

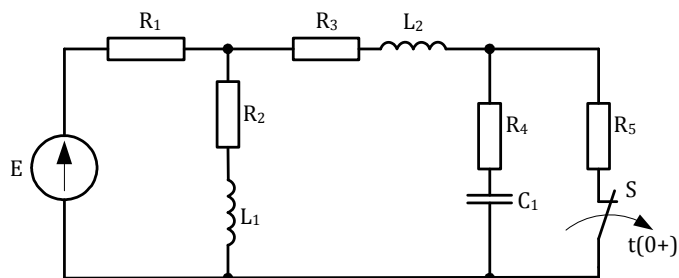
Autor: Piotr Fabijański

Koreferent: Paweł Fabijański

Zadanie 1

Obliczyć napięcie na stykach wyłącznika S zaraz po jego otwarciu, w chwili $t = (0^+)$ i w stanie ustalonym, gdy $t \rightarrow \infty$. Do obliczeń przyjąć następujące dane: $E = 110 \text{ V}$, $R_2 = R_5 = 20 \text{ } \Omega$, $R_1 = R_3 = 10 \text{ } \Omega$, $R_4 = 100 \text{ } \Omega$, $L_1 = L_2 = 500 \text{ mH}$, $C_2 = 500 \text{ } \mu\text{F}$.

Jaką moc ma źródło zasilania przed i po otwarciu styków wyłącznika S?

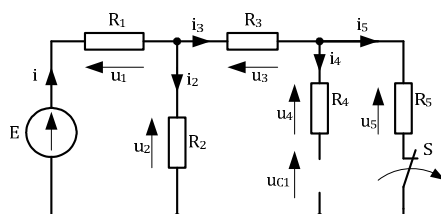


Rys. 1 Schemat układu

Rozwiązanie:

Napięcie na stykach łącnika S po wyłączeniu w chwili $t = (0^+)$ można obliczyć znając rozptyw prądów i rozkład napięć w układzie w stanie ustalonym przed wyłączeniem oraz prawa komutacji, które mówią, że prąd w dławiku oraz napięcie na kondensatorze przed i po zmianie położenia styków łącnika nie ulegają zmianie.

Warunki początkowe w chwili $t = (0^-)$ można wyznaczyć przyjmując, że przed przełączeniem, w stanie ustalonym schemat układu ma postać jak na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat układu dla stanu ustalonego przed przełączeniem

Prąd $i(0^-)$ można obliczyć przyjmując, że wypadkowa rezystancja obciążenia źródła E jest równa:

$$R_W = R_1 + \frac{R_2(R_3 + R_5)}{R_2 + R_3 + R_5} = 10 + \frac{20(10 + 20)}{20 + 10 + 20} = 22 \Omega \quad (1)$$

$$i(0^-) = \frac{E}{R_W} = \frac{110}{22} = 5 A \quad (2)$$

Prądy pozostałych gałęzi:

$$i_2(0^-) = \frac{E - R_1 i}{R_2} = \frac{110 - 10 \cdot 5}{20} = 3 A \quad (3)$$

$$i_3(0^-) = i_5(0^-) = \frac{E - R_1 i}{R_3 + R_5} = \frac{110 - 10 \cdot 5}{10 + 20} = 2 A \quad (4)$$

$$i_4(0^-) = 0 \quad (5)$$

Napięcie na kondensatorze

$$u_{C1}(0^-) = \frac{E - R_1 i}{R_3 + R_5} R_5 = \frac{110 - 10 \cdot 5}{10 + 20} 20 = 40 V \quad (6)$$

Warunki początkowe chwili $t = (0^+)$, tzn. po otwarciu styków wyłącznika S można wyznaczyć korzystając z praw komutacji, a zatem:

$$i_2(0^-) = i_2(0^+) = 3 A \quad (7)$$

$$i_3(0^-) = i_3(0^+) = 2 A \quad (8)$$

$$u_{C1}(0^-) = u_{C1}(0^+) = 60 V \quad (9)$$

Napięcie na stykach wyłącznika tuż po jego otwarciu jest równe napięciu na gałęzi R_4, C_1 :

$$u_S(0^+) = u_{C1}(0^+) + i_3(0^+) R_4 = 40 + 2 \cdot 100 = 240 V \quad (10)$$

W stanie ustalony po czasie $t \rightarrow \infty$ napięcie na stykach jest równe napięciu na kondensatorze

$$u_{Su} = u_2 = \frac{E R_2}{R_1 + R_2} = \frac{110 \cdot 20}{10 + 20} = 73,3 V \quad (10)$$

Moc źródła przed przełączeniem jest równa: $P' = E i(0^-) = 110 \cdot 5 = 550 W$

Moc źródła po przełączeniu jest równa: $P'' = E i_u = E \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{110^2}{10 + 20} = 403,3 W$

Odp. Napięcie na stykach łącnika po otwarciu jest równe 240 V, a w stanie ustalonym 73,3 V.

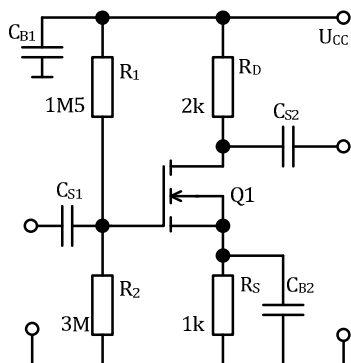
Moc źródła odpowiednio przed i po przełączeniu: $P' = 550 W, P'' = 403,3 W$.

Autor: Władysław Stachura

Koreferent: Paweł Fabijański

Zadanie 2

W układzie jednostopniowego wzmacniacza m.cz. zastosowano tranzystor unipolarny MOSFET, z kanałem wzbogacanym typu N. Schemat ideowy układu i wartości użytych rezystorów przedstawiono na rysunku 1.



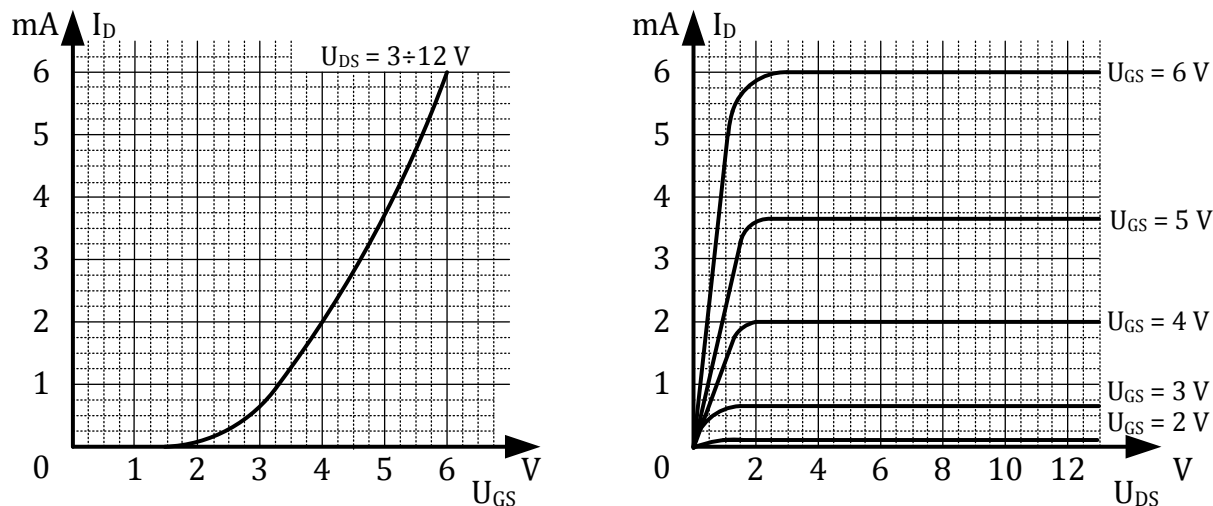
Rys. 1. Schemat ideowy jednostopniowego wzmacniacza m. cz. z tranzystorem polowym

Na rysunku 2 przedstawiono charakterystyki bramkowe $I_D = f(U_{GS})$ przy $U_{DS} = \text{const.}$ oraz charakterystyki wyjściowe $I_D = f(U_{DS})$ przy $U_{GS} = \text{const.}$

Wskazać na charakterystykach wyjściowych tranzystora punkt pracy $Q(U_{DSQ}, I_{DQ})$, jeżeli układ jest zasilany z baterii alkalicznej o napięciu $U_{CC} = 9 \text{ V}$.

Jaka moc wydzieli się w tranzystorze, przy braku sygnału sterującego?

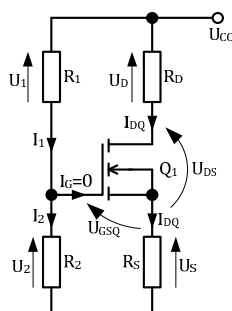
Jaka wartość powinien mieć rezystor R_1 , żeby wzmacniacz pracował dokładnie w klasie A?



Rys. 2. Charakterystyki tranzystora

Rozwiązanie:

Schemat wzmacniacza dla składowej stałej przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat wzmacniacza dla składowej stałej

Dla przyjętych oznaczeń układ można opisać następującymi równaniami:

$$U_{CC} = U_D + U_{DSQ} + U_S \quad (1)$$

$$U_2 = U_{GSQ} + U_S \quad (2)$$

Po wstawieniu spadków napięć

$$U_D = I_{DQ}R_D, \quad U_S = I_{DQ}R_S, \quad U_2 = I_2R_2 \quad (3)$$

Równanie (1) przyjmie postać:

$$U_{CC} = I_{DQ}(R_D + R_S) + U_{DSQ} \quad (4)$$

Ponieważ tranzystor jest elementem nieliniowym równanie (4) można rozwiązać graficznie, wydzielając części liniową obwodu, składającą się ze źródła napięcia U_{CC} oraz rezystorów R_D i R_S , i rysując jej charakterystykę w polu charakterystyk $I_D = f(U_{DS})$ tranzystora. Równanie opisujące tę charakterystykę (prosta obciążenia obwodu drenu), po przekształceniu zależności (4) ma postać:

$$I_D = \frac{U_{CC} - U_{DS}}{R_D + R_S} \quad (5)$$

Dwa charakterystyczne punkty tej prostej mają współrzędne:

$$I_D = 0, \quad U_{DS} = U_{CC} \quad (6)$$

$$I_D = \frac{U_{CC}}{R_D + R_S}, \quad U_{DS} = 0 \quad (7)$$

Po podstawieniu danych jest: $I_D = 0$, $U_{DS} = 9 \text{ V}$ oraz $I_D = \frac{9}{(2+1) \cdot 10^3} = 3 \text{ mA}$, $U_{DS} = 0$

Na rysunku 2 na charakterystyce wyjściowej tranzystora $I_D = f(U_{DS})$ przy $U_{GS} = \text{const.}$ pokazano położenie prostej (5). Punkt pracy tranzystora leży na tej prostej, aby go wskazać należy znaleźć wartość napięcia U_{GSQ} . W tym celu trzeba skorzystać z równania (2), które po uwzględnieniu zależności:

$$I_G = 0, \quad I_1 = I_2, \quad I_2 = \frac{U_{CC}}{R_1 + R_2} \quad (8)$$

ma postać:

$$\frac{U_{CC}R_2}{R_1 + R_2} = U_{GSQ} + I_{DQ}R_S \quad (9)$$

Postępując podobnie jak dla obwodu wyjściowego tranzystora należy znaleźć funkcję $I_D = f(U_{GS})$ opisującą część liniową obwodu bramkowego. Funkcja ta po przekształceniu zależności (9) ma postać:

$$I_D = \frac{U_{CC}R_2}{R_1 + R_2} - \frac{U_{GS}}{R_S} \quad (10)$$

Jej wykresem na charakterystyce bramkowej tranzystora $I_D = f(U_{GS})$ przy $U_{DS} = \text{const.}$ jest linia prosta (prosta obciążenia obwodu bramki), dla której punkty przecięcia osi mają współrzędne:

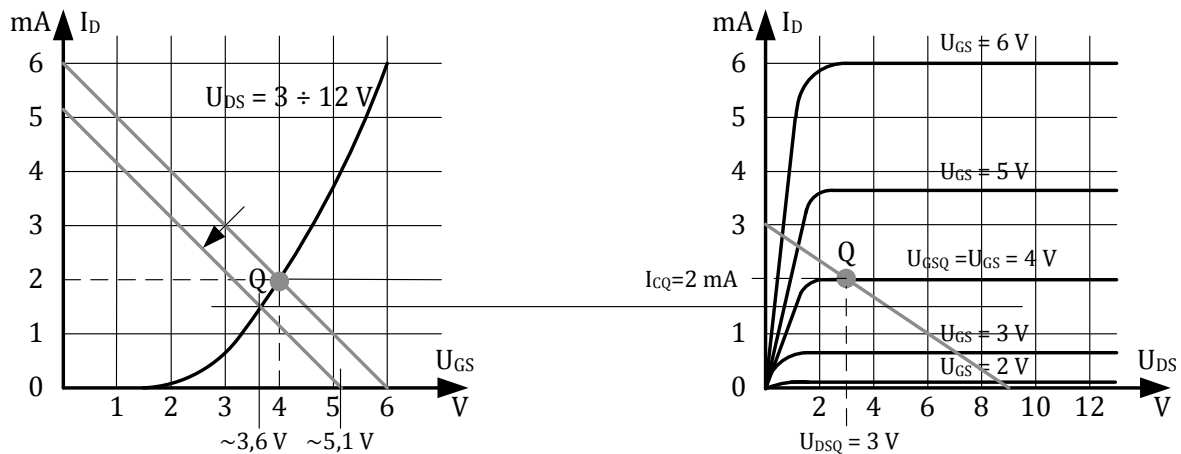
$$I_D = 0, \quad U_{GS} = \frac{U_{CC}R_2}{R_1 + R_2} \quad (11)$$

$$I_D = \frac{U_{CC}R_2}{R_1 + R_2}, \quad U_{GS} = 0 \quad (12)$$

Po podstawieniu danych jest:

$$I_D = 0, \quad U_{GS} = \frac{9 \cdot 3 \cdot 10^6}{(1,5+3) \cdot 10^6} = 6 \text{ V} \text{ oraz } I_D = \frac{9 \cdot 3 \cdot 10^6}{(1,5+3) \cdot 10^6} = 6 \text{ mA}, \quad U_{DS} = 0$$

Punkt przecięcia tej prostej z charakterystyką bramkową tranzystora wyznacza wartość napięcia U_{GSQ} w punkcie pracy. Z rysunku 2 można odczytać: $U_{GSQ} = 4 \text{ V}$, a także współrzędne punktu pracy tranzystora $U_{DSQ} = 3 \text{ V}$, $I_{CQ} = 2 \text{ mA}$.



Rys. 2. Graficzne rozwiązanie zadania

Moc tracona w tranzystorze

$$P_D = I_{DQ}U_{DSQ} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = 6 \text{ mW} \quad (13)$$

Wzmacniacz będzie pracował w klasie A, kiedy punkt pracy tranzystora będzie miał współrzędne:

$$I_{DQ1} = 1,5 \text{ mA}, \quad U_{DSQ1} = \frac{U_{CC}}{2} = 4,5 \text{ V} \quad (14)$$

Oznacz to, że charakterystyka części liniowej obwodu bramki przesunie się równolegle w dół i wyznaczy nowy punkt pracy obwodu przy $U_{GSQ1} = 3,6 \text{ V}$.

Podstawiając dane do zależności (9) można obliczyć nową wartość rezystora R_1 :

$$\frac{U_{CC}R_2}{R_1' + R_2} = U_{GSQ1} + I_{DQ1}R_S = 3,6 + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^3 = 5,1 \text{ V} \quad (14)$$

Przekształcając zależność (14) i wstawiając $R_2 = 3 \text{ M}\Omega$ wartość rezystora R_1 po zmianie jest równa:

$$R_1' = 3 \cdot 10^6 \left(\frac{9}{5,1} - 1 \right) = 2,3 \text{ M}\Omega$$

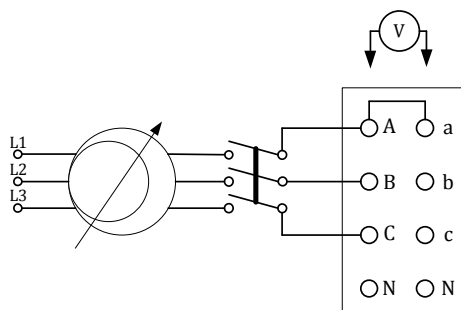
Odp. Współrzędne punktu pracy tranzystora $U_{DSQ} = 3 \text{ V}$, $I_{CQ} = 2 \text{ mA}$, $U_{GSQ} = 4 \text{ V}$, moc start $P_D = 6 \text{ mW}$, rezystor $R_1 = 2,3 \text{ M}\Omega$.

Autor: Grzegorz Kamiński

Koreferent: Paweł Fabijański

Zadanie 3

Do stacji transformatorowej dostarczono dwa transformatory energetyczne TR1, TR2, których uzwojenia są połączone w układzie YyN z przewodem zerowym.



Rys. 1. Widok tabliczki zaciskowej transformatora i układ do pomiaru napięć międzyfazowych

W celu wyznaczenia kąta przesunięcia fazowego (przesunięcia godzinowego) pomiędzy odpowiednimi wektorami napięć fazowych uzwojenia górnego i uzwojenia dolnego zmierzono napięcia międzyfazowe każdego z transformatorów, w układzie pomiarowym przedstawionym na rysunku 1, a wyniki tych pomiarów (w jednostkach V) umieszczono w tabeli 1 oraz tabeli 2.

Tabela 1. Pomiary napięć międzyfazowych TR1

Oznaczenie zacisku	A	B	C	a	b	c
A	0	220	220	0	100	100
B	220	0	220	220	120	191
C	220	220	0	220	191	120
a	0	220	220	0	100	100
b	100	120	191	100	0	100
c	100	191	120	100	100	0

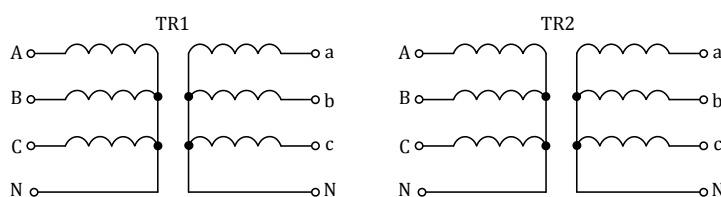
Tabela 2. Pomiary napięć międzyfazowych TR2

Oznaczenie zacisku	A	B	C	a	b	c
A	0	220	220	0	100	100
B	220	0	220	220	320	284
C	220	220	0	220	284	320
a	0	220	220	0	100	100
b	100	320	284	100	0	100
c	100	284	320	100	100	0

Przyjmując skalę np. $2 [V] = 1 [mm]$ narysować wykresy wektorowe (trójkąty) napięć międzyfazowych i odpowiadające im wykresy wektorowe (gwiazdy) napięć fazowych dla transformatora TR1 oraz transformatora TR2.

Określić przesunięcie godzinowe wektorów napięć fazowych na zaciskach B-0 i b-0 w transformatorze TR1 oraz transformatorze TR2 przyjmując, że 1 godzina odpowiada kątowi 30° przesunięcia fazowego. Podać pełne oznaczenie grupy połączeń uzwojeń transformatora TR1 oraz Tr2.

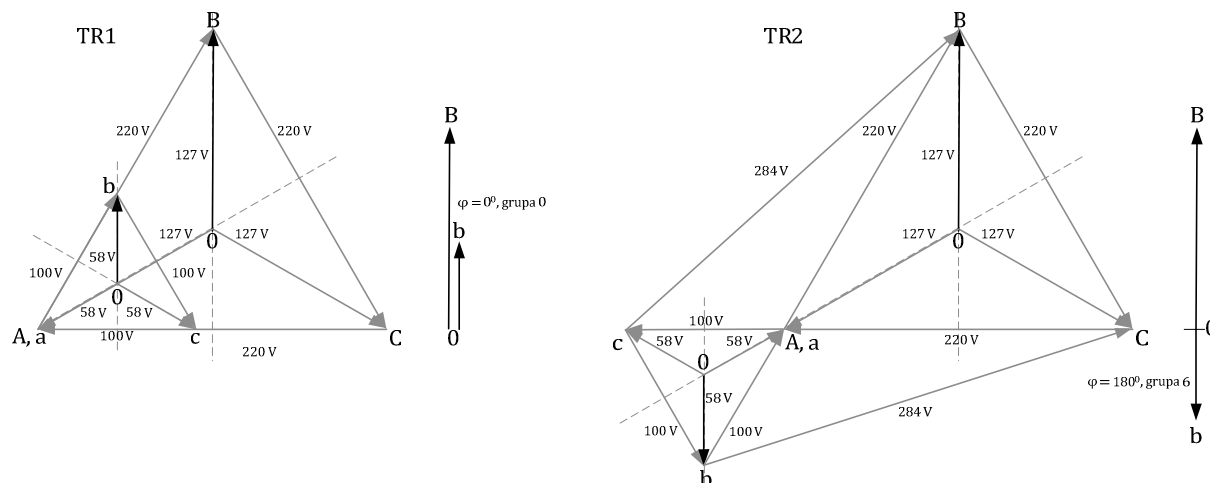
Przerysować rysunek 2 i zaznaczyć gwiazdką (*) początki uzwojeń badanych transformatorów TR1 oraz TR2.



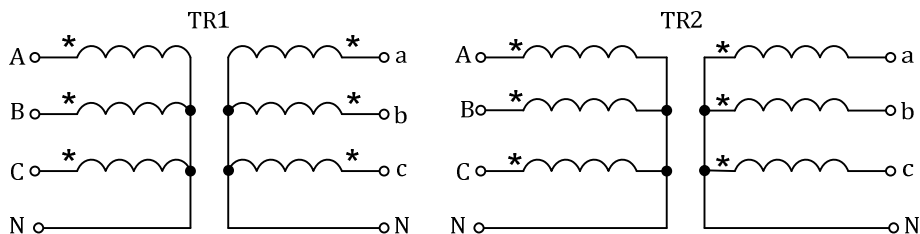
Rys. 2. Schemat połączeń transformatorów TR1 oraz TR2 bez oznaczenia początków uzwojeń

Rozwiązanie:

Przyjmując odpowiednie długości boków trójkątów należy, używając przyrządów kreślarskich (linijki i cyrkla), oddzielnie dla każdego transformatora, w pierwszej kolejności narysować wykresy wektorowe napięć międzyfazowych, a następnie odpowiednie gwiazdy napięć fazowych, tak jak pokazano na rysunku 1. Z rysunku tego należy odczytać kąt przesunięcia fazowego pomiędzy napięciem górnym i dolnym w drugiej fazie dla transformatora TR1 i TR2. Odpowiednio otrzymuje się, dla transformatora TR1 grupę YyN0, dla transformatora TR2 grupę YyN6. Umowne początki uzwojeń transformatorów pokazano na rysunku 2.



Rys. 1. Wykresy wektorowe górnych i dolnych napięć międzyprzewodowych i fazowych a) w transformatorze TR1, b) w transformatorze TR2



Rys. 2. Umowne oznaczenie początków uzwojeń transformatorów

Odp. Grupa połączeń uzwojeń transformatora TR1 – YyN0, transformatora TR2 – YyN6.