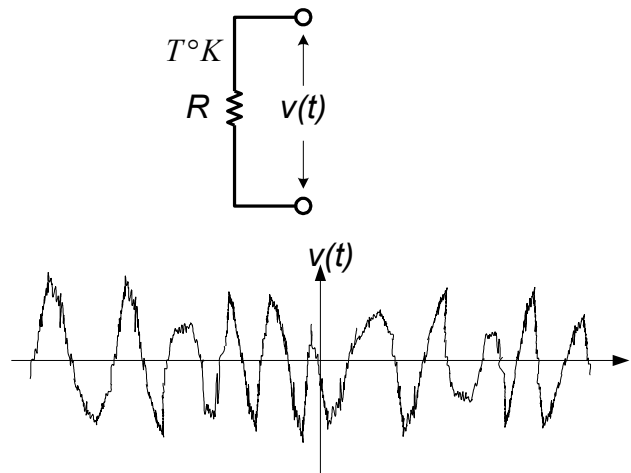


Elettronica per le telecomunicazioni

AA 2014 - 2015

Rumore



La trasmissione e la ricezione dei segnali radio che contengono informazione viene alterata o influenzata dalla presenza di disturbi o rumori cioè di segnali con andamento nel tempo di tipo casuale e privo di informazione.

Il rumore presente in un ricevitore è la **somma** del rumore proveniente da **sorgenti esterne** e dal **rumore prodotto internamente** dal ricevitore stesso.

Uno dei più importanti fattori per valutare le prestazioni di un ricevitore è la sua capacità di processare segnali di debole ampiezza.

Rumore naturale:

- **Rumore atmosferico**, dovuto a scariche elettriche statiche nell'atmosfera,
- **Rumore cosmico**, la principale sorgente è il sole,

Rumore artificiale:

- **Motori elettrici**, sistemi di accensione,
- **Altri apparecchi elettronici** RF e non

Disturbi artificiale:

- **Diafonie**, coabitazione di più sistemi,,
- **Segnali interferenti**, dovuti ad altri servizi,

Rumore e disturbi interni:

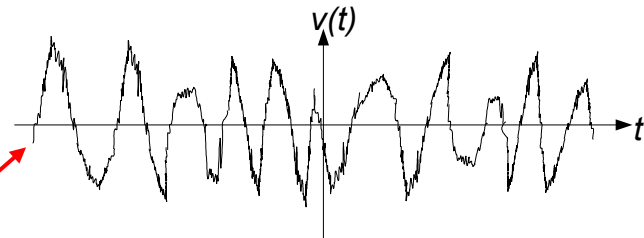
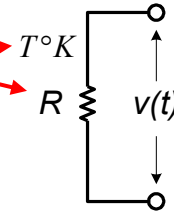
- **Rumore termico**,
- **$1/f$ o Flicker Noise**,
- **Shot Noise**.

In un conduttore con data resistenza R

Alla temperatura T , (K)

Gli elettroni si muovono in modo casuale con una energia cinetica che è proporzionale alla temperatura T .

Questo movimento produce una piccola e fluttuante tensione ai capi della resistenza R .



$$v_n = \sqrt{\frac{4hfBR}{\frac{hf}{e^{kT}} - 1}}$$

$h = 6,546 \cdot 10^{-34} \text{ J sec}$ è la costante di Plank

$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J / } ^\circ\text{K}$ è la costante di Boltzmann

T è la temperatura in gradi Kelvin (K).

B è la banda passante del sistema espressa in Hz.

f è la frequenza di centro banda espressa in Hz.

R è il valore della resistenza espresso in Ohm.

Costante di Boltzmann:
 k , k_B o K .

$$v_n = \sqrt{\frac{4hfBR}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1}}$$

Questa relazione è valida per qualsiasi valore di frequenza, f .

Nella gamma delle microonde, quella di nostro interesse, può essere semplificata.

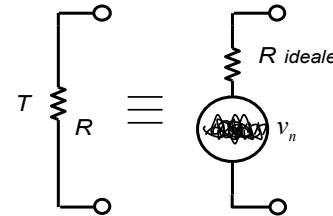
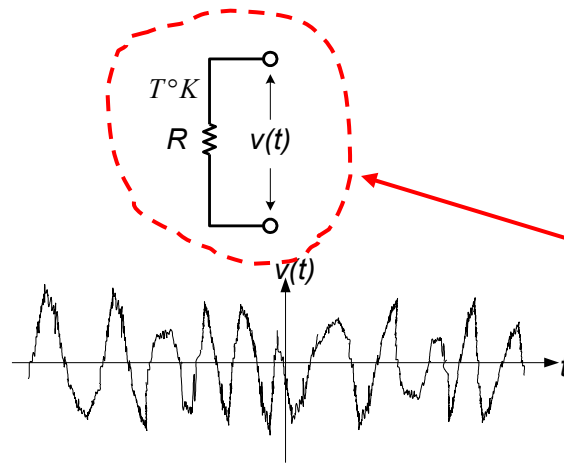
$$v_n^2 = 4KTBR$$

Non è valida per frequenze superiori a qualche decina di GHz e per le bassissime temperature.

Da notare che la potenza del rumore non dipende dalla frequenza ed ha quindi una ***densità spettrale di potenza*** che è costante con la frequenza.

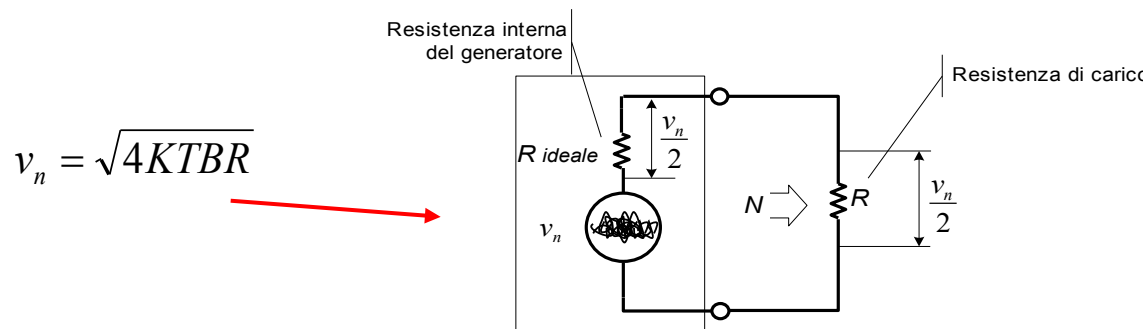
Per analogia con luce bianca questo rumore viene chiamato *rumore bianco*.

La potenza del rumore è ***proporzionale alla banda passante***, che nei circuiti per le telecomunicazioni è limitata.

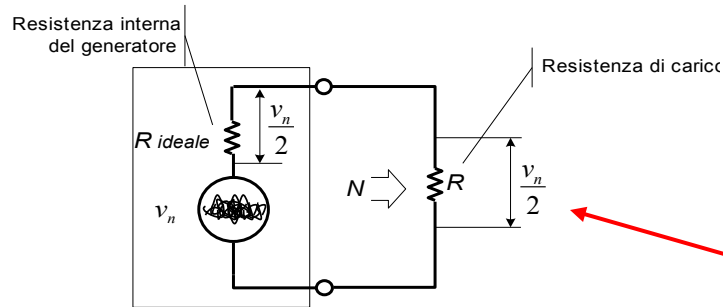


Il conduttore rumoroso di resistenza R può essere sostituito (applicando il circuito equivalente di Thévenin) da una **resistenza priva di rumore** con in serie un generatore di rumore v_n .

Condizione di massimo trasferimento di potenza

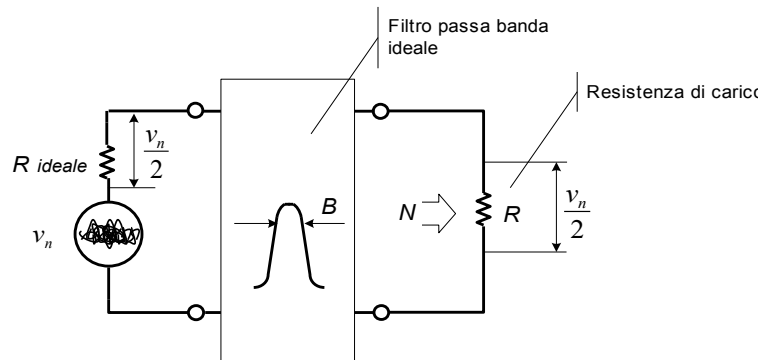


Rumore termico

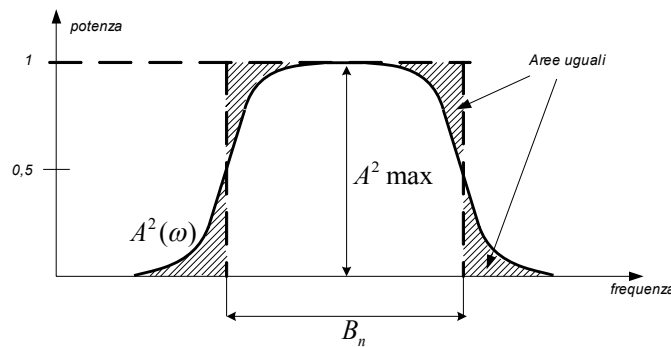


La potenza che il generatore fornisce al carico in un banda passante B sarà data dalla

$$N = \left(\frac{v_n}{2} \right)^2 \frac{1}{R} = \frac{v_n^2}{4R} = K \cdot T \cdot B$$



Questa è la massima potenza (N espressa in W) che il conduttore rumoroso di resistenza R fornisce al **carico adattato** R in una **banda passante** B e alla **temperatura** T .



Banda di rumore di un quadripolo

$$B \rightarrow 0 \quad \Rightarrow \quad N \rightarrow 0$$

$$T \rightarrow 0 \quad \Rightarrow \quad N \rightarrow 0$$

$$B \rightarrow \infty \quad \Rightarrow \quad N \rightarrow \infty$$

Rumore termico

$$N = \left(\frac{v_n}{2} \right)^2 \frac{1}{R} = \frac{v_n^2}{4R} = K \cdot T \cdot B$$



$$N_{T0} = K \cdot T_0 \cdot B$$

$$T_0 = 290K$$

(equivalenti a 17°C)

La densità di potenza del rumore in un banda di 1 Hz

$$N_{T0} = K \cdot T_0$$



$$N_{T0} = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 = 4 \cdot 10^{-21} \quad \left(\frac{W}{Hz} \right)$$

in dB



$$N_{T0_dBm} = 10 \cdot \log \frac{K \cdot T}{10^{-3}} = -174 \text{ dBm}$$

Per una data banda passante B (Hz)

$$N_{T0_dBm} = -174 + 10 \cdot \log_{10} B$$

Rapporto segnale rumore

Si definisce come rapporto **segnale – rumore**

$$\frac{S}{N}$$

La potenza del segnale
espressa in W

La tensione del segnale
espressa in V

$$\frac{S}{N} (dB) = 10 \cdot \log \frac{S}{N} = 20 \cdot \log \frac{V_s}{V_n}$$

La potenza del
rumore espressa in W

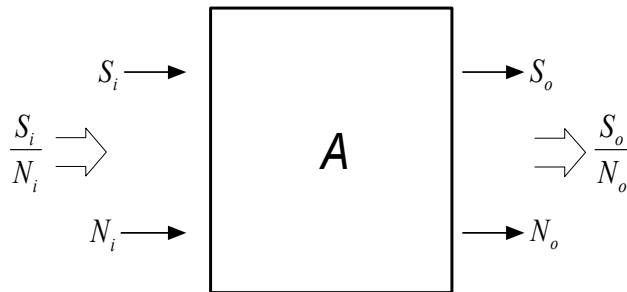
La tensione del rumore
espressa in V

In realtà nella misura del segnale è difficile distinguere il segnale dal rumore per cui si ha

$$\frac{S}{N} \rightarrow \frac{S + N}{N}$$

Rapporto segnale rumore e cifra di rumore

Un qualsiasi quadripolo degrada il rapporto segnale rumore



Il rapporto segnale - rumore all'uscita non sarà lo stesso di quello all'ingresso.

Per definire la qualità dello stadio che processa il segnale conviene misurare il rapporto fra il rapporto segnale di ingresso e quello di uscita.

Questo rapporto viene chiamato
Cifra di Rumore = F.



$$F = \frac{\frac{S_i}{N_i}}{\frac{S_o}{N_o}}$$

E' sempre > 1

In dB si chiama **Figura di Rumore (Noise Figure).**

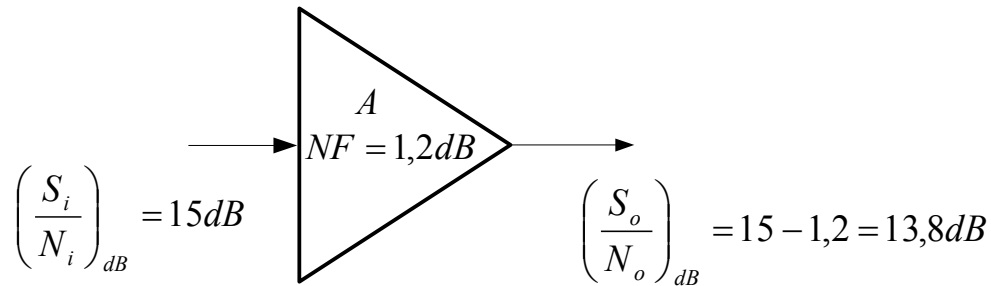
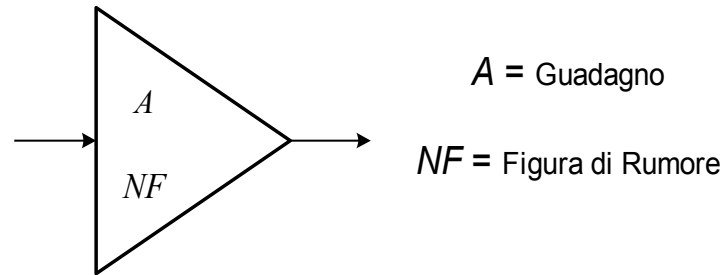


$$NF_{(dB)} = 10 \cdot \lg F \quad NF_{(dB)} = \left(\frac{S_i}{N_i} \right)_{dB} - \left(\frac{S_o}{N_o} \right)_{dB}$$

Rapporto segnale rumore e cifra di rumore

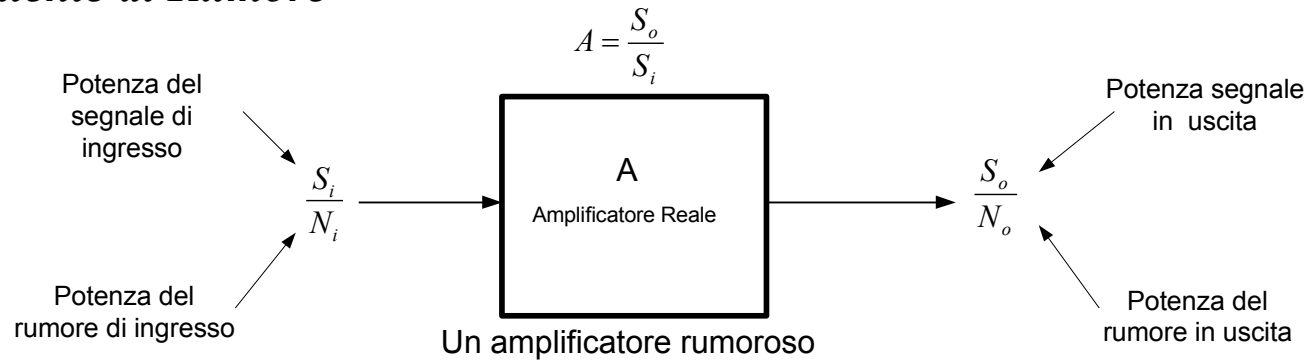
Esempio

Un amplificatore è caratterizzato dal suo guadagno, A , e dalla sua figura di rumore, NF

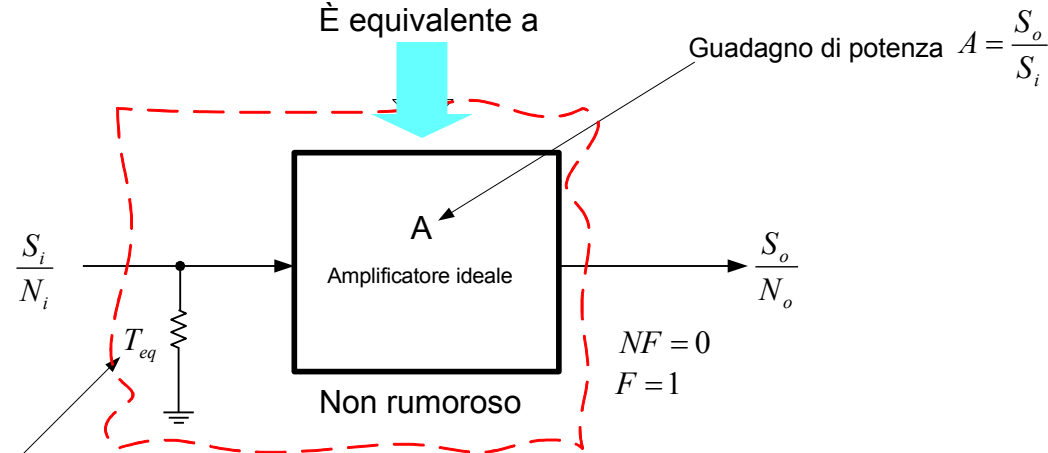


Temperatura equivalente di rumore

Un altro modo per specificare le prestazioni relative al rumore è la **Temperatura Equivalente di Rumore**



È equivalente a



Resistenza equivalente di rumore che alla temperatura T_{eq} produce all'uscita lo stesso rumore dell'amplificatore reale (in una data banda di frequenza)

Temperatura equivalente di rumore

La *Temperatura Equivalente di Rumore*, è la temperatura ipotetica di una resistenza R connessa all'ingresso di un amplificatore ideale con lo stesso guadagno di quello reale (rumoroso) tale che all'uscita vi sia lo stesso rumore.

$$F = \frac{\frac{S_i}{N_i}}{\frac{S_o}{N_o}} = \frac{S_i}{S_o} \cdot \frac{N_o}{N_i} = \frac{N_o}{N_i} \cdot \frac{1}{A} \quad \Rightarrow \quad N_o = F \cdot N_i \cdot A$$

Rumore totale di ingresso

Rumore di ingresso dovuto alla sorgente che si suppone termica è

$$N_i = K \cdot T \cdot B$$

Rumore di ingresso equivalente generato dall'amplificatore

$$N_{eq} = F \cdot N_i - N_i \quad \Rightarrow \quad N_{eq} = F \cdot K \cdot T \cdot B - K \cdot T \cdot B$$

$$N_{eq} = K \cdot T \cdot B(F - 1) \quad \Rightarrow \quad K \cdot T_{eq} \cdot B = K \cdot T_0 \cdot B(F - 1) \quad \Rightarrow \quad T_{eq} = T_0(F - 1)$$

Viene generato in una resistenza a temperatura **T_{eq}**

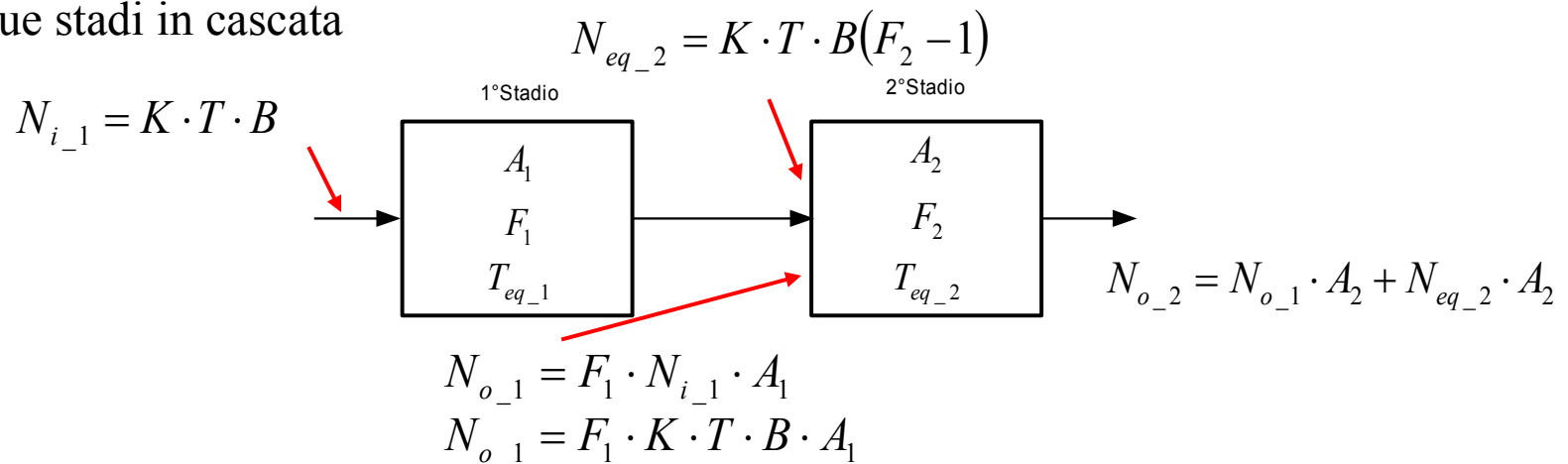
La sorgente reale si trova a **T_0**

$$F = \frac{T_{eq}}{T_0} + 1$$

Quando due o più stadi amplificatori sono connessi in cascata, sarà la cifra di rumore del primo stadio a determinare le prestazioni dell'intero sistema. Questo perché il rumore generato dal primo stadio viene amplificato da tutti gli stadi successivi.

Il rumore generato dall'ultimo stadio sarà il meno amplificato e quindi influirà meno di quello degli stadi precedenti.

Due stadi in cascata



$$N_{o_2} = F_1 \cdot K \cdot T \cdot B \cdot A_1 \cdot A_2 + (F_2 - 1) \cdot K \cdot T \cdot B \cdot A_2$$

$$N_{o_2} = K \cdot T \cdot B \cdot A_2 (F_1 \cdot A_1 + F_2 - 1)$$

Dalla definizione di cifra di rumore di un singolo stadio possiamo scrivere quella di due stadi in cascata.

La **Cifra di Rumore** di più stadi in cascata viene chiamata **Cifra di Rumore di Sistema** ed indicata con F_S .

$$F_S = \frac{\frac{S_{i-1}}{N_{i-1}}}{\frac{S_{o-2}}{N_{o-2}}} = \frac{S_{i-1}}{S_{o-2}} \cdot \frac{N_{o-2}}{N_{i-1}}$$

$\frac{1}{A_T} \rightarrow A_T = A_1 \cdot A_2$

$$\Rightarrow F_S = \frac{N_{o-2}}{N_{i-1}} \cdot \frac{1}{A_T}$$

$$F_S = \frac{K \cdot T \cdot B \cdot A_2 (F_1 \cdot A_1 + F_2 - 1)}{K \cdot T \cdot B \cdot A_1 \cdot A_2} = \frac{F_1 \cdot A_1 + F_2 - 1}{A_1} \Rightarrow F_S = F_1 + \frac{F_2 - 1}{A_1}$$

Che generalizzata a **n stadi diventa**

$$F_S = F_1 + \frac{F_2 - 1}{A_1} + \frac{F_3 - 1}{A_1 \cdot A_2} + \frac{F_4 - 1}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3} + \dots + \frac{F_n - 1}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \dots \cdot A_{n-1}}$$

La **Cifra di Rumore di Sistema** può essere espressa in dB come **Figura di Rumore di Sistema**.

$$NF_{S_dB}$$

Rumore degli amplificatori in cascata

Temperatura Equivalente di Rumore

La *Temperatura Equivalente di Rumore* $F = \frac{T_{eq}}{T_0} + 1$ di più stadi in cascata,

viene chiamata *Temperatura Equivalente di Sistema*, T_s . $F_S = \frac{T_{eq_S}}{T_0} + 1$

Cifra di Rumore del primo stadio amplificatore

$$F_1 = \frac{T_{eq_1}}{T_0} + 1$$

Cifra di Rumore del secondo stadio amplificatore

$$F_2 = \frac{T_{eq_2}}{T_0} + 1$$

$$F_T = F_1 + \frac{F_2 - 1}{A_1}$$

$$\frac{T_{eq_S}}{T_0} + 1 = \frac{T_{eq_1}}{T_0} + 1 + \frac{\left(\frac{T_{eq_2}}{T_0} + 1\right) - 1}{A_1}$$

$$T_{eq_S} = T_{eq_1} + \frac{T_{eq_2}}{A_1}$$

