# Adaptation des impédances application aux coupleurs d'antennes Impedantieaanpassing toegepast op antennekoppelaars

*Par/door ON5WF (MNS) - Vertaling: ON5UK*

**4ième partie / Deel 4**

*Après avoir étudié les coupleurs d'antennes à réseau en L (coupleurs à 2 réactances), nous examinerons, dans cette 4ème partie, le fonctionnement des coupleurs à réseaux en T et en PI (coupleurs à trois réactances).*

*Rappelons au passage que nous supposons ici avoir affaire à des réactances parfaites. Par ailleurs nous n'utilisons pas l'abaque de Smith dans le cadre de cet article, pour des raisons exposées dans la 1ère partie.*

## 7. Coupleurs à trois réactances

Comme le montre la **figure 35**, on peut constituer un coupleur à trois réactances en les associant de façon à former soit un réseau en PI (ou en triangle), soit un réseau en T (ou en étoile). A chacun de ces deux types de coupleurs correspondent une configuration passe-bas et une configuration passe-haut (**figure 36**).

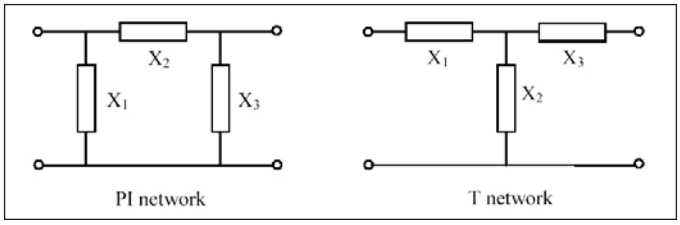



***Fig. 35. Les deux types de coupleurs à trois réactances.***

*Fig. 35. De twee soorten koppelaars met drie reactanties.*

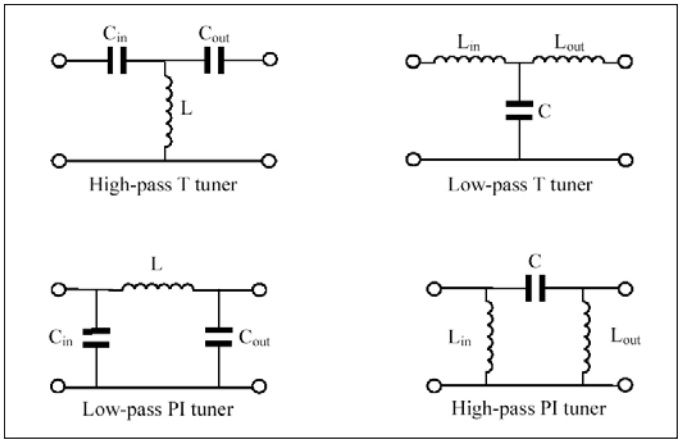



***Fig. 36. Configurations passe-bas et passe-haut pour les coupleurs en T et en PI (les plus utilisées sont le T passe-haut et le PI passe-bas).***

*Fig. 36. Laagdoorlaat- en hoogdoorlaatconfiguraties voor de T- en PI-koppelaars (de hoogdoorlaat-T en de laagdoorlaat-PI komen het meest voor).*

**Remarque:** les schémas donnés à la **figure 36** ne sont pas les seuls possibles. Par exemple, pour le T à deux capacités et une inductance, il existe 3 combinaisons; on peut en effet placer l'inductance dans la branche d'entrée, dans la branche de sortie ou dans la branche verticale (cas de la figure).

## 8. Adaptation par coupleur en T

### *8.1. Relation avec le coupleur en L*

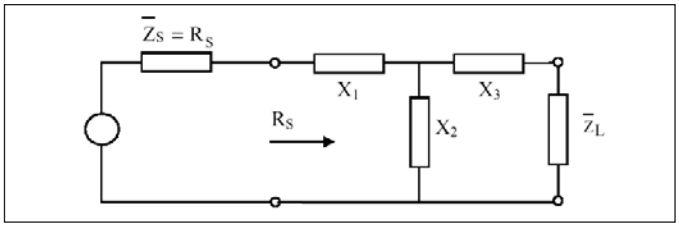



***Fig. 37. Adaptation par coupleur en T.***

*Fig. 37. Aanpassing met een T-netwerk.*

Considérons (**figure 37**) un coupleur en T inséré entre la sortie d'un émetteur et l'entrée de la ligne reliant l'émetteur à l'antenne. $\overline{Z}_L$ est l'impédance mesurée à l'entrée de la ligne et $\overline{Z}_S = R_S$ est l'impédance de

*Na de studie van de antennekoppelaars met een L-netwerk (aanpassing met 2 reactanties) bekijken we in dit 4de deel de T- en PI-koppelnetwerken (aanpassing met 3 reactanties).*

*Terloops herhalen we even dat we werken met perfecte reactanties. In dit artikel gebruiken we geen smithdiagrammen om redenen die we reeds vermeld hebben in het eerste deel.*

## 7. Koppelaars met drie reactanties

Zoals **figuur 35** toont, kan men een koppelaar met drie reactanties opbouwen in de vorm van een PI (of in een vorm van een driehoek), of in de vorm van een T (of in de vorm van een ster).
Elke soort komt overeen met een laagdoorlaat- of een hoogdoorlaat-filter (**figuur 36**).

**Opmerking:** de schema's van **figuur 36** zijn niet de enige mogelijkheden. Voorbeeld: voor de T met twee capaciteiten en een spoel bestaan 3 mogelijke combinaties.
De spoel kan zich bevinden aan de ingang, de uitgang of in de verticale arm (zoals in de figuur).

## 8. Aanpassing met een T-koppelaar

### *8.1. Relatie met de L-koppelaar*

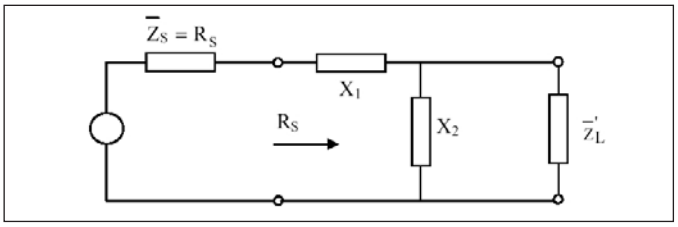



***Fig. 38: le coupleur en T avec une charge $\overline{Z}_L$ est équivalent à un coupleur en L inversé avec une charge $\overline{Z}'_L = \overline{Z}_L + jX_3$.***

*Fig. 38: een T-koppelaar met een belasting $\overline{Z}_L$ is gelijkwaardig met de L-koppelaar bestaande uit een omgekeerde L en een belasting $\overline{Z}'_L = \overline{Z}_L + jX_3$.*

**Figuur 37** toont een T-koppelaar tussen de uitgang van de zender en de ingang van de lijn tussen de zender en de antenne. $\overline{Z}_L$ is de impedantie gemeten aan de ingang van de lijn en $\overline{Z}_S = R_S$ is de uitgangsimpedantie

sortie de l'émetteur supposée purement résistive (50 Ω par exemple). Le coupleur doit donc transformer l'impédance $\bar{Z}_L$ en une impédance égale à $R_S$. Comme le montre la **figure 37**, l'impédance $\bar{Z}_L$ est en série avec la réactance $X_3$ du coupleur; on peut donc considérer que l'on a affaire à un coupleur en L inversé (réactances $X_1$ et $X_2$) avec une charge égale à $\bar{Z}_L = \bar{Z}_L + jX_3$ (**figure 38**). Le fonctionnement des coupleurs en L a été étudié dans la troisième partie de cet article. Nous avons vu à ce moment que, suivant le type de coupleur en L auquel on a affaire (L direct ou L inversé) et suivant la configuration considérée (passe-bas ou passe-haut), l'adaptation d'une impédance $Z_L = R_L + jX_L$ à une impédance $R_S$ n'est possible que dans certaines zones du plan complexe (la **figure 39** rappelle la définition des quatre zones du plan complexe; le tableau I indique les zones d'adaptation possible pour les coupleurs à deux réactances de signes différents). Par conséquent, si le point représentatif de $\bar{Z}_L$ n'est pas situé dans la bonne zone, l'adaptation n'est pas possible avec le coupleur correspondant. On peut donc dire que la réactance $X_3$ du coupleur en T permet d'amener le point représentatif de l'impédance de charge dans la bonne zone pour le coupleur en L constitué par les deux autres réactances $X_1$ et $X_2$. Comme le montre le tableau I, avec un coupleur en L inversé passe-bas, l'adaptation n'est possible que dans les zones 1 et 3+; avec un coupleur en L inversé passe-haut, l'adaptation n'est possible que dans les zones 1 et 3–. Pour la suite, nous nous intéresserons au T passe-haut (**figure 40**) qui est la configuration en T la plus utilisée.

van de zender die we zuiver resistief veronderstellen (bijvoorbeeld 50 Ω). Het netwerk moet dus de impedantie $\bar{Z}_L$ aanpassen aan de impedantie $R_S$. Zoals te zien in **figuur 37**, staat $\bar{Z}_L$ in serie met de reactantie $X_3$ van het netwerk. Men kan dus spreken van een omgekeerd L-netwerk (reactanties $X_1$ en $X_2$) met een belasting gelijk aan $\bar{Z}_L = \bar{Z}_L + jX_3$ (**figuur 38**). De werking van de L-koppelaars hebben we bestudeerd in het vorige deel van dit artikel. Daar hebben we gezien dat, afhankelijk van het type netwerk (klassieke L of omgekeerde L) en de configuratie (laagdoorlaat of hoogdoorlaat), de aanpassing van de een impedantie $Z_L = R_L + jX_L$ aan de impedantie $R_S$ niet mogelijk is in sommige gebieden van het complexe vlak (**figuur 39** herinnert aan de definitie van de 4 zones van het complexe vlak; tabel I duidt de zones aan waar aanpassing mogelijk is voor koppelnetwerken met twee reactanties met verschillend teken). Als het punt dat $\bar{Z}_L$ voorstelt niet in de goede zone ligt, is aanpassing onmogelijk met het overeenstemmende koppelnetwerk. Men kan dus met de reactantie $X_3$ van het T-netwerk het punt dat de belasting voorstelt naar de juiste zone te verplaatsen voor de L-koppelaar samengesteld uit de twee andere reactanties $X_1$ en $X_2$. Zoals tabel I laat zien is met een omgekeerd L-laagdoorlaatfilter aanpassing enkel mogelijk in de zones 1 en 3+; met een omgekeerd L-hoogdoorlaatfilter is aanpassing alleen mogelijk in de zones 1 en 3–. Voor het vervolg van het verhaal zullen we bijzondere aandacht schenken aan de meest gebruikte configuratie, het T-hoogdoorlaatnetwerk (**figuur 40**).

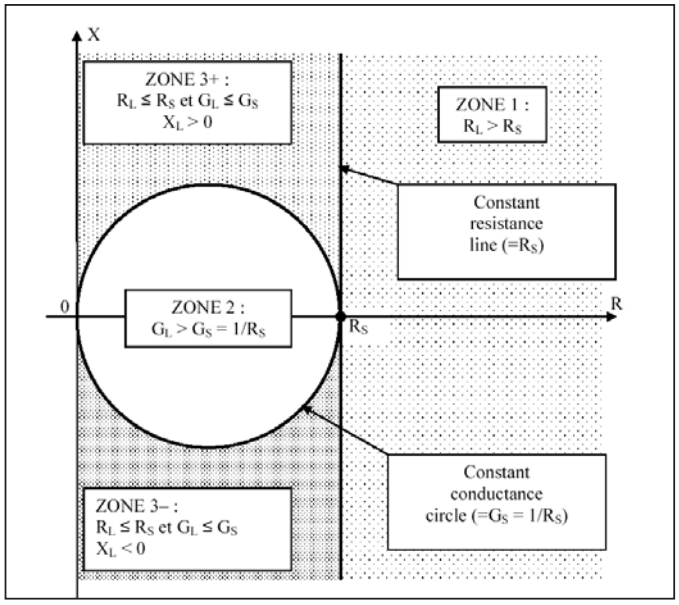
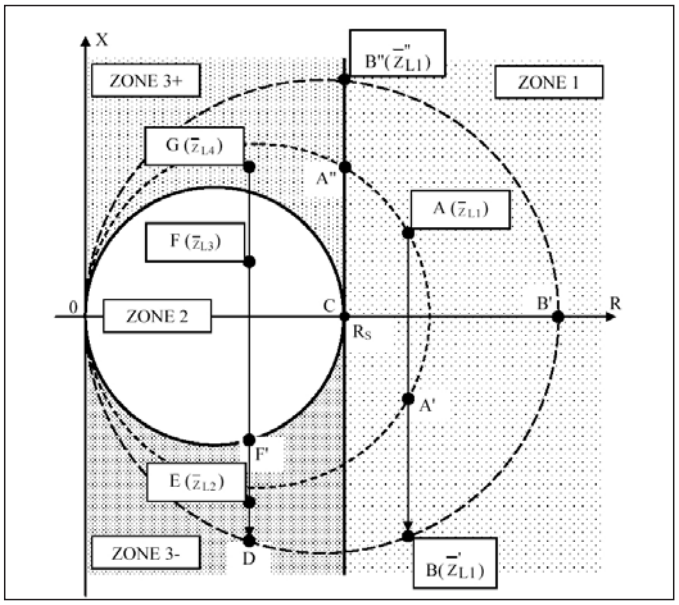



***Fig. 39. Les quatre zones du plan des impédances (par rapport à $R_S$).***

*Fig. 39. De vier zones van het impedantievlak (ten opzichte van $R_S$).*



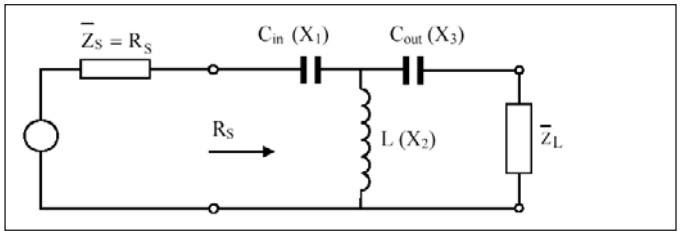




***Fig. 40. Version passe-haut du coupleur en T.***

*Fig. 40. T-hoogdoorlaat.*

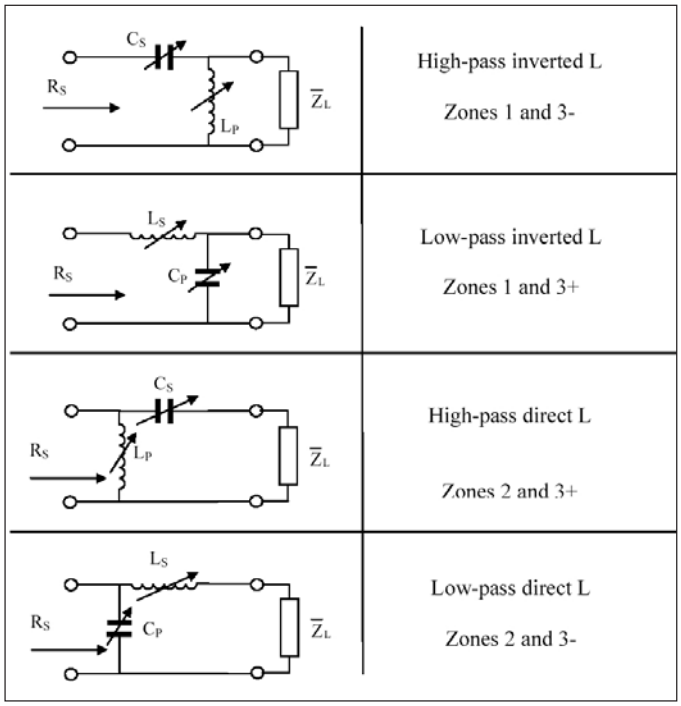



***Tableau I. Zones d'adaptation possible pour les coupleurs en L avec deux réactances de signes différents.***

*Tabel I. Zones waarin aanpassing mogelijk is met een L-koppelnetwerk met twee reactanties met verschillend teken.*

***Fig. 41. Trajectoires suivies dans le plan complexe, lors du réglage d'un T passe-haut.***

*Fig. 41. Gevolgde paden in het complexe vlak bij de afregeling van een T-hoogdoorlaat.*

### *8.2. Coupleur en T passe-haut*

Le fonctionnement de ce coupleur peut s'expliquer à partir de la **figure 41** où sont représentées quelques trajectoires suivies dans le plan lorsque l'on règle le coupleur. Conformément à ce que nous venons de voir, nous pouvons considérer ce T passe-haut comme un coupleur en L inversé passe-haut, avec une impédance de charge $\bar{Z}'_L = \bar{Z}_L + jX_3$ dont le point représentatif devra se situer dans les zones 1 ou 3-, la manœuvre de la capacité $C_{out}$ permettant de l'y amener dans le cas où il ne s'y trouverait pas initialement.

Considérons d'abord le cas d'une impédance $\bar{Z}_{L1}$ dont le point représentatif (point A) est situé dans la zone 1. Comme expliqué plus haut, la mise en série de $\bar{Z}_{L1}$ avec la capacité de sortie $C_{out}$ du coupleur donne une impédance $\bar{Z}'_{L1} = \bar{Z}_{L1} + jX_3$ (représentée par le point B), avec $X_3 = \frac{-1}{\omega C_{out}}$.

On passe donc du point A au point B en suivant une parallèle AA'B à l'axe des réactances. Cette impédance $\bar{Z}'_{L1}$ est en parallèle avec l'inductance L. Comme on l'a vu précédemment, la mise en parallèle d'une réactance (ici $X_2 = \omega L$ ) avec une impédance donne lieu dans le plan complexe à un déplacement suivant un cercle (dans le sens anti-horlogique pour une inductance) passant par le point représentatif de l'impédance (point B en l'occurrence). Pour une certaine valeur de l'inductance, le déplacement correspondra à l'arc de cercle BB'B" et l'impédance résultante $\bar{Z}''_{L1}$ sera représentée par le point B" situé sur la droite de résistance constante R = $R_S$.

La mise en série de $C_{in}$ (de réactance $X_1 = \frac{-1}{\omega C_{in}}$) avec l'impédance $\bar{Z}''_{L1}$

nous amène au point C correspondant à l'adaptation parfaite ($\bar{Z}''_{L1} + jX_1 = R_S$).

Le chemin ABB'B"C n'est pas le seul chemin de ce type permettant de passer de A à C. L'observation de la **figure 41** montre que quelque soit la valeur de $C_{out}$ (et donc de $X_3$), on pourra toujours tomber sur un cercle permettant d'arriver, au moyen de L, en un point tel que B", et à partir de là, rejoindre le point C au moyen de $C_{in}$. Toutes les valeurs de $C_{out}$ sont donc ici (dans la zone 1) permises pour le réglage du coupleur (du moins théoriquement). Si la capacité $C_{out}$ est assez grande (c'est-à-dire $X_3$ assez petit), le point B sera proche de A (à la limite confondu avec A) et on pourra rejoindre le point C par le chemin AA"C; dans ce cas, le T passe-haut dégénère en un coupleur en L inversé passe-haut. Un raisonnement semblable peut être tenu pour l'impédance $\bar{Z}_{L2}$ représentée par le point E situé dans la zone 3- (chemin EDBB'B"C). Dans ce cas-ci non plus, il n'y a pas de limitation sur les valeurs de $C_{out}$.

Considérons maintenant les points F (zone 2) et G (zone 3+) représentant les impédances $\bar{Z}_{L3}$ et $\bar{Z}_{L4}$ . On voit sur la **figure 41** qu'il n'est pas possible de rejoindre le point C si la réactance $X_3$ de $C_{out}$ n'est pas suffisamment grande (en valeur absolue) pour amener dans la zone 3-, en D par exemple, le point représentatif de l'impédance résultant de la mise en série de $\bar{Z}_{L3}$ ou $\bar{Z}_{L4}$ avec $X_3$. Dans le cas de $\bar{Z}_{L4}$ par exemple, une trajectoire possible serait GDBB'B"C.

Comme $X_3 = \frac{-1}{\omega C_{out}}$, il y a donc, pour une impédance $\bar{Z}_L$ donnée, située dans la zone 3+ ou dans la zone 2, une valeur maximum de $C_{out}$ (correspondant à un $X_3$ minimum en valeur absolue) à ne pas dépasser pour que l'adaptation soit possible. La valeur maximum permise est celle qui amène le point représentatif de $\bar{Z}'_L = \bar{Z}_L + jX_3$ sur le cercle de conductance constante G = $G_S$ = 1/$R_S$ (en F' par exemple). Dans ce cas précis, le T passe-haut dégénère en un L direct passe-haut si Cin a une valeur très élevée ($X_1$ très petit, à la limite nul).

### *8.2. De T-koppelaar als hoogdoorlaat*

De werking van deze koppelaar kan gevolgd worden aan de hand van **figuur 41**, die enkele paden voorstelt die gevolgd worden bij de afregeling. We kunnen de T-hoogdoorlaat beschouwen als een hoogdoorlaat omgekeerde L met een belastingsimpedantie $\bar{Z}'_L = \bar{Z}_L + jX_3$ , die voorgesteld wordt door een punt dat ligt in de zones 1 of 3-. Als dat punt oorspronkelijk niet in die zones ligt zal het naar daar verplaatst kunnen worden met de capaciteit $C_{out}$.

Bekijken we eerst het geval van een impedantie $\bar{Z}_{L1}$, voorgesteld door het punt A in de zone 1. Zoals eerder uitgelegd geeft de serieschakeling van $\bar{Z}_{L1}$ met de uitgangscapaciteit $C_{out}$ een impedantie $\bar{Z}'_{L1} = \bar{Z}_{L1} + jX_3$ (voorgesteld door het punt B), met $X_3 = \frac{-1}{\omega C_{out}}$.

Men gaat dus van A naar B via een lijn AA'B parallel met de reactantieas. Deze impedantie $\bar{Z}'_{L1}$ staat parallel met de inductantie L. Een reactantie (hier $X_2 = \omega L$ ) parallel plaatsen met een impedantie resulteert in een verplaatsing in het complexe vlak volgens een cirkel (in tegenwijzerzin voor een inductantie) door het punt dat de impedantie voorstelt (hier punt B). Voor een bepaalde waarde van de inductantie zal de verplaatsing overeenkomen met de cirkelboog BB'B" en zal de resultante $\bar{Z}''_{L1}$ voorgesteld worden door het punt B" op de rechte R = $R_S$.

De serieschakeling van $C_{in}$ (met een reactantie $X_1 = \frac{-1}{\omega C_{in}}$)

met de impedantie $\bar{Z}''_{L1}$ brengt ons in punt C dat een perfecte

aanpassing voorstelt ($\bar{Z}''_{L1} + jX_1 = R_S$).

Het pad ABB'B"C is niet het enige om van A naar C te gaan. **Figuur 41** toont dat, ongeacht de waarde van $C_{out}$ (en dus van $X_3$), het altijd mogelijk is via een cirkel, met een inductantie L en een punt zoals B", terecht te komen in C met behulp van $C_{in}$. Alle waarden van $C_{out}$ zijn hier (in de zone 1) toegelaten voor de afregeling van de koppelaar (tenminste theoretisch).
Als de capaciteit $C_{out}$ groot is (en $X_3$ dus klein), zal B in de nabijheid van A liggen (en zelfs verward kunnen worden met A) en zou men C kunnen bereiken via de weg AA"C; in dat geval ontaardt de hoogdoorlaat-T in een omgekeerde L-hoogdoorlaat. Een gelijkaardige redenering geldt voor de impedantie $\bar{Z}_{L2}$ voorgesteld door het punt E in de zone 3- (pad EDBB'B"C). In dit geval is er eveneens geen beperking van de waarden van $C_{out}$.

Beschouwen we nu de punten F (zone 2) en G (zone 3+) die de impedanties $\bar{Z}_{L3}$ en $\bar{Z}_{L4}$ voorstellen. Men ziet in **figuur 41** dat het onmogelijk is C te bereiken als de reactantie $X_3$ van $C_{out}$ onvoldoende groot is (in absolute waarde) om het punt dat de impedantie voorstelt van de serieschakeling van $\bar{Z}_{L3}$ of $\bar{Z}_4$ , met $X_3$ naar de zone 3-, bijvoorbeeld naar D te brengen. In het geval van bijvoorbeeld $\bar{Z}_{L4}$ , behoort het pad GDBB'B"C tot de mogelijkheden.

Daar $X_3 = \frac{-1}{\omega C_{out}}$, bestaat voor een gegeven impedantie $\bar{Z}_L$, gesitueerd in de zone 3+ of in de zone 2, een maximale waarde van $C_{out}$ (overeeenstemmend met een absolute minimale waarde van $X_3$) die niet overtroffen mag worden om de aanpassing nog mogelijk te maken. Deze maximale waarde komt overeen met het punt dat staat voor de impedantie $\bar{Z}'_L = \bar{Z}_L + jX_3$ op de constante conductantiecirkel G = $G_S$ = 1/$R_S$ (bijvoorbeeld F'). In dit welbepaalde geval ontaardt de hoogdoorlaat-T in een directe hoogdoorlaat-L indien de waarde van Cin zeer hoog is (zeer kleine $X_1$, zelfs nul).

## 9. Adaptation par coupleur en PI

### 9.1. Relation avec le coupleur en l

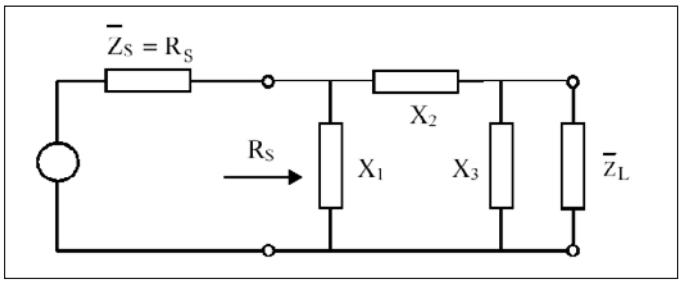
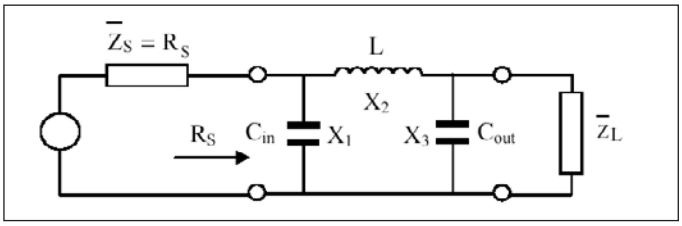



***Fig. 42. Adaptation par coupleur en PI.***

*Fig. 42. Aanpassing met een PI-koppelnetwerk.*




Sur la **figure 42** représentant un coupleur en PI inséré entre l'émetteur et la charge, on peut voir que l'impédance $\bar{Z}_L$ se retrouve en parallèle avec la réactance $X_3$ du coupleur. Tout se passe donc comme si l'on avait affaire à un coupleur en L direct avec une impédance de charge égale à $\bar{Z}'_L = \bar{Z}_L // jX_3$ (**figure 43**). Comme dans le cas du coupleur en T, nous ne considèrerons ici que la configuration la plus utilisée du coupleur en PI, c'est-à-dire le PI passe-bas (**figure 44**). Le coupleur en L de la **figure 43** est alors un L direct passe-bas; dans ce cas, l'adaptation n'est possible que dans les zones 2 et 3- (voir le tableau I). Cela qui veut dire que le point représentatif de l'impédance $\bar{Z}'_L$ doit se trouver dans ces zones; dans le cas contraire, la manœuvre de Cout permettra d'y remédier.

### 9.2. Coupleur en pi passe-bas

Comme pour le T, nous examinerons le fonctionnement du PI passe-bas en nous référant aux chemins suivis dans le plan complexe (**figure 45**). Considérons d'abord le point A représentant une impédance $\bar{Z}_{L1}$ et situé dans la zone 3+. Le réglage de la capacité de sortie $C_{out}$ de réactance $X_3 = \frac{-1}{\omega C_{out}}$ et en parallèle avec $\bar{Z}_{L1}$, donne lieu à un déplacement (dans le sens horlogique) suivant le cercle de conductance constante passant par A. Pour une certaine valeur de $C_{out}$, le point représentant l'impédance résultante $\bar{Z}'_{L1} = \bar{Z}_{L1} // jX_3$ sera par exemple le point D'. Ensuite, l'inductance L de réactance $X_2 = \omega L$, en série avec $\bar{Z}'_{L1}$, nous amène au point E" situé sur le cercle de conductance constante $G = 1/R_S$ et représentant l'impédance $\bar{Z}''_{L1} = \bar{Z}'_{L1} + j\omega L$. Finalement, le réglage de la capacité d'entrée $C_{in}$ de réactance $X_1 = \frac{-1}{\omega C_{in}}$, donne lieu à un déplacement suivant le cercle $G = 1/R_S$ jusqu'au point C correspondant à l'adaptation parfaite ($\bar{Z}''_{L1} // jX_1 = R_S$).

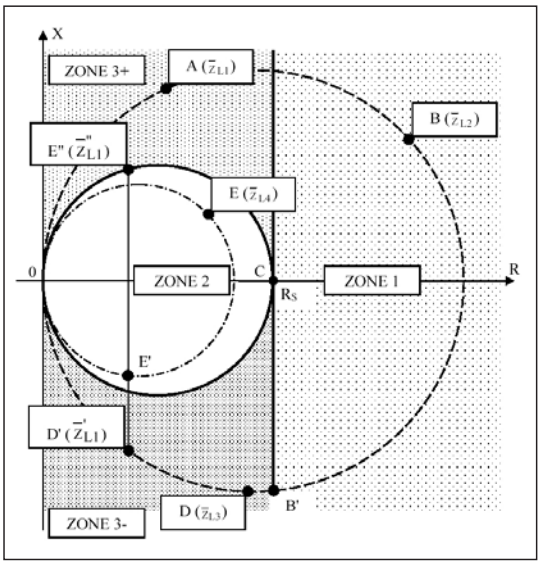



***Fig. 45. Trajectoires suivies dans le plan complexe, lors du réglage d'un PI passe-bas***

*Fig. 45. De gevolgde paden in het complexe vlak tijdens de afregeling van een laagdoorlaat PI-netwerk.*

Un raisonnement semblable peut être tenu pour le point B représentant une impédance $\bar{Z}'_{L2}$ dans la zone 1.

Le chemin ABB'D'E"C reliant le point A au point C n'est évidemment pas unique, il y en a (théoriquement) une infinité (de même pour le point B). Cependant, on voit sur la **figure 45** que pour relier un point

## 9. Aanpassing met een PI-koppelnetwerk

### 9.1. Verband met het l-koppelnetwerk

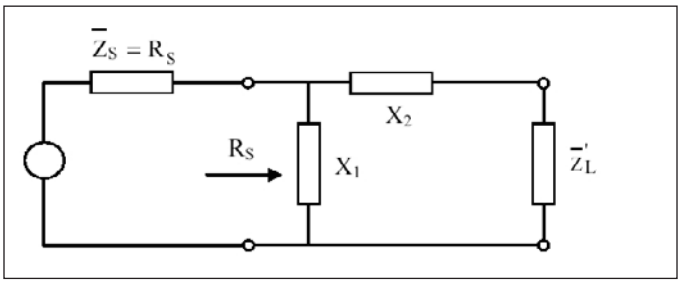



***Fig. 43. Le coupleur en PI avec une charge $\bar{Z}_L$ est équivalent à un coupleur en L direct avec une charge $\bar{Z}'_L = \bar{Z}_L // jX_3$.***

*Fig. 43. Het PI-koppelnetwerk met belasting $\bar{Z}_L$ is equivalent met een directe L met belasting $\bar{Z}'_L = \bar{Z}_L // jX_3$.*

***Fig. 44. Version passe-bas du coupleur en PI.***

*Fig. 44. Laagdoorlaatversie van de PI-koppelaar.*

**Figuur 42** toont een PI-koppelaar tussen de zender en de belasting. Merk op dat de impedantie $\bar{Z}_L$ parallel staat met de reactantie $X_3$ van het koppelnetwerk. Alles doet zich voor alsof het gaat om een L-netwerk belast met $\bar{Z}'_L = \bar{Z}_L // jX_3$ (**figuur 43**). Zoals bij de T-koppelaar beschouwen we hier enkel de meest gebruikte configuratie van de PI-koppelaar, de laagdoorlaat-PI (**figuur 44**).
De L-koppelaar van **figuur 43** is dan een directe laagdoorlaat-L; aanpassing is enkel mogelijk in de zones 2 en 3- (zie tabel I). Wat betekent dat het punt dat de impedantie $\bar{Z}'_L$ voorstelt zich in één van die zones moet bevinden. In het tegengestelde geval zal aanpassing met Cout nodig zijn om hieraan te verhelpen.

### 9.2. Laagdoorlaat pi-koppelaar

Zoals voor de T zullen we de werking van de laagdoorlaat-PI verklaren aan de hand van de gevolgde paden in het complexe vlak (**figuur 45**). Beschouwen we eerst het punt A dat staat voor de impedantie $\bar{Z}_{L1}$ in de zone 3+. De regeling van de uitgangscapaciteit $C_{out}$, met reactantie $X_3 = \frac{-1}{\omega C_{out}}$ en parallel met $\bar{Z}_{L1}$, geeft aanleiding tot een verplaatsing (in wijzerzin) op de constante conductantiecirkel door A. Voor een bepaalde waarde van $C_{out}$, zal het punt dat de resulterende impedantie $\bar{Z}'_{L1} = \bar{Z}_{L1} // jX_3$ voorstelt bijvoorbeeld D' zijn. Vervolgens brengt de inductantie L met reactantie $X_2 = \omega L$, in serie met $\bar{Z}'_{L1}$, ons in het punt E" dat ligt op de constante conductantiecirkel $G = 1/R_S$ en staat voor de impedantie $\bar{Z}''_{L1} = \bar{Z}'_{L1} + j\omega L$. Ten slotte zorgt de regeling van de ingangscapaciteit $C_{in}$, met reactantie $X_1 = \frac{-1}{\omega C_{in}}$, voor een verplaatsing naar punt C volgens de cirkel $G = 1/R_S$, wat resulteert in een perfecte aanpassing ($\bar{Z}''_{L1} // jX_1 = R_S$).
Een gelijkaardige redenering kan gehouden worden voor het punt B dat staat voor $\bar{Z}'_{L2}$ in zone 1.

De weg ABB'D'E"C die A met C verbindt, is uiteraard niet de enige. Theoretisch bestaan oneindig veel wegen (en dat is ook zo voor het punt B). In **figuur 45** zien we evenwel dat, om een punt A in de zone 3+ of

A de la zone 3+ ou un point B de la zone 1 au point C, au moyen d'un PI passe-bas, il faut que le déplacement dû à la capacité $C_{out}$ amène le point représentant l'impédance $\overline{Z}'_{L1}$ (D' sur la figure) dans la zone 3-. La réactance $X_3 = \frac{-1}{\omega C_{out}}$ doit donc être suffisamment petite (en valeur absolue), ce qui veut dire qu'il y a une valeur minimum de $C_{out}$ en dessous de laquelle l'adaptation n'est pas possible. Cette valeur minimum de $C_{out}$ correspond au point B' et dans ce cas, on atteint le point C via le chemin ABB'C et le PI passe-bas dégénère en un L inversé passe-bas (à condition que la capacité $C_{in}$ soit très petite, à la limite nulle).

En ce qui concerne le point D situé dans la zone 3- et représentant l'impédance $\overline{Z}_{L3}$, le point C peut être atteint en suivant le chemin DD'E"C. Contrairement aux deux cas précédents, on peut constater ici que quelque soit la valeur donnée à la capacité $C_{out}$, il est toujours possible de rejoindre, à partir du point représentant l'impédance $jX_3//\overline{Z}_{L3}$, le cercle $G = 1/R_S$ et de là, le point C. Pour la zone 3-, il n'y a donc pas de limitation sur les valeurs de $C_{out}$. Il en va de même pour un point quelconque de la zone 2, E par exemple, représentant une impédance $\overline{Z}_{L4}$, et à partir duquel on rejoint le point C par le chemin EE'E"C.

## Conclusion

Dans le cas des coupleurs à deux réactances, nous avions, en fonction de la zone dans laquelle se trouvait le point représentatif de $\overline{Z}_L$, des solutions d'adaptation bien déterminées. Avec les coupleurs à trois réactances, nous avons (théoriquement) une infinité de combinaisons des trois réactances donnant lieu à une adaptation. Cependant, si toutes ces solutions sont équivalentes au point de vue de l'adaptation, elles ne le sont pas en ce qui concerne les pertes qui apparaissent (essentiellement dans les inductances) dès que l'on travaille avec des réactances réelles. Ces réactances réelles donnent aussi lieu à des trajectoires dans le plan complexe un peu différentes de celles que nous avons rencontrées avec les réactances parfaites; nous ne les avons pas envisagées ici mais on pourra trouver de plus amples informations à ce sujet sur le site web de G3YNH (voir *Impedance Matching. Part 2: Popular Matching Networks*).

Lors de la conception d'un coupleur, il peut être intéressant de se demander comment obtenir une bande passante suffisamment large, de façon à pouvoir travailler dans une bande de fréquences donnée sans devoir retoucher aux réglages du coupleur. L'étude de la réponse fréquentielle des coupleurs sera l'objet de la 5ème et prochaine partie de cet article.

A suivre.

***ON5WF a.liegeois@skynet.be***

een punt B in de zone 1 te kunnen verbinden met C met behulp van een laagdoorlaat-PI, $C_{out}$ de verplaatsing mogelijk moet maken van het punt dat de impedantie $\overline{Z}'_{L1}$ voorstelt (in de figuur het punt D') naar de zone 3-. Bijgevolg moet de reactantie $X_3 = \frac{-1}{\omega C_{out}}$ voldoende klein zijn (in absolute waarde), wat meebrengt dat er een minimumwaarde van $C_{out}$ bestaat waaronder de aanpassing onmogelijk wordt. Deze kleinste waarde van $C_{out}$ komt overeen met het punt B' en in dat geval bereikt men het punt C via het pad ABB'C. Het laagdoorlaat-PI netwerk ontaardt dan in een laagdoorlaat omgekeerde-L (op voorwaarde dat $C_{in}$ zeer klein of zelfs nul is).

Wat het punt D betreft, dat staat voor de impedantie $\overline{Z}_{L3}$ in de zone 3-, kan het punt C bereikt worden via de weg DD'E"C. In tegenstelling met de twee vorige gevallen, stelt men hier vast dat ongeacht de waarde van $C_{out}$, het altijd mogelijk is vanaf het punt dat de impedantie $jX_3//\overline{Z}_{L3}$ voorstelt, de cirkel $G = 1/R_S$ te bereiken en vanaf daar het punt C. Voor de zone 3- bestaat er dus geen beperking van de waarde van $C_{out}$. Hetzelfde geldt voor een willekeurig punt van de zone 2, bijvoorbeeld E dat staat voor de impedantie $\overline{Z}_{L4}$, en vanaf hetwelke men C bereikt via het pad EE'E"C.

## Besluit

Voor de koppelaars met twee reactanties bestaan, afhankelijk van de zone waarin $\overline{Z}_L$ ligt, welbepaalde oplossingen.
Voor de koppelaars met drie reactanties bestaan theoretisch oneindig veel combinaties van de reactanties die een oplossing bieden.
Hoewel al de oplossingen evenwaardig zijn voor wat de aanpassing betreft, zijn ze het zeker niet voor wat de verliezen betreft (vooral in de spoelen) zodra men werkt met echte componeneten.
Echte componenten geven ook aanleiding tot trajecten in het complexe vlak die licht verschillen van die met ideale reactanties; meer daarover is te vinden op de website van G3YNH (zie *Impedance Matching. Part 2: Popular Matching Networks*).

Bij het ontwerp van een koppelnetwerk is het nuttig zich af te vragen op welke wijze een voldoende bandbreedte bekomen kan worden, zodat men niet telkens het netwerk opnieuw moet bijregelen bij wijziging van de frequentie binnen de band. Het 5de en volgende deel van dit artikel zal gewijd zijn aan de studie van de frequentieafhankelijkheid van de aanpassingsnetwerken.

Wordt vervolgd.

***ON5WF a.liegeois@skynet.be***