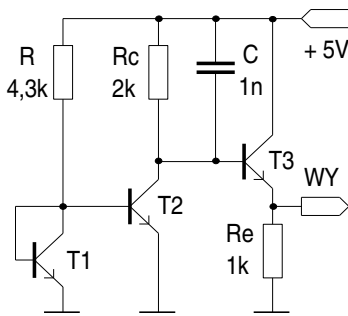


Imię i Nazwisko:

Zadanie 1 (za 6 pkt)



Dla układu jak na rysunku obliczyć napięcie szumów na wyjściu.

Założyć dla wszystkich tranzystorów: $\beta = 100$, $r_{bb'} = 50\Omega$

i nieskończone pasmo częstotliwościowe.

Punkty pracy: $I_{CT1} = I_{CT2} = 1 \text{ mA}$.

Układ R–T1 można potraktować jako generator szumu podłączony do wejścia (baza T2) wzmacniacza

Rezystancja diody T1 (dynamiczna):

$$r_d = r_{eb'} = \frac{kT}{qI} = 26 \Omega \ll 4,3 \text{ k}\Omega$$

Rezystancja generatora:

$$R_g \approx 26 \Omega$$

Szum generatora w postaci prądowej:

$$\frac{i_g^2}{df} = 2qI + \frac{4kT}{R} = 3,2 \cdot 10^{-19} + 3,7 \cdot 10^{-24} \approx 3,2 \cdot 10^{-19} \frac{\text{V}^2}{\text{Hz}}$$

Wniosek: szum cieplny rezystora R do zaniedbania.

Szum generatora w postaci napięciowej:

$$\frac{u_g^2}{df} = \frac{i_g^2}{df} \cdot R_g^2 \approx \frac{i_g^2}{df} \cdot r_{eb'}^2 = 2qI \cdot \frac{kT}{qI} \cdot r_{eb'} = 2kT \cdot r_{eb'}$$

Szum równoległy na wejściu wzmacniacza (szum prądu bazy T2) do zaniedbania bo 100 razy mniejszy od szumu prądowego generatora.

Szum napięciowy na wejściu:

$$\frac{u_{nc}^2}{df} = \frac{u_g^2}{df} + \frac{u_n^2}{df} = 2kTr_{eb'} + 4kTr_s = 4kT \left(0,5 \cdot r_{eb'} + r_{bb'} + \frac{0,5}{g_m} \right) = 4kT (r_{bb'} + r_{eb'}) = 0,1 \cdot 10^{-19} (50 + 26) \frac{\text{V}^2}{\text{Hz}}$$

Wzmocnienie wzmacniacza:

$$k_u = g_m \cdot R_c = 40 \cdot 2 = 80$$

Szum napięciowy na wyjściu:

$$\frac{u_{out}^2}{df} = \frac{u_{nc}^2}{df} \cdot k_u^2 = 7,6 \cdot 10^{-19} \cdot 80^2 \approx 4,9 \cdot 10^{-15} \frac{\text{V}^2}{\text{Hz}}$$

Górna częstotliwość graniczna wzmacniacza:

$$f_g = \frac{1}{2\pi R_c C}$$

Pasmo szumowe:

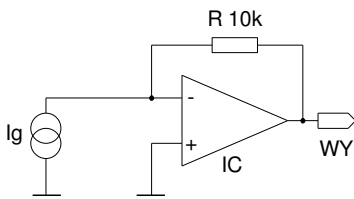
$$\Delta f = \frac{\pi}{2} \cdot f_g = \frac{1}{4R_c C} = \frac{1}{4 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9}} = 125 \text{ kHz}$$

Napięcie szumów na wyjściu:

$$U_n^2 = \frac{u_{out}^2}{df} \cdot \Delta f = 4,9 \cdot 10^{-15} \cdot 0,125 \cdot 10^6 = 6,1 \cdot 10^{-10} \text{ V}^2$$

$$U_n \approx 2,5 \cdot 10^{-5} = 25 \mu\text{V}$$

Zadanie 2 (za 4 pkt)



Wzmacniacz prądowy o schemacie jak na rysunku rejestrujący prąd ze źródła sygnału I_g został zrealizowany z wykorzystaniem scalonego wzmacniacza operacyjnego. Producent podaje następujące parametry szumowe: *input voltage noise* = 10 nV/√Hz, *input current noise* = 1 pA/√Hz. Obliczyć widmową gęstość mocy szumów na wyjściu wzmacniacza.

Należy rozpiąć pętlę sprzężenia zwrotnego łącząc rezystancję R między wejście i masę. Mamy wtedy trzy istotne źródła szumu na wejściu: szum napięciowy (szeregowy) wzmacniacza, szum prądowy (równoległy) wzmacniacza i szum cieplny rezystancji R .

Obliczmy całkowity szum prądowy na wejściu:

$$\frac{i_{nc}^2}{df} = \frac{i_n^2}{df} + \frac{u_n^2}{df \cdot R^2} + \frac{4kT}{R} = 10^{-24} + \frac{100 \cdot 10^{-18}}{10^8} + \frac{0,1 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{10^4} = 10^{-24} + 10^{-24} + 1,6 \cdot 10^{-24} = 3,6 \cdot 10^{-24} \frac{V^2}{Hz}$$

Wzmocnienie wzmacniacza prądowego:

$$k_{ui} = \frac{dU_{wy}}{dI_{we}} = R$$

Widmowa gęstość mocy szumów na wyjściu:

$$\frac{u_{nout}^2}{df} = \frac{i_{nc}^2}{df} k_{ui}^2 = 3,6 \cdot 10^{-24} \cdot 10^8 = 3,6 \cdot 10^{-16} \frac{V^2}{Hz}$$

Wzmacniacz można też potraktować jako wzmacniacz o wzmocnieniu napięciowym $k_u = 1 \text{ V/V}$ i obliczać całkowity szum napięciowy na wejściu