

Antena em fio de aço inoxidável

Introdução

Num recente QSO, um nosso colega manifestava a sua satisfação pelos bons resultados que estava a obter com uma antena dipolo de meia onda que tinha acabado de instalar para 40M, construída com fio de aço inoxidável muito fino (1 mm). Os bons resultados manifestavam-se tanto nas ondas estacionárias como nas reportagens que recebia de outros OM's.

O assunto é interessante, porque sendo o aço inoxidável um material de elevada resistividade eléctrica, utilizado até na construção de resistências dissipativas, parece não ser o material mais adequado para o elemento radiante de uma antena. Por isso, vale a pena pensar um pouco sobre esta matéria, fazendo depois a comparação do comportamento desta antena em fio de aço inox de 1 mm com uma outra construída com fio de cobre, de 2 mm de diâmetro. Não se faz a comparação com fio de cobre de 1mm por este ser mecanicamente fraco e, por isso, pouco utilizado.

O esforço de tracção que um fio de aço inox pode suportar é muito superior àquele que o cobre admite. Por outro lado, no aço inox praticamente não se verificam fenómenos de corrosão, pelo que a superfície do fio mantém o seu brilho inicial durante muito mais tempo. No cobre, mesmo com isolamento de esmalte ou PVC, ao fim de 5 ou 6 anos encontram-se pontos de corrosão que justificam a substituição do fio da antena. Estas duas vantagens do aço inox serão suficientes para justificarem a sua escolha? O que se passa com a resistividade eléctrica?

Resistência eléctrica

Em electricidade, quando se comparam diferentes materiais, uma característica fundamental é a resistividade ou resistência específica do material, representada pela letra grega ρ (rho), ou o seu inverso, a condutibilidade, representada pela letra grega γ (gamma). Comparando com a resistividade do cobre, a resistividade relativa de outros materiais também utilizados em antenas é a seguinte:

Cobre.....	1,0 (*)
Alumínio.....	1,6
Zinco.....	3,4
Latão.....	4,3
Bronze fosforoso	5,4
Aço inoxidável	52,8

(*) - O valor absoluto é $1,7241 \times 10^{-8}$ Ohms.m

A partir do conhecimento da resistividade do material utilizado, pode conhecer-se a resistência eléctrica de um determinado fio utilizando a expressão :

$$R = \rho \cdot \ell / s \quad (\text{Eq. 1})$$

na qual R corresponde à resistência do fio em Ohms, ρ representa a resistividade em Ohm.m, ℓ o comprimento do fio em m e s a secção do fio em m^2 . No caso dos fios das antenas, exprimir a secção em m^2 pode parecer uma coisa muito estranha, mas isto é uma consequência do sistema de unidades utilizado na definição da resistividade. Quem o desejar pode ultrapassar esta dificuldade rectificando o valor de ρ em conformidade.

Introduzindo o valor de ρ na expressão anterior, ressalta que para fios com igual comprimento e com igual secção, o fio de aço inox apresenta uma resistência eléctrica 52,8 vezes superior à do fio de cobre, o que é bastante importante. Mas, além disso, há a questão do diâmetro do fio, que se disse ser de 1 mm para o fio de aço inox e 2 mm para o fio de cobre. No caso de fios com secção circular, a secção s é calculada com a expressão

$$s = \pi \cdot d^2 / 4 \quad (\text{Eq. 2})$$

na qual d corresponde ao diâmetro do fio. Resulta assim

que, para um determinado material, a resistência eléctrica do fio é inversamente proporcional ao quadrado do diâmetro do fio, e neste caso, reduzindo o diâmetro do fio de 2 para 1 mm, a resistência aumenta 4 vezes. Conjugando este valor com o aumento de 52,8 vezes pela utilização do aço inox, resulta um aumento global da resistência de $4 \times 52,8 = 211$ vezes. Em resumo, para o mesmo comprimento, o fio de aço inox de 1 mm de diâmetro tem uma resistência ohmica 211 vezes superior à do fio de cobre de 2 mm de diâmetro. Este número, enorme, poderia desencorajar qualquer tentativa de utilização do aço inox nas antenas. Mas deve levar-se mais longe a análise do problema, uma vez que a fórmula apresentada anteriormente (Eq.1), bem conhecida de todos nós, é válida para corrente contínua. Em corrente alterna como é?

Efeito de pele

Num fio condutor percorrido por corrente alterna, a corrente não se distribui igualmente por toda a secção do fio. Ela situa-se quase que exclusivamente numa fina camada na periferia do fio, e no seu interior praticamente não há corrente. É o chamado "efeito de pele", cuja explicação não se justifica nesta pequena análise. Bastará dizer que a espessura δ na periferia do fio por onde circula a quase totalidade da corrente é determinada pela expressão :

$$\delta = 1 / (\pi \cdot \mu \cdot \gamma \cdot f)^{1/2} \quad (\text{Eq. 3})$$

na qual δ corresponde à espessura da "pele" em m, μ à permeabilidade magnética absoluta do material em H/m, γ à condutibilidade do material em mhos/m e f à frequência em Hz. É interessante notar que a espessura da "pele" não depende do diâmetro do fio mas apenas da natureza do material e da frequência de trabalho. Quanto mais alta a frequência mais fina é a "pele".

Uma pequena nota para referir que é devido ao "efeito de pele" que em certas aplicações de radiofrequência é possível a utilização de condutores ocos, isto é, tubos, e também fios de aço revestidos a cobre (copperweld) ou revestidos com alumínio (grandes linhas de transporte de energia).

Resistência em RF

Na verdade, para o cálculo da resistência de um fio em radiofrequência aplica-se igualmente a Eq. 1, mas substituindo a área correspondente à secção total do condutor pela área efectiva da pequena camada exterior por onde circula a quase totalidade da corrente eléctrica. Esta área efectiva corresponde a uma coroa circular com raio exterior igual a r e o raio interior igual a $(r - \delta)$, e determina-se com a fórmula

$$a_{ef} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \delta \quad (Eq. 4)$$

Se agora na Eq. 1 se substituir a secção s pela área efectiva a_{ef} , obtém-se a expressão que dá a resistência em corrente alterna:

$$R_{rf} = (\ell / d) \times (\rho \cdot \mu \cdot f / \pi)^{1/2} \quad (Eq. 5)$$

na qual os símbolos ℓ , d , ρ , μ , e f correspondem às grandezas mencionadas anteriormente e são expressas nas unidades também indicadas. Observa-se agora outra conclusão interessante: enquanto que em corrente contínua a resistência era directamente proporcional à resistividade do material, em RF é directamente proporcional à raiz quadrada dessa resistividade. Isto é, em radiofrequência a resistividade tem menor importância.

Para se calcular o valor da resistência do fio de cobre de 2 mm e do fio de aço inox de 1 mm só falta conhecer os valores de ρ e μ destes dois materiais. São os seguintes:

Cobre: $\rho = 1,724 \times 10^{-8}$ Ohms.m
 $\mu = 1,257 \times 10^{-6}$ H/m

Aço inox: $\rho = 91,0325 \times 10^{-8}$ Ohms.m
 $\mu = 1,257 \times 10^{-6}$ H/m

A permeabilidade magnética considerada é igual nos dois casos, por se tratar de dois metais não magnéticos que, como tal, têm permeabilidade praticamente igual à do espaço livre (vácuo).

Considerando que os dois fios têm igual comprimento, por exemplo 20 m, pode agora calcular-se a resistência eléctrica de cada um deles para DC e também para 7 MHz e 28 MHz. Os resultados são os seguintes:

(Quadro 1)

MHz	Cobre	Inox
	$\ell = 20$ m $d = 2$ mm Ohms	$\ell = 20$ m $d = 1$ mm Ohms
DC	0,11	23,18
7	2,2	31,93
28	4,4	63,85

Estes números mostram de forma clara que, mesmo em radiofrequência, a resistência ohmica do fio de aço inox de 1 mm de diâmetro é muito superior à do fio de cobre de 2 mm, e que, portanto, a antena com o fio de aço inox apresentará um rendimento inferior à antena construída com fio de cobre. Mas será esta diferença de rendimento muito importante?

Rendimento

O rendimento ou a eficiência de uma antena calcula-se com a expressão:

$$\eta = R_r / (R_r + R_p) \quad (Eq. 6)$$

na qual η representa o rendimento, R_r a resistência de radiação da antena e R_p a soma de todas as resistências equivalentes às perdas no fio, nos isoladores da antena e no solo, e incluindo também a dissipação de energia noutros fios ou superfícies metálicas vizinhas. Pode escrever-se:

$$R_p = R_c + R_i + R_t + R_d \quad (Eq. 7)$$

na qual R_p corresponde à resistência total de perdas, R_c à resistência do fio da antena, e R_i , R_t e R_d às resistências equivalentes às perdas nos isoladores, na terra e noutros condutores vizinhos. Nesta fórmula não são incluídas perdas na ATU e na linha de transmissão porque são apenas as antenas que estão em comparação.

Considerando, por exemplo, uma antena dipolo de meia-onda, o primeiro valor de que se necessita é a resistência de radiação R_r , o qual é dependente da altura do dipolo. Para R_i , R_t , R_d teríamos de atribuir valores práticos que, em alguns casos estariam muito longe da realidade. Para se evitar esta dificuldade, o melhor será considerar a antena no espaço livre onde $R_r = 72$ Ohms e R_i , R_t , e R_d não intervêm porque não há isoladores, nem terra nem outros condutores. E assim, a fórmula do rendimento fica com a expressão simplificada:

$$\eta = R_r / (R_r + R_c) \quad (Eq. 8)$$

Utilizando agora os valores do Quadro 1 obtém-se:

7 MHz: cobre 2 mm: $\eta_1 = 72 / (72 + 2,2)$
 $= 97,0 \%$
 inox 1 mm: $\eta_2 = 72 / (72 + 31,93)$
 $= 69,2 \%$
 atenuação: $\eta_2 / \eta_1 = -1,46$ dB

28 MHz: cobre 2 mm: $\eta_1 = 72 / (72 + 4,4)$
 $= 94,2 \%$
 inox 1 mm: $\eta_2 = 72 / (72 + 63,85)$
 $= 52,9 \%$
 atenuação: $\eta_2 / \eta_1 = -2,49$ dB

Conclusão

O fio de aço inox, que em corrente contínua parecia ser uma solução muito má (resistência 211 vezes mais elevada), afinal revela-se uma solução viável para RF HF, uma vez que a atenuação introduzida, no pior dos casos (28 MHz), não chega a 3 dB, ou seja meia unidade de "S-meter". Claro que em condições marginais de propagação estes 3 dB podem fazer a diferença para a realização ou não de um QSO. E também significam que dos 100 W do nosso emissor apenas estamos a radiar 53 W.

Fazendo os mesmos cálculos com valores resultantes da existência dos isoladores e da proximidade do solo e de outros condutores, seriam obtidos valores de rendimento menores para as duas antenas, mas a diferença entre eles seria muito próxima da que foi calculada para o espaço livre, pelo que se mantém válida a conclusão anterior, isto é, o emprego do fio de aço inoxidável é aceitável se a atenuação de 3 dB não for importante para o utilizador.