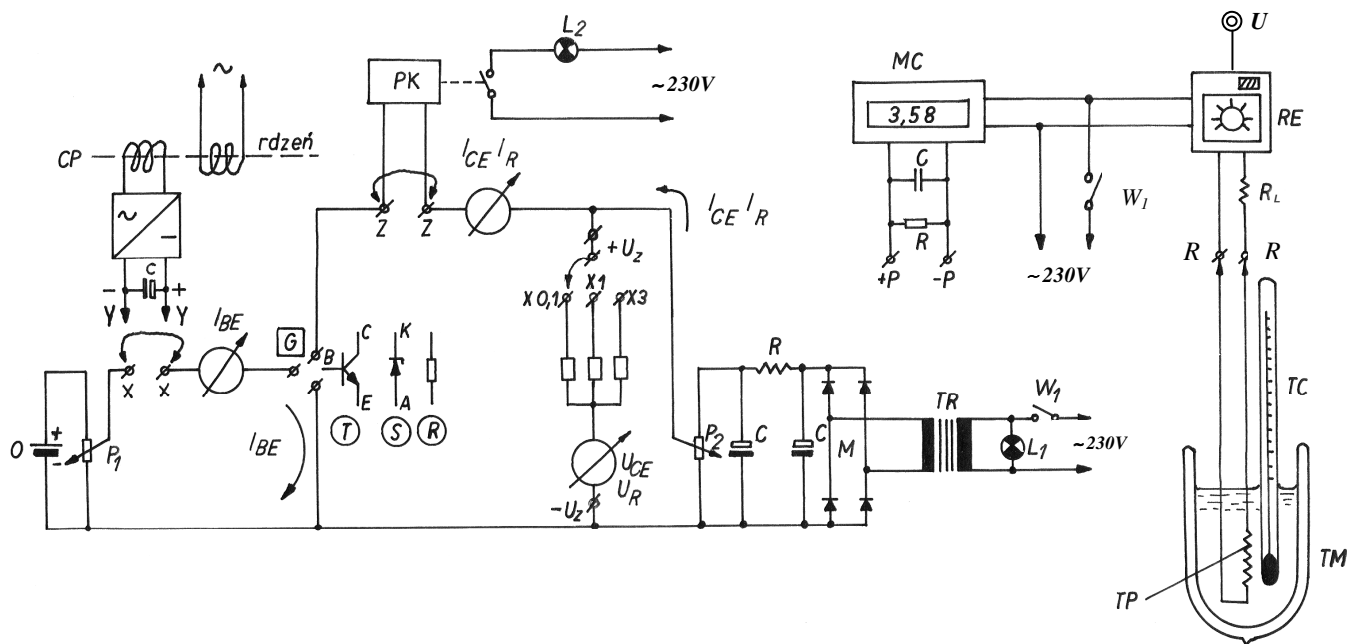


5. WZMACNIACZ I REGULATOR ELEKTRONICZNY

Cel zadania: Poznanie podstawowych właściwości i zastosowań niektórych elektronicznych elementów automatyki: tranzystora, stabilistora, fotorezystora, przekaźnika elektromagnetycznego, czwórnika RC. Badanie statycznych i dynamicznych właściwości elektronicznego, mikroprocesorowego regulatora impulsowego.

5.1. UKŁAD POMIAROWY

Schemat układu pomiarowego przedstawia rysunek 4.1. W gnieździe pomiarowym G może być umieszczony tranzystor T , stabilistor S lub rezystor R . Podczas doświadczeń z tranzystorem, jego obwód kolektor-emiter jest zasilany z sieci elektrycznej przez transformator TR , mostkowy prostownik pełnookresowy M i filtr wygładzający RC . Wartość napięcia U_{CE} może być nastawiana dzielnikiem (wielobrotowym potencjometrem) P_2 i mierzona woltmierzem. Woltmierz U_{CE} posiada trzy zakresy pomiarowe z mnożnikami wskazań $\times 0,1$, $\times 1$ i $\times 3$ V, przełączane wtyczką. Wartość natężenia prądu I_{CE} w obwodzie kolektora jest mierzona miliamperomierzem.



Rys. 5.1. Schemat układu pomiarowego wzmacniacza i regulatora elektronicznego

Obwód baza-emiter tranzystora jest zasilany z ogniwa O przez nastawiany dzielnik (potencjometr) P_1 i miernik natężenia prądu I_{BE} . W opisanym układzie pomiarowym można określać wzajemne relacje między napięciem U_{CE} , prądem I_{CE} oraz prądem I_{BE} , czyli badać charakterystykę statyczną (właściwości wzmacniające) tranzystora.

W obwód kolektora tranzystora może być włączone (po rozwarciu gniazd $Z-Z$) uzwojenie przekaźnika elektromagnetycznego PK , sterującego świeceniem lampki L_2 . W obwód bazy może być też włączany (po rozwarciu gniazd $X-X$) dwucewkowy transformatorowy czujnik przesunięcia liniowego CP lub inny czujnik.

W czasie doświadczeń z rezystorem, mierniki U_{CE} i I_{CE} mierzą napięcie oraz natężenie prądu płynącego przez rezystor, umożliwiając sprawdzenie liniowości układu pomiarowego.

Podczas doświadczeń ze stabilistorem, miernik U_{CE} mierzy napięcie wsteczne U_R , a miernik I_{CE} prąd wsteczny I_R stabilistora. W takim układzie pomiarowym można badać właściwość stabilizowania napięcia przez stabilistor.

W układzie pomiarowym znajduje się również inercyjny czwórnik RC , połączony z woltomierzem cyfrowym MC . Łącząc gniazda $+P$ i $-P$ wejścia czwórnik ze źródłem napięcia stałego $+U_z$ i $-U_z$ ładujemy kondensator C do określonego napięcia i następnie po przerwaniu obwodu zasilającego (skokowym wymuszeniu spadku napięcia ładującego kondensator do zera) możemy badać w funkcji czasu charakterystykę dynamiczną rozładowywania kondensatora przez rezystancję R .

Osobnym elementem układu pomiarowego jest elektroniczny, mikroprocesorowy, impulsowy regulator temperatury RE z rezystancyjnym, platynowym (Pt-100) czujnikiem temperatury TP , umieszczonym wraz z cieczowym termometrem wzorcowym TC w termosie TM wypełnionym olejem o stałej temperaturze (y). Zmieniając zadany poziom temperatury – wartość zadaną regulatora (w), można zmieniać odchylenie regulacji ($e = w - y$) i badać statyczne oraz dynamiczne właściwości regulatora (patrz [1], rozdz. 17.1.1. i 18.1.3).

Wszystkie zewnętrzne obwody elektryczne układu są zasilane obniżonym napięciem (maksimum 24 V), bezpiecznym w przypadku dotknięcia instalacji ręką.

5.2. CHARAKTERYSTYKA STATYCZNA TRANZYSTORA

Umieścić w gnieździe pomiarowym tranzystor T (na specjalnym wtyku, trzy elektrody: kolektor C , baza B , emiter E , emiter oznaczony występem). Jest to tranzystor krzemowy średniej mocy, n-p-n, typu BC-211, z aluminiowym radiatorem odprowadzającym nadmiar ciepła.

Zamknąć obwód baza-emiter tranzystora przez zwarcie gniazd $X-X$ oraz wyłączyć z obwodu kolektor-emiter uzwojenie przekąznika PK przez zwarcie gniazd $Z-Z$. Pokręćła obu potencjometrów P_1 i P_2 przekręcić w lewo do oporu i włączyć wyłącznikiem W_1 zasilanie całego układu pomiarowego. Powinna zaświecić się lampka sygnalizacyjna L_1 .

Przygotować następującą tabelę:

Tabela 5.1. Wyniki pomiarów charakterystyki stycznej tranzystora

Kolektor		Napięcie kolektora U_{CE} [V]			
		1	6	12	18
Baza		Prąd kolektora I_{CE} [mA]			
Prąd bazy I_{BE} [μA]	20				
	40				
	60				
	80				
	100				
	120				
	140				

Pokręćłem potencjometru P_2 nastawić wartość napięcia $U_{CE} = 1V$ (zwrócić uwagę na możliwość przełączania zakresów napięć). Potencjometrem P_1 nastawić wartość prądu bazy $I_{BE} = 20 \mu A$. Ze względu na wzajemny wpływ U_{CE} i I_{BE} , ewentualnie skorygować nastawione wartości. Zmieniając pokręćłem potencjometru P_1 prąd bazy od 20 do 140 μA co 20 μA , odczytywać odpowiednie wartości prądu kolektora I_{CE} , wypełniając kolumnę 1 tabeli. **Gdyby wartość I_{CE} przekroczyła 15 mA (zakres pomiarowy miliamperomierza), kolumny tabeli dalej już nie wypełniać.**

Powtórzyć pomiary, zmieniając pokrętelem potencjometru P_1 prąd bazy od 20 do 140 μA co 20 μA i nastawiając kolejno napięcia $U_{CE} = 6, 12$ i 18 V (przełączać zakresy woltomierza). Ze względu na wzajemny wpływ U_{CE} i I_{BE} , ewentualnie korygować nastawione wartości. **Gdyby wartość I_{CE} przekroczyła 15 mA (zakres pomiarowy miliamperomierza), kolumny tabeli dalej już nie wypełniać i przejść do kolejnego napięcia U_{CE} !**

5.3. TRANZYSTOROWY WZMACNIACZ PRZEKAŹNIKOWY

Nastawić $I_{BE} = 0 \mu\text{A}$. Wyjmując przewód z wtyczkami z gniazd Z–Z włączyć w obwód kolektora tranzystora uzwojenie przekaźnika elektromagnetycznego (przewód z wtyczkami dotychczas zwierał uzwojenie przekaźnika i prąd przez nie nie płynął – patrz schemat na rys. 5.1). Woltomierz U_{CE} włączyć na zakres x3 i nastawić napięcie U_{CE} na maksimum czyli ok. 24 V).

Pokrętelem P_1 zmieniać kilkakrotnie, **powoli**, w obu kierunkach wartości prądu bazy I_{BE} tranzystora i zanotować dwie charakterystyczne wartości prądu I_{CE} płynącego przez uzwojenie przekaźnika elektromagnetycznego:

- „prąd zadziałania” I_{zd} – najmniejszy prąd, przy którym przekaźnik zwiera styki (zaświecenie się lampki L_2 przy zwiększaniu prądu I_{CE}),
- „prąd zwalniania” I_{zw} – największy prąd, przy którym przekaźnik zwalnia styki (zgaśnięcie lampki L_2 przy zmniejszaniu prądu I_{CE}).

Różnica $I_{zd} - I_{zw} = I_h$ jest prądem histerezy działania przekaźnika.

5.3.1. FOTOELEKTRYCZNY PRZETWORNIK PRZESUNIĘCIA

Nastawić $I_{BE} = 0 \mu\text{A}$. Do gniazd X–X podłączyć fotorezystor (rezystor wykonany z siarczku kadmu CdS, którego rezystancja jest funkcją natężenia oświetlenia). Pozostawić maksymalną wartość napięcia U_{CE} . Wycelować fotorezystor na jasne okno lub na lampę oświetleniową i tak dobrać wartość prądu I_{BE} , żeby przekaźnik reagował na zasłanianie fotorezystora. Żadnych wartości nie trzeba notować! Otrzymaliśmy prosty układ dwupołożeniowego (dyskretnego) fotoelektrycznego przetwornika przesunięcia liniowego.

5.3.2. KONDUKTOMETRYCZNY PRZETWORNIK POZIOMU CIECZY

Zamiast fotorezystora włączyć w gniazda X–X dwie miedziane blaszki – elektrody. Przy nadal maksymalnym napięciu U_{CE} , nastawiać pokrętkiem coraz większe wartości prądu I_{BE} i zanurzać elektrody w zleweczce z wodą wodociągową (nie destylowaną!). Doprowadzić do reagowania przekaźnika na zanurzanie elektrod w wodzie. Żadnych wartości nie trzeba notować! Otrzymaliśmy prosty układ dwupołożeniowego, dyskretnego, konduktometrycznego przetwornika poziomu cieczy.

5.3.3. TRANSFORMATOROWY PRZETWORNIK PRZESUNIĘCIA

Wartość prądu I_{BE} zmniejszyć do zera. W gniazda X–X włożyć wtyczki Y–Y indukcyjnego, transformatorowego czujnika przesunięcia („+” w stronę bazy tranzystora). Nastawiając pokrętkiem I_{BE} coraz większe wartości prądu, doprowadzić do włączania się przekaźnika w obwodzie kolektora tranzystora, przy wkładaniu i wyjmowaniu żelaznego rdzenia z cewek czujnika. Otrzymaliśmy prosty układ dwupołożeniowego, dyskretnego przetwornika przesunięcia liniowego. Zwrócić uwagę na zależność prądu z czujnika (I_{BE}) od położenia rdzenia w cewkach – maksimum I_{BE} przy symetrycznym położeniu rdzenia, minimum przy wysuniętym rdzeniu. Żadnych wartości nie trzeba notować!

5.4. ELEKTRONICZNA STABILIZACJA PRĄDU I NAPIĘCIA

5.4.1. REZYSTOR W OBWODZIE PRĄDU STAŁEGO

Wartość napięcia z zasilacza zmniejszyć potencjometrem P_2 do zera, zewrzeć gniazda Z–Z i umieścić w gnieździe pomiarowym wtyk z rezystorem. Podwyższając napięcie z zasilacza od 0 do 2 V, notować w tabelce wartości prądu płynącego przez rezystor. Pomiary zakończyć, jeżeli natężenie prądu przekroczy 15 mA. Zgodnie z prawem Ohma, zależność $I = f(U)$ powinna być liniowa.

5.4.2. DZIAŁANIE STABILISTORA

Wartość napięcia z zasilacza zmniejszyć potencjometrem P_2 do zera. Umieścić w gnieździe pomiarowym stabilistor (na specjalnym wtyku, dwie elektrody – anoda A i katoda K, anoda oznaczona występem). Jest to specjalna dioda krzemowa (tzw. dioda Zenera) typu BZP-611, polaryzowana w kierunku zaporowym („+” na katodę). Dioda ta zaczyna przewodzić

prąd elektryczny dopiero po przekroczeniu napięcia stabilizacji U_S , właściwego dla jej typu. Jest więc to element nieliniowy, nie stosujący się do prawa Ohma, stabilizujący wartość napięcia.

Wykonać pomiary prądu wstecznego stabilistora (I_R), podwyższając napięcie wsteczne U_R od zera co 2 V. Jeżeli napięcie U_R przestanie wzrastać mimo obracania pokrętle potencjometru (wejście w zakres stabilizacji), należy kontynuować pomiary, zmieniając wartości prądu I_R od 0 do 10 mA co 2 mA i nadal notując w tabelce wartości I_R oraz U_R .

5.4.3. TRANZYSTOR JAKO STABILIZATOR PRĄDU

Obniżyć pokrętle potencjometru P_2 napięcie z zasilacza do zera. Zewrzeć gniazda X-X (gniazda Z-Z również zwarte). Umieścić w gnieździe pomiarowym tranzystor i nastawić pokrętle P_1 prąd bazy $I_{BE} = 30 \mu\text{A}$. Nie poruszając pokrętle P_1 wykonać pomiary prądu kolektora I_{CE} dla napięć U_{CE} zmienianych od 0 do 18 V co 2 V. Ze względu na wzajemny wpływ U_{CE} i I_{BE} , ewentualnie skorygować nastawione wartości. Powtórzyć pomiary po nastawieniu $I_{BE} = 50 \mu\text{A}$. Tranzystor w badanym układzie jest również elementem nieliniowym, tym razem stabilizującym wartość natężenia prądu.

5.5. WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNE INERCYJNEGO CZWÓRNIKA RC

Wyjąć tranzystor z gniazda pomiarowego, woltomierz napięcia z zasilacza włączyć na zakres x1. Napięcie z zasilacza zmniejszyć do zera. Przewodami z wtyczkami połączyć czwórnik RC (gniazda +P i -P) z zasilaczem (gniazda +U i -U) – plus do plusa, minus do minusa.

Obracając **bardzo wolno** pokrętle nastawiania napięcia z zasilacza (P_2), nastawić na woltomierzu cyfrowym wskazania $2,50 \pm 0,01$ V. Jeżeli napięcie wejściowe czwórnika oznaczymy przez U_x , a napięcie wyjściowe przez U_y , to otrzymaliśmy $U_y = U_x = 2,50$ V.

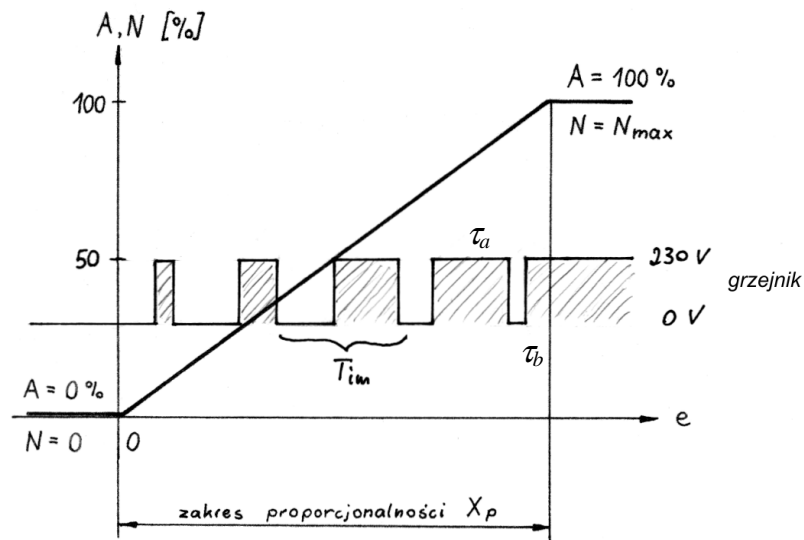
W momencie $\tau = 0$ uruchomić sekundomierz i wyjąć wtyczkę przewodu zasilacza z gniazda +P czwórnika RC. W tej chwili $U_x = 0$, $U_y = 2,50$ V i kondensator C zaczyna rozładowywać się przez rezystancję R od napięcia U_y do zera. Co 10 sekund notować wskazania woltomierza cyfrowego, aż do osiągnięcia $U_y = 0,00$ V.

Powyższe pomiary powtórzyć, po naładowaniu kondensatora do wyższego napięcia $U_y = U_x = 3,50 \pm 0,01$ V.

5.6. WŁAŚCIWOŚCI STATYCZNE I DYNAMICZNE ELEKTRONICZNEGO REGULATORA IMPULSOWEGO

Badany regulator typu AR-614 produkcji firmy APAR jest nowoczesnym, elektronicznym, mikroprocesorowym regulatorem temperatury z rezystancyjnym czujnikiem pomiarowym (rezystor platynowy Pt-100 o rezystancji 100Ω w temp. 0°C) i dwupołożeniowym wyjściem przekaźnikowym do sterowania np. grzejnikiem elektrycznym w regulowanym obiekcie. Regulator ma charakterystykę impulsową (patrz [1], rozdz. 18.1.3), która może być wykorzystywana w sposób bezpośredni (jak w tym przypadku) lub w razie potrzeby może być wynikiem działania algorytmu PID z opcją ręcznego lub samoczynnego doboru nastaw z wykorzystaniem logiki rozmytej (ang. *fuzzy logic*). Regulator może też być wykorzystany jako klasyczny regulator dwupołożeniowy z precyzyjnie nastawianą histerezą.

Charakterystykę statyczną stałowzrostową impulsowego regulatora temperatury pokazano na rys. 5.2.



Rys. 5.2. Charakterystyka statyczna stałowzrostowa impulsowego regulatora temperatury (τ_a – czas włączenia grzejnika, τ_b – czas wyłączenia grzejnika, T_{im} – okres impulsowania, A, N – średnia moc grzejnika)

W regulatorze impulsowym wyjściowa wielkość regulująca u jest równa współczynnikowi wypełnienia impulsów A :

$$u = A = \frac{\tau_a}{\tau_a + \tau_b} \cdot 100 = f(e = w - y) \quad [\%] \quad (5.1)$$

gdzie τ_a – czas włączenia grzejnika
 τ_b – czas wyłączenia grzejnika.

Jednocześnie:

$$\tau_a + \tau_b = T_{im} = \text{const.} \quad (5.2)$$

gdzie T_{im} – okres impulsowania.

W zależności od różnicy między wielkością regulowaną y i wielkością zadaną w (obie te wielkości są wyświetlane w regulatorze), regulator zmienia wartość współczynnika A – proporcję między czasem włączenia i czasem wyłączenia grzejnika, który mógłby podgrzewać ciecz w termosie TM (rys. 5.1). Suma obu czasów – okres impulsowania T_{im} jest stała. Okres impulsowania T_{im} powinien być znacznie krótszy od stałej czasowej obiektu regulacji (T lub T_z), co ograniczy wahania regulowanej temperatury. W naszym regulatorze zaprogramowano jego bardzo małą wartość, wynoszącą 10 s.

Działanie układu impulsowej regulacji temperatury można przeanalizować w oparciu o wykres charakterystyki statycznej regulatora, przedstawiony na rysunku 5.2. W zależności od wartości odchylenia regulacji, regulator cyklicznie włącza i wyłącza zasilanie grzejnika, który mógłby podgrzewać obiekt regulacji. Przy temperaturze w obiekcie równej lub wyższej od zadanej ($e = w - y \leq 0$), czas włączenia grzejnika τ_a będzie równy 0 i wykorzystanie mocy grzejnika będzie wynosiło $N = 0\% N_{\max}$. Jeśli temperatura w obiekcie regulacji będzie spadała w porównaniu z temperaturą zadaną, czas włączenia grzejnika τ_a będzie wzrastał, a czas wyłączenia τ_b malał (przy zachowaniu warunków $\tau_a + \tau_b = T_{im} = \text{const.}$) proporcjonalnie do wartości odchylenia regulacji e , aż do przekroczenia granicy tzw. zakresu proporcjonalności (X_p), kiedy to czas τ_a osiągnie nieskończoność ($\tau_b = 0$) i grzejnik będzie stale włączony ($N = 100\% N_{\max}$).

Analizując wykres $N = f(e)$ na rys. 5.2 można stwierdzić, że mimo nieciągłego, impulsowego charakteru sygnału wyjściowego regulatora, inercyjny układ regulacji temperatury, w którym zostanie on zastosowany, ma w pewnym zakresie wartości e charakterystykę ciągłą, proporcjonalną. Zakres ten, wyrażony w procentach całego zakresu zmian e (lub y), nazywa się tak jak w regulatorach analogowych zakresem proporcjonalności X_p . Poza zakresem proporcjonalności, charakterystyka statyczna regulatora impulsowego odpowiada charakterystyce regulatora dwupołożeniowego (patrz [1], rozdz. 18.1.1).

Przyjrzyć się wyświetlaczowi regulatora mikroprocesorowego RE . Dolny wyświetlacz (zielony) wskazuje nastawianą pokrętelem temperaturę zadaną w , natomiast wyświetlacz górny (czerwony) wskazuje temperaturę regulowaną y . Ponieważ do gniazd wejściowych regulatora nie jest jeszcze podłączony czujnik temperatury, wyświetlacz ten sygnalizuje ten nienormalny stan poziomymi kreskami.

Do gniazd $R-R$ wejścia regulatora włożyć wtyczki czujnika temperatury Pt-100, umieszczonego wraz z cieczowym termometrem wzorcowym w stałej temperaturze y (w termosie wypełnionym olejem). Górny wyświetlacz zacznie wskazywać temperaturę cieczy w termosie. Zwrócić uwagę na występowanie w obwodzie pomiarowym stałej „rezystancji linii” R_L , tworzonej przez rezystancję dwóch przewodów łączących czujnik z przetwornikiem i kompensowanej automatycznie w regulatorze.

Charakterystyką statyczną regulatora jest funkcja: $u = f(w - y) = f(e)$, gdzie e jest odchyleniem regulacji, w jest wartością zadanej temperatury, nastawioną w regulatorze i wskazywaną przez cyfrowy (dolny) jego wskaźnik, a y jest wartością wielkości regulowanej (temperatury oleju w termosie), w naszym przypadku stałą, którą można odczytać z cyfrowego (górnego) wskaźnika regulatora. Wielkość regulująca u jest w przypadku regulatora impulsowego równa współczynnikowi wypełnienia impulsów A (rys. 5.2 i równanie 5.1). W zależności od różnicy między wielkością regulowaną y i wielkością zadaną w , regulator zmienia wartość A – proporcję między czasem włączenia i wyłączenia. W naszym przypadku układ regulacji nie posiada urządzenia wykonawczego (grzejnika), będziemy więc go badać w układzie otwartym, bez zamknięcia pętli sprzężenia zwrotnego.

Zanotować wartość temperatury t_{yc} w obiekcie regulacji, odczytaną z termometru cieczowego z dokładnością 0,5 °C. Odczytać i zanotować wartość temperatury t_y w obiekcie regulacji, wskazywaną w regulatorze (górny wskaźnik).

Teraz, zapamiętując wskazania temperatury $t_y = y$, należy tak zmieniać zadaną temperaturę $w = t_w$ nastawianą pokrętkiem regulatora (po chwilowym jego wciśnięciu) i odczytywaną z dolnego wyświetlacza regulatora, żeby odchylenie regulacji $e = w - y = t_w - t_y$, przy $t_y = \text{const.}$ wynosiło kolejno: $-1,0$, 0 , $+1,0$, $+2,0$, $+3,0$, $+4,0$, $+5,0$, $+6,0$, $+7,0$ i $+8,0$ °C. Po każdej zmianie wartości w należy wcisnąć na chwilę pokrętko w celu jej zapamiętania i odczekać kilka sekund na ustalenie się pracy regulatora. Przy każdej nastawionej wartości e , używając sekundomierza, trzeba określić dwa charakterystyczne odstępy czasu:

τ_a – czas trwania załączenia napięcia na wyjściu regulatora (świeci się lampka „ u ”) oraz

τ_b – czas trwania wyłączenia napięcia na wyjściu regulatora (lampka „ u ” regulatora zgaszona).

Należy zmierzyć (najlepiej z dokładnością $\pm 0,5$ s) po trzy czasy τ_a i τ_b oraz obliczyć ich średnie arytmetyczne. **Jeżeli wartość τ_b przekracza 30 s (tak będzie np. w przypadku $e \leq 0$) przyjąć, że $\tau_a = 0$ ($A = 0\%$) i przejść do następnej wartości e . Jeżeli wartość τ_a przekracza 30 s przyjąć, że $\tau_b = 0$ ($A = 100\%$) – patrz równanie 5.1 i przejść do następnej wartości e .** Wszystkie wyniki pomiarów zebrać w tabelce.

5.7. ZAKOŃCZENIE ZADANIA

W regulatorze impulsowym ustawić pokrętkiem wartość e na zero ($t_w = t_y$). Wyłączyć wyłącznik W_1 . Zewrzeć gniazda $X-X$ oraz $Z-Z$. Odłączyć od gniazd $Q-Q$ przewody czujnika temperatury. Pozostałe przewody, tranzystor, rezystor, stabilistor, fotorezystor, elektrody konduktometryczne włożyć do pudełka.

5.8. OPRACOWANIE WYNIKÓW DOŚWIADCZEŃ

5.8.1. CHARAKTERYSTYKA STATYCZNA TRANZYSTORA

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 5.2, sporządzić na **poziomym** arkuszu papieru o formacie A-4 (najlepiej ręcznie, na papierze milimetrowym), we wspólnym układzie współrzędnych wykres charakterystyki statycznej tranzystora $I_{CE} = f(I_{BE})$ przy wszystkich nastawianych wartościach U_{CE} . Obliczyć wartość współczynnika wzmocnienia β tranzystora w badanym układzie, według wzoru:

$$\beta = \frac{\Delta I_{CE}}{\Delta I_{BE}} \quad (5.3)$$

Obliczenie wykonać dla napięcia $U_{CE} = 18$ V oraz dowolnych dwóch sąsiednich wartości I_{BE} na prostoliniowym, środkowym odcinku wykresu charakterystyki statycznej tranzystora. **Uwaga na różne jednostki I_{CE} oraz I_{BE} !**

5.8.2. ELEKTRONICZNA STABILIZACJA NAPIĘCIA I PRĄDU

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 5.4.1, wykreślić na **poziomym** arkuszu papieru o formacie A-4 (najlepiej ręcznie, na papierze milimetrowym) zależność $I = f(U)$ dla rezystora w obwodzie prądu stałego. Z prawa Ohma ($U = I \cdot R$) obliczyć wartości rezystancji R

rezystora dla wszystkich badanych napięć i prądów oraz dopisać je do tabelki (pomiąć punkt 0 V, 0 mA). Obliczyć średnią arytmetyczną R_{sr} wyznaczonych rezystancji. Zbadaliśmy liniowość układu pomiarowego i tzw. metodą techniczną (wykorzystującą prawo Ohma) określiliśmy wartość rezystancji R_{sr} .

W tym samym układzie współrzędnych (na tym samym rysunku) wykreślić zależność $I_R = f(U_R)$ dla stabilizatora (punkt 5.4.2). Znaleźć charakterystyczne dla danego stabilizatora napięcie stabilizacji U_S , w punkcie przecięcia się stycznej do **najbardziej stromego** odcinka charakterystyki z osią odciętych. Z prawa Ohma obliczyć wartości rezystancji stabilizatora dla wszystkich badanych napięć i prądów oraz dopisać je do tabelki (pomiąć punkt 0 V, 0 mA).

Również w tym samym układzie współrzędnych (na tym samym rysunku) wykreślić zależność $I_{CE} = f(U_{CE})$ dla obu nastawianych wartości prądu I_{BE} tranzystorowego stabilizatora prądu (punkt 5.4.3). Znaleźć wartości stabilizowanego prądu I_S w punktach przecięcia się stycznych do **najbardziej płaskich** odcinków charakterystyk z osią rzędnych. Płaski odcinek charakterystyki znajduje się w obszarze nasycenia kolektora tranzystora i jest najdłuższy przy niewielkich prądach bazy. W tych warunkach tranzystor pracuje jako tzw. źródło prądowe. Zmieniając wartość prądu bazy można zmieniać wartość stabilizowanego prądu I_S . Z prawa Ohma obliczyć wartości rezystancji obwodu CE tranzystora dla wszystkich badanych napięć i prądów oraz dopisać je do tabelki (pomiąć punkty 0 V, 0 mA).

5.8.3. WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNE INERCYJNEGO CZWÓRNIKA RC

Na **poziomym** arkuszu papieru o formacie A-4 (najlepiej ręcznie, na papierze milimetrym), na wspólnym rysunku, wykreślić charakterystyki dynamiczne skokowe $U_y = f(\tau)$ czwórnika RC dla obu badanych napięć początkowych U_x (punkt 5.5). Wyznaczyć doświadczalne stałe czasowe T czwórnika dwiema metodami (według [1], rozdz. 16.2.3 i dodatkowej instrukcji teoretycznej do laboratorium nr 3):

- graficznie,
- z wartości charakterystyki skokowej w punkcie $\tau = T$

Obliczyć teoretyczną wartość stałej czasowej T_t czwórnika RC z wzoru:

$$T_t \text{ [s]} = R \text{ [\Omega]} \cdot C \text{ [F]} \quad (5.4)$$

zakładając, że $R = 11 \text{ M}\Omega$ i $C = 4,7 \text{ }\mu\text{F}$.

Obliczyć częstotliwość graniczną czwórnika f_{gr} , powyżej której czwórnik inercyjny RC zaczyna działać jak filtr dolnoprzepustowy (np. filtr wygładzający w zasilaczu sieciowym napięcia stałego). Filtr taki zmniejsza amplitudę napięcia o częstotliwościach większych od f_{gr} :

$$f_{gr} = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot T_i} \quad [\text{Hz}] \quad (5.5)$$

5.8.4. WŁAŚCIWOŚCI STATYCZNE I DYNAMICZNE ELEKTRONICZNEGO REGULATORA IMPULSOWEGO AR-614

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 5.6, obliczyć współczynnik wypełnienia impulsów A regulatora, dla każdej badanej wartości odchylenia regulacji e (równanie 5.6). Współczynnik ten przedstawia procentowe wykorzystanie mocy grzejnika w układzie regulacji z impulsowym regulatorem temperatury:

$$A = \frac{\tau_a}{\tau_a + \tau_b} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.6)$$

Należy zauważyć, że w ćwiczeniu badaliśmy układ regulatora bez podłączonego urządzenia wykonawczego (grzejnika), a więc w warunkach statycznych. W praktycznym, dynamicznym układzie regulacji, świecenie lampki regulatora włączało by jednocześnie grzejnik podgrzewający wnętrze termosu, w którym jest umieszczony czujnik temperatury, dążąc do automatycznego utrzymania zadanej temperatury i osiągnięcia odchylenia regulacji $e \approx 0$.

Sporządzić wykres charakterystyki statycznej regulatora $A = f(e)$, (przykład wykresu pokazano na rys. 4.2, w [1], rozdz. 18.1.3, rys. 18.6 i w dodatkowej instrukcji teoretycznej do laboratorium nr 4). Z wykresu wyznaczyć szerokość zakresu proporcjonalności (X_p) regulatora w °C i wyrazić go w procentach zakresu nastawiania wartości zadanej regulatora, który wynosi w naszym przypadku od 0 do +50 °C. Następnie obliczyć wzmocnienie regulatora w zakresie proporcjonalności:

$$K_p = \left| \frac{100}{X_p} \right| \quad (5.7)$$

5.9. SPRAWOZDANIE

Sprawozdanie z wykonania zadania powinno zawierać:

- prosty, nie przerysowany z instrukcji schemat układu tranzystorowego wzmacniacza przekaźnikowego z krótkim opisem,
- tabele z wynikami pomiarów i obliczeń,
- wykres charakterystyki statycznej tranzystora i obliczenie wartości β ,
- wartości I_{zd} , I_{zw} i I_h przekaźnika elektromagnetycznego,
- wykresy charakterystyk napięciowo-prądowych rezystora, stabilizatora i tranzystorowego stabilizatora prądu, z zaznaczeniem wartości U_S i I_S ,
- wykresy charakterystyki skokowej czwórnika RC z wyznaczeniem stałej czasowej czwórnika T dwiema metodami oraz obliczenie T_t (tabelka zbiorcza), obliczenie wartości f_{gr} ,
- wykres charakterystyki statycznej regulatora impulsowego $A = f(e)$ oraz wyznaczenie wartości X_p i obliczenie wzmocnienia K_p regulatora,
- wnioski dotyczące **wszystkich** wykonanych doświadczeń i wyników obliczeń.

5.10. LITERATURA

Podstawowymi źródłami umożliwiającymi poszerzenie materiału zawartego w instrukcji są notatki z wykładów „Pomiary i automatyka” na Wydziale Biotechnologii i Nauk o Żywności, dodatkowe cztery instrukcje teoretyczne do laboratorium oraz książki:

- [1] **Ludwicki M.: Sterowanie procesami w przemyśle spożywczym, PTTŻ, Łódź 2002.**
- [2] Romer E.: Miernictwo przemysłowe, PWN, W-wa 1978.
- [3] Żelazny M.: Podstawy automatyki, PWN, W-wa 1976.

Opracował: dr inż. Marek Ludwicki, Politechnika Łódzka, I-30

<http://snack.p.lodz.pl/ludwicki>
marek.ludwicki@p.lodz.pl

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana, czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie w jakikolwiek sposób, bądź elektroniczny, bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych nośników informacji, bez zgody autora.