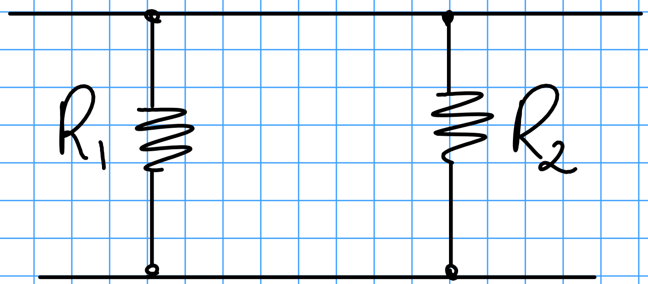
RUMORE TERMICO

18 GEN



S_1 DSP SU R_1

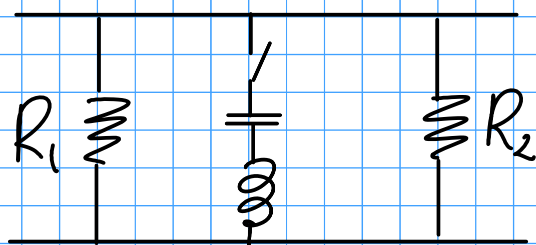
S_2 DSP SU R_2

$$\int_0^{\infty} S_{12}(f)\,df = \int_0^{\infty} S_{21}(f)\,df$$

SE NON FOSSE UGUALE AVREI FLUSSO NETTO DI POTENZA E UN CONSEGUENTE SQUILIBRIO TERMICO → VIOLAZIONE 2° PRINCIPIO TERMODINAMICA

DIMOSTRATO DA NYQUIST :

→ BILANCIO SELETTIVO



INTEGRO SU TUTTE LE FREQUENZE ECCETTO NOTCH :

$$\int_0^{f_L} S_{12}\,df + \int_{f_H}^{\infty} S_{12}\,df = \int_0^{f_L} S_{21}\,df + \int_{f_H}^{\infty} S_{21}\,df$$

CON $B = f_H - f_L \rightarrow \emptyset$

$$\lim_{B \to 0} \rightsquigarrow \int_{f_L}^{f_H} S_{12}\,df = \int_{f_L}^{f_H} S_{21}\,df \longrightarrow \boxed{S_{12}\,df = S_{21}\,df} \ \forall f$$

OSSERVAZIONE SU DSP E RUMORE:

$[W/Hz]$ NEL SISTEMA INTERNAZIONALE

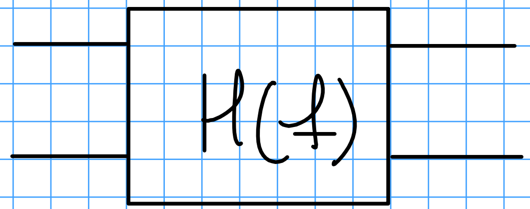
$[V^2/Hz]$ EQUIVALENTE A S.I. CON $R = 1\,\Omega$

TENSIONE DI RUMORE:

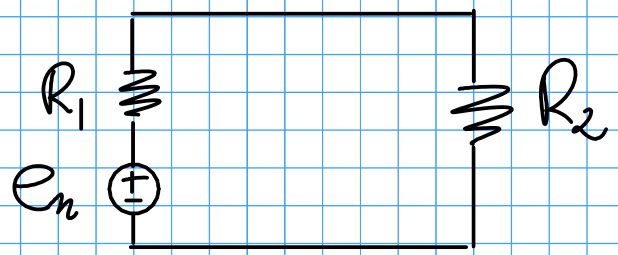
$$e_n = \sqrt{S_u \Delta f} \qquad [V/\sqrt{Hz}]$$

TEOREMA NYQUIST

$S_{V_{IN}}$



$$S_{V_{OUT}} = S_{V_{IN}} \left| H(f) \right|^2$$



$$I_2 = \frac{e_n}{R_1 + R_2}$$

$$S_{I_{12}} = \frac{S_{V_{12}}}{(R_1 + R_2)^2}$$

$$S_V = S_I R_2 \longrightarrow S_{12} = \frac{S_{I_{12}} R_2}{(R_1 + R_2)^2}$$

NOTA:

TEOREMA NYQUIST VALIDO SOLO ALL'EQUILIBRIO!

GENERALIZZO RAGIONAMENTO SULLE <u>IMPEDENZE</u>

$$S_{I_{12}} = \frac{S_{V_1}}{|Z_1 + Z_2|^2}$$

POTENZA ATTIVA

$$S_{12} = \frac{S_{V_1} \cdot \mathrm{Re}\{Z_2\}}{|Z_1 + Z_2|^2} =$$

$$S_{12}\,\Delta f = \frac{S_{V_1} \cdot \mathrm{Re}\{Z_2\}}{|Z_1 + Z_2|^2} \cdot \Delta f$$

IMPONGO UGUAGLIANZA (BILANCIO DETTAGLIATO)

$$S_{21}\,\Delta f = \frac{S_{V_2}\, \mathrm{Re}\{Z_1\}\,\Delta f}{|Z_1 + Z_2|^2}$$

$$\frac{S_{v_1} \cdot \mathrm{Re}\{Z_2\}}{\cancel{|Z_1+Z_2|^2}} \cdot \cancel{\Delta f} = \frac{S_{v_2}\, \mathrm{Re}\{Z_1\}\, \cancel{\Delta f}}{\cancel{|Z_1+Z_2|^2}}$$

$$\boxed{\frac{S_{v_1}}{\mathrm{Re}\{Z_1\}} = \frac{S_{v_2}}{\mathrm{Re}\{Z_2\}}}$$

A PARITÀ DI f E T IL RAPPORTO $S/\mathrm{Re}\{Z\}$ È COSTANTE

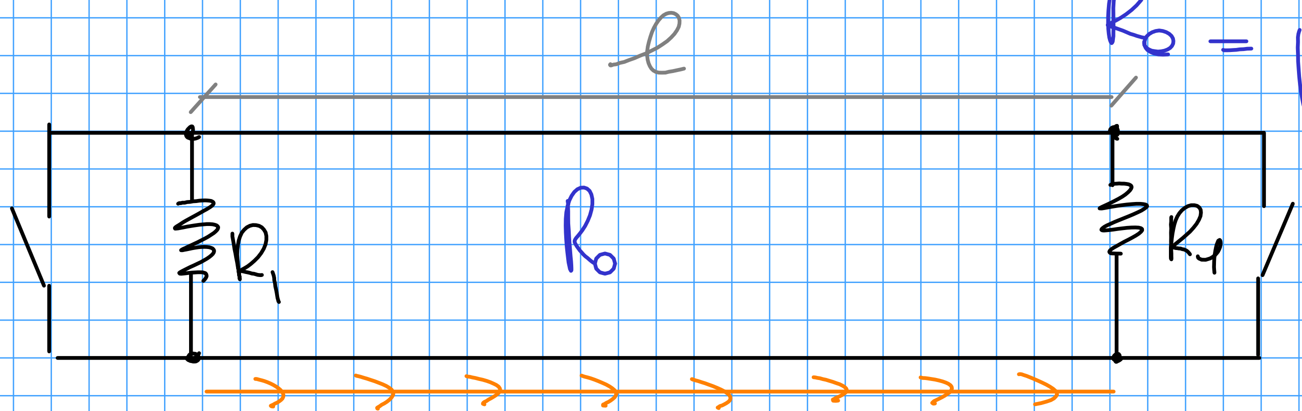
PARI AD UNA CERTA FUNZIONE $\underline{F(f, T)}$

COME LA CALCOLO?

METODO INDICATO DA NYQUIST $\longrightarrow$ CALCOLO $F(f,T)$

LINEA DI TRASMISSIONE

$$R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$



SI GENERA MODO IN LINEA CON $\lambda = 2N\ell$
CON $N = 1, 2, 3, \ldots$

DA SX A DX

PRIMA DELLA CHIUSURA

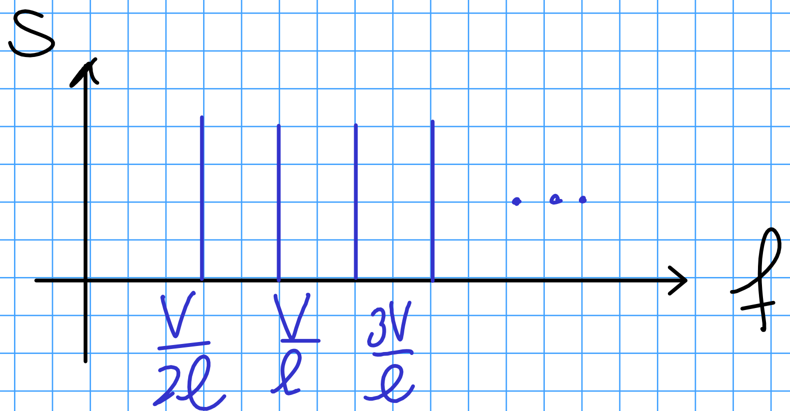
$$S_{SD}\,\cancel{\Delta f} = \frac{S_{V1}\,\cancel{\Delta f}\,R_1}{(R_1+R_1)^2} = \frac{S_{V1}}{4R_1} = \frac{F(f,T)}{4}$$

$$S_{DS}\,\cancel{\Delta f} = \frac{S_{V2}\,\cancel{\Delta f}\,R_1}{(R_1+R_1)^2} = \frac{F(f,T)}{4}$$

$$F(f,T) = 4S_{SD} = 4S_{DS}$$

QUALI FREQUENZE RIMANGONO IN LINEA ?

V = VELOCITÀ ONDA



$$n^\circ \text{ RIGHE} = \frac{\Delta f}{\frac{V}{2\ell}}$$

QUAL È LA POTENZA ASSOCIATA AD OGNI FREQUENZA ?

→ DALLA TEORIA SULL'OSCILLATORE ARMONICO → $E = hf\frac{1}{2}N$ ← INTERO

DOPO LA CHIUSURA

RIMANE POTENZA SOLO SULLE RIGHE INDICATE (MULTIPLE DI $\frac{V}{2\ell}$)

$$\Delta E = \underbrace{\frac{\Delta f \, 2\ell}{V}}_{N^\circ \text{ RIGHE}} \cdot \underbrace{hf\left(\frac{1}{2} + \overbrace{\frac{1}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1}}^{\text{DISTRIBUZIONE DI PLANCK}}\right)}_{\text{ENERGIA ASSOCIATA AD OGNI RIGA}}$$

acvin.it

$$S_{SD}\,\Delta f = \frac{\text{ENERGIA}}{\text{TEMPO CORRISPONDENTE AL PERCORSO DELLA LINEA DA PARTE DELL'ONDA}}$$

$$S_{SD}\,\Delta f = \overline{\Delta E} \cdot \frac{1}{\frac{2l}{v}}$$

ΔE TROVATA SOPRA

SOSTITUISCO VALORE ΔE :

$$S_{SD}\,\cancel{\Delta f} = \cancel{\Delta f}\,\cancel{\frac{2l}{v}} \cdot \frac{1}{\cancel{\frac{2l}{v}}}\, hf\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1}\right)$$

$$F(f,T) = 4 S_{SD} = 4hf\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1}\right)$$

$$S_{SD} = \frac{S_v}{\mathrm{Re}\{Z\}}$$

$$S_v = \mathrm{Re}\{Z\} \cdot 4\, hf \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{e^{\frac{hf}{KT}} - 1} \right)$$

INTRODUCO APPROSSIMAZIONI:

$\longrightarrow$ A $T_{AMB} = 300\,K$, CON $f < 10^{12}\,Hz \longrightarrow \boxed{hf \ll KT}$

SVILUPPO CON TAYLOR $e^x = 1 + x$

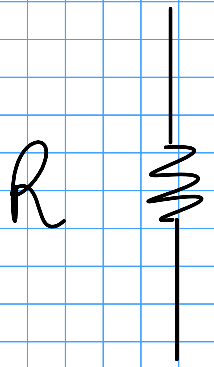
$$S_v = \mathrm{Re}\{Z\} \cdot 4\, hf \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\cancel{1} + \frac{hf}{KT} - \cancel{1}} \right) =$$

$$S_v = \mathrm{Re}\{Z\} \cdot 4\, hf \left(\frac{1}{2} + \frac{KT}{hf} \right) =$$ CON $\frac{KT}{hf} \gg 1$

$$\boxed{S_v = 4KT\,\mathrm{Re}\{Z\}}$$

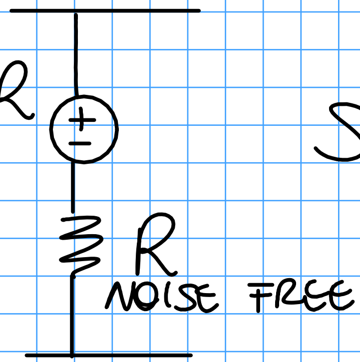
acvin.it

EQUIVALENTE RUMORE PER RESISTENZA

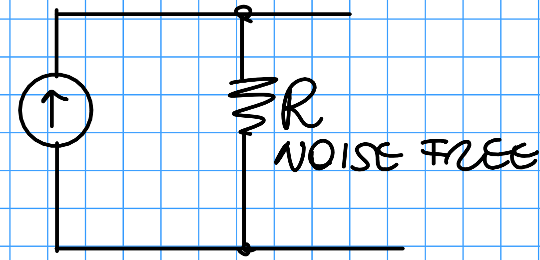


$\sim$

$S_v = 4kTR$

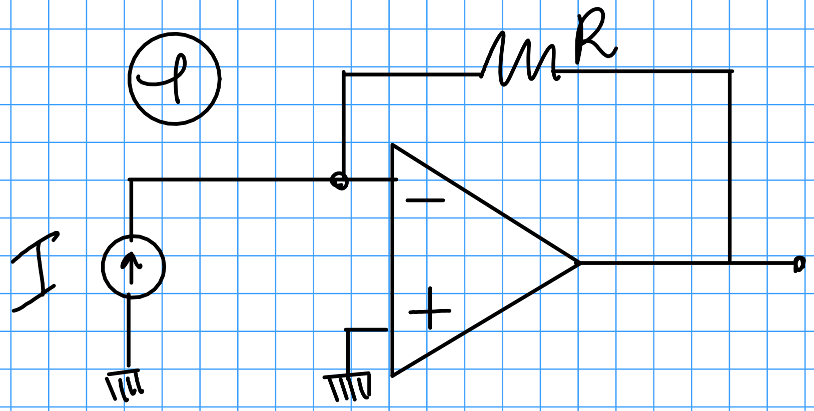


$S_I = \frac{4kT}{R}$



APPLICAZIONE RISULTATO

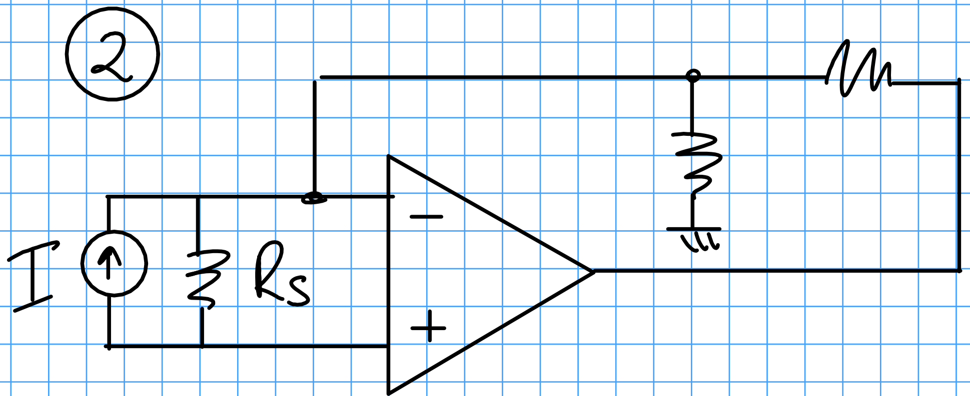
AMPLI. TRANSRESISTIVO



CONFRONTO TRA DUE VERSIONI

SE HA INGRESSO A MOS PREVALE RUMORE TERMICO

→ POSSO USARE R ELEVATA



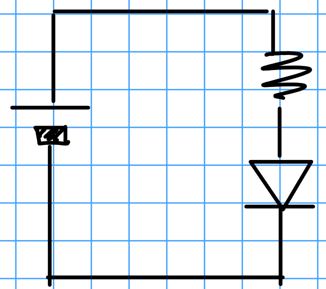
QUALE CONFIGURAZIONE È MIGLIORE, IN TERMINI DI RUMORE?

1 ! $S_I = \frac{4KT}{R}$ CON R ELEVATA LIMITO RUMORE

RUMORE SU DIODO

TERMICO + SHOT

RUMORE SHOT (GIÀ CALCOLATO) $\longrightarrow S_I = 2qI$



$r_d = \dfrac{V_T}{I_D} \longrightarrow$ RESISTENZA DIFFERENZIALE NON INTRODUCE RUMORE TERMICO?

SE FOSSIMO ALL'EQUILIBRIO POTREI CALCOLARE RUMORE TERMICO COME:

$$\cancel{S_I = \frac{4KT}{\mathrm{Re}\{Z\}} = \frac{4KT}{r_d} = \frac{4\cancel{KT}}{\frac{\cancel{KT}}{q}} I = 4qI} \quad *$$

DIODO IN CONDUZIONE NON È ALL'EQUILIBRIO!

COME CALCOLO RUMORE TERMICO SU r_d?

↳ VUOI VEDERE CHE CALCOLANDO RUMORE SHOT E PORTANDO V AL LIMITE $V \to \emptyset$ RITROVO RUMORE TERMICO * ?

$$I = I_S\left(e^{V/V_T} - 1\right) = I_S e^{V/V_T} - I_S \sim I^+, I^-$$

$$\frac{dI}{dV} = \frac{I_S}{V_T} e^{V/V_T} \approx \frac{1}{r_d} \quad (\text{CON } V \to 0 \text{ OTTENGO } = r_d)$$

TEOREMA SCHOTTKY GENERALIZZATO, $\boxed{V \to 0}$

$$\left.\begin{array}{l} I^+ = I_S e^{V/V_T} \\ I^- = I_S \end{array}\right\} \to S_I = 2q\left(I^+ + I^-\right) \simeq 2q\left(I_S + I_S\right)$$

$$\boxed{S_I = 4qI_S}$$

CON NYQUIST:

$$\boxed{S_I = \frac{4KT}{r_d} = 4qI_S}$$

OTTENGO STESSI RISULTATI, NONOSTANTE NYQUIST IN GENERALE SIA VALIDO SOLO ALL'EQUILIBRIO

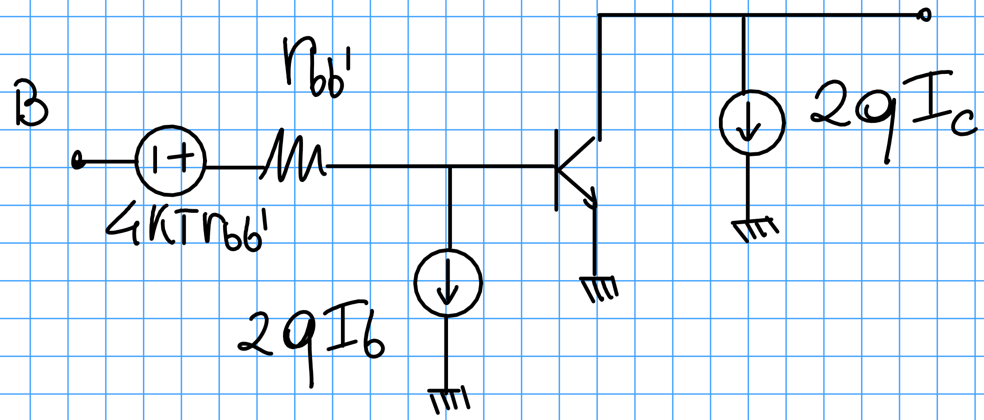
OSSERVAZIONE:

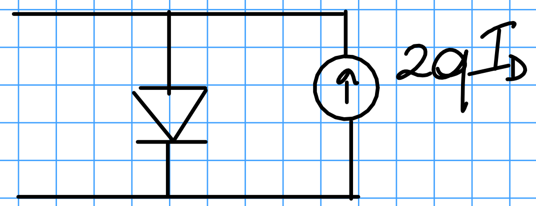
MODELLO DIODO PREVEDE BASSA INIEZIONE $\longrightarrow$ SOSTAMENTO LIMITATO DALL'EQUILIBRIO

RUMORE NEI DISPOSITIVI

<u>NOTA</u> SE <u>NON</u> VI È CORRELAZIONE VERSO GEN. RUMORE NON CONTA

INSERITI GENERATORI DOVE FISICAMENTE VIENE GENERATO RUMORE





IN BASSA FREQ.

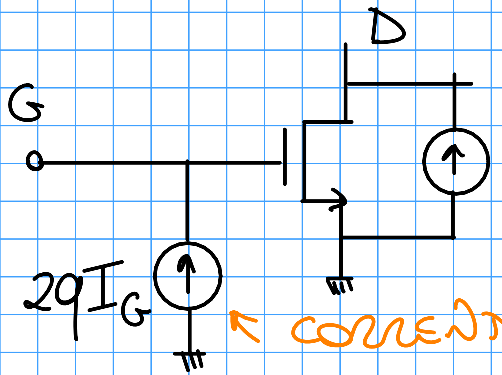
IN ALTE FREQ. ABBIAMO 2 COMP.

- RUMORE TERMICO r_d
- RUMORE SHOT

MOS

IN LINEARE (V_{DS} PICCOLA)

RUMORE CANALE PURAMENTE TERMICO $\longrightarrow$ RESISTORE r_d

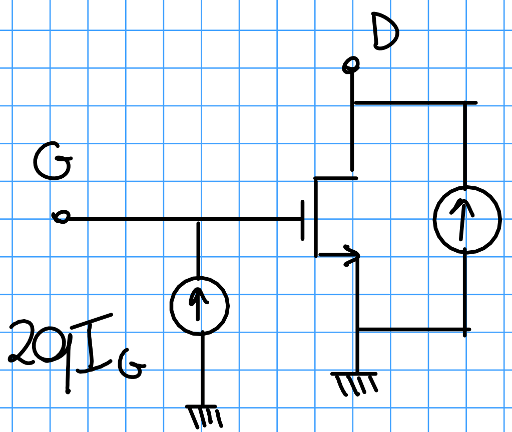


$$\frac{4KT}{r_d}$$

RESISTENZA DEL CANALE

CORRENTE DI PERDITA (TUNNEL)

IN ZONA SATURAZIONE



$$4KT\,\frac{2}{3}\,g_m$$

CANALE NON È PIÙ SEMPLICE RESISTORE