

Impédance caractéristique et adaptation

Une ligne de transmission, quelle que soit sa forme, possède une impédance caractéristique, symbolisée par Z_0 , qui représente le rapport entre la tension et le courant d'une onde se propageant le long d'une ligne adaptée. Pour une ligne sans pertes, Z_0 est purement résistif et vaut la racine carrée de L/C , où L et C représentent respectivement le coefficient de self-induction et la capacité de la ligne par unité de longueur. Les impédances caractéristiques des câbles coaxiaux courants varient entre 50 et 100 Ω , tandis que les lignes de transmission à conducteurs parallèles présentent une gamme d'impédances caractéristiques d'environ 300 à 1000 Ω .

Lorsque les lignes sont utilisées pour la transmission de hautes fréquences ou d'impulsions à temps de montée très courts, il devient très important d'adapter l'impédance de la charge à celle de la ligne, pour éviter toute réflexion de l'onde émise depuis la charge vers la source. Les points importants sont les suivants :

- a) Une ligne de transmission connectée à une charge de valeur égale à son impédance caractéristique (donc une résistance pure) transmettra une impulsion d'énergie à cette charge sans qu'il y ait réflexion. En d'autres termes, toute l'énergie émise par la source sera absorbée par la charge.
- b) Dans ces conditions d'adaptation, à quelque fréquence que ce soit, l'impédance vue à l'entrée de la ligne est égale à l'impédance caractéristique de cette ligne.

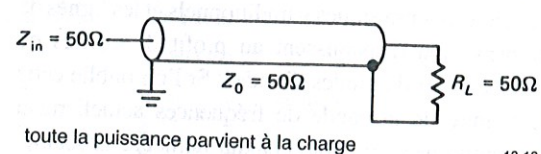


Figure 13.18

Cela peut paraître surprenant au premier abord, puisqu'en basses fréquences, le premier réflexe serait de considérer un morceau de câble coaxial comme une capacité de faible valeur ou, ce qui revient au même, comme une réactance relativement importante. Ainsi

donc, en basses fréquences, c'est-à-dire lorsque les longueurs d'onde sont beaucoup plus grandes que les longueurs de câbles, il n'est pas nécessaire de procéder à l'adaptation des impédances de source et de charge : il suffit que la source de signal puisse s'accommoder d'une charge capacitive, de l'ordre de 30 pF par mètre de liaison. Mais si un câble est chargé par une résistance égale à son impédance caractéristique, magiquement, il se transforme en résistance pure à toutes les fréquences.

Lignes non adaptées

Une ligne de transmission mal adaptée peut avoir quelques propriétés intéressantes, sinon utiles ! Une ligne terminée par un court-circuit produit une onde réfléchie de polarité opposée ; le délai de propagation de cette onde réfléchie est déterminé par la longueur électrique de la ligne. En effet, la vitesse de propagation d'une onde électrique le long d'un câble coaxial vaut à peu près les deux tiers de la vitesse de la lumière ; ce ralentissement est dû à la présence d'un diélectrique solide à la place du vide, et le rapport entre ces deux vitesses est appelé coefficient de vélocité, symbolisé par la lettre grecque ν : (ν).

Dans le cas d'un câble court-circuité, la tension à l'extrémité du câble doit obligatoirement être égale à zéro ; le câble doit donc produire une onde de polarité opposée à cette extrémité pour forcer cette condition. Dans l'exemple représenté à la figure 13.19, il en résulte à l'entrée du câble coaxial une impulsion positive dont la durée est d'environ 300 ns.

[N.d.T. : Et dont l'amplitude vaut 0,5 V, puisque le résisteur et l'impédance d'entrée du câble forment un diviseur par deux.]

D'une manière similaire, un câble coaxial à l'extrémité ouverte devra créer à cette extrémité une onde propre à forcer la condition de courant nul, et donc générer une onde de la même polarité que l'onde incidente. Cette onde réfléchie vers la source provoquera à cet endroit un signal en forme d'escalier, dont la longueur de la marche sera aussi égale à 300 ns.

La propriété du câble coaxial court-circuité est parfois exploitée pour créer une impulsion de très courte durée à partir d'un flanc montant ou descendant. Ce

flanc est appliqué au câble à travers une résistance égale à Z_0 , l'autre extrémité du câble étant court-circuitée. Comme vous pouvez le constater dans l'exemple précité, la forme d'onde à l'entrée du câble est une impulsion dont la durée est égale au temps de trajet aller et retour du flanc appliqué, puisque c'est l'onde réfléchie qui ramène la tension d'entrée à zéro.

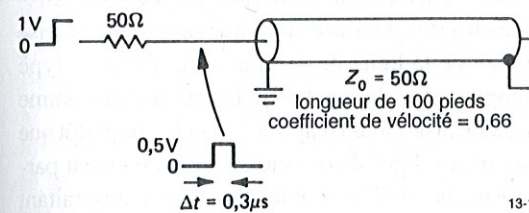


Figure 13.19 - Production d'impulsion au moyen d'une ligne de transmission en court-circuit (flanc de retour inversé).

Les lignes de transmission qui sont connectées sur un résisteur R différent de Z_0 produisent également des réflexions, mais dans une moindre mesure. L'onde réfléchie est inversée si R est inférieure à Z_0 , et garde la même polarité si R est supérieure à Z_0 . Le rapport de l'amplitude de l'onde réfléchie à l'amplitude de l'onde incidente est donné par

$$A_r / A_i = (R - Z_0) / (R + Z_0)$$

Lignes de transmission en radiofréquences

En ce qui concerne le domaine des fréquences radio, une ligne de transmission dont l'extrémité est adaptée est vue comme une impédance égale à Z_0 , qui peut être considérée comme une résistance pure si les pertes de la ligne sont négligées. Dans ces conditions, la ligne de transmission porte bien son nom : elle transmet toute l'énergie appliquée à son entrée à la charge placée à son extrémité, et cela reste vrai quelles que soient la longueur de la ligne et la fréquence de travail.

C'est au moment où les lignes sont mal adaptées qu'il peut à nouveau se passer quelque chose d'intéressant dans le comportement des lignes de transmission en radiofréquences.

Dès lors que, pour une longueur donnée de câble mal adapté, l'onde réfléchie parvient à l'entrée avec une phase différente de celle du signal appliqué, et que cette différence de phase varie en fonction de la fréquence appliquée, il devient possible de transformer cette constatation en disant que l'impédance vue à l'entrée d'un câble dépend à la fois du taux de désadaptation et de la longueur électrique de la ligne, exprimée en fractions de longueur d'onde.

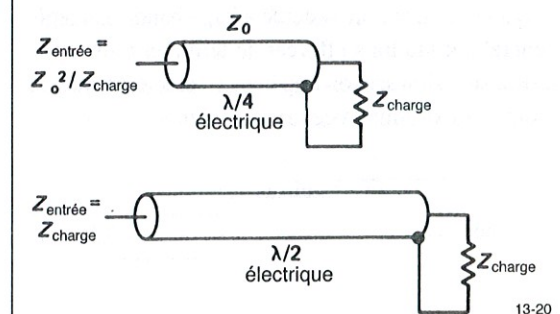


Figure 13.20

Par exemple, une ligne qui possède un nombre impair de quarts de longueur d'onde et qui comporte une impédance Z_{load} à son extrémité présente une impédance d'entrée égale à Z_0^2 / Z_{load} . Si la charge est résistive, l'impédance d'entrée le sera également.

D'un autre côté, une ligne de transmission comportant un nombre entier de demi-longueurs d'ondes présentera une impédance d'entrée égale à son impédance de charge (figure 13.20).

La présence d'ondes réfléchies sur une ligne de transmission n'est pas nécessairement néfaste. Pour le travail à une fréquence unique ou dans une bande de fréquences très étroite, une ligne (pas trop) mal adaptée peut être compensée par un coupleur de ligne pour présenter à son entrée une impédance résistive acceptable par la source qui la pilote ; si la désadaptation est légère, le supplément de pertes qui résultera de la présence de tensions et de courants plus importants sur la ligne pour transmettre la même quantité de puissance pourra être considéré comme négligeable.

Une ligne mal adaptée possède des propriétés différentes à des fréquences différentes. Le fameux dia-