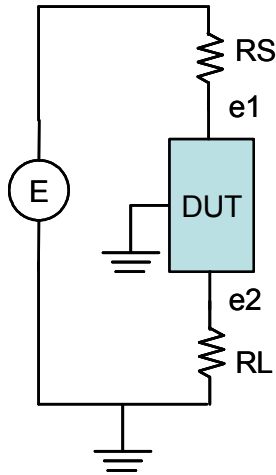


## Calculs de la perte d'atténuation (Insertion loss) v1.2

Jacques Audet Juin 2020



E est un générateur ayant une impédance  $R_S$ .  
 $R_L$  est la terminaison. E est constant.

On veut mesurer le **rapport des puissances**  
dans  $R_L$  **avant** et **après** avoir inséré le DUT

On assume  $R_S = R_L = Z_0$ , ce qui est généralement  
le cas.

Les tensions  $e_1$  et  $e_2$  sont les valeurs RMS  
mesurées p/r au commun.

DUT = device under test

Insertion loss, par définition:

$$IL = \frac{P_2}{P_1} \quad P_2 = \text{puiss dans } R_L \text{ avec le DUT, } P_1 = \text{puissance dans } R_L \text{ sans le DUT}$$

On assume  $R_S = R_L = Z_0$  pour les calculs suivants.

**Calibration.** On mesure une tension  $e_{2c}$  avec un court-circuit à la place du DUT:

Puissance dans  $R_L (= Z_0)$ :

$$P_1 = \frac{(e_{2c})^2}{Z_0}$$

**On mesure une nouvelle tension  $e_{2t}$  avec le DUT en place:**

On définit  $K = \text{rapport des tensions } e_{2t} / e_{2c}$

$$K = \frac{e_{2t}}{e_{2c}} \quad \text{Donc : } e_{2t} = K \cdot e_{2c}$$

Puissance dans  $R_L (= Z_0)$ :

$$P_2 = \frac{e_{2t}^2}{Z_0} = \frac{(K \cdot e_{2c})^2}{Z_0}$$

Rapport linéaire des puissances = P: avec DUT / sans DUT  
 (Insertion loss est par définition un rapport de puissances. Ref. Wikipedia)

$$P = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{(K \cdot e_{2c})^2}{Z_0}}{\frac{(e_{2c})^2}{Z_0}} = K^2$$

Le rapport des tensions =  $\sqrt{P} = K = \frac{e_{2t}}{e_{2c}}$

$$P_{dB} = 10 \cdot \log(K^2) = 20 \cdot \log(K)$$

On obtiens l'atténuation en dB en prenant le rapport des tensions K, 0 dB étant la référence quand on mesure e2c durant la calibration. (Avant le VNA !)

En fonction des tensions:

$$K = \frac{\frac{e_{2t}}{E}}{\frac{e_{2c}}{E}} = \frac{e_{2t}}{e_{2c}} = \frac{e_{2t}}{0.5 \cdot E} = 2 \cdot \frac{e_{2t}}{E}$$

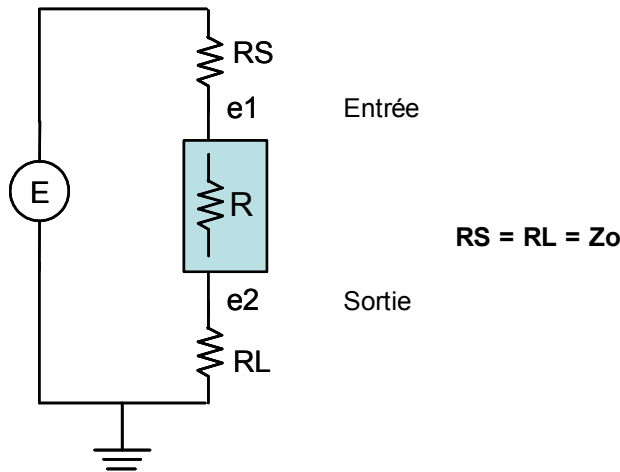
Puisque :  $\frac{e_{2c}}{E} = 0.5$

$$K = \frac{e_{2t}}{e_{2c}} = 2 \cdot \frac{e_{2t}}{E}$$

- On obtiens l'atténuation en mesurant: e2t / e2c
- Pour le calcul de K : on utilise:  $K = 2 \cdot e_{2t} / E$
- $K = S_{21}$  (Voir référence page 6)

### EXEMPLE 1

Atténuation avec une résistance série: R comme DUT



Tension e2c (calibration): ( $R_L = R_S = Z_0$ )

$$e_{2c} = E \cdot \frac{Z_0}{Z_0 + Z_0} = 0.5 \cdot E$$

Tension e2t (test)

$$e_{2t} = E \cdot \frac{Z_0}{Z_0 + R + Z_0} = \frac{E \cdot Z_0}{2 \cdot Z_0 + R}$$

### Rapport des tensions: K

$$K = \frac{E \cdot Z_0}{2 \cdot Z_0 + R} \left( \frac{E}{2} \right)$$

On calcule le rapport des tensions (e2c et e2t) p/r à E

$$K = \frac{2 \cdot Z_0}{R + 2 \cdot Z_0}$$

Après simplifications

$$Z_0 := 50$$

$$R := 400$$

$$K := \frac{2 \cdot Z_0}{R + 2 \cdot Z_0} = 0.2$$

Atténuation linéaire. K = S21

$$S21_{dB} := 20 \cdot \log(K) = -13.979$$

Atténuation en dB:

### Rapport des tensions à chaque bout de la résistance série R

$$E21 := \frac{Z_0}{2 \cdot Z_0 + R} = 0.111$$

= Tension à la sortie e2

$$dB\_E21 := 20 \cdot \log(E21) = -19.085$$

E21 en dB

= Tension à l'entrée e1

### Coeff de réflexion S11: (L'entrée est du côté e1 et la sortie du côté e2)

$$S11 := \frac{(R + Z_0) - Z_0}{(R + Z_0) + Z_0} = 0.8$$

Amplitude réfléchie

$$dB\_S11 := 20 \cdot \log(S11) = -1.938$$

Return loss (dB)

### Commentaires :

1- J'obtiens exactement les mêmes résultats avec le simulateur Genesys.  
(Calculs de S21, E21, S11)

2- Avec R = 400 ohms, le rapport des tensions E21 est de 5 dB plus faible que S21.

Ceci est dû à l'impédance d'entrée du DUT qui est de 400 + 50 ohms.

Donc ici la tension e1 **ne diminue pas de moitié**, comme si on avait l'impédance d'entrée = 50 ohms.

Ici la tension e1 = 0.9 \* E

Avec R << 400 ohms, E21 se rapproche de S21, parce que l'impédance d'entrée du DUT s'approche de Z<sub>0</sub>.

Lorsque l'impédance d'entrée = Z<sub>0</sub>, alors le rapport des tensions E21 = S21.

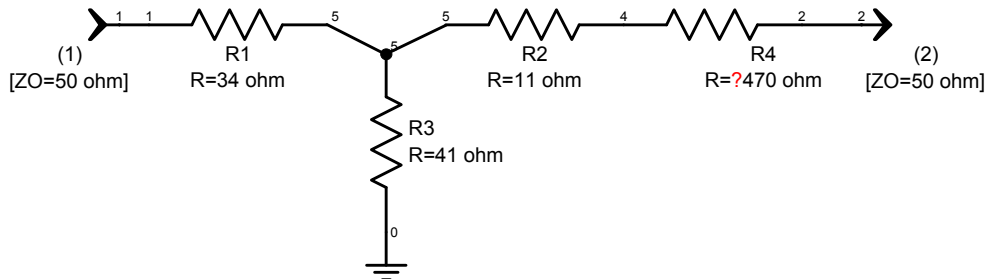
3- Dans les dérivations, les tensions sont toujours référencées à E, afin de calculer les rapports de tension.

$$K = \frac{e2t}{e2c} = 2 \cdot \frac{e2t}{E}$$

- On obtiens l'atténuation en mesurant: e2t / e2c
- Pour le calcul de K : on utilise: K = 2 \* e2t / E
- K = S21 (Voir référence page 6)

## Exemple 2

### Calculs de l'atténuateur en T



Calcul de l'Insertion Loss S21 RS = RL = 50 ohms

$$R1 := 34 \quad R3 := 41 \quad R2 := 11 \quad Z_0 := 50$$

Calcul de la tension e2 à la sortie (2)

$$Parr(Ra, Rb) := \frac{Ra \cdot Rb}{Ra + Rb} \quad \text{Fonction pour calculer les résistances en parallèle}$$

$$A(R4) := Parr(R2 + R4 + Z_0, R3) \quad \text{Calcul de } R2+R4+Z_0 // R3$$

$$e3(R4) := \frac{A(R4)}{A(R4) + R1 + Z_0} \quad \text{Calcul de la tension sur } R3$$

$$e2t(R4) := e3(R4) \cdot \frac{Z_0}{Z_0 + R4 + R2} \quad \text{Calcul de la tension à la sortie de l'atténuateur: } e2t$$

$$e2c := 0.5 \quad \text{Tension de sortie durant la calibration (toujours pareil !)}$$

$$S21(R4) := \frac{e3(R4) \cdot \frac{Z_0}{Z_0 + R4 + R2}}{0.5} \quad \text{Calcul de } S21 = e2t / e2c$$

$$S21\_dB(R4) := 20 \cdot \log(S21(R4)) \quad \text{Insertion Loss en dB vs } R4$$

$$S21\_dB(470) = -24.624 \quad \text{Insertion loss de l'atténuateur en dB, } R4 = 470$$

$$S21\_dB(1) = -8.724 \quad \text{Insertion loss de l'atténuateur en dB, } R4 = 1$$

### Calcul du Rapport des tensions E21

$$e3v(R4) := \frac{A(R4)}{A(R4) + R1} \quad \text{Rapport entre tension sur R3 et tension sur l'entrée}$$

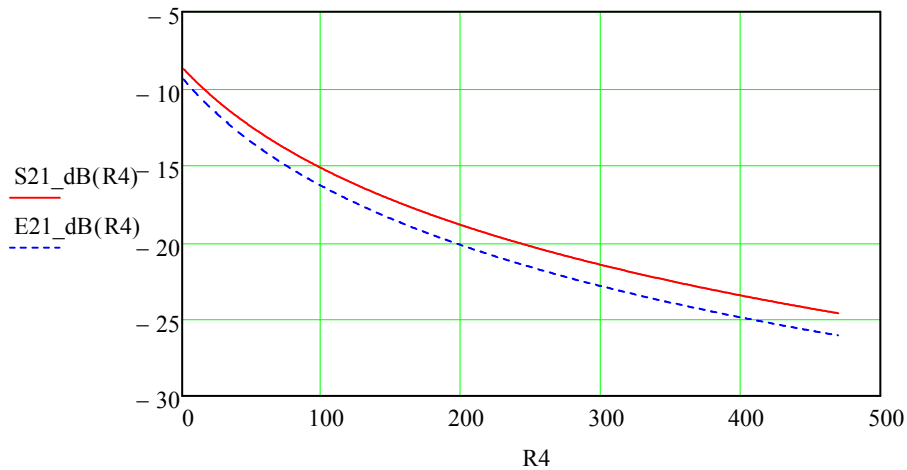
$$E21(R4) := e3v(R4) \cdot \frac{Z0}{Z0 + R4 + R2} \quad \begin{array}{l} \text{Rapport entre: tension de sortie / tension sur R3,} \\ \text{multiplié par le rapport précédent =} \\ \text{Rapport de tensions sortie / entrée} \end{array}$$

$$E21\_dB(R4) := 20 \cdot \log(E21(R4)) \quad \text{Rapport des tensions en dB, avec 1 et 470 ohms.}$$

$$E21\_dB(1) = -9.391 \quad E21\_dB(470) = -26.067$$

$$R4 := 1, 2 \dots 470$$

### Comparaison S21 et E21 vs R4



Résistance à l'entrée:

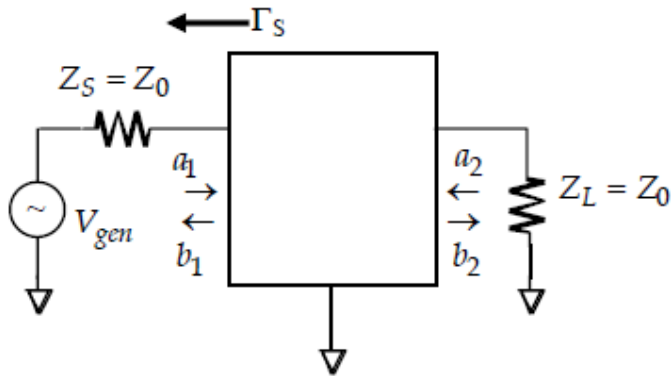
$$Rin(R4) := R1 + \text{Parr}(R2 + R4 + Z0, R3) \quad \text{Calcul de } R1 + (R2+R4+Z0 // R3)$$

$$S11(R4) := \frac{Rin(R4) - Z0}{Rin(R4) + Z0} \quad \text{Coeff de réflexion}$$

$$S11(470) = 0.181 \quad S11(1) = 0.08$$

$$S11\_dB(R4) := 20 \cdot \log(S11(R4)) \quad \text{Return loss}$$

$$S11\_dB(470) = -14.859 \quad S11\_dB(1) = -21.953$$



$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_2=0} \quad a_2 = 0 \quad \text{Pas de réflexion sur la charge}$$

$$a_1 = \frac{V_{gen}}{2} \quad \text{Calibration}$$

$$b_2 = V_{out} \quad \text{Mesure } V_{out} \text{ sur } Z_L = Z_0$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} = \frac{V_{out}}{\frac{V_{gen}}{2}} \quad \text{Calcul de } S_{21}$$

$$S_{21} = \frac{2 \cdot V_{out}}{V_{gen}}$$