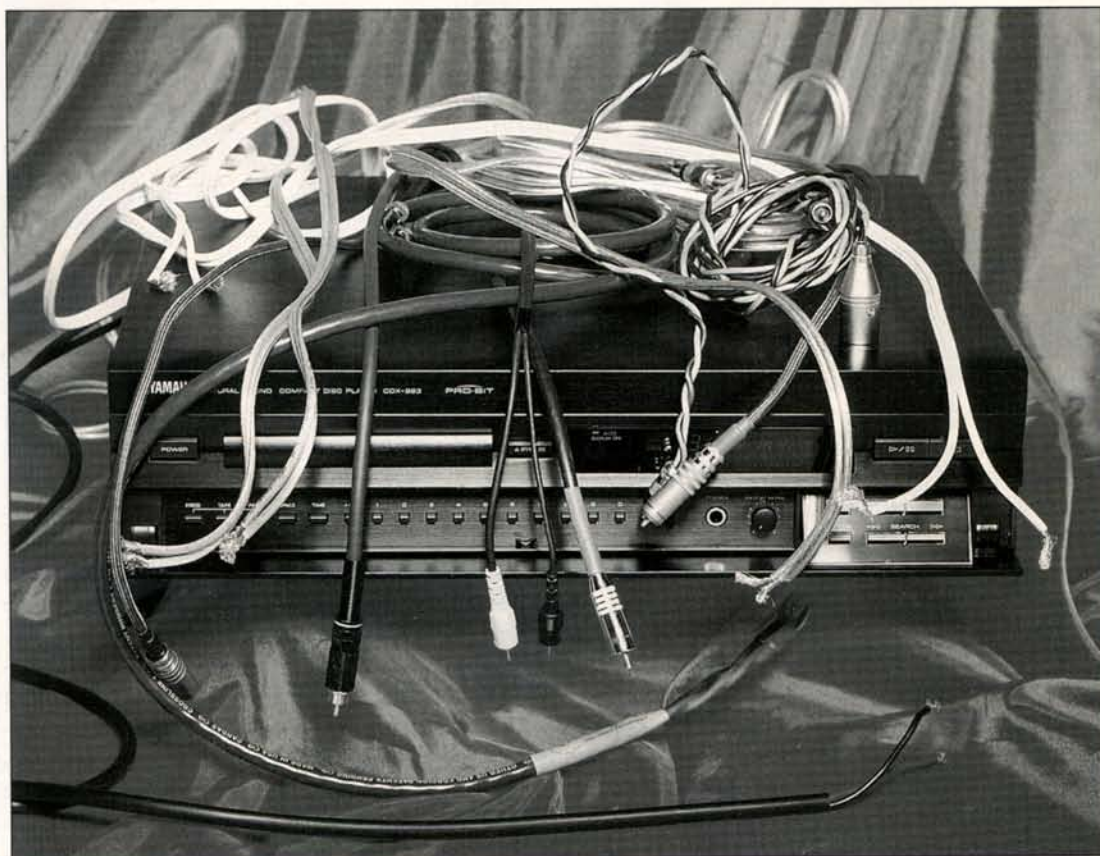


UNE QUESTION VITALE : L'ADAPTATION DES IMPEDANCES



« A quoi ça sert ? »... Tel est le cri désespéré d'un de nos lecteurs devant l'article du mois dernier... «En pratique que dois-je faire ? » insiste cet audiophile passionné. Patience ! Sachez que le problème de l'adaptation des impédances est une des clés de la parfaite utilisation de vos matériels et que, bien souvent, les résultats médiocres que vous constatez proviennent d'un mariage bancal entre les différents éléments d'une chaîne.

Ces résultats médiocres, vous essayez de les corriger en utilisant des câbles de liaisons de facture souvent torturée et bizarroïde, destinés à compenser avec plus ou moins de bonheur la désadaptation en impédance de vos chers engins. Je m'empresse d'ajouter que pour le matériel grand public, du moins en ce qui concerne la liaison entre les sources (CD, tuner, etc...) les préamplificateurs et les amplifi-

cateurs, la majorité des constructeurs sérieux s'arrangent pour que l'impédance de sortie des sources ou des préamplificateurs soit la plus basse possible et les impédances d'entrée relativement élevées ce qui arrange bien des choses. Or ceci n'est valable qu'à la condition d'utiliser des câbles de liaison relativement courts (on verra pourquoi plus loin) ou du moins tels recommandés dans les caractéristiques des constructeurs.

Ce n'est plus vrai pour le matériel professionnel et certains matériels sophistiqués destinés au grand public utilisant des lignes symétriques de grande longueur. Dans ce cas l'adaptation des impédances devient cruciale. Tous les utilisateurs professionnels ou audiophiles sont concernés par l'adaptation d'impédance lorsqu'il s'agit de connecter une cellule phono-lectrice ou un microphone à l'entrée d'un pré-

INITIATION

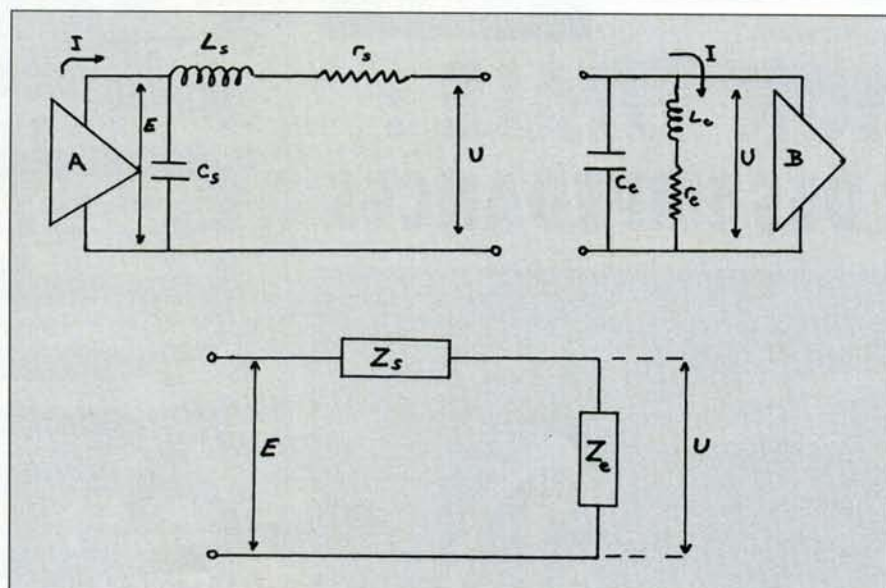


Figure 4 : En régime musical la résistance interne du générateur A devient une impédance complexe. Il en est de même pour la résistance d'entrée du récepteur B (voir texte).

vous trouvez cela trop compliqué allez vous plaindre auprès de Pythagore et de sa sombre histoire du carré de l'Hypothénuse d'un triangle rectangle. L'impédance exprimée en « Ohm » comme une résistance s'écrit définitivement ainsi :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{L\omega - 1}{C\omega}\right)^2}$$

Et maintenant on va s'empresse d'oublier tout cela et reprendre le petit schéma de la figure 3 en remplaçant R_s et R_e par Z_s et Z_e , on ne parlera plus de résistance interne ou de résistance d'entrée, mais d'impédance de source (ou de sortie) et d'impédance d'entrée (ou de charge). Je sens certains d'entre vous animés d'intentions de meurtre à mon égard : pourquoi donc nous avoir assommé avec des inductances, des capacités et autres considérations pour en revenir au schéma de la figure 3 !

Tout simplement parce qu'il faut que vous gardiez à l'esprit que contrairement à une résistance pure une impédance à la fâcheuse tendance de changer de valeur en fonction de la fréquence et c'est là le hic ! Car la musique, c'est une multitude de fréquences différentes, et bien que les constructeurs essayent de maintenir une impédance constante tant à l'entrée qu'à la sortie de leurs engins tout au long du spectre audible, la réalité est bien moins rose.

■ Les effets pernicioeux de la désadaptation

Pour ce faire, nous allons nous pencher sur le cas de désadaptation le plus flagrant et le plus délicat, celui du couplage d'un amplificateur et d'une enceinte acoustique. Il faut préciser ici que pour simplifier le problème, tout le monde s'est mis la tête dans le sable (si cela peut vous rassurer, nous aussi pendant longtemps).

Que nous indiquent les fiches des constructeurs ? Du côté de l'ampli tout d'abord (le générateur). On nous indique une impédance de sortie qui peut être de 4, 8 ou 16 Ohms. Du côté des haut-parleurs on nous indique de charger avec une impédance

amplificateur, d'un enregistreur ou d'une table de mixage ; de même l'adaptation d'impédance est cruciale lors de la liaison à la sortie d'un amplificateur vers le ou les haut-parleurs. Mais revenons voulez-vous vers la notion d'impédance d'une source ou d'un récepteur.

■ L'influence des capacités

Si vous vous reportez au dernier article (NRDS n° 223, Octobre 98) vous vous souviendrez que nous vous avons parlé de l'impédance d'un circuit inductif (transformateur, haut-parleur, cellule Phono-lectrice, etc...) la valeur de cette impédance étant égale à :

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$$

Or pour être complet, il nous faut parler des capacités introduites accidentellement (capacité parasites) par les câbles de liaison, le câblage des matériels, les capacités entre spire d'un transformateur etc... Ces capacités existent partout (de même que les inductances) mais contrairement aux inductances qui se conduisaient comme une résistance additionnelle en série avec la résistance pure du circuit, et dont la valeur augmentait avec la fréquence, les capacités, elles, par esprit de contradiction se placent en parallèle sur cette même résistance et agissent exactement en sens inverse (fig. 4). La valeur de la résistance équivalente d'une capacité en fonction de la fréquence du cou-

rant qui la traverse est égale à $1/C\omega$.

« C » est exprimé en « Farads » c'est l'unité de capacité. Or ω est égal à 2π multiplié par « f » (f étant la fréquence). C'est de la simple arithmétique : plus la fréquence va augmenter plus le produit $C\omega$ va augmenter : le quotient $1/C\omega$ va donc diminuer. Tout se passe comme si la résistance équivalente diminuait. En pratique cela signifie que plus la fréquence va augmenter, c'est à dire plus on ira vers les aigües en audio, plus l'effet de court circuit de ces pernicioeux capacités parasites va augmenter et la tension aux bornes du récepteur B va diminuer (chute dans les aigües). Il se passera d'ailleurs le même phénomène du côté de la source A ; la tension fournie par le générateur diminuera en fonction de la fréquence.

■ En résumé

Si vous regardez la figure 4 vous constaterez que du côté de générateur (cellule, micro, amplificateur, etc...) la représentation schématique de la résistance interne s'est bougrement compliquée : on retrouve la résistance R_s avec en série une inductance et en parallèle un condensateur C qu'est la somme de toutes les capacités parasite du montage. Même topo du côté du récepteur (entrée préampli, entrée Ampli, Haut-parleur, etc...) Cette combinaison de résistance, capacité et inductance s'appelle l'« Impédance complexe d'un circuit », c'est une résistance équivalente égale à la racine carrée de la somme des racines carrées de la résistance et de l'inductance moins la capacitance. Si



de 4,8 ou 16 Ohms. La seule chose qu'on oublie de nous préciser c'est à quelle fréquence, cette impédance a-t-elle été mesurée ? On sait à quelle fréquence sont mesurées ces impédances car c'est une norme internationale : les impédances de sorties et d'entrées de tous les matériels audio sont mesurées à la fréquence de 1000 Hertz, c'est ce que l'on appelle l'impédance nominale. Or si vous regardez les bancs d'essai de votre revue préférée, notre cher rédacteur en Chef Jean Hiraga vous communique pour chaque banc d'essai d'enceinte, une courbe d'impédance en fonction de la fréquence et on peut l'affirmer : c'est là où les choses se gâtent ! Car ces courbes d'impédance en fonction de la fréquence sont en majorité bougrement torturées. Qu'est-ce qui va se passer en pratique. Représentons figure 5 deux courbes d'impédance, la première est par exemple l'impédance de sortie d'un amplificateur en fonction de la fréquence dont la valeur reste pratiquement constante tout au long du spectre : c'est la courbe Z_s du générateur. La seconde c'est la courbe d'impédance Z_e de l'enceinte (une enceinte imaginaire pour ne

choquer personne). Or souvenez-vous : électriquement nous avons créé en connectant le générateur au récepteur un potentiomètre formé de Z_s et Z_e . Que va-t-il se passer ? Lorsque l'impédance de l'enceinte augmentera la source dont l'impédance varie très peu débitera moins de courant donc moins d'énergie dans le récepteur : qui dit moins d'énergie dans la bobine mobile du haut parleur dit moins d'énergie acoustique développée par ce dernier. A l'inverse lorsque l'impédance du récepteur diminuera (Z_e de l'enceinte), la source débitera plus de courant et l'énergie fournie au récepteur augmentera. Dans ce cas on démontre que la « réponse de l'adaptation » aura à peu de choses près la même forme que la courbe Z_e (dans notre cas la courbe de l'enceinte). Techniquement parlant, on aura « l'impédance Image » de Z_e à cause du défaut d'adaptation. En pratique si on considère notre enceinte imaginaire cela se traduira pas une chute dans les aigües, une remontée dans les médiums, une très grosse chute dans les graves aux alentours de 100 Hertz suivie d'une énorme remontée vers 70 Hertz.

Ce phénomène de désadaptation intervient partout dans toute la chaîne d'amplification à des degrés plus ou moins importants : les cas les plus difficiles concernent l'adaptation entre un micro ou une cellule phonoelectrice à un préamplificateur et celle de l'amplificateur de puissance avec les enceintes. Tous les cas de figure sont envisageables car l'impédance de la source varie elle aussi. D'autre part si l'impédance de la source est torturée (cellule phono lectrice) et l'impédance d'entrée du récepteur (préampli) et droite on obtiendra l'inverse de la courbe d'impédance Z_s . Dans tous les cas de figure la courbe de réponse sera altérée. En Hi-fi on limite les dégâts en essayant de rendre les impédances de sources très faibles, et les impédances d'entrées élevées... ce qui n'est pas sans poser d'autres problèmes !

■ Et la distorsion harmonique ?

Elle va bien évidemment varier avec la désadaptation d'impédances, surtout dans le cas d'une impédance de charge trop faible. Dans le cas de notre enceinte imaginaire, lorsque son impédance descend en dessous de l'impédance caractéristique de l'amplificateur, ce dernier aura tendance à débiter plus de courant et on risque dans ce cas de dépasser sa puissance limite, avant d'arriver à cette dernière extrémité le taux de distorsion va augmenter non pas sur tout le spectre mais sur les fréquences correspondant à une impédance très basse. C'est le son agressif que l'on attribue à tort et certains amplificateurs alors que la cause est uniquement due à la désadaptation d'impédance entre l'ampli et les enceintes. Ici aussi ce phénomène intervient partout. C'est le mauvais couplage entre un préamplificateur à tubes et un amplificateur à semi-conducteur à basse impédance d'entrée, ou une cellule phono-lectrice mal chargée par les préamplificateur ou le transformateur d'entrée. Il faut signaler ici un cas de désadaptation d'impédance fréquent auquel on pense rarement. Pratiquement tous les préamplificateurs sont munis d'une sortie enregistrement (« tape out ») sur laquelle restent connectés en permanence un ou plusieurs enregistreurs à cassette, DAT, ou aujourd'hui CD enregistreurs. Il faut savoir que cette sortie est connectée en permanence avant les étages préamplificateurs aux sources à niveau ligne (Tuner CD etc...) et à la sortie de l'étape phono du préamplificateur lorsque cette dernière est commu-

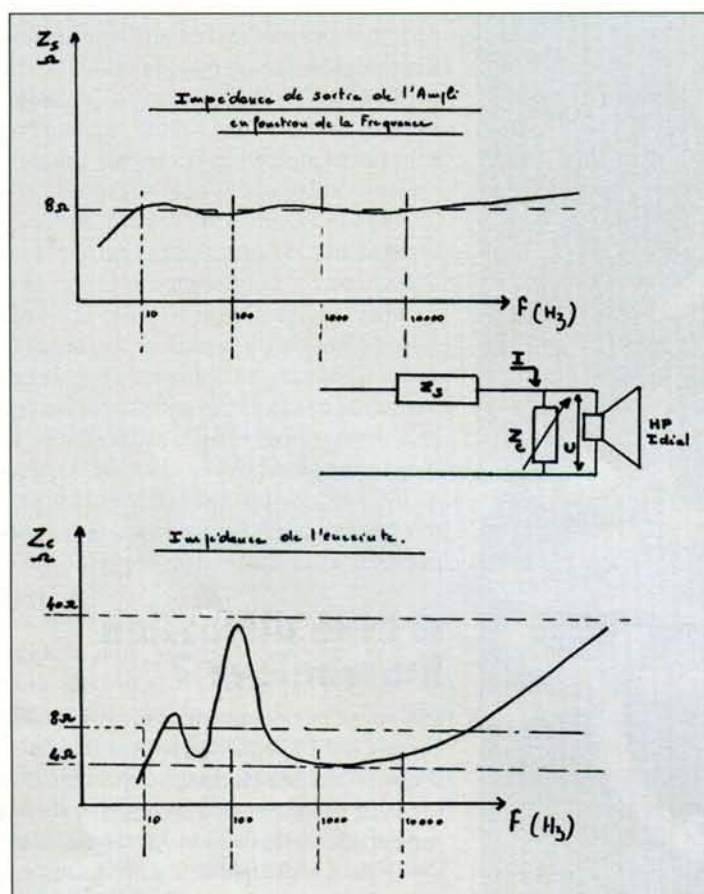


Figure 5 : Cas typique de désadaptation d'impédance entre un amplificateur de puissance dont la courbe d'impédance est à peu de chose près droite et une enceinte acoustique à la courbe d'impédance tortueuse. Le réseau d'atténuation constitué par Z_s et Z_e avec Z_e continuellement variable, va se conduire comme un potentiomètre. La tension U , aux bornes du haut-parleur idéal, va varier en fonction de la fréquence. Dans le cas théorique de la figure, cela se traduira à l'écoute par une sur-correction des basses fréquences à 70 Hz (très désagréable !) et à une baisse dans l'aigu. Aux environs de 1000 Hz il y a des chances pour que le taux de distorsion augmente d'une façon non négligeable. De plus on aura droit à une forte augmentation de pression acoustique dans le médium. La courbe d'impédance idéale de l'enceinte devrait se rapprocher de la ligne droite ce que tout constructeur sérieux essaye de faire en jouant sur l'amortissement et les filtres.

Entre parenthèses l'impédance caractéristique à une importance fondamentale lors de la liaison entre une mécanique de lecteur CD et un convertisseur, car il s'agit là de passer plusieurs Megahertz et le problème des ondes stationnaires est à prendre en compte. Cependant, de la théorie des lignes on peut extraire deux règles appliquées à l'audio car les lignes

lèlent sur Z_e . On changera donc la valeur de l'impédance d'entrée du récepteur (ici le pré-ampli). Un constructeur de câbles, par des astuces de construction (âme du câble en hélice, blindage fractionné, couche de semi-conducteur entre deux tresses du blindage, polarisation de blindage par rapport à l'âme du câble...) peut intervenir sur la valeur de l'inductance et de la capacitance du câble : on changera donc l'impédance série de la source et parallèle du récepteur.

En supposant une impédance Z_s de la source droite on interviendra sur la courbe de transmission en fonction de la fréquence en faisant varier l'impédance globale du système. On peut donc créer des câbles qui sur-correctent l'aigu par exemple, ou le grave, ou bien les deux. C'est une question de goût ! Il en est de même des câbles pour haut-parleurs ou la ligne est purement inductive par des astuces de construction on va arriver à jouer sur l'inductance du câble (pour la capacité c'est beaucoup plus difficile compte tenu des faibles impédances mises en jeu).

tée. Si l'enregistreur est éteint, l'entrée des appareils à semi-conducteurs est non polarisée : la source que vous utiliserez « verra » les coudes des jonctions des transistors d'entrée rendant l'impédance d'entrée du pré-amplificateur complètement variable en fonction de la fréquence et pire en fonction du niveau. C'est une source de distorsions énormes... n'oubliez pas d'allumer les appareils inutilisés.

■ Et les câbles de liaison ?

Nous les avons gardés pour la fin car il est évident que leur présence va intervenir dans des proportions plus ou moins importantes sur l'adaptation des impédances. Il n'est pas question d'ouvrir une polémique (on entend de tout et n'importe quoi sur les câbles ces temps-ci !) mais sachez que dans notre propos il s'agit de Basse Fréquence et non pas de Haute Fréquence. Pas question de parler de ligne accordée en BF. Si on voulait accorder une ligne sur la fréquence de 1000 Hz elle ferait 300 km de long 30 km à 10 000 Hz et 3000 km à 300 Hz ! Donc pas d'impédance caractéristique de la ligne.

utilisées (donc les câbles) ont toujours une longueur inférieure au quart de la longueur d'onde correspondant à la fréquence la plus élevée à transmettre.

Dans le cas d'une liaison en tension ou à courant faible (préampli vers ampli, cellule vers pré-pré CD vers préampli). On considère que l'impédance de charge est supérieure à l'impédance de source ; la ligne dans ce cas est capacitive (ligne ouverte).

Dans le cas d'une liaison en courant ou l'impédance de la charge est égale ou plus petite que l'impédance de la source, la ligne dans ce cas est inductive (ligne en court circuit).

Partant de là, l'influence des câbles sur l'adaptation des impédances est évidente, et il est normal qu'en fonction de la construction des câbles on obtienne des résultats parfois étranges. Si vous vous reportez aux différentes figures de cet exposé, vous comprendrez aisément que dans le cas d'une liaison en tension (CD vers préampli) un câble standard (100 picofarad au mètre) d'une longueur de 2 mètres par exemple va présenter en parallèle sur Z_e (entrée du préampli) une capacité de 200 picofarads en paral-

■ En conclusion

Ce très bref exposé sur l'adaptation des impédances vous permettra je l'espère de corriger certains phénomènes désagréables dus à la mauvaise adaptation des sources et des récepteurs souvent incompatibles les uns avec les autres. Dans neuf cas sur dix ce ne sont pas vos appareils qui sont en cause mais leur mariage contre nature. Ne tombez pas dans l'excès, n'hésitez pas à changer vos câbles mais avec précaution. Munissez vous pour ce faire d'une paire de bons câbles standards qui vous serviront de référence. Analysez objectivement les phénomènes et corrigez les en partant de la fin de votre chaîne c'est à dire, les enceintes en remontant vers l'amont, c'est à dire les sources.

Bonne écoute à tous, à bientôt.

Rinaldo Bassi