

TRANSFORMADORES DE RADIOFREQUÊNCIA (RF) PARA ANTENAS DE RECEPÇÃO

Paulo Renato F. Ferreira, PY3PR
P.O. Box 15, Xangri-lá, RS 95588-970, Brasil
py3pr@arrl.net

Antenas dedicadas à recepção são condição fundamental para o sucesso na operação em bandas baixas, particularmente em 80 e 160 m, onde o ruído costuma ser, geralmente, igual ou superior ao sinal desejado. Tanto na antena Beverage, descrita pela primeira vez em 1922 [ref. 1], como nas recentes Ewe [ref. 2], K9AY [ref. 3] e Flag e suas variantes [ref. 4], a impedância no ponto de alimentação costuma ser de 450 a 900 Ω , dependendo do modelo da antena em questão. Para que se obtenha um bom acoplamento com os 50 Ω do nosso cabo coaxial, é necessário utilizar um transformador de impedâncias para RF.

O que são e como funcionam os transformadores de RF?

Quando uma corrente elétrica percorre o enrolamento primário de um transformador, gera um campo eletromagnético que induz uma tensão no enrolamento secundário. Ao conectarmos uma carga na saída do enrolamento secundário causaremos uma corrente alternada (AC) em direção a essa carga.

Transformadores de RF de banda larga são enrolamentos de fio ao redor de um material com propriedades magnéticas. Quando este material tem uma forma circular, como a de um anel, é chamado de toróide. Para as montagens propostas neste artigo, o material do toróide deve ser a ferrite*.

Enrolamentos de fio num núcleo toroidal de ferrite têm muitas vantagens em relação a um enrolamento com núcleo de ar. Por exemplo, para a mesma indutância produzida, um toróide requer menor número de espiras e tem menor tamanho. Outra vantagem é a de que o campo magnético do toróide permanece confinado no seu interior, possibilitando que ele seja colocado próximo a outros circuitos eletrônicos sem que haja interações indutivas indesejáveis [ref. 5]. Leia outras fontes acessíveis para saber mais detalhes sobre núcleos toroidais [ref. 6 a 8].

Tabela 1:

Diâmetros dos principais núcleos toroidais de ferrite*

Material	D.E.(cm)	D.I.(cm)
FT-43	2,9	1,9
FT-75	2,9	1,9
FT-77	2,9	1,9

* Fonte: www.amidoncorp.com/specs/2-08

D.E.: diâmetro externo; D.I: diâmetro interno

Finalidades dos transformadores de RF

A maior finalidade dos transformadores de RF é a de transferir a potência de RF entre sistemas de impedâncias diferentes mediante o maior acoplamento magnético possível entre o enrolamento primário (em geral com menor impedância) e o secundário (em geral com maior impedância), de forma a produzir uma baixa ROE numa larga faixa do espectro de RF. Além desta aplicação, outras muito importantes são as seguintes: transformação de tensões ou correntes, isolamento de tensão contínua (DC), filtragem de correntes de modo comum, transformação de sistemas desbalanceados (ligados a terra) em sistemas balanceados (isolados da terra), acoplamentos entre circuitos, separação de potências e inversão de sinais [ref. 9].

* Atenção: no mercado há também núcleos toroidais de ferro, cujas propriedades não se prestam tão bem aos objetivos a que estamos nos propondo. Portanto, não substitua núcleos toroidais de ferrite (ou ferrita, conforme o dicionário) por núcleos toroidais de ferro!

Tipos de transformadores de RF

Um transformador de RF de banda larga deve ser desenhado para operar numa larga faixa de freqüências com a mínima reatância, o que requer a utilização de núcleos toroidais de ferrite com alta permeabilidade**.

A maioria dos transformadores de RF para freqüências médias (MF) e altas (HF) com núcleo toroidal de ferrite tem uma permeabilidade de 125 a 850 μ . O de 850 μ é o mais comum para a cobertura entre 1,8-30 MHz e é catalogado pelo fabricante Amidon pelo número 43. A tabela 1

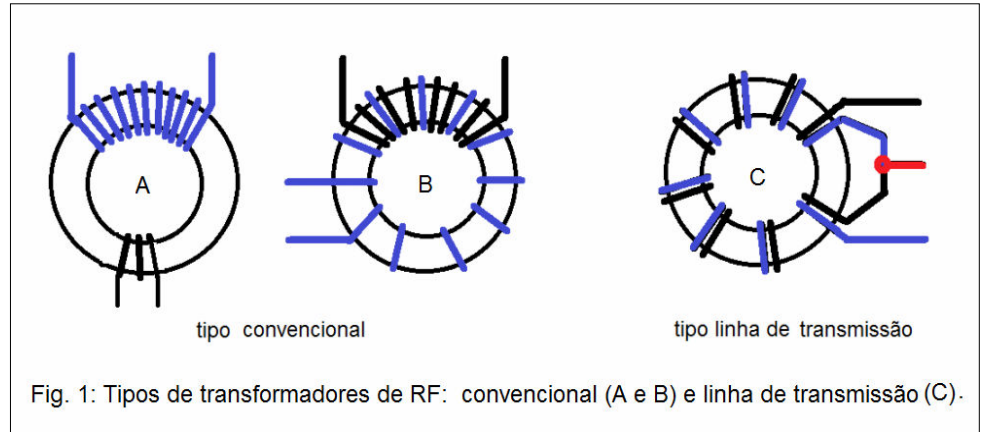


Fig. 1: Tipos de transformadores de RF: convencional (A e B) e linha de transmissão (C).

descreve os tamanhos dos principais núcleos de ferrite utilizados em transformadores de RF para bandas baixas disponíveis no mercado norte-americano.

Há dois tipos básicos de transformadores de RF de banda larga:

- **Tipo convencional:** constituído por um enrolamento primário e um secundário separados, como os exemplos A e B da figura 1. Transformadores deste tipo permitem obter praticamente qualquer índice de impedância. Porém, segundo alguns autores [ref. 10], os transformadores de tipo convencional podem ter perdas de 0,2 a 1 dB e oferecem, no máximo, 95% de eficiência. Da maneira como as espiras são enroladas depende também a eficiência: quanto mais isoladas as espiras umas das outras, maiores as perdas [ref. 11].
- **Tipo linha de transmissão:** constituído por enrolamentos paralelos bi, tri, quadrifilares etc., como o exemplo C da figura 1. Uma das extremidades dos fios constitui a entrada de baixa impedância (50 Ω) e a outra, de alta impedância (200, 450, 900 Ω , etc.). Costumam oferecer maior largura de banda, maior eficiência (alguns até 99%) e menores perdas (0,02 a 0,04 dB) do que os transformadores do tipo convencional [ref. 10]. Os transformadores do tipo linha de transmissão ainda podem ser subdivididos em dois outros tipos: tipo corrente (ou choque de RF) e tipo voltagem. Para maiores detalhes, leia outras matérias especializadas [ref.12].

Determinando o número mínimo de espiras

A definição do índice de transformação de impedâncias necessário para sintonizar uma antena – por exemplo, 4:1, 9:1, 18:1, etc. - é ditado pela impedância da antena em questão dividida pela impedância da nossa linha de alimentação. Por exemplo, se a antena for uma Flag, cuja impedância é de cerca de 900 Ω , e a linha de alimentação for um cabo coaxial RG 58 com impedância de 50 Ω , nosso transformador terá um índice de 18:1 (900÷50). Definido esse índice, é possível calcular o número de espiras do transformador. A relação entre o número de espiras do primário e do secundário costuma ser igual à raiz quadrada do índice de transformação de impedâncias. Por exemplo, na antena Flag, sendo o índice de impedâncias igual a 18:1, o índice de espiras será igual a $\sqrt{18}$, que é igual a 4,24. Ou seja: o número de espiras no secundário deve ser 4,24 vezes maior que o número de espiras do primário. Nesse exemplo, se o número hipotético de espiras do primário for de 8, o do secundário será de aproximadamente 34 espiras (8x 4,24= 33,9 espiras). Obviamente, essa regra é apenas um ponto de partida e não substitui a avaliação final do transformador de RF com um instrumento de medidas.

** A permeabilidade magnética consiste no aumento ou diminuição de um campo magnético resultante dentro de um determinado material comparado com o campo magnético no qual o material está localizado [ref. 13]. O símbolo é a letra grega μ .

Continuando, a próxima pergunta então será: “e como sabemos qual o número de espiras do primário”? Para responder, inicialmente é necessário calcular qual a indutância necessária no nosso transformador de RF. Alguns autores descrevem métodos para calcular a indutância de um transformador com núcleo toroidal de ferrite [ref. 14 e 15]. Embora didáticos, estes métodos requerem técnicas nem sempre disponíveis ao radioamador comum e, por essa razão, não serão abordadas aqui. Nosso objetivo é o de construir um transformador de RF utilizando um método mais simples e que conduza a um resultado satisfatório.

Seguindo a receita do bolo

Como fabricar um eficiente transformador de impedâncias para essas antenas, de um modo descomplicado, é assunto amplamente descrito na literatura de língua portuguesa [ref.16], espanhola [ref. 17] e, principalmente, inglesa [ref. 18 a 22]. Geralmente, essa literatura presume que o interessado tenha acesso fácil a núcleos toroidais de ferrite com propriedades magnéticas específicas, conforme consta no projeto original do transformador. Além dessas propriedades magnéticas, o sucesso da operação dependerá também de outros fatores, tais como o diâmetro do fio, o número de espiras, o tipo de enrolamento, etc.. Seguindo à risca as recomendações do artigo técnico escolhido, basta enrolar o número de espiras com o fio apropriado no núcleo designado, seguindo os passos como se fosse uma receita culinária, e o assunto fica resolvido. O transformador de impedâncias estará, teoricamente, pronto para ser colocado na antena sem maiores testes. Entretanto, o desafio para nós, brasileiros, é justamente encontrar no comércio local os núcleos toroidais cujas propriedades sejam conhecidas e identificadas (figura 2). Sem dúvidas, sempre é possível importar esse material, que é, por sinal, barato. Porém, geralmente necessitamos de apenas um ou dois núcleos e acabamos pagando um valor bem maior devido aos impostos alfandegários - sem falar na demora...



Na prática, a teoria é outra

A maioria dos analisadores de antena mede a indutância e a capacitância de um componente eletrônico de forma indireta, desde que a impedância mínima e máxima do circuito esteja dentro de certos limites. Conforme Greg Ordy, W8WWV [ref. 23], os analisadores medem nada mais do que a reatância de uma antena ou de um circuito, para então, convertê-la em capacitância ou indutância. Quando medimos componentes isolados, como no caso de um transformador de RF, o componente resistivo é zero, ou muito próximo de zero, e tudo o que está sendo medido é pura reatância. Portanto, nosso analisador pode não ser capaz de medir valores de indutância tão baixos como os desses pequenos transformadores de RF. Alguns autores sugerem inserir o transformador de RF num circuito sintonizado, colocando-o em série com um resistor de 50 Ω [ref. 23 e 24]. Entretanto, como na prática nem sempre esse artifício funciona, utilizei um método alternativo para a construção de transformadores de RF nas antenas Beverage, K9AY e Flag, descrito no manual de instruções do meu analisador de antenas MFJ, que, aliás, está traduzido para o português por PP5VX aqui na Feirinha Digital [ref. 25].

Uma importante dica de W8JI

De acordo com Tom Rauch, W8JI, um dos melhores indicadores da correta seleção do núcleo toroidal é dado pelo número requerido de espiras [ref.19]. Poucas espiras necessárias para obter o resultado desejado indicam uma boa escolha do material e do tamanho do núcleo toroidal. Em alguns transformadores, W8JI utiliza somente uma ou duas espiras para cada 100 Ω de impedância. Assim, dentre os experimentos que você fizer, não hesite em se decidir por aquele que lhe proporcionar o mesmo resultado com o menor número de espiras, respeitando ao máximo a relação de quatro espiras no secundário para cada espira no primário.

Em conclusão

A solução “tropicalizada” que adotamos é a de recorrer aos poucos exemplares de núcleos toroidais disponíveis no comércio local ou na sucata, mesmo sem conhecer suas propriedades magnéticas - e nos adaptar a eles. Um importante instrumento para o êxito desse empreendimento é o analisador de antenas, que nos informa a impedância, a reatância, a frequência de ressonância, a R.O.E. e as perdas ôhmicas do nosso transformador de RF. De forma bastante aceitável, conseguimos bons resultados empregando núcleos que temos à mão, sem a necessidade de identificar com exatidão as suas características magnéticas. Entretanto, cabe aqui uma advertência: os transformadores de RF descritos na literatura, empregando materiais selecionados e testados em laboratório, costumam oferecer bons resultados com baixas perdas por inserção. No nosso caso, antes de elaborar nossos próprios transformadores, devemos estar cientes de que as perdas ôhmicas poderão ser maiores do que aquelas descritas na literatura técnica original. Mesmo assim, o resultado prático obtido com a técnica que apresentamos aqui serve como um bom começo até que obtenhamos os núcleos toroidais de ferrite conforme o catálogo. Leia os detalhes para a montagem “tropicalizada” e para os testes de núcleos toroidais de ferrite para as antenas Beverage/K9AY e Flag nos respectivos artigos da minha coluna na Feirinha Digital (“Transformador de radiofrequência 9:1 para as antenas Beverage e K9AY” e “Transformador de radiofrequência (RF) 18:1 para a antena flag”).

Referências

1. H.H. Beverage, W2BML. The Wave Antenna for 200-Meter Reception. QST, novembro 1922, p. 75. Disponível em: <http://www.nrcdxas.org/articles/WaveAntenna.pdf>
2. Floyd Koontz, WA2WVL. Is this Ewe for you? QST, fevereiro 1995, p. 31.
3. Gary Breed, K9AY - The K9AY Terminated Loop; QST, setembro 1997, p. 43. – Disponível em: http://www.hard-core-dx.com/nordicdx/antenna/loop/k9ay/k9ay_orig.pdf
4. Earl W Cunningham, K6SE. Flag, Pennants and Other Ground-Independent Low-Band Receiving Antennas. QST, julho 2000, p. 34
5. Disponível em: http://www.ewhow.com/about_6637698_toroid-coil.html
6. Minicircuits: How RF transformers work. Disponível em: <http://www.minicircuits.com/app/AN20-001.pdf>
7. Diane Bondar: What is a toroid coil? Disponível em: www.ewhow.com/about_6637698_toroid-coil.html
8. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Toroidal_inductors_and_transformers
9. Disponível em: <http://www.electronics-tutorials.com/basics/wide-band-rf-transformers.htm>
10. Jerry Sevick, W3FMI: Transmission Line Transformers. 2ª ed. ARRL. 1990. p. 1-1.
11. John Devoldere, ON4UN. Low Band DX. 4ª ed. ARRL. 2005. p.7-57.
12. Disponível em: http://www.gsl.net/ta1dx/amator/broadband_baluns.htm
13. Enciclopédia Britannica. Disponível em: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/357237/magnetic-permeability>
14. Toroid winding calculator. Disponível em: http://www.66pacific.com/calculators/toroid_calc.aspx
15. Old radios. Construction And Use Of Broadband Transformers. Disponível em: www.olderadios.co.nz/downloads/Broadband%20Transformers.pdf
16. Adinei Brochi, PY2ADN: Entendendo toróides. Disponível em: <http://www.py2adn.com/artigos/Entendendo-toroides.pdf>
17. Enrique A. Wembagher: BALUN 9:1 - Para Antena de HILO LARGO. Disponível em: <http://arieldx.tripod.com/estaciondx/proyectos/balun91.htm>
18. John Bryant with Bill Bowers and Nick Hall-Patch, VE7DXR: A Second Look at Fabricating Impedance Transformers for Receiving Antennas. Disponível em: http://www.dxing.info/equipment/impedance_transformer_bryant.doc
19. Tom Rauch, W8JI: Balun and transformer core selection. Disponível em: www.w8ji.com/core_selection.htm
20. Broadband Transformers plus Diode Ring Mixers. Disponível em: <http://www.qrp.pops.net/xmfr.asp>

21. Bill Bowers, John Bryant, Nick Hall-Patch, VE7DXR. Impedance Matching Transformers for Receiving Antennas at Medium and Lower Shortwave Frequencies. Disponível em: http://www.dxing.info/equipment/impedance_matching_bryant.doc
22. David Sandoval: How to Design a Ferrite Core Toroidal Transformer. Disponível em: http://www.ehow.com/how_8180497_design-ferrite-core-toroidal-transformer.html
23. Greg Ordy, W8WWV. Analyzing three antenna analyzers. Disponível em: <http://www.seed-solutions.com/gregordy/Amateur%20Radio/Experimentation/EvalAnalyzers.htm>
24. Electronics-tutorial. Wide band transformers. Disponível em: <http://www.electronics-tutorials.com/basics/wide-band-rf-transformers.htm>
25. Boneval S. Silva, PP5VX: MFJ 269. – Testando transformadores de RF. Disponível em: <http://www.feirinhadigital.com.br/rbr/HAM/projetos-usuarios/mfj269-pp5vx/MFJ269-ManualDeOperação.pdf>