



**POLITECHNIKA  
BYDGOSKA**  
Wydział Telekomunikacji,  
Informatyki i Elektrotechniki



Ministerstwo  
Edukacji i Nauki



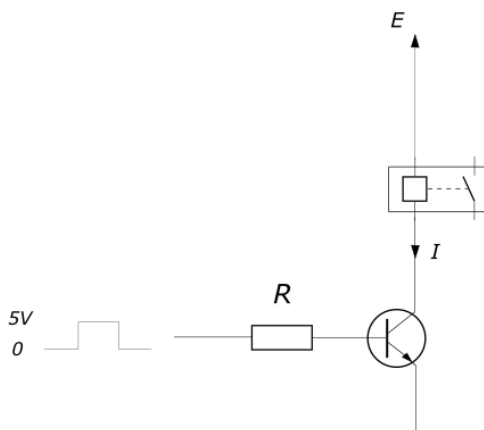
advanced  
protection  
systems

## „ELEKTROMECHATRON” II Ogólnopolska Olimpiada Elektroników i Mechatroników Rok szkolny 2023/2024

### Zadania dla grupy elektronicznej na zawody II stopnia

#### Zadanie 1

Na poniższym schemacie przedstawiono klucz tranzystorowy do sterowania przekaźnikiem. Wartość napięcia zasilającego  $E=15\text{ V}$ , prąd płynący przez cewkę przekaźnika w stanie załączenia  $I=0,2\text{ A}$ , napięcie załączające klucz tranzystorowy ma wartość  $5\text{ V}$ . Oblicz wartość rezystora bazowego  $R$ , zapewniającego wejście tranzystora w głębokie nasycenie (prąd bazy powinien być 10 razy większy niż graniczny prąd bazy powodujący nasycenie tranzystora). Założenia:  $\beta=100$ ,  $U_{BE}=0,6\text{ V}$ ,  $I_C=I_E$ . Pomiń napięcie nasycenia  $U_{CEsat}$ . Dorysuj diodę chroniącą układ przez zjawiskiem samoindukcji wysokiego napięcia w cewce w momencie przerywania prądu.

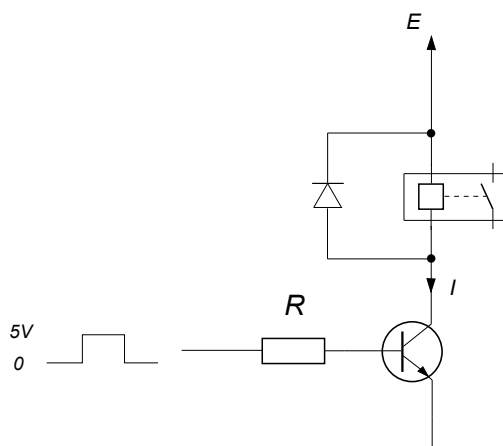


Prąd kolektora wynosi:  $I = 0,2\text{ A}$

Wymagany prąd bazy ma wartość :  $I_B = 10 \frac{I}{\beta} = 10 \frac{0,2\text{ A}}{100} = 20\text{ mA}$

Rezystor obliczamy z prawa Ohma:  $R = \frac{U_R}{I_B} = \frac{5\text{ V} - U_{BE}}{I_B} = \frac{5\text{ V} - 0,6\text{ V}}{20\text{ mA}} = 220\ \Omega$

Schemat z dorysowaną diodą zabezpieczającą:



## Zadanie 2

Zaprojektuj układ logiczny realizujący funkcję dwuwejściowej bramki EX-OR, korzystając z czterech dwuwejściowych bramek NAND. Udowodnij, że układ działa poprawnie, zapisując jaką postać algebraiczną ma funkcja logiczna na wyjściu każdej z wykorzystanych bramek NAND.

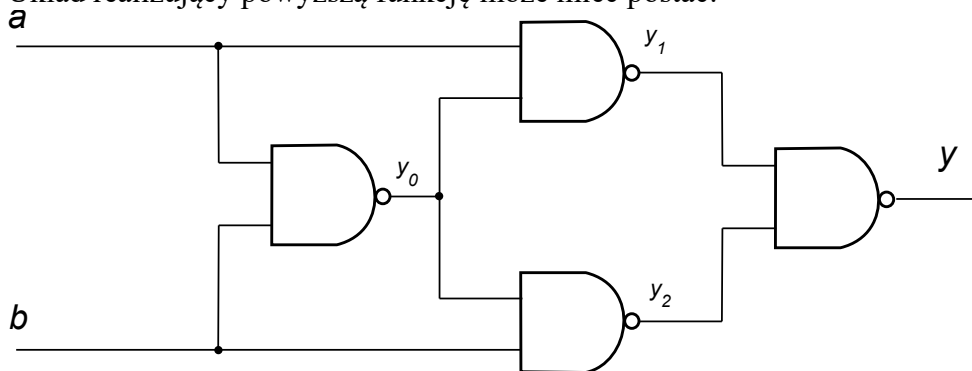
Zapisujemy tablicę prawdy dla dwuwejściowej bramki EX-OR:

a	b	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Na podstawie tablicy możemy stworzyć postać algebraiczną funkcji:

$$y = f(a, b) = \bar{a}b + a\bar{b}$$

Układ realizujący powyższą funkcję może mieć postać:



Funkcje na wyjściach poszczególnych bramek mają postać:

$$y_0 = \bar{a}b$$

$$y_1 = \overline{\bar{a}b} = \overline{\bar{a}} + \overline{b} = a + \bar{b} = (\bar{a} + \bar{b})a = (\bar{a}\bar{a} + \bar{b}a) = (0 + \bar{b}a) = (\bar{b}a) = \bar{b}a$$

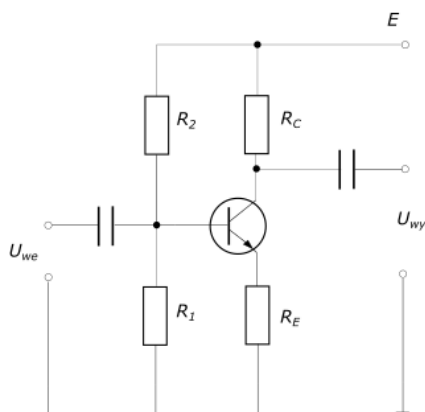
$$y_2 = \overline{\bar{a}b} = \overline{\bar{a}} + \overline{b} = a + \bar{b} = (\bar{a} + \bar{b})b = (\bar{a}b + \bar{b}b) = (\bar{a}b + 0) = (\bar{a}b) = \bar{a}b$$

$$y = (\bar{a} + b)(a + \bar{b}) = \bar{a}a + \bar{a}\bar{b} + ba + b\bar{b} = \bar{a}\bar{b} + ba = \bar{a}\bar{b} + ba = (\bar{a} + \bar{b})ba = (a + b)(\bar{b} + \bar{a}) = \bar{a}b + a\bar{b} + b\bar{a} + \bar{b}a = \bar{a}b + a\bar{b} = \bar{a}b + a\bar{b}$$

## Zadanie 3

Na rysunku przedstawiono układ tranzystora pracującego w układzie wspólnego emitera. Oblicz wartości rezystorów ustalających punkt pracy tranzystora:  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_C$ ,  $R_E$ . Założenia:  $E = 10 \text{ V}$ ,

$k_u = -2 \frac{\text{V}}{\text{V}}$ ,  $I_C = 5 \text{ mA}$ ,  $\beta = 100$ ,  $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$ ,  $I_C = I_E$ . Pomiń napięcie  $U_{CEsat}$ . Układ powinien zapewniać maksymalną dynamikę zmian sygnału wyjściowego (maksymalny zakres zmian). Prąd pobierany z dzielnika napięcia  $R_1$ ,  $R_2$  powinien być 10 razy mniejszy niż jego prąd spoczynkowy. Wartości rezystorów zaokrąglaj do najbliższych wartości z szeregu E24.



W pierwszej kolejności obliczamy rezystory  $R_C$  i  $R_E$ .

Określamy maksymalne i minimalne napięcie kolektora (korzystamy z zależności, że  $k_u = -\frac{R_C}{R_E}$ ):

$$U_{C_{\min}} = E \frac{R_E}{R_E + R_C} = E \frac{1}{1 + \frac{R_C}{R_E}} = 10 \text{ V} \cdot \frac{1}{1 + 2} = \frac{10 \text{ V}}{3} \approx 3,33 \text{ V}$$
$$U_{C_{\max}} = 10 \text{ V}$$

Aby zapewnić maksymalną dynamikę zmian napięcia wyjściowego, spoczynkowe napięcie na kolektorze ustalamy zgodnie z zależnością:

$$U_{CP} = \frac{1}{2}(U_{C_{\min}} + E) = \frac{1}{2}(3,33 \text{ V} + 10 \text{ V}) \approx 6,67 \text{ V}$$

Obliczamy wartość rezystora  $R_C$ :

$$R_C = \frac{U_{R_C}}{I_C} = \frac{E - U_{CP}}{I_C} = \frac{10 \text{ V} - 6,67 \text{ V}}{5 \text{ mA}} \approx 0,66 \text{ k}\Omega$$

Obliczamy wartość rezystora  $R_E$ :

$$R_E = -\frac{R_C}{k_u} = -\frac{0,66 \text{ k}\Omega}{-2} \approx 0,33 \text{ k}\Omega$$

W drugim etapie obliczamy rezystory dzielnika napięcia  $R_1$  i  $R_2$ .

Obliczamy prąd bazy:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{5 \text{ mA}}{100} = 0,05 \text{ mA}$$

Obliczamy napięcie na bazie:

$$U_B = I_C \cdot R_E + 0,6 \text{ V} = 5 \text{ mA} \cdot 0,33 \text{ k}\Omega + 0,6 = 2,25 \text{ V}$$

Obliczamy spoczynkowy prąd dzielnika napięcia:

$$I_D = 10I_B = 0,5 \text{ mA}$$

Na tej podstawie możemy obliczyć wartość sumy rezystorów  $R_1$  i  $R_2$ :

$$R_1 + R_2 = \frac{E}{I_D} = \frac{5 \text{ V}}{0,5 \text{ mA}} = 10 \text{ k}\Omega$$

Następnie obliczamy wartość  $R_1$  i  $R_2$ :

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} E = U_B \Rightarrow$$
$$R_1 = (R_1 + R_2) \frac{U_B}{E} = 10 \text{ k}\Omega \frac{2,25 \text{ V}}{10 \text{ V}} = 2,25 \text{ k}\Omega$$
$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega - 2,25 \text{ k}\Omega = 7,75 \text{ k}\Omega$$

Po zaokrągleniu wartości do występujących w szeregu E24:

$$R_1 = 2,2 \text{ k}\Omega$$

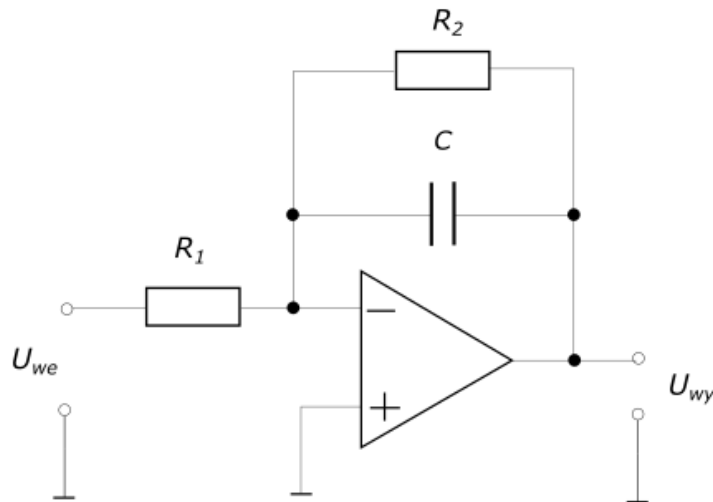
$$R_2 = 7,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = 680 \Omega$$

$$R_E = 330 \Omega$$

#### Zadanie 4

Na rysunku przedstawiono układ z idealnym wzmacniaczem operacyjnym (zakładamy, że zasilany jest napięciem symetrycznym  $\pm 15\text{ V}$ ). Wyznacz zależności określające transmitancję układu, moduł wzmocnienia w funkcji częstotliwości oraz częstotliwość graniczną. Dla elementów o wartościach:  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 2,2\text{ k}\Omega$ ,  $C = 68\text{ nF}$  określ częstotliwość graniczną układu, oraz wzmocnienie dla składowej stałej. Wykreśl (w skali logarytmicznej) charakterystykę amplitudową układu (od 0 do 10 kHz).



Układ ma topologię wzmacniacza odwracającego, a więc jego transmitancja to:

$$k(j\omega) = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{R_2 \parallel jX_C}{R_1} = -\frac{\frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C}}{R_1} = -\frac{1}{\frac{R_1}{R_2} + j\omega R_1 C} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + j\omega R_2 C}$$

Moduł wzmocnienia ma postać:

$$\begin{aligned} |k(j\omega)| &= \left| -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + j\omega R_2 C} \right| = \frac{R_2}{R_1} \left| \frac{1}{1 + j\omega R_2 C} \right| = \frac{R_2}{R_1} \left| \frac{1 - j\omega R_2 C}{(1 + j\omega R_2 C)(1 - j\omega R_2 C)} \right| \\ &= \frac{R_2}{R_1} \left| \frac{1 - j\omega R_2 C}{(1 + \omega^2 R_2^2 C^2)(1 - j\omega R_2 C)} \right| = \frac{R_2}{R_1} \left| \frac{1 - j\omega R_2 C}{1 + \omega^2 R_2^2 C^2} \right| \\ &= \frac{R_2}{R_1} \left| \frac{1}{1 + \omega^2 R_2^2 C^2} - \frac{j\omega R_2 C}{1 + \omega^2 R_2^2 C^2} \right| = \frac{R_2}{R_1} \sqrt{\frac{1}{(1 + \omega^2 R_2^2 C^2)^2} + \frac{(\omega R_2 C)^2}{(1 + \omega^2 R_2^2 C^2)^2}} \\ &= \frac{R_2}{R_1} \sqrt{\frac{1 + \omega^2 R_2^2 C^2}{(1 + \omega^2 R_2^2 C^2)^2}} = \frac{R_2}{R_1} \sqrt{\frac{1}{1 + \omega^2 R_2^2 C^2}} = \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R_2^2 C^2}} \end{aligned}$$

Dla składowej stałej moduł wzmocnienia jest określony jedynie przez stosunek rezystorów (reaktancja kondensatora jest nieskończenie duża) czyli:

$$|k(j\omega)| = \frac{R_2}{R_1}$$

Po podstawieniu wartości:

$$|k(j\omega)| = \frac{R_2}{R_1} = 2,2$$

Dla częstotliwości granicznej moduł wzmocnienia maleje  $\sqrt{2}$  razy względem wartości wzmocnienia dla składowej stałej:

$$\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R_2^2 C^2}} = \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R_2^2 C^2}} = \frac{R_2}{R_1 \sqrt{2}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R_2^2 C^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{1}{1 + \omega^2 R_2^2 C^2} = \frac{1}{2}$$

$$1 + \omega^2 R_2^2 C^2 = 2$$

$$\omega^2 R_2^2 C^2 = 1$$

$$\omega^2 = \frac{1}{R_2^2 C^2}$$

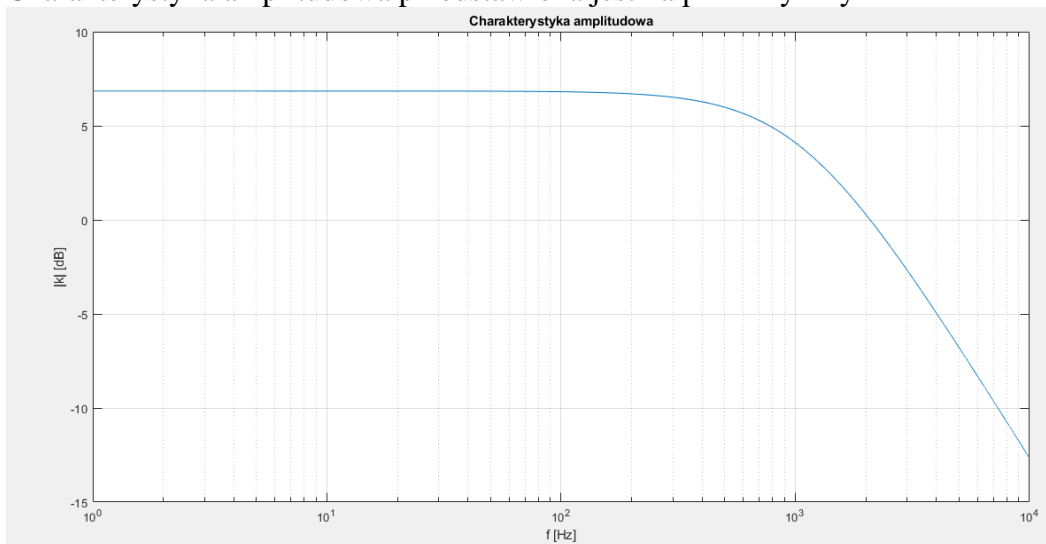
$$\omega = \frac{1}{R_2 C}$$

$$f = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$

Po podstawieniu wartości częstotliwość graniczna ma wartość:

$$f = \frac{1}{2\pi R_2 C} = \frac{1}{2\pi R_2 C} \approx 1,06 \text{ kHz}$$

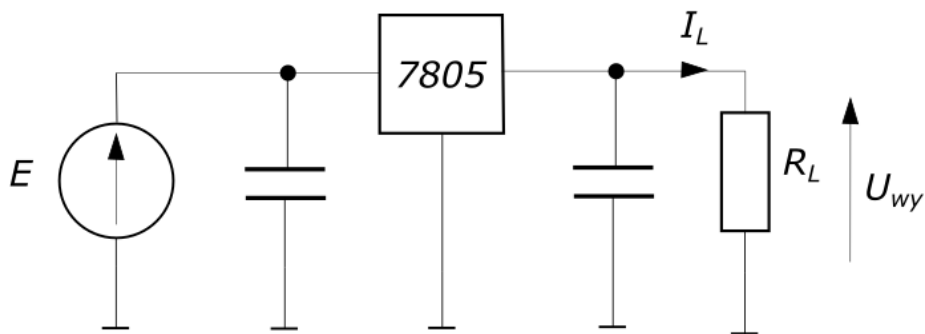
Charakterystyka amplitudowa przedstawiona jest na poniższym rysunku:



### Zadanie 5

Na rysunku przedstawiono układ z regulatorem napięcia typu 7805 w obudowie TO-220 i podłączonym do jego wyjścia obciążeniem w postaci rezystora. Oblicz czy układ scalony wymaga zastosowania radiatora, a jeżeli tak, to jaka jest maksymalna wartość jego rezystancji termicznej  $R_{thSA}$ . Założenia:

$E = 10 \text{ V}$ ,  $U_{wy} = 5 \text{ V}$ ,  $R_L = 6,8 \Omega$ , temperatura otoczenia  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , rezystancje termiczne:  $R_{thJA} = 50 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$ ,  $R_{thJC} = 5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$ ,  $R_{thCS} = 0,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$ , maksymalna temperatura złącza:  $T_{Jmax} = 125^\circ\text{C}$ .



Obliczamy prąd pobierany ze stabilizatora:

$$I_L = \frac{U_{wy}}{R_L} = \frac{5 \text{ V}}{6,8 \Omega} \approx 0,74 \text{ A}$$

Obliczamy napięcie na stabilizatorze:

$$U_S = U_{we} - U_{wy} = 5 \text{ V}$$

Obliczamy moc wydzielaną na stabilizatorze:

$$P = U_S \cdot I_L = 3,7 \text{ W}$$

Obliczamy do jakiej temperatury rozgrzeje się złącze bez stosowania radiatora:

$$T_J = P \cdot R_{thJA} + T_A = 3,7 \text{ W} \cdot 50 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} + 25 \text{ }^\circ\text{C} = 210 \text{ }^\circ\text{C}$$

Obliczona temperatura złącza przekracza temperaturę  $T_{Jmax}$ , zatem stabilizator wymaga radiatora.

Na podstawie zależności:

$$T_{Jmax} = P \cdot (R_{thJC} + R_{thCS} + R_{thSA}) + T_A$$

Wyznaczamy zależność na maksymalną wartość  $R_{thSA}$ :

$$R_{thSA} = \frac{T_{Jmax} - T_A}{P} - (R_{thJC} + R_{thCS}) = \frac{125 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}}{3,7 \text{ W}} - (5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} + 0,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}) = 21,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

## Zadanie 6

Dana jest funkcja logiczna w postaci kanonicznej postaci sumy (KPS):

$$f(a, b, c) = \Sigma(2,3,5,7)$$

Podaj tablicę prawdy tej funkcji, dokonaj jej minimalizacji za pomocą siatki Karnaugh'a, podaj postać algebraiczną funkcji po minimalizacji oraz przedstaw jej realizację za pomocą czterech bramek NAND. Udowodnij, że układ działa zgodnie z założeniami, zapisując jaką postać algebraiczną ma funkcja logiczna na wyjściu każdej z wykorzystanych bramek NAND.

Tworzymy tablicę prawdy:

	a	b	c	y
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	1
3	0	1	1	1
4	1	0	0	0
5	1	0	1	1
6	1	1	0	0
7	1	1	1	1

Tworzymy siatkę Karnaugh'a oraz dokonujemy połączeń pól:

ab\c	0	1
00	0	0
01	1	1
11	0	1
10	0	1

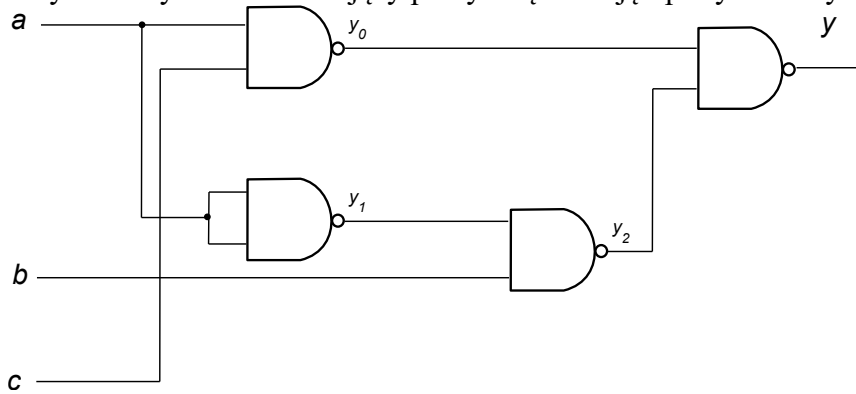
lub równoważnie:

bc\ a	0	1
00	0	0
01	0	1
11	1	1
10	1	0

Na podstawie zapisu tworzymy zminimalizowaną postać algebraiczną:

$$f(a, b, c) = \bar{a}b + ac$$

Przykładowy układ realizujący powyższą funkcję oparty o cztery bramki NAND:



Funkcje na wyjściach poszczególnych bramek mają postać:

$$y_0 = \bar{a}c$$

$$y_1 = \bar{a}$$

$$y_2 = \bar{a}b$$

$$y = \overline{\bar{a}c\bar{a}b} = \bar{\bar{a}c} + \bar{\bar{a}b} = ac + \bar{a}b$$