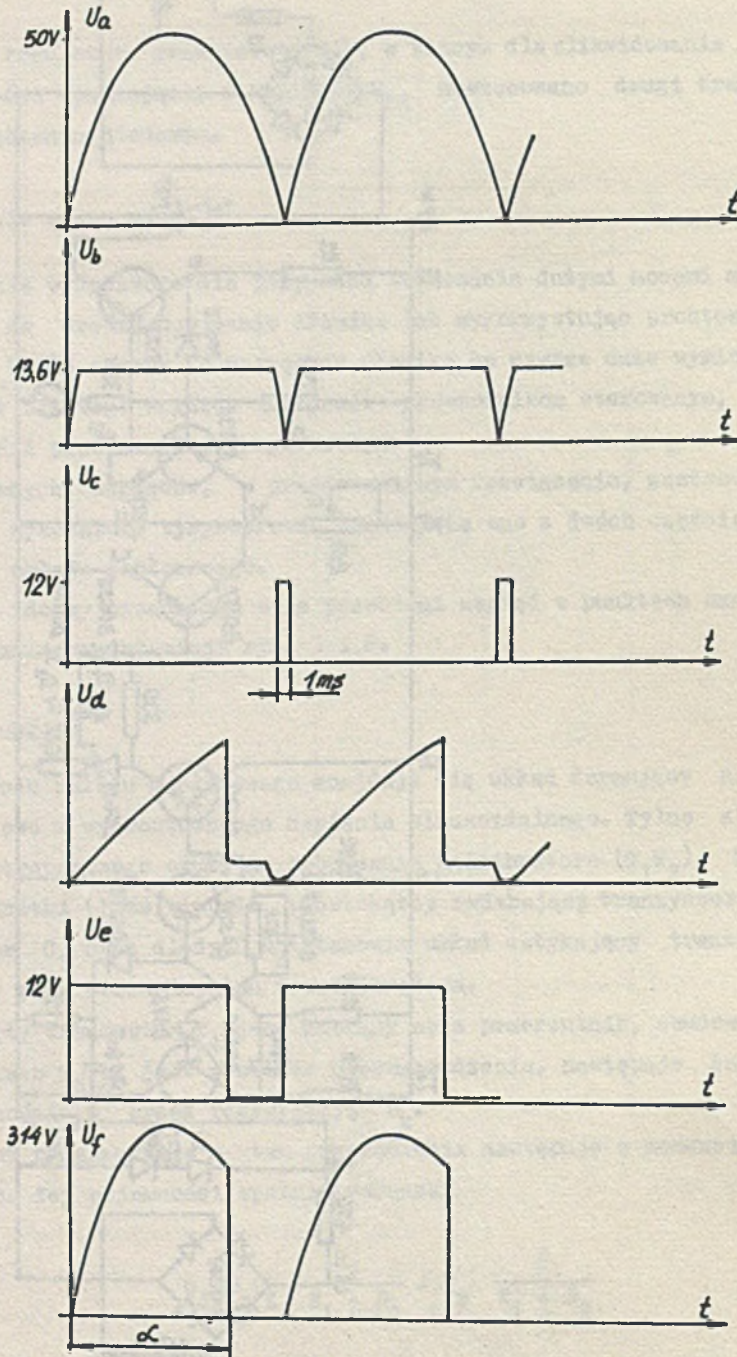
Przerzut przerzutnika w stan przewodzenia następuje w momencie, gdy napięcie na tej pojemności spełnia warunek:

$$U_d \cong U_Z \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_r \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (4)$$

$U_r$  - napięcie wyjściowe z regulatora.



Rys. 5



Rys. 6



W czasie przerzutu prąd emitera tranzystora  $T_6$  gwałtownie wzrasta powodując zapłon tyrystora. Przy końcu każdego półokresu napięcia sieci przerzutnik zostaje zwarty przez tranzystor  $T_4$  i przechodzi w stan nieprzewodzenia. W następnym półokresie opisany cykl powtarza się.

Z zależności (4) wynika, że jeśli zmienia się napięcie wyjściowe regulatora  $U_r$  zmienia się też napięcie  $U_d$ , przy którym następuje zapłon.

Jest to równoznaczne ze zmianą kąta zapłonu tyrystora. Opisany układ pozwalał na zmianę kąta zapłonu

$$20^\circ < \alpha < 180^\circ.$$

#### 4. Uwagi końcowe

Opisany układ regulacji został wykonany i przebadany. Maksymalny błąd statyczny  $\Delta T_0$  nie przekraczał zadanego, a czas ustalania się temperatury w suszarce w najgorszym przypadku wynosił  $t_r = 75$  minut.

#### LITERATURA

1. Hahn S., Kuński R.: Termostaty elektroniczne. Warszawa 1966 r.
2. Pułaczewski J.: Dobór nastaw regulatorów przemysłowych. Warszawa 1966 r.
3. Hrynkiewicz E.: Praca dyplomowa w Katedrze Elektroniki Politechniki Śląskiej 1972 r.

#### СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

#### Резюме

В статье представлены схемы и рассмотрен принцип действия системы регулирования температуры. Особое внимание обращено на тиристорное исполнительное устройство.

## TEMPERATURE CONTROL SYSTEM

## Summary

The temperature control system with the thyristor power circuit was described in that paper.