

Duplexeur Hybride *(circulateur, isolateur,*

Anneau hybride, séparateur, coupleur etc..) F4DXU

<http://pagesperso-orange.fr/F4DXU/>

Le transformateur hybride est utilisé pour la séparation des directions de propagation de signaux téléphoniques ou radio électriques, le long d'une ligne de transmission bi filaire ou coaxiale. Ce genre de circuit n'est ni expliqué ni enseigné dans la littérature électronique. L'origine d'un circuit duplexeur se retrouve pourtant dans le pont de Wheatstone (fig.1).

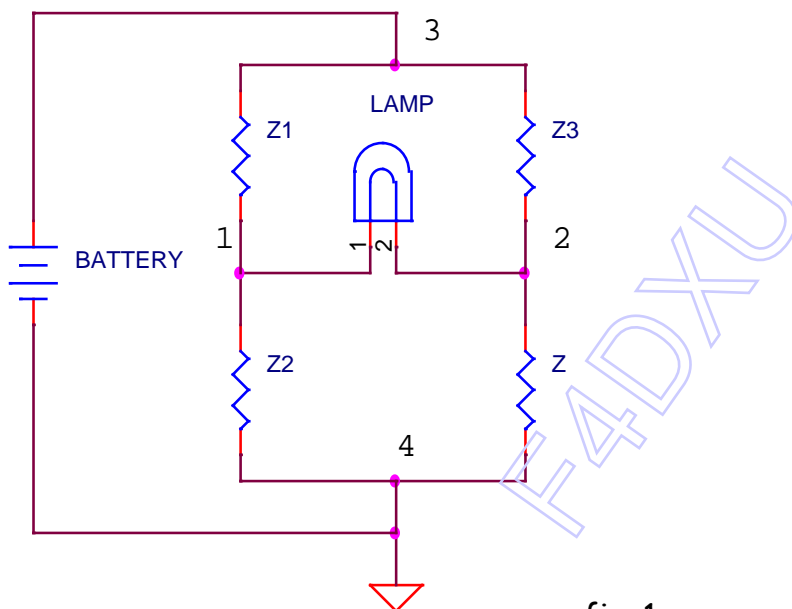


fig. 1

Le pont se compose de deux diviseurs de tension et chacun est constitué par deux impédances Z_1 , Z_2 et Z_3 , Z . L'équilibre est obtenu lorsque $Z_1/Z_2 = Z_3/Z$, la lampe ne reçoit aucun courant car les potentiels en 1 et 2 sont égaux. Si l'on supprime l'impédance Z est qu'on la remplace par la batterie, l'équilibre du pont sera rompu et la lampe s'illuminera. Le système est capable de différentier l'endroit d'où vient l'énergie et son sens.

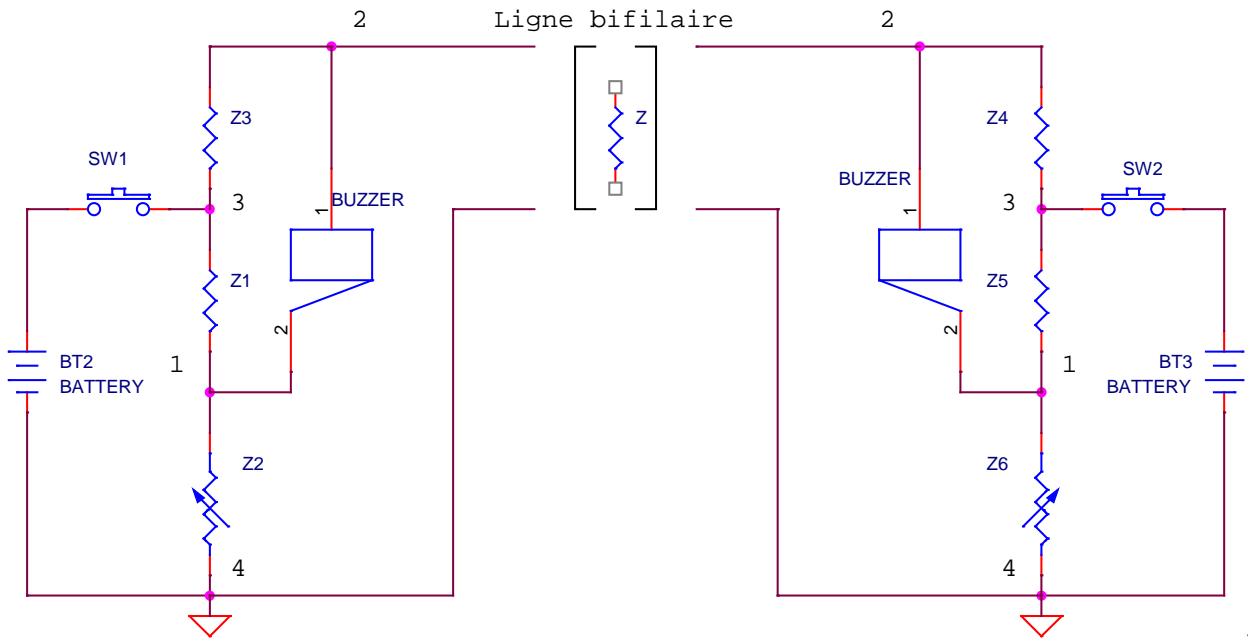


fig. 2

Ci-dessus un exemple de télégraphe (fig. 2) réalisé à partir de deux ponts de Wheatstone. Le système est semi-duplex car il ne permet pas la transmission simultanée. Il est nécessaire de régler $Z2$ et $Z6 = Z$ pour que chaque pont voie la même impédance et qu'il y est un fort isolement entre $sw1$ ou $sw2$ (TX) et buzzer 1 ou 2 (RX) du même côté. Le pont est constitué par des résistances consommatrices d'énergie et les générateurs et récepteurs ne sont pas adaptés en impédance, le rendement de l'ensemble n'est pas excellent. Il est à remarquer qu'un des deux fils de la ligne de transmission peut-être remplacé par la terre. Une amélioration notable peut être apportée au système en utilisant des transformateurs.

Le transformateur hybride symétrique (fig. 3) est une variante du pont de Wheatstone résistif.

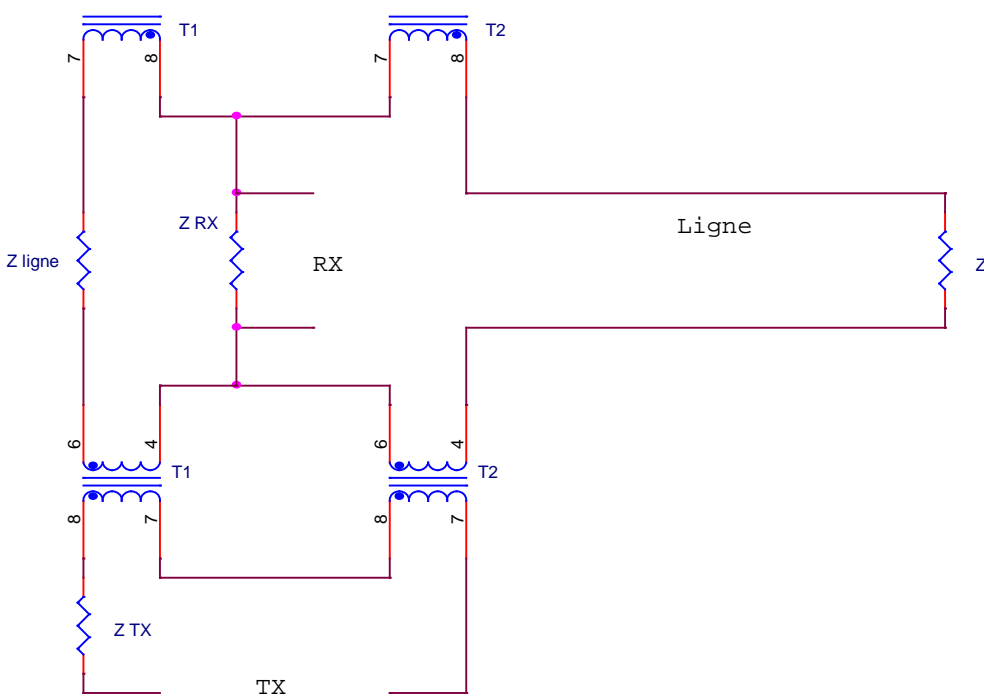
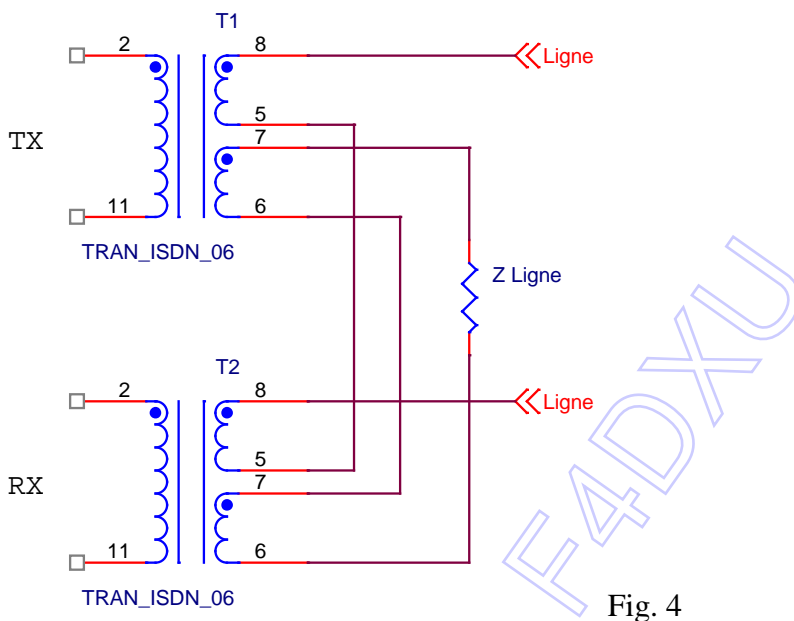


Fig. 3

Les trois enroulements de T1 sont étroitement couplés avec les phases correspondantes ainsi que T2. Ce type de composant permet de séparer en deux parties égales la puissance qui entre sur la voie ou port Tx. Cette puissance sort sur les ports où sont connectées les impédances Z et Z ligne tout en isolant le port Rx. Ce type d'hybride duplexeur se nomme aussi « T magique » dans le domaine des micro-ondes. Il n'est plus constitué par des composants électroniques à constantes localisées comme les condensateurs ou les inductances mais par un guide d'onde en forme de T possédant une quatrième branche (Rx). Le T magique est, par exemple, utilisé pour coupler deux amplificateurs de puissance.

Transformateur hybride (autre manière de faire)



Les systèmes ci-dessus (fig. 2, 3 et 4) n'isolent pas à 100% non plus mais comme les amplificateurs sont unidirectionnels cela ne pose aucun problème (voir le schéma suivant fig. 5). Il ne comporte qu'une seule impédance Z ligne qui doit être égale aux impédances présentes sur les entrées sorties Tx, Rx et celle ramenée par la ligne, dans le cas où les transformateurs ont un rapport de transformation de 1/1. Dans le cas contraire il faut utiliser les équations de base qui régissent le fonctionnement des transformateurs. Cette condition est essentielle pour une bonne isolation sur le port Rx (équilibre du pont). Le rendement s'améliore et moins d'énergie est perdue.

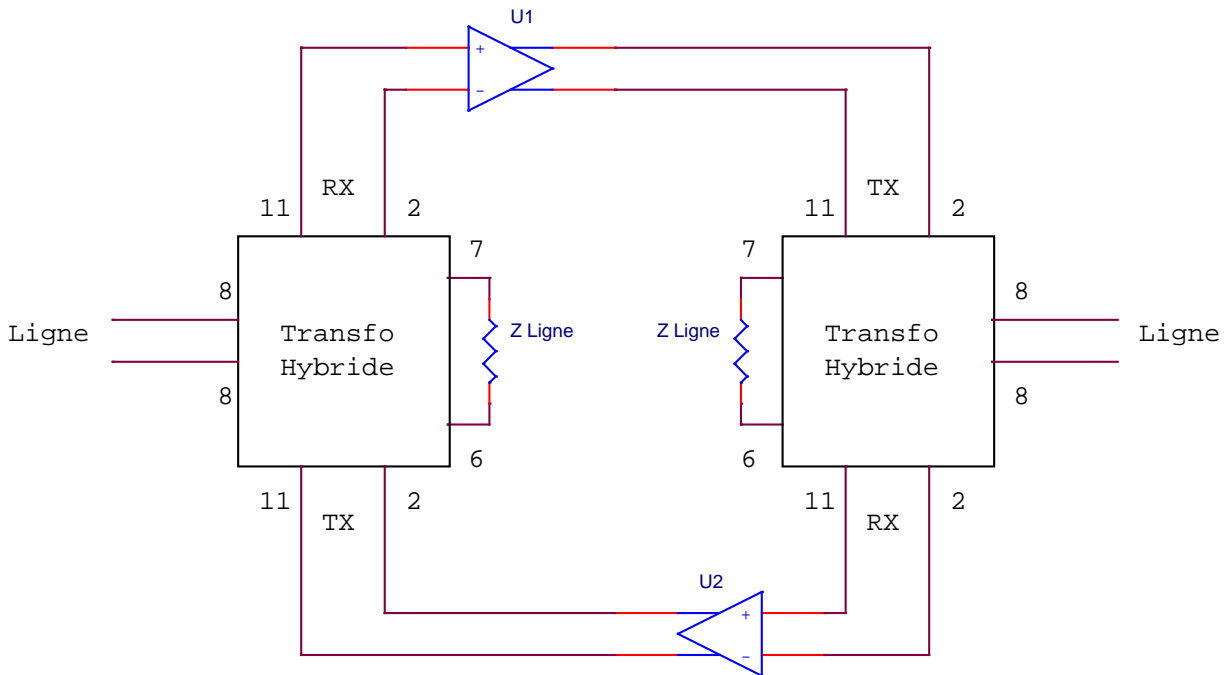


Fig. 5

L'association de deux transformateurs hybrides permet de créer un système full-duplex ou duplex intégral. Le schéma ci-dessus (fig. 5) est un répéteur ou amplificateur de ligne bidirectionnel. Ce principe est utilisé sur notre « bonne vieille paire 600ohms » ainsi que dans les modems simples ou ADSL, les hubs et autres. Toutes ces liaisons sont bidirectionnelles ou duplex intégral. Les signaux peuvent se croiser sur la même ligne de transmission sans se mélanger (au sens radio du terme). Par contre, si l'on observe, avec un oscilloscope, le signal en un point donné de cette ligne, des interférences apparaissent lorsque les fréquences et les phases des signaux porteurs ne sont pas très éloignées. Si les fréquences et les phases sont assez éloignées dans ce cas la forme d'un des porteurs sera ondulé par l'autre et vice et versa. Ceci est sans effet car les sens de propagation sont opposés et la séparation des signaux ce fait naturellement. L'expérimentation du schéma de la figure 3 montre très bien les phénomènes mis en jeu ainsi que le très fort isolement du port Rx. Dans ces conditions, la quantification de l'isolement est impossible avec un oscilloscope par manque de sensibilité, le signal du port Rx étant noyé dans le bruit, un analyseur de spectre permettrait la mesure.

De la téléphonie à la radio, il n'y a qu'un pas. En effet, le principe du transformateur hybride peut s'appliquer à la radio moyennant quelques modifications et améliorations. En HF le principe reste bon mais à partir des fréquences VHF on abandonne les circuits à constantes localisées (capacités, inductances) au profit des circuits à constantes réparties (tronçons de lignes de transmission, stubs, strip line, etc.) ou les ferrites saturées par un champ magnétique statique. Dans ce dernier cas les phénomènes physiques mis en jeu sont différents, ce principe est utilisé dans les circulateurs à ferrite qui remplacent avantageusement les relais de commutation émission/réception. Les pertes d'insertion dues à la ferrite saturée sont très faibles ($\sim 0.1\text{dB}$). Les anneaux hybrides nommés aussi « rat-race » sont par exemple utilisés dans la réalisation de mélangeurs équilibrés, etc.

Voici une liste non exhaustive de mots-clefs qui permettront de faire une recherche d'informations techniques sur l'Internet : hybrid duplexer, hybrid ring, coupler, splitter, combiner, magic tee, hybrid coupler, ainsi que tous les mots-clefs équivalents en français.

73, Jean Marc de F4DXU.

F4DXU