

Transformateur d'adaptation 1/9^e pour antenne long fil

F5RCT 26/10/2025

Ce projet était le désir des membres du radio club F5KAV à la suite du succès de l'antenne de Fred F4JQY après la réparation de son transformateur d'adaptation.



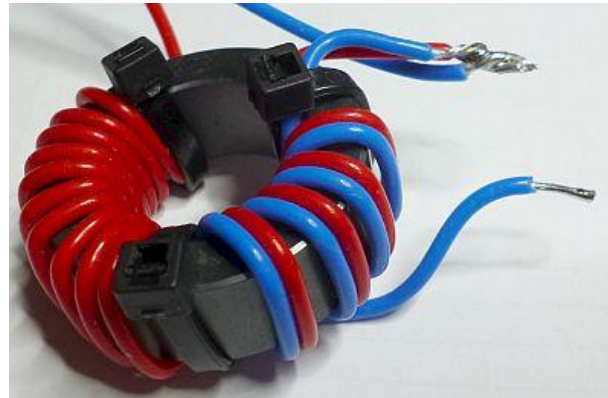
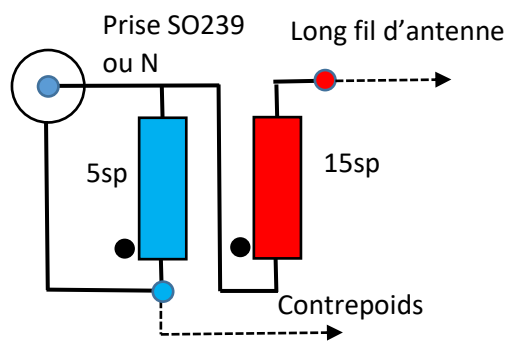
F4JQY avait acheté un transformateur commercial qui ne donnait que de médiocres résultats. Après une chute des performances, il avait constaté que le tore avait chauffé faisant fondre le bobinage avec le boîtier ! Il se trouvait que le tore en fer, limité à 10 kHz, n'était pas du tout adapté ! F5RCT a refait ce transformateur avec un tore FT140-61 prévu pour les application large bande. Depuis, avec un fil de 17 m, il enchaîne les QSO autour du monde du 40 m au 10 m, avec 20 W en FT8 et avec 100 W en SSB ! Les résultats étaient bien meilleurs que l'antenne HF verticale Diamond CP-6SR qu'il a revendu !

On ne dira pas que c'est un « balun » mais un « unun » car il ne sert pas du tout à symétriser l'antenne puisqu'elle est constituée d'un long fil. Ce type d'antenne, alimentée à une extrémité, nécessite un transformateur d'impédance souvent compris entre 1/9 et 1/49. Le rapport de transformation sera un compromis entre la longueur du fil, sa disposition et les bandes considérés. Il s'avère qu'une antenne rayonne correctement en fonction de sa disposition et de son dégagement par rapport au sol, mais surtout par le courant injecté son adaptation à la ligne d'alimentation. Travailler avec un transformateur à autre impédance entre 1/25 et 1/49 a de l'intérêt pour une antenne demi-onde mais ce fort rapport de transformation à tendance à adapter les pertes dans le tore en ferrite, finalement à réduire le courant dans le fil de l'antenne.

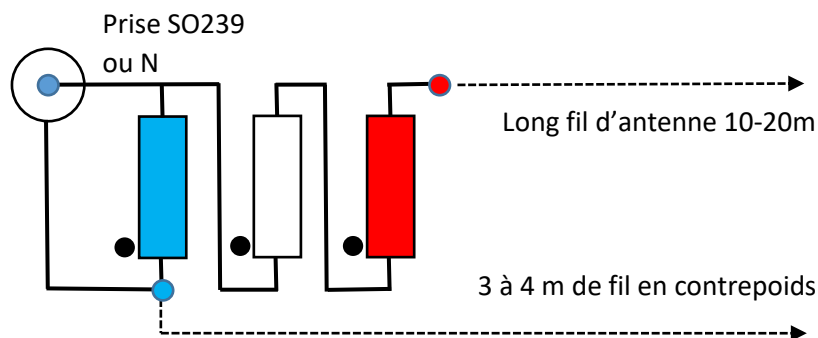
Le choix du matériau ferrite du tore est très important comme F4JQY en avait fait la mauvaise expérience en achetant son transformateur en Asie ! Les tores jaune et blanc récupérés dans les alimentations d'ordinateur sont en poudre de fer, prévus pour un usage autour de quelques dizaines de kHz. Les matériaux les plus adaptés sont en ferrite à base d'oxydes ferriques ($Fe_2 O_3$) auquel on ajoute des oxydes métalliques de nickel et de zinc pour obtenir les matériaux connus sous les références 43 et 61 du célèbre fabricant Fair-Rite Corp. Bien que ce soit très intéressant de détailler les propriétés de ces deux matériaux, retenir que le matériau 43 procure un excellent couplage en transformateur sur la plage de fréquence entre 1 et 50 MHz, tandis que le matériau 61 travaille entre 10 et 100 MHz. On peut utiliser les deux entre 3,5 et 30 MHz, à condition d'ajouter plus de spires pour le matériau 61.

Le choix dépend aussi des disponibilités dans le commerce sous différentes tailles exprimées en centièmes de pouce. La puissance admissible dépend d'un calcul entre la section du tore en fonction de la fréquence la plus basse et du nombre de spires. Il n'est pas nécessaire de prendre un tore très gros pour couvrir les bandes de 7 à 30 MHz avec 100 W. Le tore FT-140-43 est un excellent compromis entre son prix et sa taille pour 100 W à partir de 3,5 MHz.

Le bobinage d'origine était fait comme un transformateur avec 5 spires au primaire coté prise coaxiale et 15 spires au secondaire côté antenne. Sur les 5 premières spires le primaire et le secondaire sont imbriqués, puis les 10 suivantes vers l'antenne sont jointives. Cette façon de bobiner rend le couplage très mauvais au-delà de 7 MHz. Le transformateur devient très inductif et on perd plus de 4 dB en transmission à 30 MHz. Par expérience il donne de bons résultats sur mes bandes 80 m et 40 m avec 16,5 m de fil. Cela n'empêche pas d'avoir un bon ROS mais le couplage sera mauvais et fera baisser le rendement de l'antenne.



La bonne façon de bobiner un transformateur large bande sera de coupler les enroulements tout au long du bobinage. Pour y parvenir on réalise un autotransformateur avec trois enroulements identiques. Le schéma ci-dessous montre le principe de raccordement des enroulements. Les points noirs marquent l'entrée (ou la sortie du bobinage). Le primaire sur la prise coaxiale ne voit que l'enroulement bleu, tandis que le secondaire est formé des trois enroulements en série. On obtient un autotransformateur de rapport 1/3 en tension, donc 1/9 en impédance.



La fréquence de coupure basse sera déterminée par l'inductance de l'enroulement d'entrée face à l'impédance de 50 Ω. On prend un facteur 4 pour ne pas être dans les -3 dB de la fréquence de coupure.

Pour 6 spires sur un tore FT140-43 : $L = 27,4 \mu\text{H}$ soit : $F_c = 4 \times 50 / 2 \text{ Pi } L = 1,2 \text{ MHz}$

Pour tous les calculs d'inductance et saturation, je me sers du petit programme « mini ring core calculator » de DL5SWB.

Estimons la puissance admissible en connaissant la tension efficace. 100 W donnent 70 Veff, on calcule le flux pour 6 spires dans la section du tore à la fréquence donnée.

$B_{\text{max}} (\text{Gauss}) = V_{\text{eff}} \times 10^8 / (4,44 \times f(\text{Hz}) \times N(\text{spires}) \times S(\text{cm}^2))$.

Avec 1 Gauss = 0,0001 Tesla.

Normalement, on devrait présenter le calcul en unités Tesla, mais les Gauss sont plus parlants pour comparer les résultats avec la saturation autour de 150 Gauss. On obtient un flux de $B = 94$ Gauss à 3,5 MHz ce qui est acceptable, mais sur 160 m le flux de 205 Gauss fera entrer le tore en saturation qui chauffera ! Dans ce cas, il faudrait doubler le nombre de spires ou mieux : empiler deux tores.

Un prototype de chaque transformateur a été réalisé pour comparer les pertes et la réflexion. La mesure au VNA se fait avec 390Ω en série avec la sortie, ainsi le transformateur est chargé par $390 + 50 \Omega$ de l'entrée du port 2 du VNA qui font 440Ω (proche de 450Ω idéalement). Pour la mesure de réflexion, la sortie du port 1 du VNA voit « 50Ω » par le transformateur chargé. Par la présence de la résistance d'essai, ce dispositif aura des pertes inévitables que l'on peut calculer et comparer à la mesure.

Pour le calcul des pertes théoriques on part de la tension interne au VNA qui est au double avec 50Ω en série (facteur 3). Au point de sortie du transformateur la tension est multipliée par trois (facteur 3) avec en série l'impédance transformée à 450Ω . Le point rouge est équivalent à une source de 6 fois la tension interne du VNA avec 450Ω d'impédance de sortie. Du point rouge à l'entrée du VNA, la résistance de 390Ω forme un diviseur de tension avec les 50Ω de l'entrée du VNA. On obtient la formule en dB :

$Att = 20 \text{ Log} (2 \times 3 \times 50 / (440 + 450)) = -9,46 \text{ dB}$: c'est le trait en rouge sur la courbe.

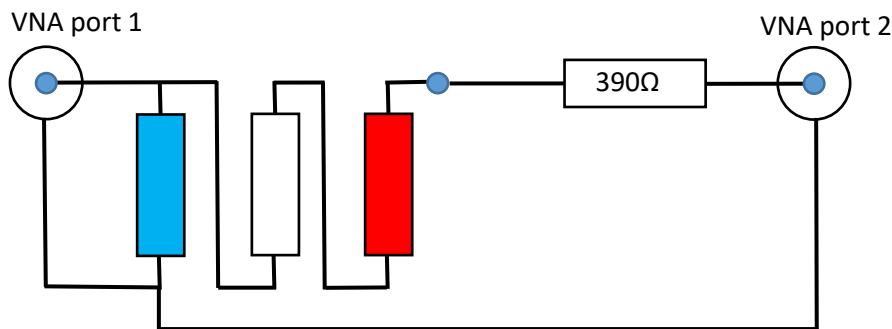
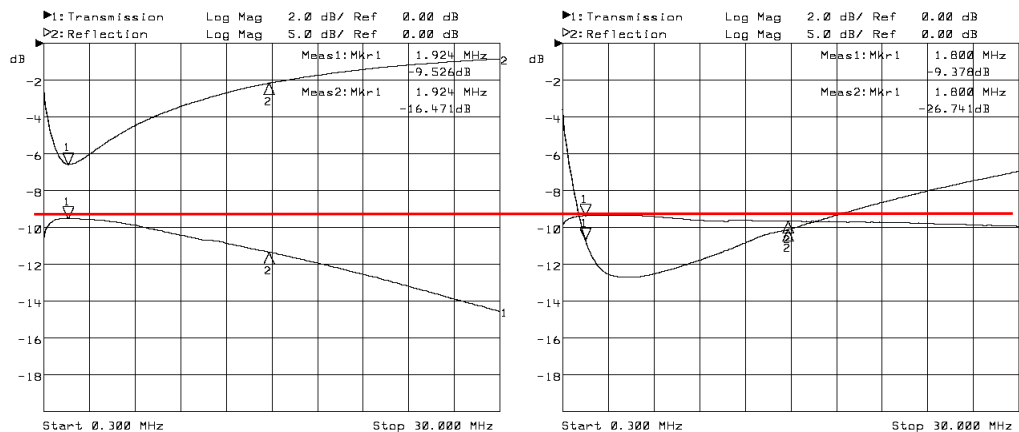


Schéma pour la mesure de la perte en transmission et la réflexion.

Les courbes ci-dessous montrent la différence entre les deux types de bobinages. A gauche le bobinage en 5+15 spires provoque des pertes prépondérantes au-delà du marqueur 1, la réflexion devient très médiocre au-delà de 7 MHz. A droite le bobinage à 3 fils en main apporte bien moins de pertes sur toute la bande. La réflexion reste inférieure à -15 dB de 1,6 à 30 MHz.



Réalisation pratique :

Matériel nécessaire :

- un boîtier IP65 en ABS d'au moins 48x68x130 mm

<https://fr.aliexpress.com/item/1005005776590372.html>



- un tore FT140-43 $\mu = 850$; AL = 0,76 $\mu\text{H}/\text{sp}^2$; diamètre 36/23 mm, h :12,7 mm

<https://www.zenithantennes.fr/produit/tore-ferrite-ft140-43/>

- une embase SO239 pour fiche PL, ou N plus résistante à l'extérieur.

- deux terminaisons inox: 2x vis M5x25 + 5x écrous M5 + 7 rondelles.

- trois rondelles en néoprène de 4,2 mm, plus petite elles seront plus étanche sur du M5.

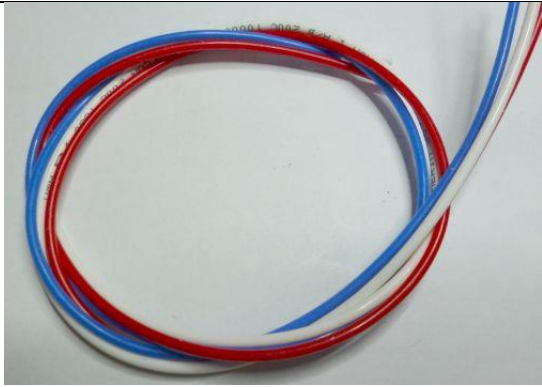
- deux cosses à œillet diamètre 5 mm

- un crochet M5 modèle 304 <https://fr.aliexpress.com/item/1005009780237327>

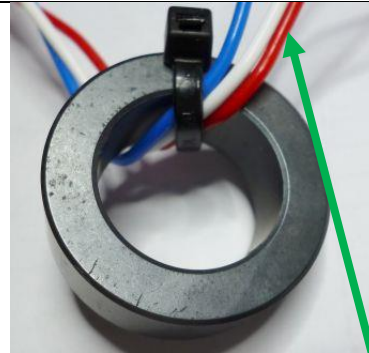
- trois fils de 45 cm de longueur en 1 mm² isolé en téflon de couleur bleu, blanc, rouge !
(on peut prendre du fil émaillé de 1 mm ou mieux avec 3 fils de 0,5mm torsadés pour un conducteur)

- Deux serre câbles 5x200 mm

La procédure de montage montre chaque étape de réalisation. On apportera un soin particulier au bobinage en veillant à bien tendre le fil et à le briser sur les angles de la ferrite avec le pouce. Plus le bobinage est serré contre le tore meilleur sera le couplage en bas de bande.



1.- Couper trois brins de 45 cm de fil bleu, blanc et rouge
Également 10 cm de fil bleu qui servira pour la masse vers la borne du contrepoids de l'antenne.



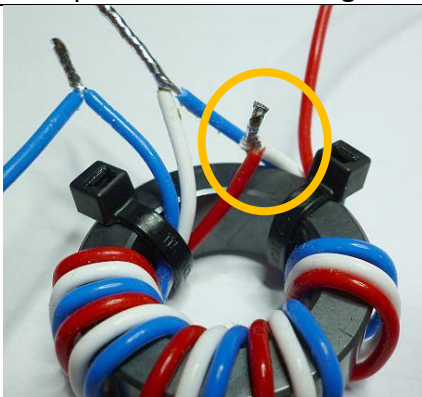
2.- Bloquer le faisceau contre le tore avec un collier. Compter 5 à 6 cm de marge entre le noyau et l'extrémité pour le raccordement.
Le départ de bobinage vers la droite ou la gauche n'a pas d'importance. Sur la figure, le bobinage partira vers la droite.



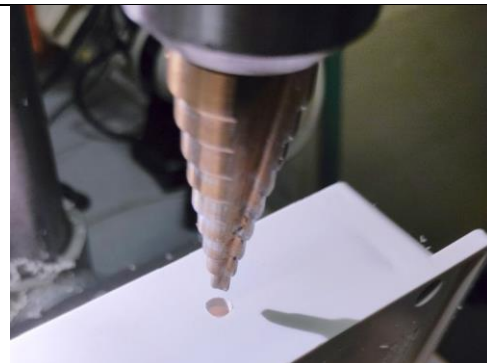
3.- Bobiner conjointement **6 passages au centre** du tore en plaquant fortement le fil contre le tore. Bien tendre le fil et le briser sur les angles de la ferrite avec le pouce. Garder des fils groupés 3 par 3 le long du noyau. Bloquer ces 6 spires avec un collier. Ne pas couper le reste de fil long !



4.- Sur le fil bleu de droite, souder un fil de 10 cm qui sera la masse pour le fil de contrepoids. Cette jonction sera soudée à la masse de la prise SO239.
Rassembler le fil de sortie bleu avec le fil d'entrée blanc pour le point central de la prise SO239.



5.- Rapprocher le fil d'entrée rouge avec le fil de sortie blanc. Les souder au plus près du noyau.



6.- Marquer le perçage pour centrer la prise SO239.
Percer un avant trou à 5 mm.
Percer le boîtier à l'aide d'un forêt étagé (merci Lidl !) à 16 mm de diamètre.



7.- Marquer deux perçages sur les petits côtés du boîtier pour les vis de raccordement. Percer à 5 mm de diamètre. Percer deux autres trous de 5 mm au centre des pattes de fixation pour servir de blocage au fil d'antenne.



8.- Du côté opposé à la prise S0239, on pourra percer pour un anneau de suspension. Percer au diamètre de l'anneau.



9.- Monter les vis de raccordement avec la cosse à l'intérieur. A l'extérieur on mettra dans l'ordre une rondelle en néoprène, une rondelle et un écrou M5 en inox. Serrer fermement l'ensemble à la clé.



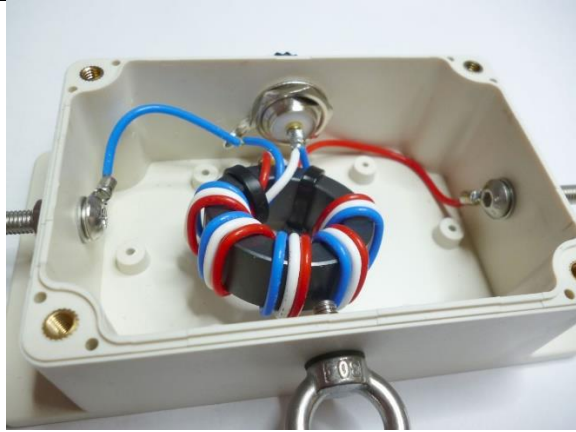
10.- Placer le bobinage dans le boîtier pour orienter la cosse de masse de la prise S0239 en face du double fil bleu.



11.- Se servir d'une vieille fiche PL pour maintenir la prise. Serrer fermement l'écrou à la clé de 19.



12.- Souder la paire de fils bleu/blanc au centre de la prise au plus court. Procéder de même pour la cosse de masse et la paire de fils bleus.



13.- Souder les fils bleu et rouge sur les cosses de sortie. La longueur n'a aucune importance puisqu'elle fera partie de l'antenne.



14.- Marquer la sortie antenne d'un point de vernis à ongle rouge ou de la lettre A comme antenne.



15.- Placer le joint dans le couvercle en orientant la jonction vers le bas si le boîtier sera disposé à l'extérieur.
On remplace les vis du couvercle par des CHC M4x16 ou M4x20 en inox !



16.- Compléter les vis de raccordement par une rondelle normale, une rondelle éventail et un écrou

Quelle longueur de fil ?

Les antennes long fil connectées à un tel transformateur sont souvent appelées fils aléatoire (random wire) tant par la longueur que la disposition. On souhaite couvrir le maximum de bandes, mais cela reste un compromis. Il y a des longueurs particulières en dehors d'une demi-onde et de ses multiples qui donnent un ROS acceptable sur plusieurs bandes. F4EQY a disposé 17 m de fil en L horizontal à 4 m du sol. Dans le tableau de l'article de F5NPV est recommandé 16 à 16,60 m par exemple [1]. Le calculateur en ligne de K7MEM montre les longueurs interdites [2]. Plus court c'est 11 m ou 37,50 m plus long.

Quel type de fil ?

On peut utiliser tout type de fil mais le rendement peut en dépendre. J'ai fait l'expérience entre un fil étamé multibrin de 0.5 mm² et un fil argenté multibrin de 1 mm² avec une différence notable de 1 à 2 points S chez mes correspondants habituels. Rappelons que seul la résistance de rayonnement d'une antenne compte. En haute fréquence le courant circule en surface, et rien de sert de prendre du fil rigide. La conductivité du métal peut avoir une influence prépondérante sur des mètres de fil si on choisit de la corde à linge en fil d'acier.

DX-Wire [3] propose le fil HDS qui comprend un âme d'acier recouverte d'une tresse en cuivre argentée.

Faut-il un fil en contrepoids d'antenne ?

Une antenne à fil long nécessite obligatoirement un fil de contrepoids ou dit contre-capacité. Cela peut être résolu de plusieurs façons :

- Par le câble coaxial qui va au poste, mais il peut y avoir un fort risque de retours HF dans la poste ou d'interférences. Il est recommandé de mettre des ferrites à 3-4 m du transformateur de l'antenne.
- Par un piquet de terre ou filet de terre comme contre-capacité est l'idéal pour une antenne qui part du sol.
- Par un ou plusieurs morceaux de fil de 3-4 m de longueur que l'on raccordera à la borne de contrepoids du transformateur.
- Par une gouttière, une clôture en acier ou tout autre élément métallique.

Par expérience, avec une antenne de 16,50 m tendue à 8 m au-dessus du sol, le câble coaxial en suffit pas à apporter un contrepoids suffisant pour faire baisser le SWR en dessous de 5 à 7 ! Rien que de raccorder 3-4 m de fil tendu au-dessus du câble coaxial fait baisser le SWR entre 1 et 5. Avant de toucher à la longueur du brin, il est conseillé d'essayer différentes longueurs de fil et différentes dispositions pour le fil de contrepoids.

Self en mode commun ou ferrite sur le câble coaxial ?

Avec ce type d'antenne long fil, il est fortement recommandé d'utiliser une bobine d'arrêt en mode commun si la contre capacité n'est pas suffisante. La principale raison d'utiliser un filtre de courant en mode commun est de s'assurer que le câble coaxial ne fasse pas partie du système d'antenne comme cité précédemment. Cela se manifeste par toutes sortes d'effets néfastes tant en émission (retour de HF dans la microphone, accrochages dans la modulation) qu'en réception (niveau de bruit instable). Ce dernier point s'explique par le fait que non seulement le blindage du câble coaxial rayonne lorsque vous émettez, mais qu'il fonctionne également comme une antenne de réception. On peut cliper des ferrites sur le câble coaxial ou insérer une bobine d'arrêt en mode commun directement derrière le transformateur de l'antenne ou après 3-4 mètre de coaxial. Ce morceau de câble coaxial entre le transformateur et le filtre en mode commun sert alors de contre-capacité. On peut facilement faire un telle bobine d'arrêt en enroulant du câble coaxial sur un tore comme le montre F5NPV [1].

[1] <https://f5npv.wordpress.com/endfed-random-wire-efrw-antenna/>

[2] https://k7mem.com/Ant_End_Fed.html

[3] <https://www.dx-wire.de/dx-wire-antennendraehte-litzen/>