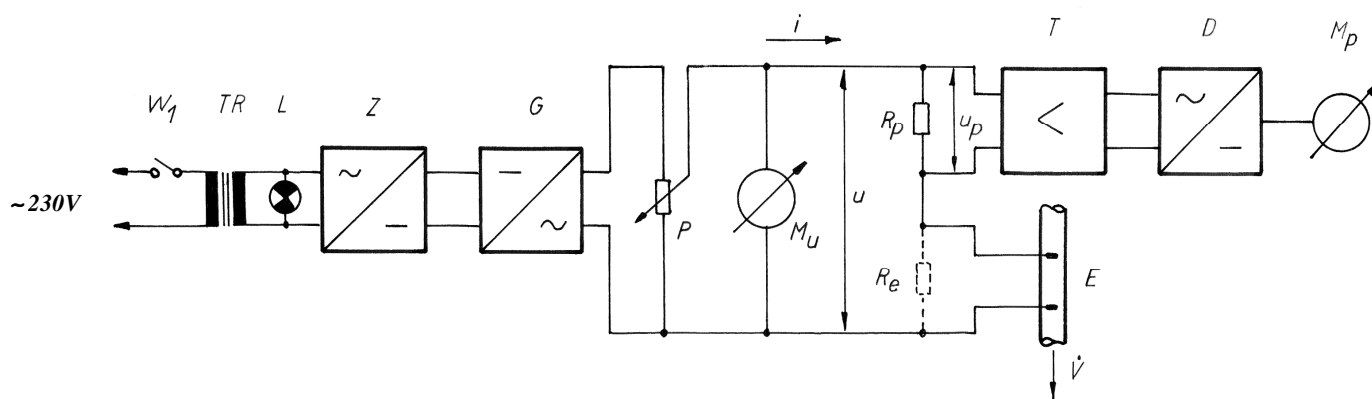


2. KONDUKTOMETR PRZEPLYWOWY JAKO OBIEKT WSPOMAGANEGO KOMPUTEROWO BADANIA STATYCZNYCH I DYNAMICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI CZŁONÓW INERCYJNYCH

Cel zadania: *Poznanie zastosowania przepływowego konduktometru do ciągłego pomiaru stężenia roztworu elektrolitu. Zbiorniki przepływowe jako człony inercyjne pierwszego i drugiego rzędu. Komputerowe wspomaganie identyfikacji statycznych i dynamicznych właściwości obiektu sterowania. Wyznaczanie stałej czasowej członów inercyjnych różnymi metodami.*

2.1. KONSTRUKCJA I DZIAŁANIE PRZYRZĄDU

Schemat elektryczny konduktometru przedstawia rysunek 2.1. Obniżone w transformatorze TR napięcie z sieci elektrycznej jest prostowane i stabilizowane w zasilaczu Z . Generator G przetwarza stałe napięcie z zasilacza na sinusoidalne napięcie przemiennne o częstotliwości ok. 600 Hz i stałej amplitudzie. Zasilanie obwodu konduktometrycznego napięciem przemiennym o podwyższonej częstotliwości jest związane z koniecznością uniknięcia zjawiska polaryzacji elektrod pomiarowych (patrz też [1], rozdz. 12.7.2).



Rys. 2.1. Schemat elektryczny konduktometru

Do nastawiania wartości napięcia u zasilającego układ konduktometru służy dzielnik napięcia (potencjometr) P , a wartość tego napięcia jest mierzona miernikiem M_u . Obwód konduktometryczny zamykają rezystor pomiarowy R_p i rezystancja R_e czujnika konduktometrycznego E – szklanej rurki z wtopionymi dwiema metalowymi elektrodami wykonanymi z platyny.

Wartość natężenia prądu i płynącego w obwodzie konduktometrycznym można określić równaniem:

$$i = \frac{u}{R_p + R_e} = \frac{u}{R_p + \frac{1}{S}} \quad (2.1)$$

gdzie: u – wartość napięcia zasilającego obwód,
 R_p – rezystancja pomiarowa,
 R_e – rezystancja roztworu między elektrodami,
 S – konduktancja roztworu między elektrodami.

Jeżeli $R_p \gg R_e$, to można przyjąć, że:

$$i = \frac{u}{R_e} = u \cdot S \quad (2.2)$$

Zakładając stałą wartość napięcia u zasilającego obwód konduktometryczny, otrzymamy:

$$i = K_1 \cdot S \quad (2.3)$$

Do mierzenia wartości natężenia prądu i służy rezystor pomiarowy R_p , na którym spadek napięcia wynosi zgodnie z prawem Ohma:

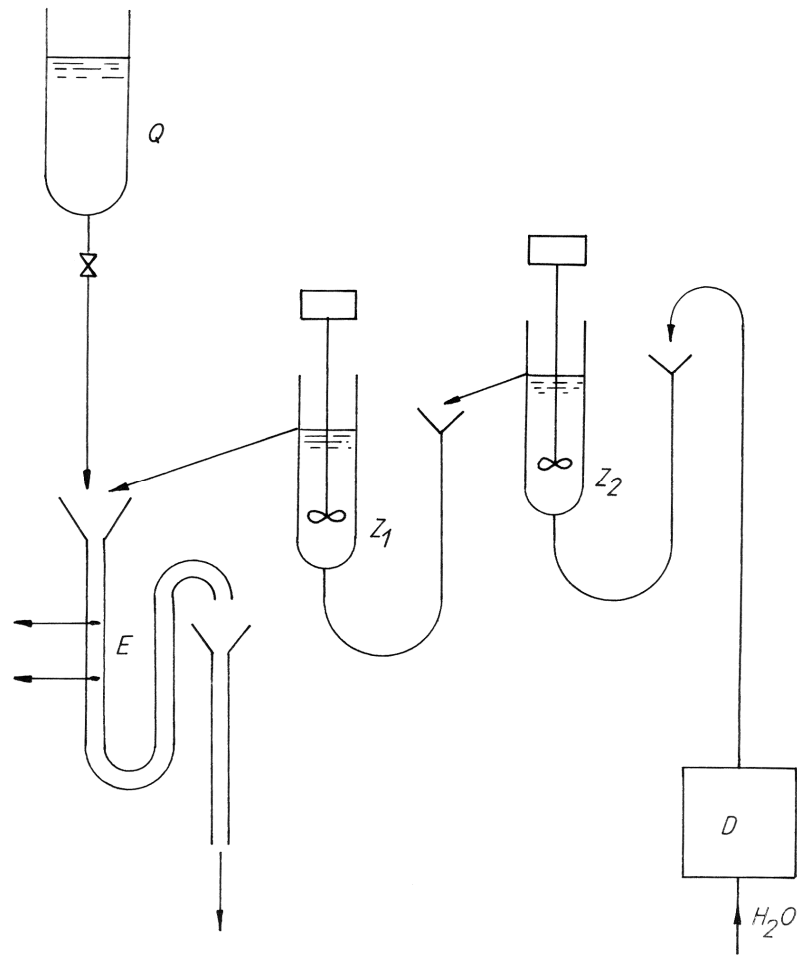
$$u_p = R_p \cdot i = R_p \cdot u \cdot S = K_2 \cdot S \quad (2.4)$$

Wartość napięcia u_p jest więc liniową funkcją konduktancji S roztworu w czujniku konduktometrycznym. Napięcie to jest wzmacniane przez wzmacniacz elektroniczny T , prostowane w detektorze D i wskazywane przez miernik magnetoelektryczny M_p .

Z prawej strony planszy z układem konduktometru znajduje się przedstawiony schematycznie na rysunku 2.2 zestaw zbiorników, służący do badania dynamicznych właściwości członów inercyjnych. Największy zbiornik Q służy do dozowania roztworu bezpośrednio do czujnika konduktometrycznego E lub do któregoś z dwóch jednakowych zbiorników przelewowych Z_1 albo Z_2 . Zbiorniki Z_1 i Z_2 napełnia się od dołu przez lejki dopływowe.

Przelewy w zbiornikach zapewniają stałą objętość zawartego w nich roztworu, a mieszadła z napędem elektrycznym jego dokładne mieszanie. Są to warunki niezbędne do symulowania dynamiki członów inercyjnych

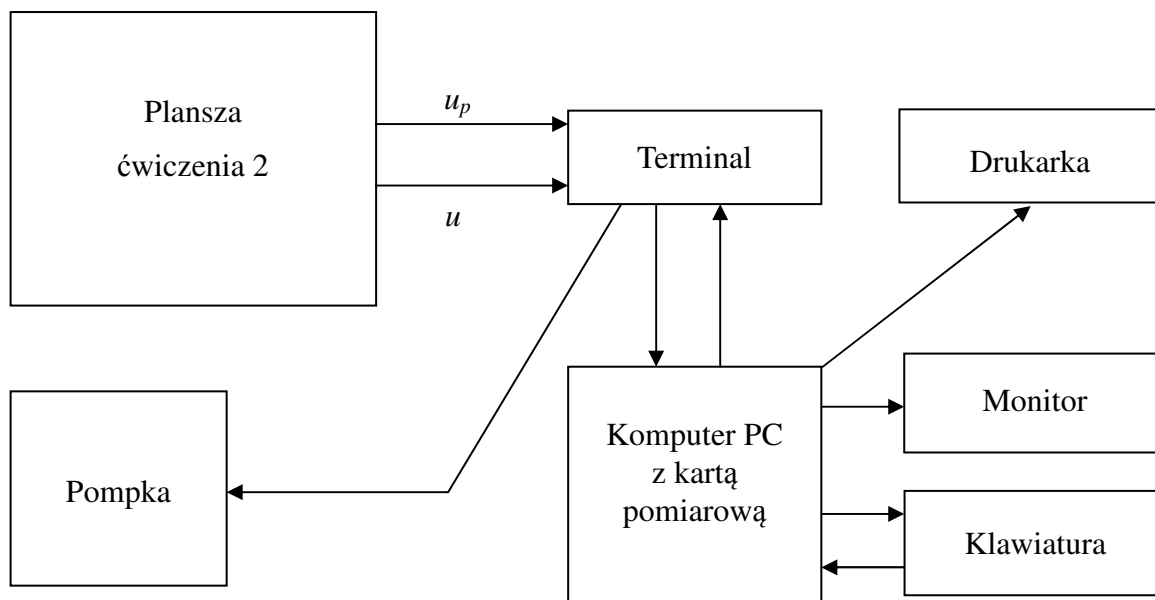
Do dozowania wody rozcieńczającej roztwór znajdujący się w zbiornikach służy tłoczkowa mikropompka dozująca D o stałej wydajności (model 335A firmy Unipan).



Rys. 2.2. Schemat zestawu zbiorników do badania dynamicznych właściwości członów inercyjnych

Zadanie jest wykonywane ze wspomaganie komputerowym. W celu umożliwienia korzystania ze wspomagającego komputera PC, sygnały napięciowe u i u_p z konduktometru są doprowadzono dodatkowo, za pośrednictwem płyty terminalowej, do specjalnej komputerowej karty pomiarowej (Advantech PCL-818 L), umożliwiającej przetwarzanie wejściowych sygnałów analogowych na dyskretne sygnały cyfrowe, obrabiane następnie przez specjalny program wspomagający.

Komputer jest wyposażony w monitor kontrolny wyświetlający niezbędne informacje oraz drukarkę drukującą raporty z wykonania zadania (rys. 2.3). Ma też zainstalowane niezbędne sterowniki karty pomiarowej oraz program do obsługi zadania.



Rys. 2.3. Schemat komputerowego wspomaganie obsługi ćwiczenia

2.2. PRZYGOTOWANIE ROZTWORÓW

1. Przygotować 1 dm^3 podstawowego roztworu siarczanu miedziowego o stężeniu $0,8\%$, rozpuszczając w wodzie destylowanej (w litrowej kolbie miarowej) $12,50 \text{ g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Do odważenia odczynnika użyć cyfrowej wagi laboratoryjnej.
2. Przygotować roztwór CuSO_4 o stężeniu $0,4\%$, odmierzając kolbką miarową do zlewki z zaznaczonym stężeniem, 100 cm^3 roztworu o stężeniu $0,8\%$ i 100 cm^3 wody destylowanej (rozcieńczyć roztwór podstawowy wodą w stosunku $1:1$). Zawartość zlewki wymieszać.
3. Analogicznie przygotować z części roztworu o stężeniu $0,4\%$ roztwór o stężeniu $0,2\%$, a następnie z części roztworu $0,2\%$ roztwór $0,1\%$ i w taki sam sposób roztwór o stężeniu $0,05\%$.

2.3. NASTAWIANIE CZUŁOŚCI KONDUKTOMETRU

Włączyć zasilanie konduktometru wyłącznikiem W_1 (**do końca ćwiczenia nie wolno go wyłączać!**). Powinna świecić się lampka sygnalizacyjna. Poprosić laboranta o uruchomienie układu komputera i programu wspomagającego. **Uważnie czytać wszystkie informacje i polecenia wyświetlane na ekranie monitora!**

Przewód wypływowy z pojemnika roztworu Q umieścić w lejeczku umieszczonym tuż nad dopływem do czujnika konduktometrycznego (rys. 2.2). Pod wylot czujnika podstawić dużą zlewkę. Do pojemnika Q wlać około 100 cm^3 podstawowego roztworu CuSO_4 o stężeniu $0,8\%$ i uruchomić kurkiem wypływ roztworu.

Po przepuszczeniu przez czujnik konduktometryczny całej porcji roztworu, należy tak ustawić pokrętko potencjometru P , żeby osiągnąć górny zakres ($25 \pm 1\text{mV}$) wskazań miernika M_p (wynik pomiaru i sygnalizacja prawidłowej wartości u są też widoczne na ekranie monitora komputera). W ten sposób uzyskuje się maksymalne nachylenie charakterystyki statycznej konduktometru i tym samym maksymalną czułość pomiaru. **Do końca pomiarów nie wolno już poruszać pokrętki potencjometru nastawiania napięcia u !**

2.4. KALIBROWANIE KONDUKTOMETRU

Kalibrowanie, czyli określenie przebiegu charakterystyki statycznej konduktometru, polega na zbadaniu, jakie wartości napięcia u_p odpowiadają znanym stężeniom c roztworu w czujniku konduktometrycznym, przy ustalonym napięciu u zasilającym konduktometr. W punkcie 2.3 określiliśmy wartość napięcia u_p dla roztworu CuSO_4 o stężeniu $0,8\%$. Zanotować w tabelce wskazywane przez wskaźniki cyfrowe na ekranie monitora wartości napięć u i u_p . Po przejściu do planszy „Kalibrowanie konduktometru” należy klikając odpowiedni przycisk na ekranie monitora **zarejestrować w programie** wartości napięć u i u_p dla tego stężenia c .

Teraz do pojemnika Q należy wlać około 100 cm^3 roztworu CuSO_4 o stężeniu $c = 0,4\%$, uruchomić jego przepływ przez czujnik konduktometryczny i **po przepłynięciu całej porcji** odczytać oraz zanotować w tabelce wskazywane przez wskaźniki cyfrowe na ekranie monitora wartości napięć u i u_p odpowiadające badanemu stężeniu (napięcie u nie powinno ulec znaczącej zmianie). Kliknąć odpowiedni przycisk na ekranie monitora żeby **zarejestrować w programie** wyświetlone wartości u i u_p .

W taki sam sposób należy określić, zanotować i zarejestrować w systemie wartości napięć u i u_p odpowiadające stężeniom CuSO_4 $c = 0,2$, $0,1$ i $0,05\%$. **Po każdej zmianie stężenia pamiętać o kliknięciu odpowiedniego przycisku na ekranie monitora!**

Kalibrowanie należy zakończyć przepuszczeniem przez czujnik konduktometryczny wody destylowanej używanej do sporządzania roztworów (stężenie CuSO_4 $c = 0\%$). Wartość napięcia u_p nie musi być w tym przypadku równa zero, ze względu na obecność nawet w wodzie destylowanej śladowych ilości związków jonowych. Zanotować oraz zarejestrować w systemie i te wartości napięć u i u_p .

Na ekranie monitora można zobaczyć tabelkę z wynikami pomiarów, a po kliknięciu odpowiedniego przycisku wykres prostej regresji kalibrowania (obliczony metodą najmniejszych kwadratów), równanie prostej regresji i wartość współczynnika korelacji liniowej r między wartością napięcia wyjściowego u_p konduktometru i stężeniem c roztworu CuSO_4 . Danych z ekranu (z wyjątkiem wcześniej wykonanej tabelki z wartościami c , u i u_p) nie trzeba notować, zostaną one wydrukowane wraz z wykresem w końcowym raporcie z wykonania zadania.

Po kalibrowaniu konduktometr jest przygotowany do ciągłych pomiarów stężenia i można by, korzystając z wykresu lub równania jego charakterystyki statycznej $u_p = f(c)$, wyposażyć woltomierz u_p w podziałkę wyskalowaną w procentach stężenia CuSO_4 . Pomiar byłby dokonywany analogową metodą wychyłową; możliwy byłby też pomiar ciągły, przepływowy.

2.5. BADANIE DYNAMICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI CZŁONÓW INERCYJNYCH

Jeżeli roztwór CuSO_4 nie dopływa do czujnika konduktometrycznego bezpośrednio lecz przez zbiorniki pośrednie, to zmiana jego stężenia na dopływie do zbiorników nie spowoduje ustalenia się wskazań konduktometru natychmiast lecz po pewnym czasie, zależnym od pojemności zbiorników pośrednich oraz od natężenia przepływu roztworu. Zbiorniki stanowią więc obiekt (człon) o pewnej bezwładności – inercji. Przepuszczając roztwór przez jeden zbiornik pośredni, otrzymamy obiekt inercyjny I rzędu (jednopojemnościowy). Jeżeli roztwór będzie dopływał do czujnika konduktometrycznego szeregowo przez dwa zbiorniki, otrzymamy obiekt inercyjny II rzędu (dwupojemnościowy). Warunkiem uzyskania prawidłowych charakterystyk obiektów inercyjnych jest dokładne mieszanie cieczy w zbiornikach (patrz też [1], rozdz. 16.3.2).

Właściwości obiektów (członów) inercyjnych będziemy określać, dokonując na ich wejściu wymuszeń skokowych (nagłych zmian stężenia dopływającego roztworu) i analizując przebieg odpowiedzi na wyjściu – zmian stężenia c roztworu wypływającego w funkcji czasu τ .

2.5.1. ODPOWIEŹ NA WYMUSZENIE SKOKOWE CZŁONU INERCYJNEGO I RZĘDU

Zamknąć kurek wypływowy pojemnika Q i wlać do niego około 200 cm^3 roztworu CuSO_4 o stężeniu $0,8\%$. Przewód wypływowy z pojemnika umieścić w lejeczku na dopływie do pustego lewego zbiornika przelewowego Z_1 (rys. 2.2). Przepuszczać roztwór szeregowo przez zbiornik Z_1 i czujnik konduktometryczny; wskazania miernika M_p powinny ustalić się na poziomie zbliżonym do maksymalnego.

Przewód ssący mikropompki dozującej (D na rys. 2.2) zanurzyć w zlewce z dużym (ok. 1 dm^3) zapasem wody destylowanej. Wydajność pompki powinna być nastawiona na $40 \text{ cm}^3/\text{min}$ (praca ciągła, 40 tłoczeń na minutę, pojemność cylindra pompki 1 cm^3 – wartość 10,00 na śrubie mikrometrycznej). Zakończony haczykowato wylot przewodu tłoczącego pompki umieścić w oddzielnej zlewce. Postępować zgodnie wytycznymi wyświetlanymi na ekranie monitora. Wcisnąć na stałe czerwony przycisk „ON” pompki, a następnie przepłukać i odpowietrzyć pompkę, korzystając z odpowiedniego przycisku na ekranie monitora – uruchomić pompkę na ok. 30 sekund. Zatrzymać pompkę, znów korzystając z przycisku na ekranie monitora.

Gdy w pojemniku Q zabraknie roztworu, zamknąć kurek, wyjąć przewód wypływowy pojemnika z lejeczka i haczykowaty wylot przewodu tłoczącego mikropompki umieścić w lejeczku dopływowym zbiornika Z_1 (rys. 2.2). Przygotować tabelkę na wyniki pomiarów.

Uruchomić pomiary przyciskiem „Start” na ekranie monitora. Pompka zostanie uruchomiona automatycznie i automatycznie, co 15 sekund będzie dokonywany pomiar konduktywności roztworu opuszczającego zbiornik przelewowy. Wynik pomiaru zostanie przeliczony na stężenie CuSO_4 w procentach (z wykorzystaniem równania kalibrowania z punktu 2.4) i naniesiony na wykres na ekranie monitora. **Wyniki pomiarów $c = f(\tau)$ należy dodatkowo, na bieżąco notować w tabelce**, odczytując je z ekranu monitora (czas τ w sekundach i stężenie CuSO_4 c w procentach). Komputer sam zakończy serię pomiarów, a po kliknięciu odpowiedniego przycisku wyznaczy metodą graficzną podstawowy parametr dynamiczny członu inercyjnego pierwszego rzędu – stałą czasową T . **Jeżeli wykres stycznej do początkowego przebiegu wykresu jest nieprawidłowy, należy zmienić numer punktu stycznej z pierwszego na nieco dalszy!**

Danych z ekranu, z wyjątkiem tabelki $c = f(\tau)$ nie trzeba notować, zostaną one wydrukowane wraz z wykresem w końcowym raporcie z wykonania zadania.

Po zakończeniu pomiarów opróżnić zbiornik Z_1 do podstawionej zlewki, odhaczając lejeczek na jego dopływie.

2.5.2. ODPOWIEDŹ NA WYMUSZENIE SKOKOWE CZŁONU INERCYJNEGO II RZĘDU

Sprawdzić zamknięcie kurka wypływowego pojemnika Q i wlać do niego około 400 cm^3 roztworu CuSO_4 o stężeniu 0,8% (w razie potrzeby przygotować nową porcję roztworu). Napełnić oba zbiorniki przepływowe Z_1 i Z_2 (muszą być puste) szeregowo roztworem podobnie jak w punkcie 2.5.1, aż do przelania się płynu przez czujnik konduktometryczny; wskazania miernika

M_p powinny ustalić się na poziomie zbliżonym do maksymalnego. Po opróżnieniu pojemnika Q zamknąć kurek i wyjąć przewód wypływowy pojemnika z lejeczka. Uzupełnić zapas wody destylowanej, zasysanej przez pompkę!

Powtórzyć doświadczenie z punktu 2.5.1, wypierając wodą roztwór nie ze zbiornika Z_1 lecz szeregowo ze zbiorników Z_2 i Z_1 . Wylot przewodu tłoczącego pompki należy więc umieścić w lejeczku zasilającym zbiornik Z_2 (rys. 2.2). **Pompki już nie przepłukiwać!**

Postępować zgodnie z wytycznymi wyświetlanymi na ekranie monitora. Pompka znów zostanie uruchomiona automatycznie i automatycznie, co 15 s będzie dokonywany pomiar konduktywności roztworu opuszczającego zbiornik przelewowy. Wynik pomiaru zostanie przeliczony na stężenie CuSO_4 i naniesiony na wykres na ekranie monitora. Również i na tym etapie wykonywania ćwiczenia **wyniki pomiarów należy na bieżąco, ręcznie notować w tabelce**, odczytując je z ekranu monitora (czas τ w sekundach i stężenie CuSO_4 c w procentach).

Komputer znowu sam zakończy doświadczenie, po kliknięciu odpowiedniego przycisku na ekranie wyznaczy punkt przegięcia krzywej i metodą graficzną określi podstawowe parametry dynamiczne członu inercyjnego wyższego rzędu – zastępczą stałą czasową T_z i zastępczy czas opóźnienia τ_{oz} . **Jeżeli wykres stycznej do środkowego przebiegu wykresu w punkcie przegięcia jest nieprawidłowy, należy zmienić numer punktu stycznej na nieco niższy lub wyższy!**

Danych z ekranu, z wyjątkiem tabelki $c = f(\tau)$ nie trzeba notować, zostaną one wydrukowane wraz z wykresem w końcowym raporcie z wykonania zadania.

2.6. ZAKOŃCZENIE ZADANIA

Postępować zgodnie z wytycznymi wyświetlanymi na ekranie monitora. Po wydrukowaniu raportu z wykonania zadania **nie zamykać** programu wspomagającego i **nie wyłączać** komputera.

Wyłączyć zasilanie układu konduktometru wyłącznikiem W_1 . Opróżnić i przepłukać wodą destylowaną wszystkie zbiorniki i czujnik konduktometryczny (zbiorniki pozostawić opróżnione). **Umyć wykorzystywane naczynia!**

2.7. OPRACOWANIE WYNIKÓW DOŚWIADCZEŃ

2.7.1. CHARAKTERYSTYKA STATYCZNA KONDUKTOMETRU

Niezależnie od tego, czy korzystano ze wspomaganie komputerowego czy nie, sporządzić wykres **liniowy** (prostą regresji) zależności wskazań miernika konduktometru u_p od stężenia

roztworu CuSO_4 c dla danego napięcia u (rozd. 2.4). Ponieważ badano duży zakres zmienności stężeń roztworu CuSO_4 , punkty nie muszą leżeć idealnie na prostej. Obliczyć statyczne wzmocnienie konduktometru:

$$K = \frac{\Delta u_p}{\Delta c} \quad \frac{[\text{mV}]}{[\%]} \quad (2.5.)$$

korzystając z maksymalnych zmierzonych przyrostów u_p i c lub z równania prostej regresji.

2.7.2. ODPOWIEDŹ NA WYMUSZENIE SKOKOWE CZŁONU INERCYJNEGO I RZĘDU

Wykorzystując wykres charakterystyki statycznej konduktometru $u_p = f(c)$ oraz tabelę z wynikami badania dynamicznych właściwości obiektu inercyjnego I rzędu $u_p = f(\tau)$ lub tylko tabelę $c = f(\tau)$ w przypadku korzystania z komputera (punkt 2.5.1), sporządzić na **poziomym** arkuszu papieru o formacie A-4 (najlepiej ręcznie, na papierze milimetrowym) wykres zależności $c = f(\tau)$. Wyznaczyć stałą czasową T badanego członu pierwszą metodą – sposobem graficznym ([1], rozdz. 16.2 i dodatkowa instrukcja teoretyczna do laboratorium nr 3).

Następnie obliczyć stałą T metodą drugą – z nachylenia wykresu odpowiedzi na wymuszenie skokowe w danym punkcie ([1], rozdz. 16.2 i dodatkowa instrukcja teoretyczna do laboratorium nr 3) wg wzoru (2.6) zakładając, że poziom asymptoty Y_∞ wykresu wynosi $c_k = 0\%$ CuSO_4 .

$$T = \frac{c_k - c_x}{\left(\frac{dc}{d\tau}\right)_{c=c_x}} \quad (2.6)$$

W tym celu należy wybrać trzy dowolne, sąsiednie trójki wyznaczonych doświadczalnie punktów, w miejscach regularnego i stromego przebiegu wykresu odpowiedzi na wymuszenie skokowe $c = f(\tau)$. Sporządzić trzy tabelki z obliczeniami:

Tabela 2.1. Przykład obliczeń

Czas	[min] [s]	(przykładowo)		
		2'	2'15"	2' 30"
Stężenie w danym momencie c_x	[%]	0,18	0,15	0,13
Szybkość spadku stężenia $dc/d\tau$	[%/min]	(0,13-0,18) : 0,5 = -0,1		
Stała czasowa układu T	[min]	0,15 : 0,1 = 1,5		

Z trzech wyliczonych wartości stałej czasowej T obliczyć średnią arytmetyczną T_{sr} .

W idealnym układzie inercyjnym I rzędu, po upływie czasu T od wymuszenia skokowego obserwuje się zmianę wielkości wyjściowej o 63,2% całego skoku (patrz [1], rozdz. 16.2 i dodatkowa instrukcja teoretyczna do laboratorium nr 3). Sprawdzić i zaznaczyć na wykresie odpowiedzi na wymuszenie skokowe $c = f(\tau)$, po jakim czasie pierwotne stężenie CuSO_4 spadło rzeczywiście o 63,2% – jest to trzecia metoda wyznaczania stałej czasowej członu inercyjnego.

Obliczyć teoretyczną wartość stałej czasowej (metoda czwarta) z wzoru :

$$T = \frac{V_o}{\dot{V}} \quad (2.7)$$

przyjmując pojemność zbiornika $V_o = 150 \text{ cm}^3$ i wartość natężenia przepływu cieczy przez zbiornik $\dot{V} = 40 \text{ cm}^3/\text{min}$.

2.7.3. ODPOWIEDŹ NA WYMUSZENIE SKOKOWE OBIEKTU INERCYJNEGO II RZĘDU

Sporządzić na **poziomym** arkuszu papieru o formacie A-4 (najlepiej ręcznie, na papierze milimetrowym) wykres zależności $c = f(\tau)$ obiektu inercyjnego II rzędu. Wyznaczyć zastępczy czas opóźnienia τ_{oz} i zastępczą stałą czasową T_z metodą graficzną ([1], rozdz. 16.3.2 i dodatkowa instrukcja teoretyczna do laboratorium nr 3).

Obliczyć teoretyczną wartość stałej czasowej członu II rzędu z wzoru :

$$T_z = T^2 \quad (2.8)$$

wstawiając jako T wartość stałej czasowej wyznaczoną dla członu I rzędu z równania 2.7.

2.8. SPRAWOZDANIE

Sprawozdanie z wykonania zadania powinno zawierać:

- prosty, nie przerysowany z instrukcji schemat układu konduktometru z krótkim opisem,
- tabele z wynikami pomiarów,
- wykres charakterystyki statycznej $u_p = f(c)$ konduktometru,
- wyznaczenie statycznego wzmocnienia konduktometru K ,

- wykresy odpowiedzi na wymuszenie skokowe $c = f(\tau)$ dla obu badanych członów – I i II rzędu,
- wyznaczenie stałej czasowej T obiektu inercyjnego I rzędu czterema metodami – graficznie, z nachylenia wykresu odpowiedzi na wymuszenie skokowe w danym punkcie, z wyznaczenia spadku stężenia c o 63,2% i z wzoru.
- wyznaczenie T_z i τ_{oz} obiektu inercyjnego II rzędu sposobem graficznym, obliczenie T_z z wzoru,
- wydruk raportu z wykonania ćwiczenia (jeśli korzystano ze wspomagania komputerowego),
- porównanie wyznaczonych wszystkimi metodami wartości T , τ_{oz} i T_z , w tym także podanych przez komputer (tabelka zbiorcza),
- wnioski dotyczące **wszystkich** wykonanych doświadczeń, wyników obliczeń i wykresów.

2.9. 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.