

# XXXIV OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ



## Zawody III stopnia

### Rozwiązania zadań dla grupy elektryczno-elektronicznej

#### Rozwiązanie zadania 1

##### Ad.1

Cykl programowy jest złożony z kolejnych kroków, w których są wykonywane poszczególne czynności procesu mieszania. Przejście do kolejnego kroku następuje po sprawdzeniu, czy jest spełniony warunek zezwalający na to przejście. Z zasady działania sterownika *PLC* wynika, że w danej chwili tylko jeden krok może być aktywny. Uaktywnienie kolejnego kroku pociąga za sobą wyłączenie aktywności kroku poprzedzającego (skasowanie jego markera).

Schemat algorytmu przedstawiono na rys.1.

##### Ad.2

Aby otrzymać płyn *P3* zmieszany w proporcji płynów

$$P1 : P2 = \frac{\frac{2}{3}}{\frac{1}{3}}$$

należy obniżyć miejsce zamocowania czujnika *s3* tak, aby jego odległości od czujnika *s2* była dwa razy mniejsza niż odległość jaką ustawiono pomiędzy czujnikami *s1* oraz *s0*.

Odpowiedź: *s1* = 100%, *s3* = 50%.

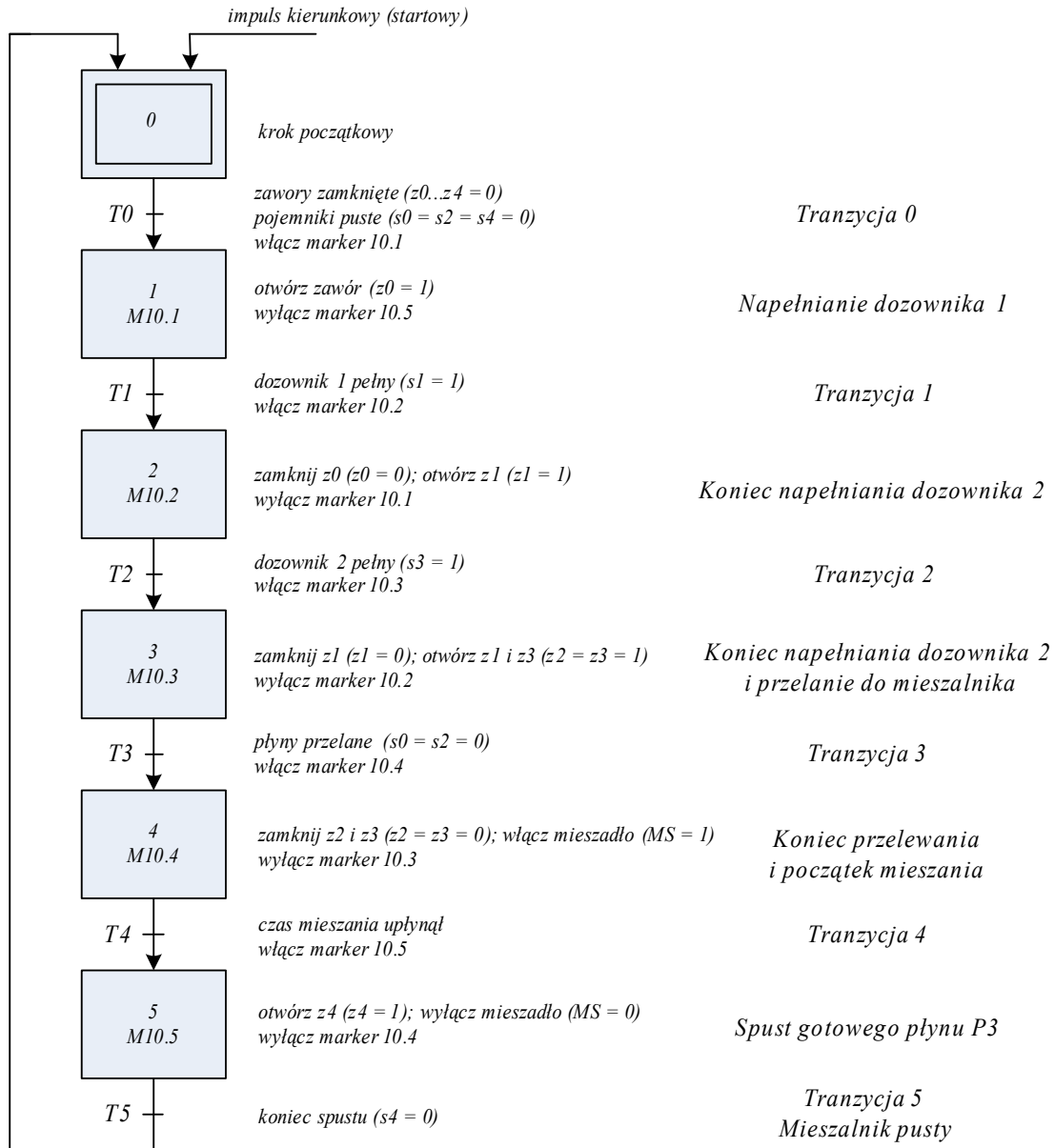
##### Ad.3

Przestawiając czujniki *s1* oraz *s3* należy zmniejszyć ilości płynów przygotowywanych do mieszania tak, aby po przelaniu odmierzonych w dozownikach porcji mieszanina wypełniła

---

Patronem medialnym Olimpiady Wiedzy Technicznej jest „Przegląd Techniczny” oraz „SPEC” – Stołeczne Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej SA

całą objętość mieszalnika.  
 Odpowiedź:  $s1 = 75\%$ ,  $s3 = 25\%$ .



Rys.1. Algorytm sterowania sterownika *PLC* do procesu mieszania płynów.

## Rozwiązanie zadania 2

### Ad.1

Charakterystyki diod są odcinkami liniowe, a zatem także szukana charakterystyka  $I = f(U)$  układu będzie krzywą łamaną.

Charakterystykę diody w zakresie przewodzenia, kiedy  $I_d > 0$  można opisać zależnością:

$$I_d = \frac{U_d - U_{d0}}{r_d},$$

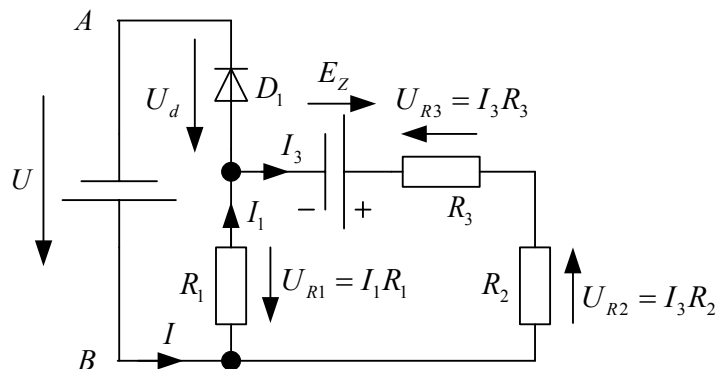
gdzie  $r_d$  – rezystancja dynamiczna diody.

Odczytując z wykresu odpowiednie wartości napięć i prądów rezystancję  $r_d$  można obliczyć z zależności:

$$r_d = \frac{\Delta U_d}{\Delta I_d} = \frac{1,3 - 1}{0,1 - 0} = 3 \Omega.$$

W celu wyznaczenia charakterystycznych punktów poszukiwanego wykresu funkcji  $I = f(U)$  zakłada się, że do zacisków  $A$  i  $B$  układu dołączono regulowane źródło napięcia stałego.

Kiedy do zacisku  $A$  układu jest dołączony biegun ujemny źródła, a do zacisku  $B$  biegun dodatni zastępczy schemat układu będzie miał postać jak na rys.1.



Rys.1. Schemat zastępczy układu dla napięć zasilania  $U > 0$ .

Kiedy dioda  $D_2$  jest w stanie przewodzenia można zapisać następujący układ równań opi-

sujący ten układ:

$$\begin{aligned}U - I_1 R_1 - U_d &= 0 \\E_z - I_3 (R_2 + R_3) - I_1 R_1 &= 0 \\I_1 &= I + I_3 \\I &= I_d\end{aligned}$$

Rozwiązując ten układ otrzymuje się zależność:

$$I = \left[ (U - U_{d0}) \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1} - E_z \right] \frac{R_1}{(R_1 + r_d)(R_2 + R_3) + R_1 r_d}.$$

Warunek  $I_d > 0$  A jest spełniony, gdy:

$$\frac{E_z}{U - U_{d0}} < \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1}.$$

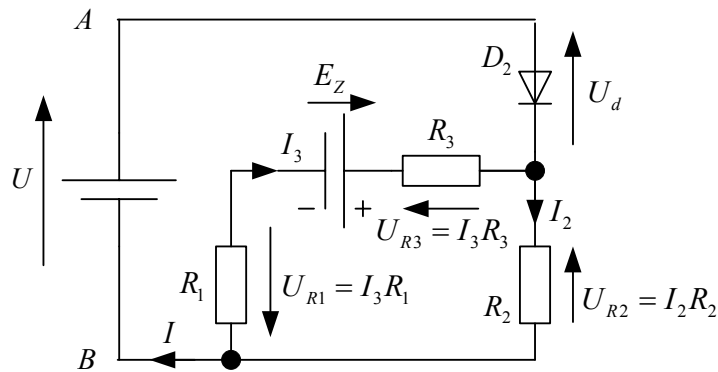
Załamane charakterystyki układu dla  $I_d = 0$  A wystąpi kiedy napięcie źródła zasilania będzie miało wartość:

$$U = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} E_z + U_{d0}.$$

Wstawiając dane zadania otrzymuje się:

1. W punkcie załamania charakterystyki, kiedy jeszcze jest spełniony warunek  $I = 0$  A napięcie na zaciskach  $A$  i  $B$  jest równe  $U = 2,5$  V.
2. W dowolnym punkcie, kiedy dioda  $D_1$  jest w stanie przewodzenia, np. kiedy  $U = 3$  V prąd  $I$  ma natężenie  $I = 44$  mA.

Kiedy do zacisku  $A$  układu jest dołączony biegun dodatni źródła, a do zacisku  $B$  biegun ujemny zastępczy schemat układu będzie miał postać jak na rys.2.



Rys.2. Schemat zastępczy układu dla napięć zasilania  $U < 0$ .

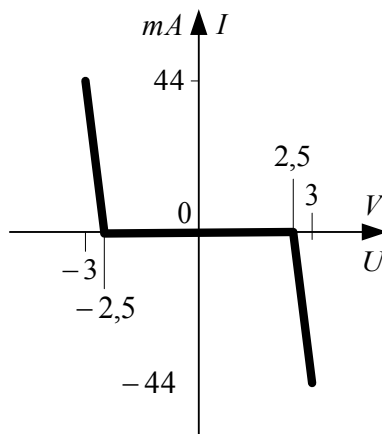
Kiedy dioda  $D_2$  jest w stanie przewodzenia układ równań opisujących obwód ma postać:

$$\begin{aligned} U - I_2 R_2 - U_d &= 0 \\ E_z - I_3 (R_1 + R_3) - I_2 R_2 &= 0 \\ I_2 &= I + I_3 \\ I &= I_d \end{aligned}$$

Rozwiązując ten układ otrzymuje się zależność:

$$I = \left[ (U - U_{d0}) \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2} - E_z \right] \frac{R_2}{(R_2 + r_d)(R_1 + R_3) + R_2 r_d}.$$

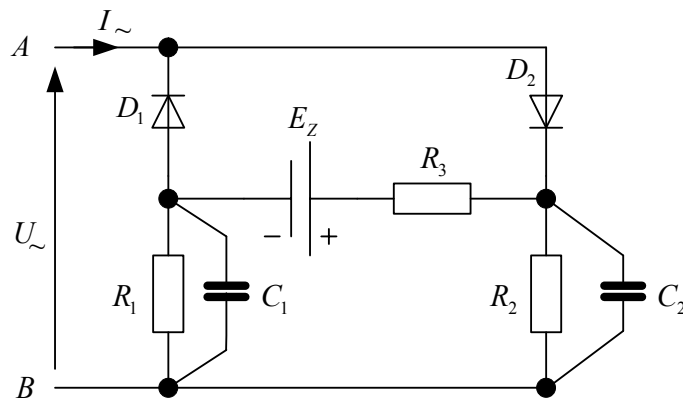
Z warunków zadania wynika, że  $R_1 = R_2$  zatem szukana charakterystyka jest funkcją nieparzystą spełniającą zależność  $I = f(U) = -f(-U)$  i ma postać jak na rys.3.



Rys.3. Charakterystyka  $I = f(U)$  układu.

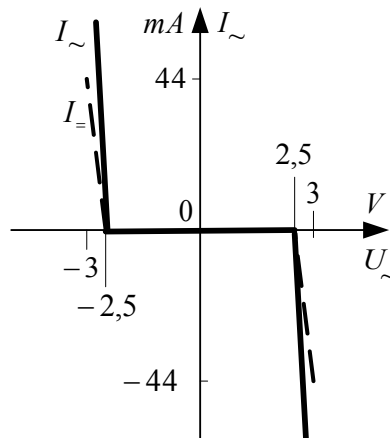
## Ad.2.

Zwiększenie nachylenia charakterystyki  $I_{\sim} f(U_{\sim})$  dla prądu przemiennego można uzyskać przez dołączenie równolegle do rezystorów  $R_1$ ,  $R_2$  kondensatorów o pojemności  $C_1$  i  $C_2$  jak pokazano na rys.4.



Rys.4. Modyfikacja układu dla prądu przemiennego.

Zastępcze impedancje  $Z_1$  i  $Z_2$  obwodów równoległych  $R_1 C_1$  oraz  $R_2 C_2$ , które są połączone szeregowo z odpowiednimi diodami  $D_1$  i  $D_2$  będą mniejsze od wartości rezystorów  $R_1$  i  $R_2$ . Nachylenie charakterystyki w zakresie, kiedy diody przewodzą zwiększy się (rys.5).

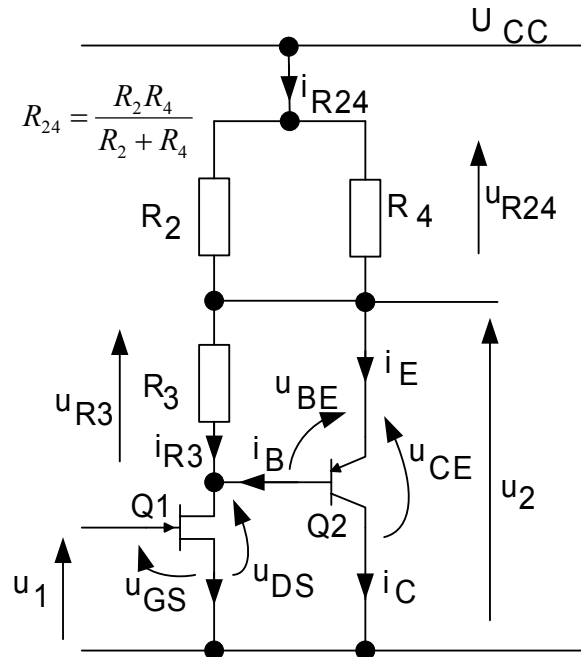


Rys.5. Charakterystyka zmodyfikowanego układu dla prądu przemiennego.

### Rozwiązanie zadania 3

#### Ad.1

Schemat układu wzmacniacza dla składowej przemiennej ma postać jak na rys.3.



Rys.3. Schemat zastępczy wzmacniacza dla składowej przemiennej

Przyjmując rozptyw prądów i rozkład napięć dla tej składowej wzmacniacz można opisać następującym układem równań. (przyjęty sposób oznaczenia prądów i napięć tranzystora bipolarnego Q2 uwzględnia jego polaryzację):

dla tranzystora Q1:

$$i_D = S u_{GS} + \frac{u_{DS}}{r_{DS}},$$

dla tranzystora Q2:

$$u_{BE} = i_B r_{BE}$$

$$i_C = \beta i_B + \frac{u_{CE}}{r_{CE}},$$

dla pozostałej części obwodu:

$$\begin{aligned}
 u_{GS} &= u_1 \\
 u_{CE} &= u_2 \\
 u_{DS} + u_{BE} &= u_2 \\
 u_2 + u_{R24} &= 0 \\
 i_{R24} R_{24} &= u_{R24} \\
 i_{R3} R_3 &= u_{BE} \\
 i_C + i_B &= i_E \\
 i_{R24} &= i_C + i_B + i_{R3} \\
 i_D &= i_{R3} + i_B
 \end{aligned}$$

Rozwiązując ten układ równań wyznacza się wzmacnienie układu:

$$k_u = \frac{-S}{\frac{\left(\frac{1}{R_{24}} + \frac{1}{r_{CE}}\right) \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{r_{BE}} + \frac{1}{r_{DS}}\right)}{\frac{1+\beta}{r_{BE}} + \frac{1}{R_3}} + \frac{1}{r_{DS}}} \approx -S r_{DS} .$$

Podstawiając dane z zadania otrzymuje się  $\left|k_u\right| = 123 \text{ V/V}$ , (41,8 dB). Znak minus oznacza, że w układzie występuje przesunięcie fazowe sygnału wyjściowego względem sygnału wejściowego o kąt  $\pi$ .

Funkcja przebiegu napięcia wyjściowego ma postać:

$$u_2(t) = -1,23 \sin 2\pi \cdot 10^4 t \text{ V}$$

## Ad.2

Wzmacnienie napięciowe układu praktycznie jest wyłącznie zależne od parametrów dynamicznych  $S$  i  $r_{DS}$  tranzystora unipolarnego. Jeżeli wzmacnienie będzie obliczone ze wzoru przybliżonego  $k_u = -S r_{DS}$  to jego wartość będzie równa 125 V/V (41,9 dB) i jest niewiele większa od wartości, jaką otrzymano ze wzoru dokładnego.



## Rozwiązanie problemu technicznego

W celu ułatwienia analizy obu obwodów należy przekształcić schemat równoległy  $R_S, C_S$  impedancji skóry na równoważny schemat szeregowy zgodnie z zależnościami:

$$X'_S = \frac{X_S}{1 + \left(\frac{X_S}{R_S}\right)^2} \quad R'_S = \frac{R_S}{1 + \left(\frac{R_S}{X_S}\right)^2}$$

i policzyć wartości zastępczych rezystancji i reaktancji dla skrajnych częstotliwości analizowanego pasma ( $f_d = 10$  Hz,  $f_g = 100$  kHz).

$$X_S(10) = \frac{1}{2\pi f_d C_S} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 1900 \cdot 10^{-9}} = 8,38 \cdot 10^3 \Omega = 8,38 \text{ k}\Omega,$$

$$X_S(10^5) = \frac{1}{2\pi f_g C_S} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^5 \cdot 1900 \cdot 10^{-9}} = 0,838 \Omega,$$

$$X'_S(10) = \frac{X_S(10)}{1 + \left(\frac{X_S(10)}{R_S}\right)^2} = \frac{8380}{1 + \left(\frac{8380}{105}\right)^2} = 1,32 \Omega,$$

$$X'_S(10^5) = \frac{X_S(10^5)}{1 + \left(\frac{X_S(10^5)}{R_S}\right)^2} = \frac{0,838}{1 + \left(\frac{0,838}{105}\right)^2} = 0,838 \Omega,$$

$$R'_S(10) = \frac{R_S}{1 + \left(\frac{R_S}{X_S(10)}\right)^2} = \frac{105}{1 + \left(\frac{105}{8380}\right)^2} = 105 \Omega,$$

$$R'_S(10^5) = \frac{R_S}{1 + \left(\frac{R_S}{X_S(10^5)}\right)^2} = \frac{105}{1 + \left(\frac{105}{0,838}\right)^2} = 0,0067 \Omega.$$

Jeżeli pominać w analizie pojemność  $C_S$  skóry prąd kontaktowy ma wartość:

$$I_K^*(10) = I_K^*(10^5) = \frac{U_d}{R_S + R_r + R_w} = \frac{18}{105 + 50 + 350} = 0,036 \text{ A} = 36 \text{ mA}.$$

Uwzględniając pojemność  $C_S$  wartość prądu kontaktowego można obliczyć z zależności:

$$I_K = \frac{U_d}{\sqrt{\left(R_S + R_r + R_w\right)^2 + X_S^2}}.$$

Dla skrajnych częstotliwości rozpatrywanego pasma prąd kontaktowy ma wartości:

$$I_K(10) = \frac{18}{\sqrt{(105 + 50 + 350)^2 + 1,32^2}} = 0,036 \text{ A} = 36 \text{ mA},$$

$$I_K(10^5) = \frac{18}{\sqrt{(0,067 + 50 + 350)^2 + 0,838^2}} = 0,045 \text{ A} = 45 \text{ mA}.$$

Analizując uzyskane wyniki należy stwierdzić, że

$$I_K(10^5) \neq I_K^*(10^5), \quad I_K(10^5) > I_{K dop}.$$

Zatem, kiedy człowiek nie jest izolowany od potencjału ziemi (stopy dotykają podłoga) pominięcie w schemacie zastępczym pojemności skóry  $C_S$  w zakresie górnych częstotliwości rozpatrywanego pasma powoduje, że obliczony prąd kontaktowy ma mniejszą wartość niż wartość rzeczywista. Przyjęcie takiego założenia uniemożliwia prawidłową ocenę istniejącego zagrożenia dla zdrowia i życia człowieka, a w analizowanym wypadku wręcz stwarza takie zagrożenie bo rzeczywista wartość skuteczna natężenia prądu kontaktowego jest większy od wartości dopuszczalnej.

W tej sytuacji niewielkie napięcie dotyku o wartości skutecznej 18 V jest już niebezpieczne.

Kiedy buty izolują człowieka od podłoga w schemacie zastępczym (fantomie) występuje dodatkowy kondensator o pojemności  $C_b$ . Reaktancja tego kondensatora dla skrajnych częstotliwości rozpatrywanego pasma jest równa:

$$X_b(10) = \frac{1}{2\pi f_d C_b} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 60 \cdot 10^{-12}} = 265 \text{ M}\Omega,$$

$$X_b(10^5) = \frac{1}{2\pi f_g C_b} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^5 \cdot 60 \cdot 10^{-12}} = 26,5 \text{ k}\Omega .$$

Uwzględniając tę reaktancję w schemacie zastępczym można zauważyć, że wartość prądu kontaktowego niezależnie od częstotliwości jest bardzo mała i zależy praktycznie wyłącznie od wartości reaktancji kondensatora  $C_b$ .

$$I_K(10) \approx \frac{U_d}{X_b(10)} = \frac{18}{265 \cdot 10^6} = 0,68 \cdot 10^{-7} \text{ A} = 0,068 \mu\text{A} ,$$

$$I_K(10^5) \approx \frac{U_d}{X_b(10^5)} = \frac{18}{26,5 \cdot 10^3} = 0,68 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 0,68 \text{ mA} .$$

W tym wypadku napięcie dotyku o wartości skutecznej 18 V jest bezpieczna dla życia ludzkiego.