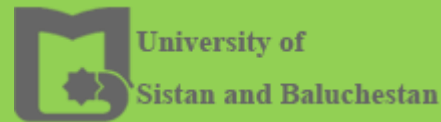
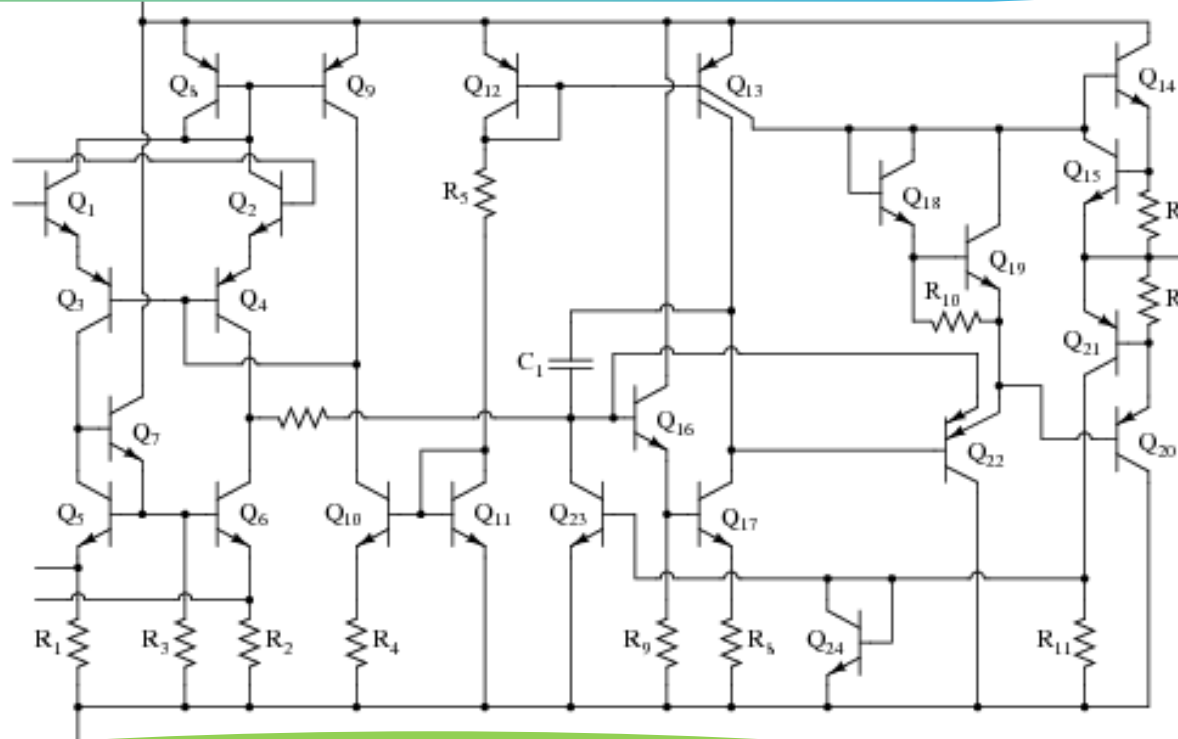


Analog Electronics (Electronics III)

By: M. Shahraki



University of
Sistan and Baluchestan

University of Sistan & Baluchestan
Faculty of Electrical and Computer Engineering
Department of Electrical & Electronics Engineering

Noise

نویز

نویز

هر گونه سیگنال ناخواسته در مدار الکتریکی نویز به شمار می رود

در این درس، نویز مربوط به نوسانات تولید شده توسط خود قطعات بوده و سیگنالهای تولیدی انسانی را شامل نمی شود.

مطالعه نویز از این بابت اهمیت دارد که سطح کمینه سیگنال قابل تقویت (بدون اعوجاج) در مدار را تعیین می نماید.



Noise

نویز

منابع نویز

1- Shot Noise

2- Thermal Noise

White Noises

3- Flicker Noise (1/f Noise)

4- Burst Noise (Popcorn Noise)

5- Avalanche Noise



Noise

نویز

Shot Noise

همواره ناشی از وجود جریان مستقیم در پیوند p-n بوده و وابسته به میزان جریان است.

در دیودها، ترانزیستورهای دوقطبی و ترانزیستورهای MOS وجود دارد.

حرکت هر حامل در طول پیوند، یک حرکت تصادفی است و عبور آن از پیوند وابسته به این است که حامل موردنظر، انرژی و سرعت کافی را دارا باشد.

بنابراین جریان خارجی که ثابت به نظر می آید، در واقع متشکل از تعداد بسیار زیادی از پالس های تصادفی و مستقل است.



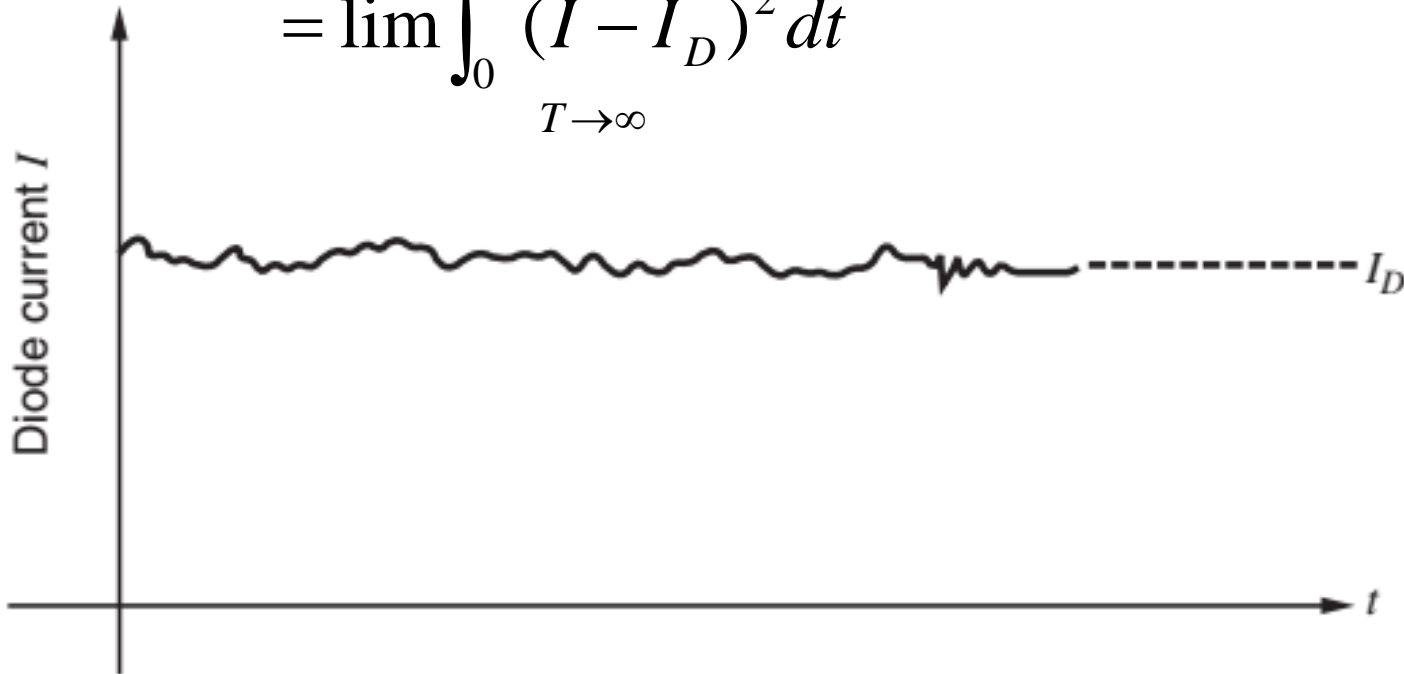
Noise

نویز

Shot Noise

$$\overline{i^2} = \overline{(I - I_D)^2}$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T (I - I_D)^2 dt$$



اگر جریان I از مجموعه ای از پالسهای تصادفی مستقل تشکیل شده باشد.

میانگین مربع نویز (Mean Square)

$$\overline{i^2} = 2qI_D\Delta f$$

q : Electron Charge: 1.6×10^{-19} C

I_D : Direct Current: A

Δf : Bandwidth: Hz



Noise

نویز

Shot Noise

Mean Square of Noise: $\overline{i^2} = 2qI_D\Delta f$

Noise Spectral Density: $S(f) = \frac{i^2}{\Delta f} = 2qI_D$

چون چگالی طیف نویز مستقل از فرکانس است، نویز سفید به شمار می آید.

نویز یک فرآیند تصادفی بوده و تشخیص اندازه و جهت آن در هر لحظه امکان پذیر نیست.

تنها اطلاعات قابل محاسبه اندازه میانگین مربع نویز است. در این محاسبات برای میانگین مربع جهت در نظر گرفته نمی شود.

چند منبع مستقل نویز صرفنظر از جهت قراردادی همواره با هم جمع می شوند.



Noise

نویز

Shot Noise

مثال: شات نویز مربوط به یک دیود با جریان 1 mA و پهنای باند 1 MHz را محاسبه نمایید.

$$\overline{i^2} = 2qI_D\Delta f$$

$$\overline{i^2} = 2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^{-3} \times 10^6 \text{ A}^2 = 3.2 \times 10^{-16} \text{ A}^2$$

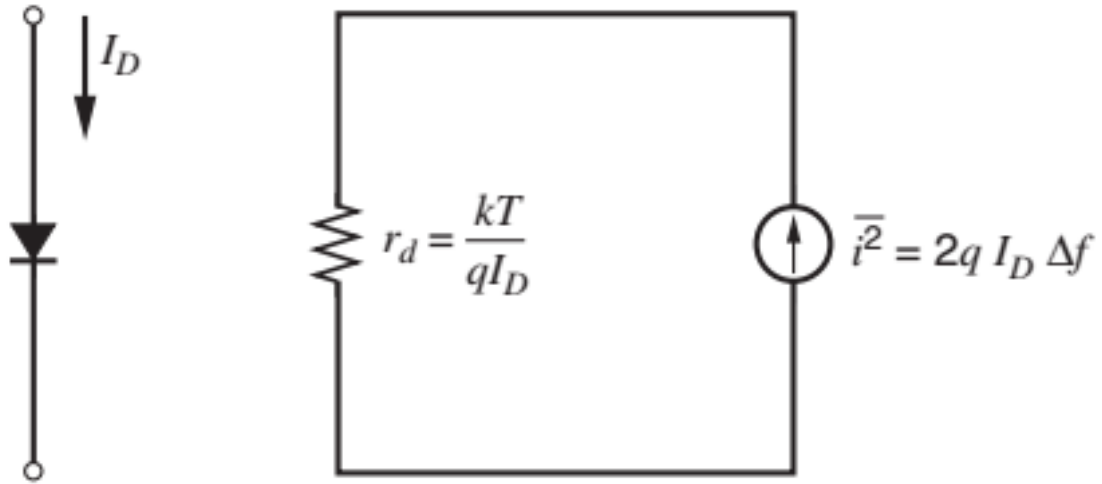
$$i = 1.8 \times 10^{-8} \text{ Arms}$$



Noise

نویز

Shot Noise



مدار معادل شات نویز

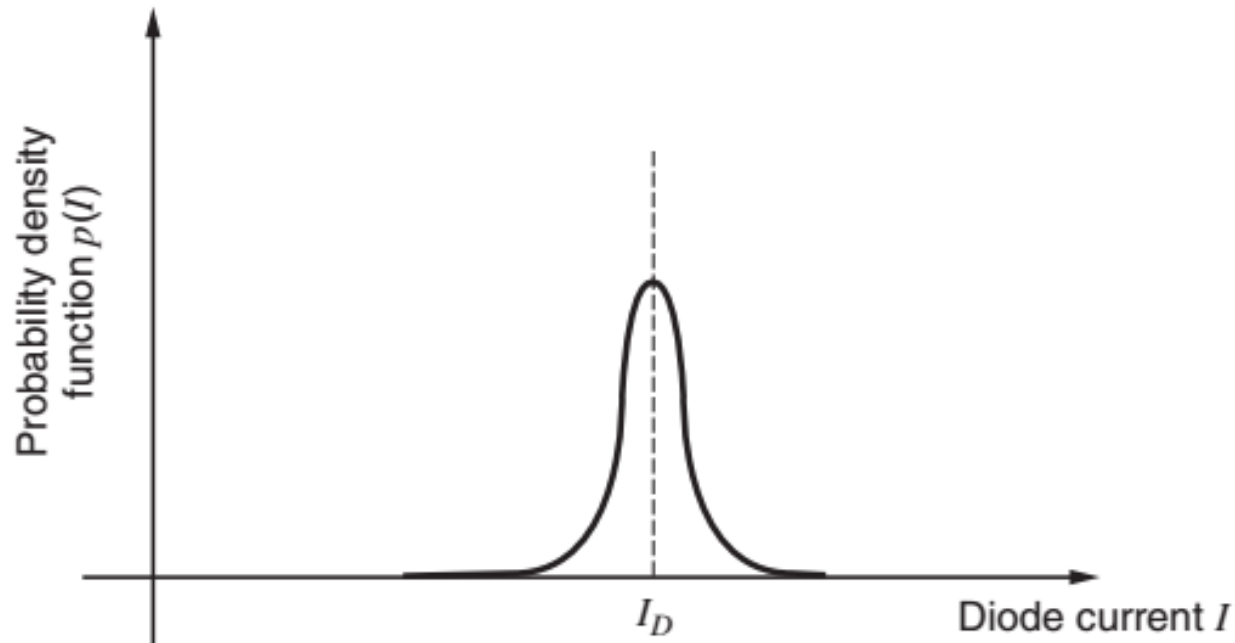
جهت منبع فقط نشان دهنده منبع جریان بودن است
و تعبیر فیزیکی ندارد.



Noise

نویز

Shot Noise



چگالی احتمال شات نویز
چگالی احتمال هر نویزی به صورت گوسی است.

$$\sigma^2 = \overline{i^2}$$

$$\sigma = \sqrt{2qI_D\Delta f}$$



Noise

نویز

Thermal Noise

در مقاومت های متداول، به دلیل حرکت تصادفی الکترونها (ناشی از حرارت موجود) ایجاد می شود.
مستقل از وجود یا عدم وجود جریان الکتریکی است. (تغییر جریان تاثیری در آن ندارد)

$$\overline{v^2} = 4kTR\Delta f$$

$$\overline{i^2} = 4kT \frac{1}{R} \Delta f$$

$$\overline{i^2} = \frac{\overline{v^2}}{R^2}$$

k : Boltzmann's Constant: 1.38×10^{-23} j/C

R : Resistivity: Ω

T : Absolute Temperature: $^{\circ}\text{K}$

Δf : Bandwidth: Hz

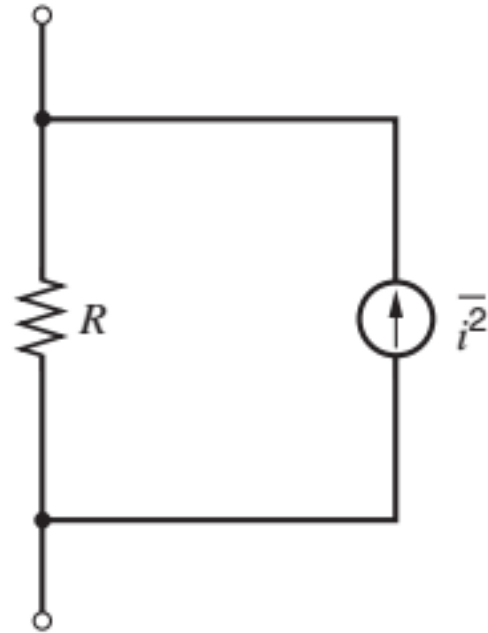


Noise

نویز

Thermal Noise

مدار معادل نویز حرارتی



Noise

نویز

Flicker Noise (1/f Noise or Pink Noise)

به دلیل دامپهای ناشی از نقایص شبکه بلور یا ناخالصی ها است.

وابسته به میزان جریان است.

$$\overline{i^2} = K_1 \frac{I^a}{f^b} \Delta f$$

K_1 : Constant For a Particular Device

a : Constant in The Range of 0.5 to 2

b : Constant of About Unity

Δf : Bandwidth: Hz

f : Frequency: Hz

I : Direct Current: A

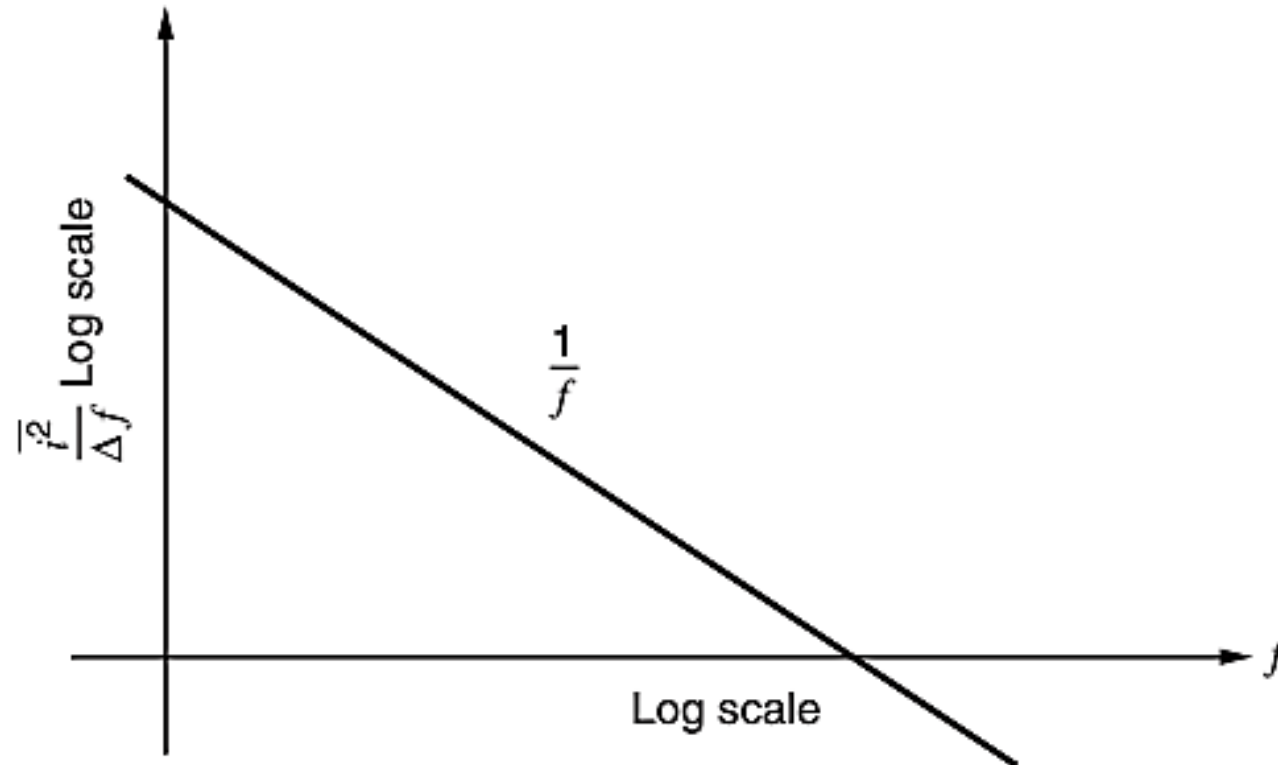


Noise

نویز

Flicker Noise (1/f Noise)

چگالی طیف نویز فلیکر:



Noise

نویز

Burst Noise (Popcorn Noise)

به دلیل وجود آلودگی ناشی از یونهای فلزی سنگین (به ویژه طلا) است.

$$\overline{i^2} = K_2 \frac{I^c}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \Delta f$$

K_2 : Constant For a Particular Device

c : Constant in The Range of 0.5 to 2

f_c : particular Frequency for a given noise process

f : Frequency: Hz

I : Direct Current: A

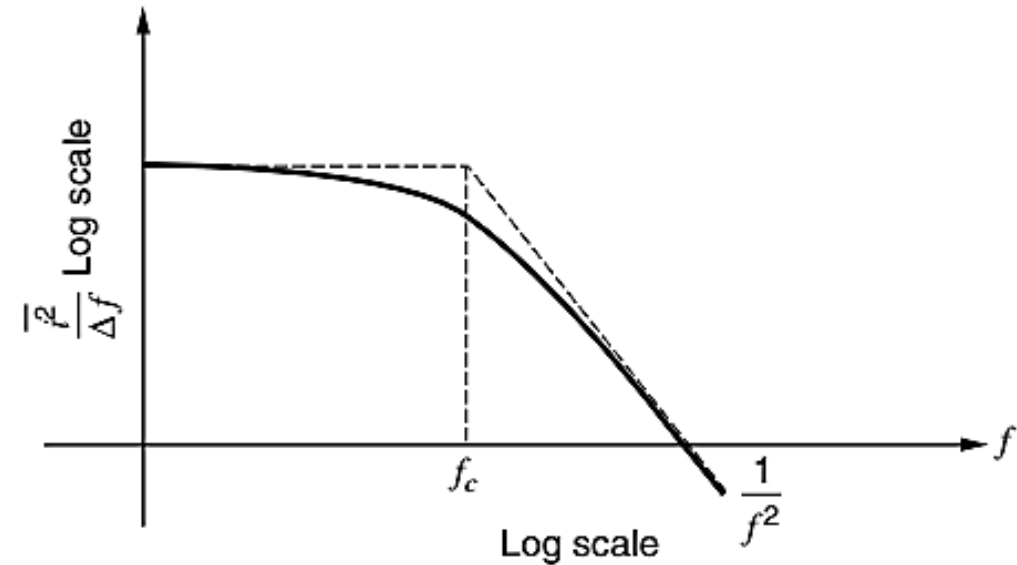
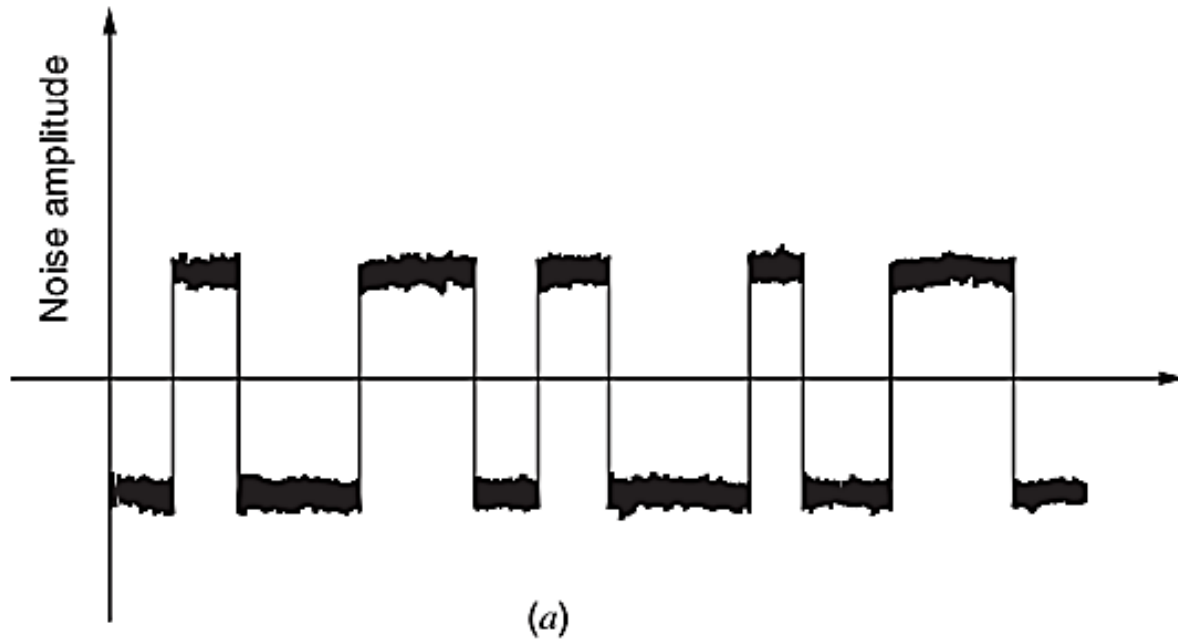


Noise

نویز

Burst Noise (Popcorn Noise)

شکل موج و چگالی طیف برست نویز



Noise

نویز

Avalanche Noise

در ناحیه شکست زنر یا بهمنی پیوند p-n رخ می دهد

در این ناحیه الکترونها و حفره ها انرژی لازم برای تولید زوج الکترون-حفره جدید را پیدا می کنند.

اما این پدیده نیز به نوعی تصادفی می باشد.

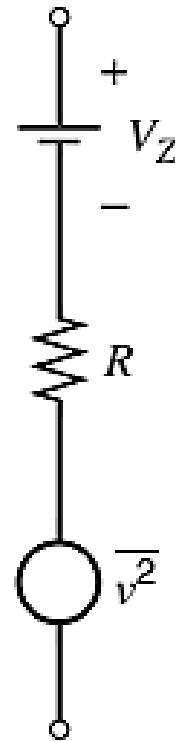
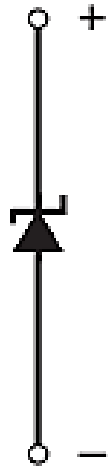
تعیین مقدار دقیق این نوع نویز دشوار است، اما رنج آن در حدود $\overline{v^2} / \Delta f = 10^{-14} V^2 / Hz$ است.



Noise

نویز

Avalanche Noise



مدار معادل نویز بهمنی



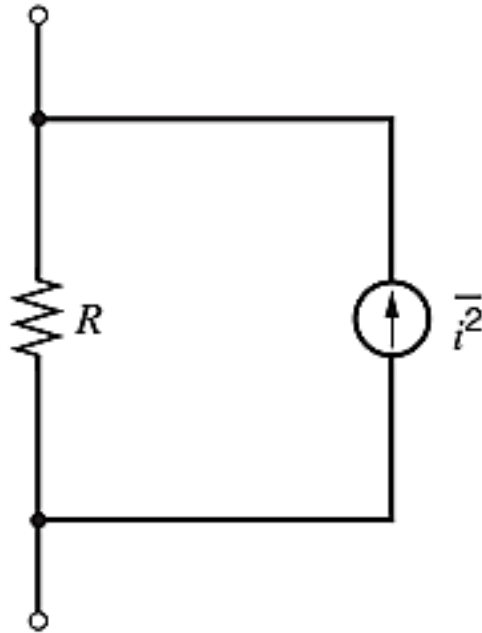
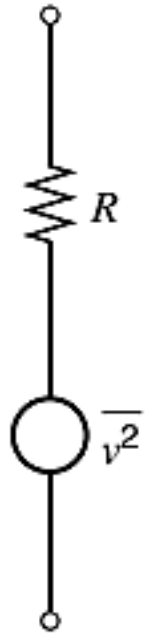
Noise

نویز

مدلهای نویز قطعات الکتریکی

مقاومت

نویز موثر: نویز حرارتی



$$\overline{v^2} = 4kTR\Delta f$$

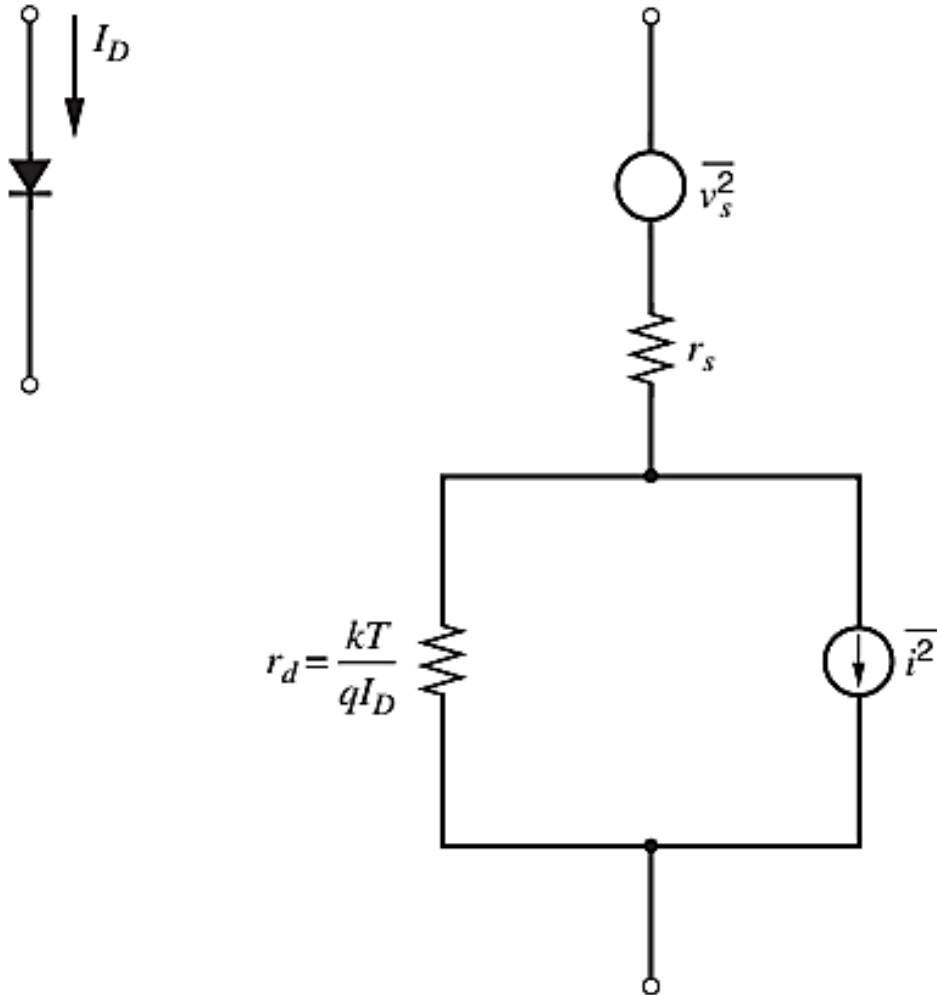
$$\overline{i^2} = 4kT \frac{1}{R} \Delta f$$

$$\overline{i^2} = \frac{\overline{v^2}}{R^2}$$



Noise

نویز



مدلهای نویز قطعات الکترونیکی

دیود در بایاس مستقیم

نویز موثر: نویز حرارتی، شات نویز، نویز فلیکر
 r_d مقاومت فیزیکی نیست

$$\overline{v_s^2} = \underbrace{4kTr_s\Delta f}_{\text{Thermal Noise}}$$

Thermal Noise

$$\overline{i^2} = \underbrace{2qI_D\Delta f}_{\text{Shot Noise}} + \underbrace{K \frac{I_D^a}{f} \Delta f}_{\text{Flicker Noise}}$$

Shot Noise

Flicker Noise



Noise

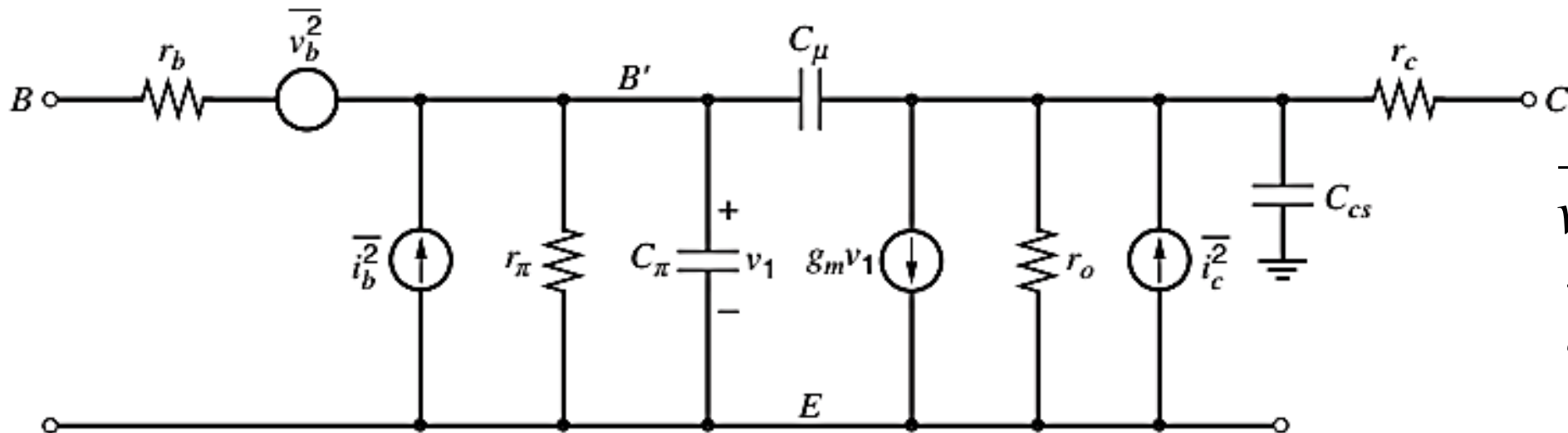
نویز

$$\overline{i_b^2} = \underbrace{2qI_B \Delta f}_{\text{Shot Noise}} + \underbrace{K_1 \frac{I_B^a}{f} \Delta f}_{\text{Flicker Noise}} + \underbrace{K_2 \frac{I_B^c}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \Delta f}_{\text{Burst Noise}}$$

مدلهای نویز قطعات الکتریکی

ترانزیستور دوقطبی در ناحیه فعال

نویز موثر: نویز حرارتی، شات نویز، نویز فلیکر، برست نویز
تنها مقاومت فیزیکی r_b و r_c هستند اما r_c با مقاومت خروجی سری است و اثر آن ناچیز است.
اگر ولتاژ معکوس پیوند کلکتور امیتر ۵ ولت کمتر از شکست باشد، نویز بهمنی ناچیز خواهد بود.



$$\overline{v_b^2} = 4kTr_b \Delta f$$

$$\overline{i_c^2} = 2qI_c \Delta f$$

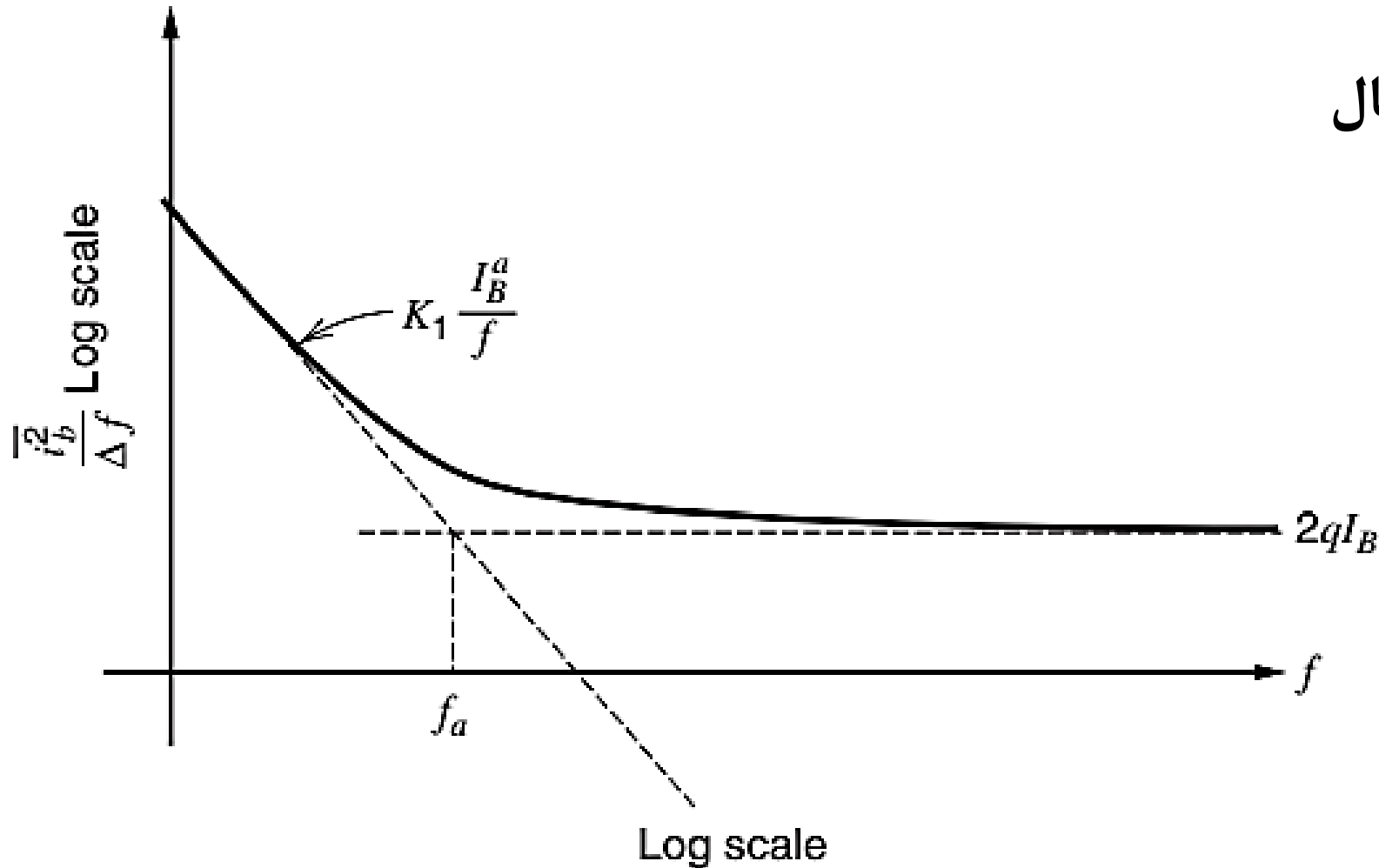


Noise

نویز

مدلهای نویز قطعات الکتریکی

ترانزیستور دوقطبی در ناحیه فعال
چگالی طیف نویز جریان بیس

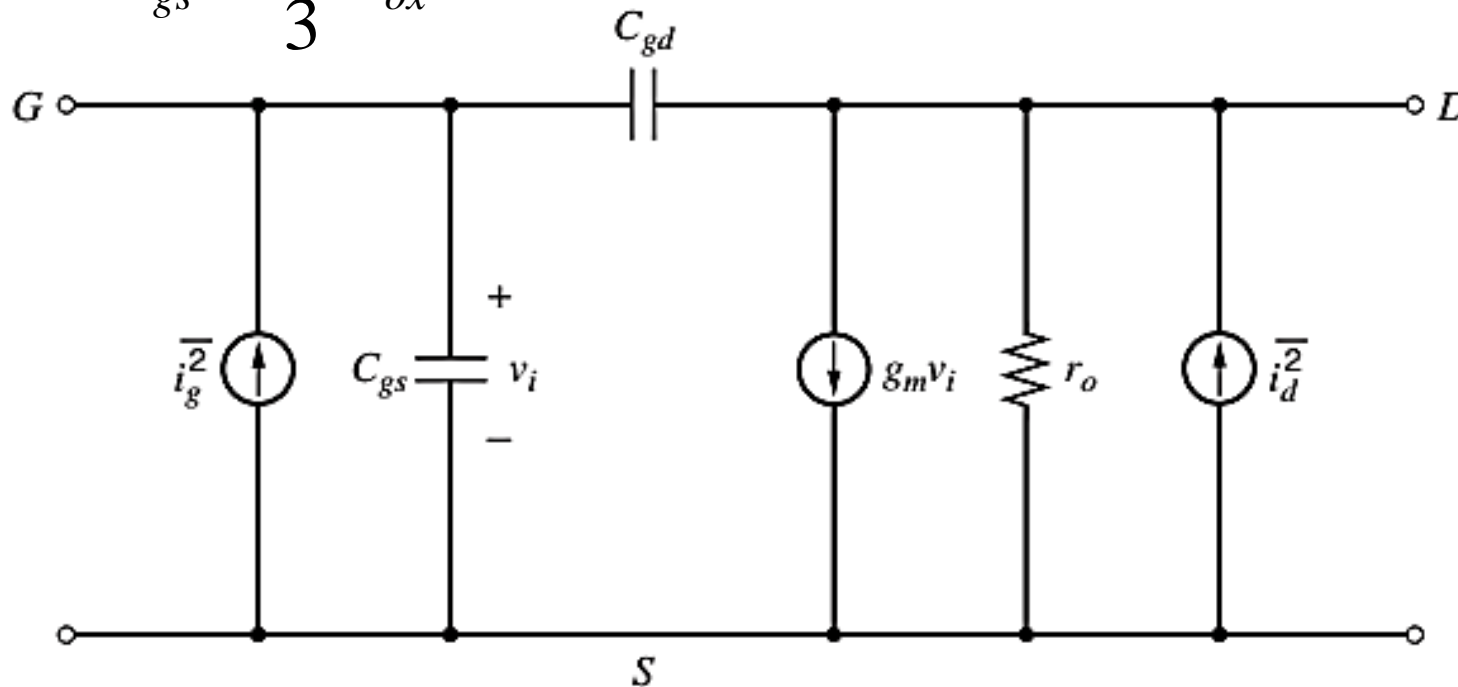


Noise

نویز

$$\overline{i_g^2} = \underbrace{2qI_G \Delta f}_{\text{معمولا ناچیز است}} + \underbrace{\frac{16}{15} kT \omega^2 C_{gs}^2 \Delta f}_{\text{در فرکانسهای خیلی زیاد}}$$

$$C_{gs} = \frac{2}{3} C_{ox} WL$$



مدلهای نویز قطعات الکتریکی

ترانزیستور MOS در ناحیه فعال

نویز موثر: نویز حرارتی، شات نویز، نویز فلیکر

$$\overline{i_d^2} = \underbrace{4kT \left(\frac{2}{3} g_m \right) \Delta f}_{\text{Thermal Noise}} + \underbrace{K \frac{I_D^a}{f} \Delta f}_{\text{Flicker Noise}}$$

Thermal Noise
ناشی از کانال مقاومتی
بین درین و سورس

Flicker Noise



Noise

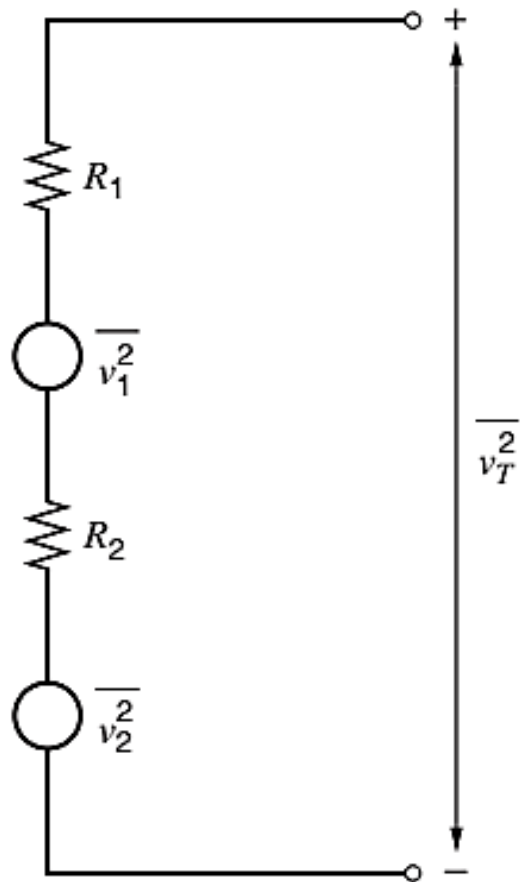
نویز

$$S(f) = \frac{i^2}{\Delta f}$$

$$i^2 = S(f)\Delta f$$

$$i = \sqrt{S(f)\Delta f}$$

محاسبه نویز مدار الکتریکی



نویز خروجی دو مقاومت

دو منبع مستقل نویز به هم وابسته نیستند (Uncorrelated)

$$\overline{v_1^2} = 4kTR_1\Delta f$$

$$v_T = v_1 + v_2$$

$$\overline{v_T^2} = \overline{[v_1 + v_2]^2}$$

$$\overline{v_2^2} = 4kTR_2\Delta f$$

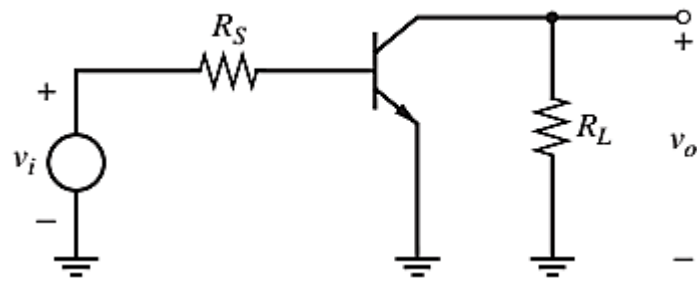
Uncorrelated : $\overline{v_1 v_2} = 0$

$$\overline{v_T^2} = \overline{v_1^2} + \overline{v_2^2} = 4kT(R_1 + R_2)\Delta f$$



Noise

نویز



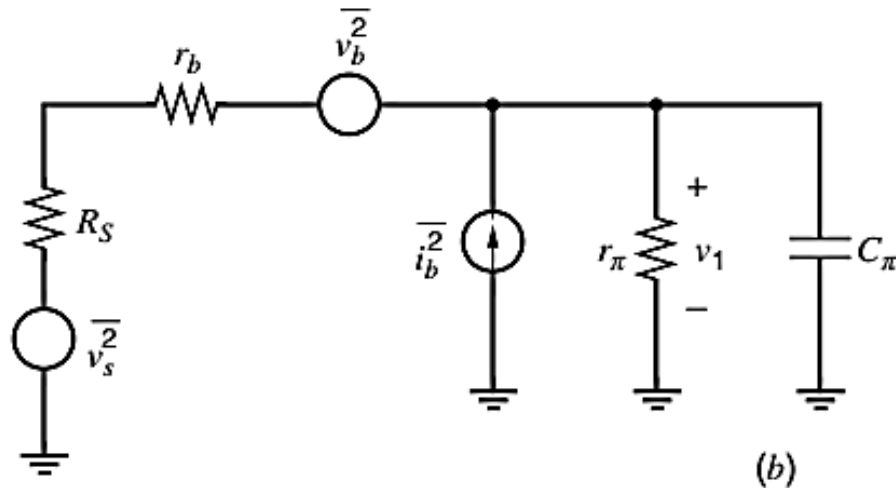
$$\overline{v_S^2} = 4kTR_S \Delta f$$

$$\overline{v_b^2} = 4kTr_b \Delta f$$

محاسبه نویز مدار الکتریکی

BJT نویز مدارهای شامل

از اثر r_o و C_μ صرف نظر شده است.



$$\overline{i_c^2} = 2qI_C \Delta f$$

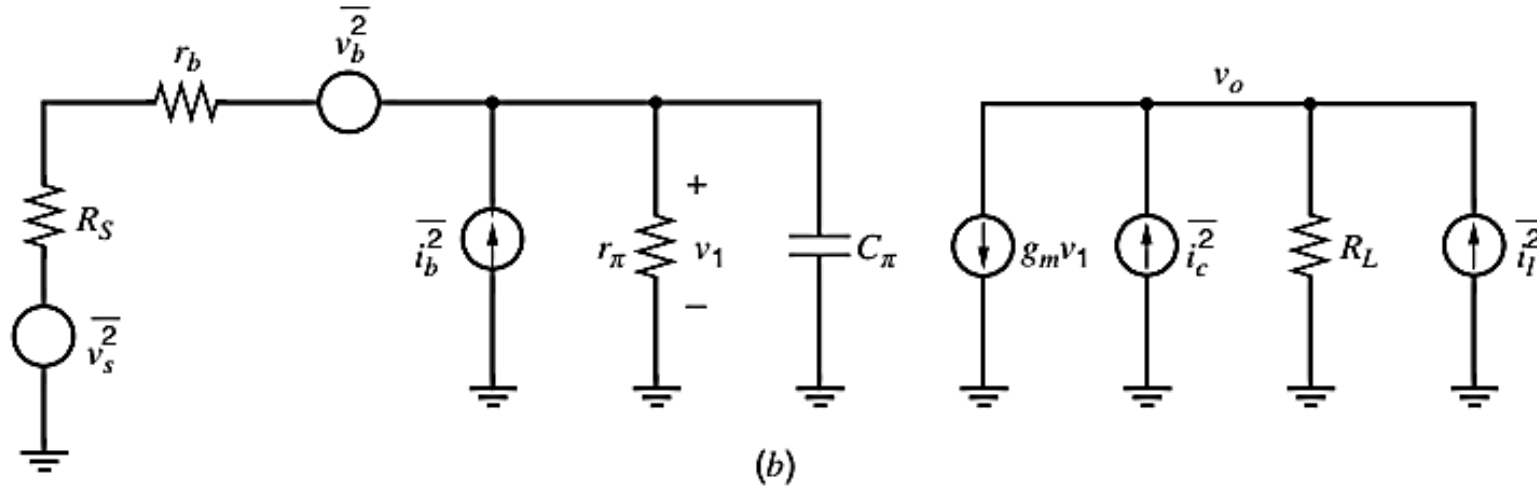
$$\overline{i_L^2} = 4kT \frac{1}{R_L} \Delta f$$

$$\overline{i_b^2} = 2qI_B \Delta f + K_1 \frac{I_B^a}{f} \Delta f + K_2 \frac{I_B^c}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \Delta f$$



Noise

نویز



محاسبه نویز مدار الکتریکی

نویز مدارهای شامل BJT

تاثیر v_s در خروجی

$$v_{o1} = -g_m R_L \frac{Z}{Z + r_b + R_S} v_s$$

$$\overline{v_{o1}^2} = g_m^2 R_L^2 \frac{|Z|^2}{|Z + r_b + R_S|^2} \overline{v_s^2}$$

$$Z = r_\pi \parallel \frac{1}{j\omega C_\pi}$$

تاثیر v_b در خروجی

$$\overline{v_{o2}^2} = g_m^2 R_L^2 \frac{|Z|^2}{|Z + r_b + R_S|^2} \overline{v_b^2}$$

تاثیر i_L در خروجی

$$\overline{v_{o4}^2} = R_L^2 \overline{i_L^2}$$

تاثیر i_b در خروجی

$$\overline{v_{o3}^2} = g_m^2 R_L^2 \frac{(R_S + r_b)^2 |Z|^2}{|Z + r_b + R_S|^2} \overline{i_b^2}$$

تاثیر i_c در خروجی

$$\overline{v_{o5}^2} = R_L^2 \overline{i_c^2}$$



Noise

نویز

$$\overline{v_s^2} = 4kTR_S \Delta f$$

$$\overline{i_L^2} = 4kT \frac{1}{R_L} \Delta f$$

$$\overline{v_b^2} = 4kTr_b \Delta f$$

$$\overline{i_b^2} = 2qI_B \Delta f + K_1 \frac{I_B^a}{f} \Delta f + K_2 \frac{I_B^c}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \Delta f$$

$$\overline{i_c^2} = 2qI_C \Delta f$$

$$\overline{v_o^2} = \sum_{n=1}^5 \overline{v_{om}^2} = g_m^2 R_L^2 \frac{|Z|^2}{|Z + r_b + R_S|^2} \left[\overline{v_s^2} + \overline{v_b^2} + (R_S + r_b)^2 \overline{i_b^2} \right] + R_L^2 (\overline{i_L^2} + \overline{i_c^2})$$

$$Z = r_\pi \parallel \frac{1}{j\omega C_\pi} = \frac{\frac{r_\pi}{j\omega C_\pi}}{\frac{1}{j\omega C_\pi} + r_\pi} = \frac{r_\pi}{1 + j\omega C_\pi r_\pi}$$

محاسبه نویز مدار الکترونیکی

نویز مدارهای شامل BJT



Noise

نویز

محاسبه نویز مدار الکترونیکی

$$\overline{v_o^2} = \sum_{n=1}^5 \overline{v_{om}^2} = g_m^2 R_L^2 \frac{|Z|^2}{|Z + r_b + R_S|^2} \left[\overline{v_s^2} + \overline{v_b^2} + (R_S + r_b)^2 \overline{i_b^2} \right] + R_L^2 (\overline{i_L^2} + \overline{i_c^2})$$

نویز مدارهای شامل BJT
با فرض ناچیز بودن نویز فلیکر و برست

$$\frac{\overline{v_o^2}}{\Delta f} = g_m^2 R_L^2 \frac{r_\pi^2}{(r_\pi + r_b + R_S)^2} \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_1}\right)^2} \left[4kT(R_S + r_b) + (R_S + r_b)^2 2qI_B \right] + R_L^2 \left(4kT \frac{1}{R_L} + 2qI_C \right)$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi[r_\pi \parallel (R_S + r_b)]C_\pi}$$

