

DE LA BONNE UTILISATION DES ATTÉNUATEURS

Quoi de plus simple qu'un atténuateur, direz-vous ! Trois résistances, et c'est tout !

André Jamet, F9HX

Ce qu'on veut

Un dispositif délivre un signal trop fort pour l'usage prévu, alors on insère un atténuateur pour alimenter l'utilisation. Si l'entrée est trop forte de 3 décibels, un atténuateur de 3 dB fera l'affaire.

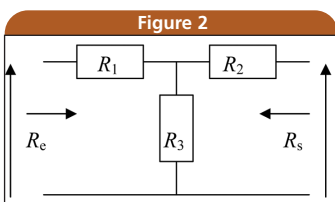
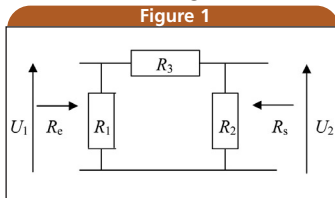
Ce n'est peut être pas aussi simple, comme nous allons le voir.

L'atténuateur

Les deux montages les plus utilisés sont un assemblage de trois résistances en forme de π (figure 1) ou de T (figure 2). L'atténuation théorique en tension qu'ils provoquent est donnée par

$$a = \frac{U_1}{U_2}$$

et $A \text{ (dB)} = 20 \log a$



Atténuateur en T

Nous pouvons calculer les résistances qui constituent l'atténuateur en fonction de l'atténuation désirée et de son impédance caractéristique Z_0 . Les formules sont données en annexe et dans [1,2]. Cette impédance caractéristique est une valeur fondamentale dans l'utilisation d'un atténuateur, comme nous le verrons plus loin.

C'est le T que nous étudierons en détail, sachant que les valeurs conclusives obtenues seront les mêmes pour le π .

La valeur la plus courante de l'impédance caractéristique des atténuateurs est de 50Ω , ce qui correspond à la majorité des câbles coaxiaux.

On a aussi utilisé la valeur de 75Ω pour la même raison et 600Ω en audio-fréquence lorsqu'on utilise des lignes bifilaires.

Influence de la valeur des résistances de l'atténuateur

L'utilisation d'un atténuateur professionnel assure, en principe, une bonne conformité pour la valeur des résistances. Ce respect est difficile si l'on veut fabriquer un atténuateur avec des composants standard et ce n'est pas le but de cet article de traiter de ce sujet. Signalons seulement qu'il est possible d'associer des résistances en série ou parallèle pour obtenir au plus près les valeurs désirées. Si les écarts sont de l'ordre de un pour cent, l'erreur sur les paramètres de l'atténuateur est du même ordre [1].

Comportement en haute fréquence

Pour une utilisation en haute fréquence, les composantes parasites, inductives et capacitatives des composants et du câblage d'un atténuateur déterminent une fréquence maximale d'utilisation pour une erreur acceptable. Jusqu'à cette fréquence, l'impédance caractéristique se réduit alors une résistance, le terme réactif pouvant être négligé.

Pour simplifier l'étude, l'influence du terme réactif de la source alimentant un atténuateur et celle de sa charge ne seront pas prises en compte dans les calculs qui vont suivre. Nous parlerons donc de résistances d'entrée et de charge au lieu d'impédances. De façon générale, les conclusions ne pourraient qu'être pires si les termes réactifs étaient pris en compte comme cela sera évoqué in fine..

Une caractéristique très importante

Dans l'emploi des atténuateurs, il ne faut jamais oublier cette caractéristique :

Un atténuateur n'apporte son atténuation théorique que :



• *s'il est attaqué par une source de résistance égale à son impédance (résistance) caractéristique.*

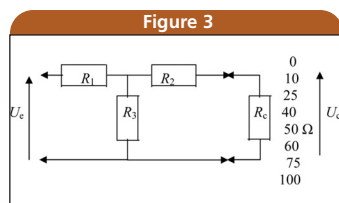
• *s'il est chargé par une résistance égale à son impédance (résistance) caractéristique.*

L'influence des écarts par rapport à ces exigences sera montrée dans les paragraphes qui suivent.

Influence de la résistance de charge

La figure 3 donne le schéma d'un atténuateur comportant une charge variable.

Les courbes de la figure 4 donnent les atténuations réelles obtenues entre entrée et sortie de divers atténuateurs pour différentes résistances de charge (formule en annexe).



Influence de la résistance interne de la source

Dans le paragraphe précédent, nous avons calculé l'atténuation provoquée par un atténuateur à partir de la tension qu'il reçoit effectivement.

Cela suppose de connaître cette tension, ce qui est souvent difficile parce que la résistance interne de la source introduit une chute de tension entre marche à vide et marche en charge.

C'est le problème général de la valeur réelle de la tension et de la puissance délivrées par une source en fonction de sa résistance interne et celle de sa charge [3].

Par exemple, dans la figure 5, la source a une résistance interne de 50Ω et délivre une tension à vide de 440 mV : c'est sa force électromotrice.

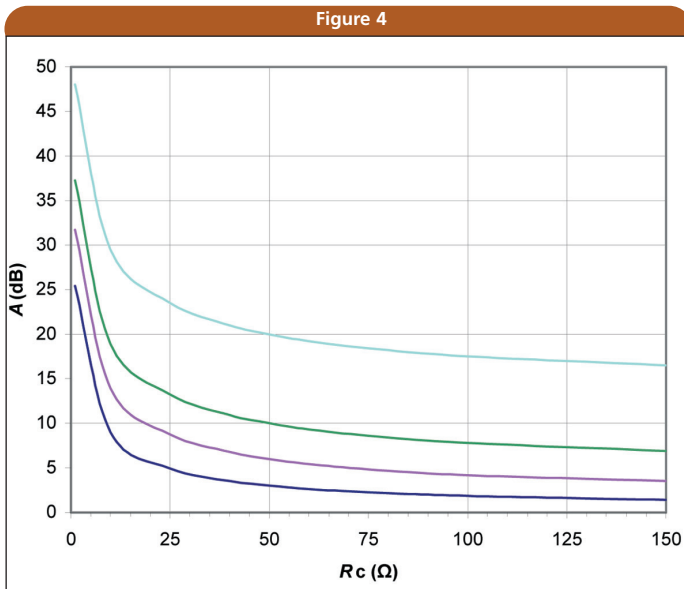
Selon la valeur de la résistance de charge, la tension à ses bornes est donnée par

$$U_c = 440 \text{ mV} \cdot \frac{R_c}{R_c + 50}$$

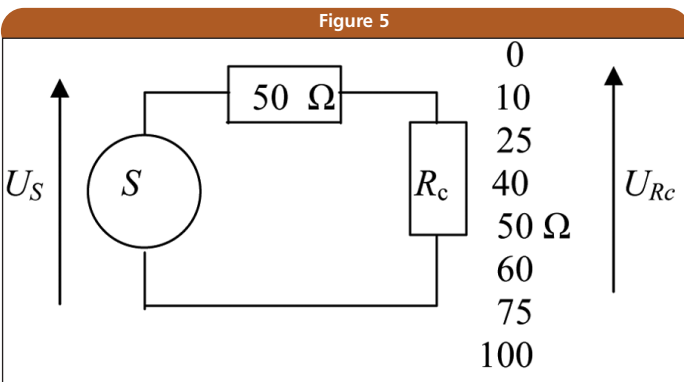
Les valeurs obtenues sont données par le tableau 1 ainsi que les atténuations obtenues :

$$A_s \text{ (dB)} = 20 \log \left(\frac{U_s}{U_{rc}} \right)$$

Si l'utilisation a une résistance infinie, ou que l'on peut considérer comme telle, une sonde d'oscilloscope par exemple, la tension sera celle à vide, c'est-à-dire sa force électromotrice, qui est égale au double de celle mesurée avec une charge de résistance égale à la résistance interne, soit 440 mV . Si la résistance de charge fait 50Ω , il est



Courbes donnant les atténuations réelles entre entrée et sortie d'atténuateurs 50 Ω chargés par une résistance de valeur variable



Source à charge variable

	résistance de charge R_c (Ω)								
	0	10	25	40	50	60	75	100	∞
U_{Rc} (mV)	0	73	147	196	220	240	264	293	440
A_s (dB)	∞	15,6	9,5	7	6	5,3	4,4	3,5	0

Tableau 1. Tension aux bornes de la résistance de charge d'une source 50 Ω et atténuation par rapport à la tension à vide de la source

évident que la chute est de 6 dB puisque c'est aussi la valeur de la résistance interne de la source.

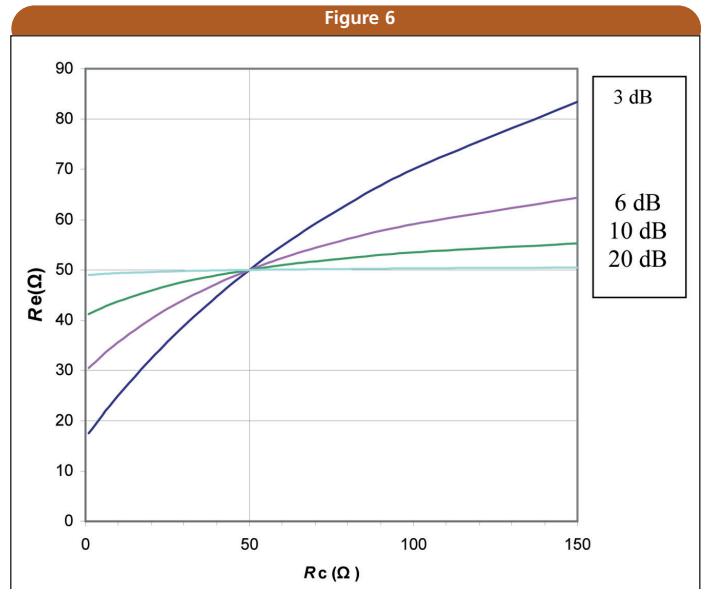
Une incidence importante : ce que l'on peut lire sur l'affichage d'un générateur de signal n'est valable que s'il est chargé par une résistance égale à sa résistance interne.

La résistance d'entrée d'un atténuateur

Lorsqu'une source est chargée par un atténuateur, celui-ci lui présente une résistance R_e . Elle influe sur la tension délivrée par la source comme on l'a vu dans le paragraphe précédent. Il faut donc connaître la résistance d'entrée d'un atténuateur (voir formule en annexe).

La résistance d'entrée d'un atténuateur n'est égale à son impédance caractéristique que s'il est chargé par une résistance de valeur égale à celle-ci ; si elle est différente, l'erreur est d'autant plus grande que la valeur d'atténuation est faible. Les courbes de la figure 6 explicitent ces affirmations pour 4 valeurs d'atténuation nominale en fonction de la résistance de charge. On peut voir que la résistance d'entrée peut varier considérablement pour les atténuateurs de 3 et 6 dB, alors qu'elle peut être négligée pour celui de 20 dB.

Comme un atténuateur est symétrique, sa résistance de sortie est égale à celles de la



Résistances d'entrée d'atténuateurs 50 Ω en fonction de résistances de charge autres que 50 Ω

figure 6 lorsque son entrée est attaquée par une source de résistance égale à celles de cette figure.

Cette particularité permet aussi de vérifier rapidement le bon état d'un atténuateur en mesurant à l'ohmmètre les résistances d'entrée et de sortie. On doit trouver les valeurs de R_e pour $R_c = \infty$ données par le tableau 1. Cela permet d'identifier un atténuateur sans marquage. Il apparaît qu'un atténuateur 20 dB sortie " en l'air " peut constituer une bonne résistance de charge 50 Ω, ce qui n'est pas le cas pour les autres.

A (dB)	R_e pour $R_c = \infty$
3	151 Ω
6	84 Ω
10	61 Ω
20	51 Ω

Tableau 2. Résistance d'entrée d'atténuateurs à vide

Les divers cas qui se présentent On peut définir plusieurs cas pratiques :

- le cas idéal : on connaît la tension appliquée à l'atténuateur, lequel est chargé par une résistance égale à son impédance caractéristique : l'atténuation est la valeur théorique de l'atténuateur.
- le cas illustré par la figure 7 où la résistance de sortie de la source, l'impédance caractéristique de l'atténuateur et sa résistance de charge font toutes 50 Ω : l'atténuation est celle de l'atténuateur par rapport à la

tension qui l'alimente (10 dB pour les valeurs de résistances indiquées). Par rapport à la tension à vide de la source, l'atténuation est accrue de 6 dB et devient 16 dB.

Pour tout autre atténuateur, il suffit ajouter 6 dB à son atténuation théorique pour obtenir l'atténuation totale.

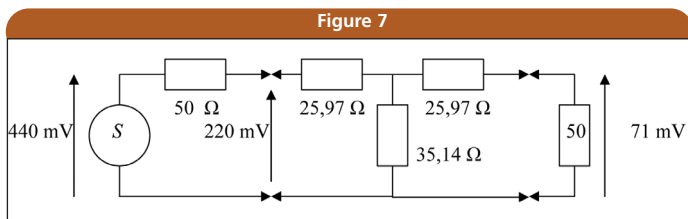
3. idem mais la résistance de charge de l'atténuateur est différente de 50 Ω (figure 8). Comme dans l'exemple précédent, la résistance d'entrée de l'atténuateur provoque une chute dans la résistance interne de la source. La différence réside dans le fait que cette résistance d'entrée dépend de celle de la charge de l'atténuateur comme vu plus haut. Ensuite, vient s'ajouter la chute due à l'atténuateur chargé.

La figure 9 donne les atténuations obtenues entre la sortie à vide d'une source 50 Ω et l'entrée d'un atténuateur selon la valeur de sa résistance de charge R_c pour les quatre valeurs d'atténuation théorique déjà utilisées.

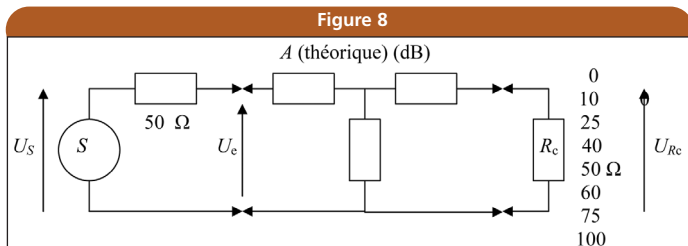
La figure 10 donne les atténuations totales obtenues entre sortie à vide d'une source 50 Ω et sortie de l'atténuateur pour diverses résistances de charge, valeurs obtenues en additionnant les chutes de la figure 9 à celles de la figure 4.

4. le cas pire : la résistance de la source et celle de la charge de l'atténuateur ne font pas 50 Ω (figure 10).

technique



Source 50 Ω 0 dBm, atténuateur 10 dB 50 Ω et charge 50 Ω



Source 50 Ω, atténuateur 50 Ω et résistance de charge variable

Si l'on veut prendre en compte sept valeurs de résistance de source et sept valeurs de résistance de charge pour chaque valeur d'atténuateur, la présentation des résultats excède les limites acceptables pour la longueur de cet article. De plus, la résistance interne de la source est rarement connue. Il est préférable de mesurer la tension réellement appliquée à l'atténuateur et d'appliquer les courbes de la figure 4.

Et si la source comporte son propre atténuateur ?

Habituellement, un générateur de signal comporte un moyen interne de réglage de sa puissance de sortie, il s'agit le plus souvent d'une cascade d'atténuateurs commutables permettant de faire varier la puissance de sortie, par exemple de -120 à +10 dBm par bonds de 10 dB, parfois de 1, 3, 6 ou 10 dB. Il conviendra d'être prudent, sachant que pour les faibles atténuations, la puissance de sortie pourra être erronée si la charge n'est pas de 50 Ω. En complément à l'incidence donnée plus haut,

Ce que l'on peut lire sur l'affichage en dBm d'un générateur de signal n'est valable que s'il est chargé par une résistance égale à sa résistance interne, tout particulièrement si son atténuateur est positionné sur une faible valeur d'atténuation.

Complément sur le comportement en fréquence

Comme évoqué plus haut, les éléments d'un atténuateur et ceux qui l'alimentent et le chargent ne sont pas de simples

résistances, mais des impédances.

S'il agit d'un générateur de signal HF, il sera considéré, le plus souvent, comme parfait avec généralement une impédance $(50 + j0) \Omega$. Comme déjà indiqué, si l'on emploie un atténuateur à une fréquence ne dépassant pas celle pour laquelle il est garanti, qui tient compte des inductances et capacités parasites de ses composants, il pourra être aussi considéré comme parfait.

Mais, la charge, quelle est son impédance ? Celle d'entrée d'un préamplificateur, d'un haut-parleur, d'une antenne. C'est-à-dire " n'importe quoi ! ". Plus encore, si la source n'est pas un générateur de signal, mais un PA par exemple, dont l'impédance de sortie est souvent mal définie.

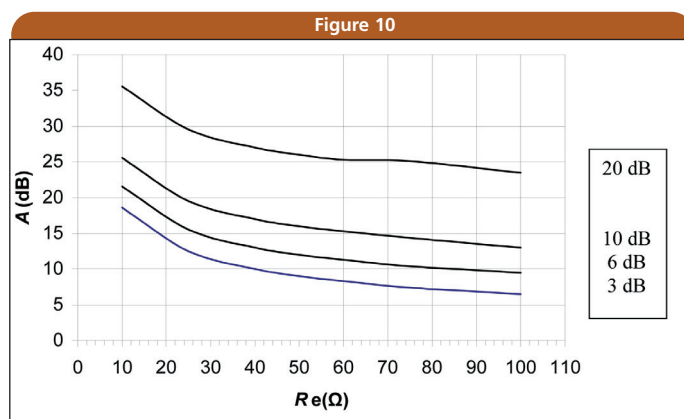
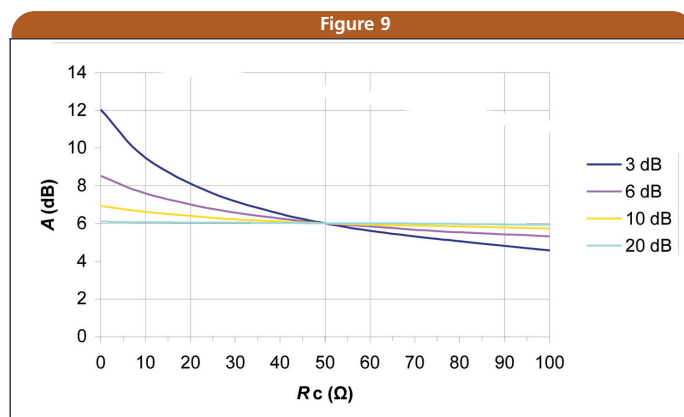
Dans ces conditions, l'atténuation provoquée ne sera pas celle escomptée et le calcul sera d'autant plus aléatoire que cette impédance de charge sera mal connue.

Alors que faire ? Dans la mesure du possible, on utilisera de préférence des atténuateurs d'affaiblissement au moins égal à 10 dB pour limiter les dégâts liés aux incertitudes.

Exemples d'erreurs

En laboratoire, combien de techniciens et même d'ingénieurs ont pu établir des rapports de mesures exprimés en décibels avec des décimales alors que des erreurs entachaient grossièrement les résultats.

Voici deux exemples typiques d'erreurs commises.



Atténuations réelles d'atténuateurs 50 Ω par rapport à la tension à vide d'une source 50 Ω pour diverses résistances de charge

Soit un générateur de signal alimentant un montage en essai. L'atténuateur du générateur est dans la position minimale d'atténuation et il doit délivrer +10 dBm sur 50 Ω. En toute bonne foi, l'opérateur croit appliquer cette puissance au montage. Cela n'est vrai que s'il présente une résistance de 50 Ω ; si le montage a une résistance différente, la puissance appliquée ne sera pas de +10 dBm.

L'erreur sera d'autant plus grande que l'écart de résistance est grand et/ou qu'un terme réactif est présent. Pour éviter cette erreur, il faut travailler avec une puissance plus faible en mettant l'atténuateur du générateur dans une position délivrant 0 dBm (atténuateur interne 10 dB), ou mieux -10 dBm (atténuateur interne 20 dB). Alors, comme on l'a vu plus haut, le générateur délivrera au montage en essai une puissance d'autant plus proche de celle affichée, son atténuateur étant moins perturbé.

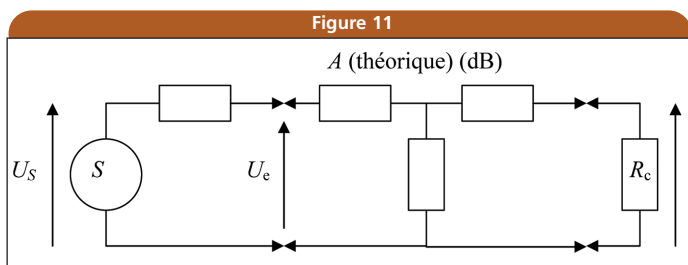
Deuxième exemple : on veut mesurer la puissance de sortie d'un montage en essai à l'aide d'un milliwattmètre ou d'un analyseur de spectre.

Cette puissance est faible, l'atténuateur des appareils de mesure est au minimum, par exemple pour obtenir une sensibilité de -60 dBm pour une source de 50 Ω. La mesure n'est exacte que si le montage en essai présente une résistance de sortie de 50 Ω. Sinon, valeur différente de résistance et/ou terme réactif, la mesure est entachée d'erreur d'autant plus que l'écart est grand. Le remède est d'utiliser l'appareil de mesure dans une position atténuée de 10 ou mieux 20 dB, ou d'insérer un atténuateur extérieur de 10 ou 20 dB lors de la mesure.

Cependant, il faut remarquer que cela n'est possible que si l'on dispose d'une marge de manœuvre de 10 ou 20 dB pour la mesure. Dans le cas contraire, il faudra se contenter de 6 ou 3 dB, sachant alors que l'erreur risque de ne plus être négligeable. On peut aussi utiliser un isolateur ou un circulateur, mais cela est une autre histoire !

Conclusion

L'avertissement donné au début n'est pas exagéré, car, on vient



Source quelconque, atténuateur 50 Ω et résistance de charge variable

de le voir, maintes erreurs peuvent être faites dans l'emploi des atténuateurs qui semblent pourtant des composants bien simples.

Les exemples ci-dessus montrent bien qu'il est déjà difficile de faire des mesures en laboratoire ; en utilisation courante, l'expression de leur précision doit être tempérée. On parlera raisonnablement de décibels, peut être de dixièmes, si l'on maîtrise bien les différents paramètres impliqués.

Il reste à parler du rôle important des atténuateurs comme isolateurs, adaptateurs d'impédances et de leur influence sur le rapport d'ondes stationnaires (ROS). Ce sera pour une prochaine fois !

Références

[1] Théorie et pratique des atténuateurs à résistances, R.Ch. Houzé, Electronique Applications, N° 14

[2] logiciel de calcul des atténuateurs :

www.f6kuq.org/f1hru/Attenuateurs.html

[3] Puissance délivrée et rendement d'un générateur débitant sur un circuit d'utilisation, F9HX, Radio-REF 4/2004

Pour tout renseignement complémentaire, envoi de feuilles de calcul et de courbes format A4: F9HX (nomenclature) ou agit@wanadoo.fr

Remarques

Tout d'abord une petite mise au point. Certains ont pu s'étonner de voir apparaître une quantité non affectée du signe moins dans l'utilisation de la formule $A(\text{dB}) = 20 \log a$ donnant l'atténuation d'un atténuateur. Ils auraient voulu obtenir une atténuation de -3 dB, par exemple. Juste une comparaison : si vous maigrissez, vous ne dites pas : j'ai perdu moins 2 kg. Si vous gagnez aux courses, vous ne dites pas : j'ai gagné

plus 100 euros. Les signes plus et moins ne sont nécessaires que pour faire un bilan des valeurs successives. Ce bilan des gains et pertes, durant un mois de paris, sera effectué en additionnant les pertes et gains hebdomadaires affectés des signes adéquats ; le total sera alors affecté du signe correspondant à la validité de nos pronostics. En le lisant, on pourra alors dire : ce mois, j'ai perdu 100 euros. CQFD ? Pour en finir avec cette mise au point, signalons que F.E.

Terman dans son célèbre ouvrage *Radio Engineer's Handbook* utilisait dès 1943 cette notation.

Plus haut, il a été évoqué l'utilisation d'une sonde d'oscilloscope pour mesurer la tension à vide d'une source.

Il faut connaître les caractéristiques de cette sonde pour effectuer une mesure correcte. La fréquence maximale d'utilisation est donnée par le fabricant ainsi que la capacité d'entrée.

Souvent, même en deçà de la fréquence maximale, cette

Annexe

Calcul des résistances :

dans le cas du π , on a

$$R_1 = R_2 = Z_0 (a + 1) / (a - 1)$$

$$R_3 = \frac{1}{2} Z_0 (a^2 - 1) / (a)$$

$$R_1 = R_2 = Z_0 (10^{A/20} + 1) / (10^{A/20} - 1)$$

$$R_3 = \frac{1}{2} Z_0 (10^{A/10} - 1) / (10^{A/20})$$

dans le cas du T, on a

$$R_1 = R_2 = Z_0 (a - 1) / (a + 1)$$

$$R_3 = 2 Z_0 (a) / (a^2 - 1)$$

$$R_1 = R_2 = Z_0 (10^{A/20} + 1) / (10^{A/20} + 1)$$

$$R_3 = 2 Z_0 (10^{A/20}) / (10^{A/10} - 1)$$

Posons : $R_4 = R_1 + R_c$.

Puis : $R_5 = R_4 // R_2$.

On a alors : $R_e = R_1 + R_5$

Calcul de l'atténuation réelle d'un atténuateur si sa résistance de charge R_c est différente de R_0 (courbes de la figure 4):

$$A_{\text{réel}} = 20 \log (R_e R_4) / (R_5 R_c)$$

CONSTRUCTIONS TUBULAIRES DE L'ARTOIS



Z.I Brunehaut - BP 2

62470 CALONNE-RICOUART

Tél. 03 21 65 52 91 • Fax 03 21 65 40 98

e-mail cta.pylones@wanadoo.fr • Internet www.cta-pylones.com

UN FABRICANT A VOTRE SERVICE

Tous les pylônes sont réalisés dans nos ateliers à Calonne-Ricouart et nous apportons le plus grand soin à leur fabrication.

- PYLONES A HAUBANER
- PYLONES AUTOPORTANTS
- MATS TELESCOPIQUES
- MATS TELESCOPIQUES/BASCULANTS
- ACCESSOIRES DE HAUBANAGE
- TREUILS

Jean-Pierre, **F5HOL**, Alain et Sandrine
à votre service

capacité peut provoquer une charge excessive pour le circuit à mesurer et même le désaccorder s'il s'agit d'un circuit oscillant.

Il faut alors utiliser une sonde à très faible capacité, sonde dynamique par exemple ou sonde statique " maison ".

Calcul de la résistance d'entrée d'un atténuateur si sa résistance de charge est différente de R_0 (courbes de la figure 6) :

$$R_e = R_1 + R_5$$

Calcul de l'atténuation réelle entre la tension à vide d'une source 50 Ω , lorsqu'elle est chargée par un atténuateur lui-même chargé par une résistance R_c différente de 50 Ω , et l'entrée de cet atténuateur (courbes de la figure 9) :

$$A_s = 20 \log (U_s / U_e)$$

$$\text{avec } U_s / U_e = R_e / (R_e + 50).$$

Calcul de l'atténuation réelle entre la tension à vide d'une source 50 Ω lorsque la résistance de charge R_c est différente de 50 Ω (courbes de la figure 10) : c'est la somme de la chute dans la source donnée par les courbes de la figure 9 et de celle de l'atténuateur chargé par une résistance R_c (comme ci-dessus pour la courbe 4).