

Linhas de transmissão por ondas progressivas

Por Cap. Waldemir Aranha

A antena de uma estação de radio-amador deve ser um dos órgãos mais bem cuidados e como tal a sua montagem deve obedecer a princípios técnicos indiscutíveis.

Obedecendo a esse critério, é bem provável que a eficiência de uma montagem relativamente fraca atinja a resultados comparáveis a outras, dotadas de possibilidades maiores no ponto de vista de potência.

De tudo o que pôde realmente influir no bom ou mau funcionamento de uma antena realça principalmente a forma de sua **alimentação**.

Esta operação importantíssima que consiste no transporte da energia oscilante á antena, é feita por um condutor ou um sistema de condutores constituindo uma **linha de transmissão**.

Uma linha de transmissão perfeita não deve produzir perdas apreciáveis.

Para isso ela deve satisfazer as duas condições fundamentais:

1.º) Ser construída de acôrdo com princípios técnicos determinados.

2.º) A sua impedância deve ser compatível com a da antena e com a de saída do transmissor.

O nosso fim neste trabalho é apresentar aos leitores uma das maneiras mais eficientes, de alimentação de uma antena.

Façamos antes algumas considerações necessárias.

Como acima se diz, uma linha de transmissão se destina ao transporte da energia oscilante gerada no conjunto de força (tank do power), ou ultimo estagio do transmissor á antena propriamente dita.

Admitindo figuradamente que o conjunto de força (tank do power) seja um deposito de agua destinada a acionar um sistema mecânico qualquer (uma turbina, por exemplo), á distancia, o encanamento

que liga aquele á esta realiza o papel de linha de transmissão.

Compreende-se nitidamente que essa linha só será realmente eficiente si além das considerações sobre a resistencia ao deslocamento da massa líquida, etc., forem, e principalmente, tomadas precauções no ajustamento das seções do cano, assim como no ponto de chegada á turbina, de sorte a que nenhuma fuga do líquido se possa produzir.

Essas duas condições seriam evidentemente respeitadas, si, no momento de ajustagem da boca do encanamento com a entrada da turbina e verificado que os seus diâmetros ou formas eram diferentes, se procurasse por todos os meios fazer com que essas diferenças desaparecessem, já por alargamento do diâmetro menor, já por adaptação de um, á forma do outro.

Esta operação importantíssima, tem a denominação generica de "ajustagem" (matching).

Toda linha de transmissão tem uma impedância inicial, uma outra ao longo dela e uma final.

Tal linha seria comparavel a um tubo cuja seção inicial tivesse um diâmetro, as intermediarias outro e a ultima seção, um, diferente dos demais.

Não se pôde ter nenhuma duvida de que uma tal linha seja rica em perdas.

Cada vez que a agua deixar uma seção e penetrar na outra produzir-se-á uma verdadeira confusão, com escapamentos, fluxos e refluxos do líquido do que resultarão necessariamente as perdas previstas.

Cumpra pois que a seção do tubo seja uniforme em toda a estensão deste, afim de que não se produzam esses reflexos interiores. Caso isso não se dê, torna-se necessaria a ajustagem prevista que no caso de alimentação de antenas se denomina "ajustagem de impedância" (matching impedance).

Conclue-se do cima exposto que numa linha de transmissão perfeita, cada seção deve apresentar os mesmos característicos da anterior, de sorte que a saída seja perfeitamente igual á entrada.

Assim sendo, si Z é a impedancia da entrada da linha de alimentação de uma antena, isto é, do ponto de contacto dela com o conjunto de força, ela só não apresentará perdas, si em qualquer dos seus pontos a impedancia for igual a Z , que se manterá constante até á saída, no ponto de união com a antena. D'af a denominação de iterativa á impedancia da linha.

Sejam Z_1 a impedancia da união do transmissor com a linha de transmissão, Z a impedancia da linha e Z_2 a impedancia da boca da antena, isto é da região de união da antena com a linha de transmissão. A condição de minimo de perdas será portanto:

$$Z_1 = Z = Z_2$$

Uma vez que examinamos, em ligeiras considerações, o caso do transporte da energia hidraulica, vejamos quais os precalços que podem influir no transporte da energia oscilante para uma antena.

Sabe-se que a onda eletromagnetica resulta da coexistencia em cada ponto, seja no espaço indefinido (o ar) ou num espaço restrito (um fio), de um campo electrico (efeitos de capacidade eletrostatica) e de um magnetico (efeito de capacidade eletromagnetica ou auto-indução).

Imaginemos a onda eletromagnetica se propagando num certo meio onde existam regiões condutoras e isolantes.

Cada vez que a onda attingir uma região condutora, a corrente se acumula e os fenomenos de auto-indução aumentam; portanto o campo magnetico cresce, attingindo a valores tanto maiores quanto mais condutor existir na região considerada. Si, ao contrario, esta fór isolante serão os fenomenos eletrostaticos que se acentuarão, visto que o isolante tendo propriedades dielectricas vai carregar-se eletrostaticamente, ás custas do campo electrico da onda. Compreende-se nitidamente que sen-

do constante a relação entre os campos em qualquer ponto do espaço, si um diminuir o outro aumentará, si um fór nulo o outro será maximo. E' precisamente o que acontece nas regiões acima referidas.

Ora, si a onda se propaga com a velocidade da luz, como se sabe, o choque produzido pelo campo electrico ou o magnetico ao ser esbarrado por um condutor ou um isolante deve ser formidavel. E, como esses elementos são elettricamente elasticos, isto é, acumulam e restituem a energia electrica acumulada, resulta que logo a seguir ao esbarro vem a reação e uma onda se produzirá em sentido contrario á anterior. Essas duas ondas por sua vez se chocando determinarão pontos fixos onde a amplitude de vibração é maxima e outros onde ela é nula, invariavelmente.

Duas ondas estão bem patentes: uma que se desloca até encontrar a região que a refletirá e outra fixa após a reflexão. Essas duas ondas se denominam: **progressiva e estacionaria**, respectivamente.

Na primeira, como se compreende, o desperdicio de energia é praticamente nulo, na segunda, porém, dada a multiplicidade de choques e transformação, o desperdicio já pôde ser apreciado.

Conclue-se pois, que uma linha de transmissão baseada no emprego das ondas progressivas será muito mais rendosa que no das estacionarias.

Por outro lado verifica-se pelo exposto que todo o impecilho que a onda progressiva possa encontrar em seu caminho numa linha de transmissão, traduzir-se-á immediatamente na produção de ondas estacionarias ou pelo menos n'uma tendencia a isso, o que corresponderá a uma fração de energia perdida. Bastará para tanto que a sua impedancia iterativa não seja realmente constante.

Todavia uma linha de transmissão, podendo ser concebida admitindo a existencia de ondas estacionarias, poderemos dividi-las em linhas de transmissão:

- 1.º) por ondas progressivas;
- 2.º) por ondas estacionarias.

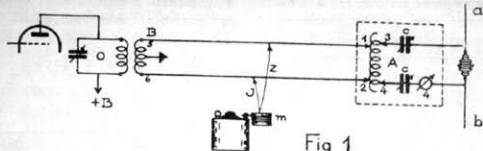


Fig 1

Vamos estudar, neste trabalho, o primeiro processo.

Seja pois uma linha de transmissão a fio duplo, AB (fig. 1), onde vemos em θ um oscilador ou conjunto de força, em B a entrada da linha e em A saída ou região de associação dela com a antena a b, destinada a oscilar em meia onda, tipo Leví, ou alimentada no maximo de corrente.

A experiencia e a teoria demonstram que, si a corrente eficaz ao longo de AB fôr constante, não haverá ondas estacionarias entre A e B.

Para isso, como vimos, torna-se necessario que a impedancia iterativa seja constante ao longo de AB.

Ora, como a impedancia da antena nos é imposta pelo seu proprio funcionamento, o que devemos fazer é uma adaptação da linha AB e da junção OB á impedancia da antena.

Si R é esta impedancia, Z a da linha e Z_1 a da junção OB, teremos então que realizar a condição já referida: $R=Z=Z_1$.

Para isso construiremos uma linha constituída por dois fios perfeitamente uniformes, 1-5 e 2-6.

No extremo A, de junção da linha com a antena, instalamos um transformador adaptador das impedancias respectivas. Em B associaremos a linha com o oscilador e ajustaremos as respectivas impedancias, fazendo variar a associação entre B e O.

O transformador, teoricamente, deve ficar junto da antena. Isso porém seria uma complicação no ponto de vista de construção. Praticamente nenhuma alteração profunda haverá, se ele ficar em

baixo da antena a uns tres metros do solo, dentro de uma casinhola de madeira, fig. 2, que se deverá abrir em F para as regulagens. A parte m irá para a antena e a

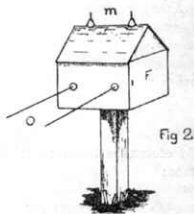


Fig 2

parte o, para o transmissor. A distancia entre esta casinhola e o transmissor é absolutamente indifferente, o que constitue uma das principais vantagens deste processo de alimentação.

Sejam: R a impedancia da antena que admitimos seja puramente ohmica; 2C e 2C os condensadores iguais montados em cada fio da linha; L a bobina do transformador, fig. 3.

A impedancia simbolica do conjunto 2C, R, 2C, será:

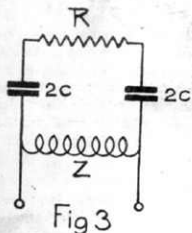
$$a = -\frac{j}{2C\omega} + R = \frac{j}{C\omega} + R$$

Finalmente:

$$a = \frac{RC\omega - j}{C\omega}$$

As condutancias simbolicas do conjunto acima e de L serão respectivamente:

$$\frac{1}{a} = \frac{C\omega}{RC\omega - j} \text{ e } \frac{1}{a} = \frac{1}{L\omega j}$$



Portanto a condutancia total:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a_1} = \frac{1}{Z} = \frac{C\omega}{RC\omega - j} + \frac{1}{L\omega j}$$

Sendo efetuados todos os calculos encontraremos:

$$Z = \frac{\left(LR\omega j + \frac{L}{C}\right) \left[R - j\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)\right]}{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

Como Z, vai ser ajustado á impedancia da antena ela deverá ser tambem puramente ohmica, o que implica na nulidade das resistencias indutivas.

Portanto:

$$L\omega R^2 - \frac{L}{C} \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right) = 0 \quad (1)$$

Mas, como inicialmente diferem as duas impedancias, essa desigualdade poderá ser assim representada por

$$Z > R$$

A ajustagem será obtida quando

$$mZ = R \text{ desde que: } m = \frac{R}{Z}$$

Sendo m menor que a unidade evi-

dentemente, indica que o transformador em estudo é um redutor de impedancia.

Tomando, pois, a relação $\frac{Z}{R}$ teremos

$$\frac{1}{m} = \frac{Z}{R} = \frac{\frac{L}{C} + L\omega \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)}{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} \quad (2)$$

A equação (1) nos fornece

$$L = \frac{1 + C^2 \omega^2 R^2}{C\omega^2}$$

Que elevado a (2) dará

$$\frac{1}{C\omega} = R \sqrt{\frac{1-m}{m}}$$

donde

$$C = \frac{m}{R\omega \sqrt{(1-m)m}}$$

Levando agora esse valor á (1) novamente, teremos:

$$L\omega = \frac{R}{\sqrt{m(1-m)}}$$

donde

$$L = \frac{R}{\omega \sqrt{m(1-m)}}$$

Façamos uma aplicação:

Admitamos que se trate de alimentar, no centro, uma antena em meia onda de 40 metros. A linha de transmissão é de dois fios de 2 mm de diametro, intervalados de 10 cm.

Calculemos Z primeiramente.

Como dos preliminares de radio electricidade se sabe que:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Sendo L e C auto-indução e a capacidade unitarias, pondo-se L em U. E. M. e C em U. E. S. teremos:

$Z = Lv$ onde v é a velocidade da luz, relação entre as unidades dos dois sistemas. Sendo, porém, de acordo com a parte geral de eletricidade:

$$L = 4 \lg c \frac{q d}{d_1}$$

onde d é a distancia entre os fios da linha e d_1 é o diametro desses fios, teremos:

$$Z = 4 v \log c \frac{q d}{d_1}$$

ou

$$Z = 10^{-9} \times 4 \times 3 \times 10^{10} \times 2,302 \log \frac{q \times 10}{q} = 500 \text{ ohms approx. (1)}$$

Portanto

$$m = \frac{R}{Z} = \frac{100}{500} = 0,02$$

Calculemos agora ω . Tomando para isso, a sua conhecida expressão teremos:

$$\omega = \frac{2\pi v}{\lambda} = \frac{2 \times 3,14 \times 3.10^8}{40} = 4,77.10^7$$

Substituindo-se esses valores nas formulas encontradas, virá:

$$C = \frac{m}{R \omega V (1-m) m} = \frac{0,02}{100 \times 4,6 \times 10^7 \sqrt{1-0,02} \cdot 0,02} = 0,000218 \mu F.$$

$$L = \frac{R}{\omega V m (1-m)} = \frac{100}{4,6 \times 10^7 \sqrt{1-0,02} \cdot 0,2} = 10,9 \mu H$$

Como se vê a bobina do transformador deve ser de cerca de $11 \mu H$. Isto é obtido aproximadamente com 10 espiras de tubo de cobre de $\frac{1}{4}$ ", $\frac{1}{8}$ " de espaçamento entre espiras e 2 poleg. de diametro. Os condensadores, de 21 placas cada um, visto que $2C = 0,00043$ aprox.

(1) O fator 10^{-9} é para obtenção do resultado em ohms.

A regulagem é meticulosa, mas simples na sua execução.

Regulam-se os condensadores C, fig. 1, e a associação entre B e O, até que o amperemetro em A assinala a maxima corrente.

Com um ondometro colocado de tal sorte que se afaste igualmente dos dois fios, isto é, $x = j$, fig. 1, desloca-se-o desde a antena até o transmissor. A intensidade de brilho da lampada deve ser a mesma. Si em vez da lampada o ondometro possuir um elemento termico os resultados serão de grande precisão.

Caso, em um ponto qualquer não muito proximo de transmissor, houver diminuição ou aumento do brilho da lampada ou esta se apagar é que ha uma tendencia para produção de ondas estacionarias ou elas já se estabeleceram francamente.

Variando igualmente as pegas 1 e 2, sobre a bobina e novamente atuando-se sobre os condensadores do transformador e na associação B-O obter-se-á nova maximo em A. Seguem-se operações identicas ás anteriores.

S' entre a bobina e a antena houver onda estacionaria, movimentam-se as pegas 3 e 4 até que aquelas desapareçam tambem.

A montagem estará em perfeitas condições de funcionamento quando a lampada do ondometro ou o termico do mesmo indicar a mesma intensidade, desde as proximidades do transmissor, até a antena.

Agosto — 1934.

Instituto Radiologico Dentario

DIRETOR

Dr. José Arruda

Radiologistas

Zelo Caldas *Dioni Arruda*

Rua da Assembléa, 88 - 3.^o and. s. 9

Tel. 2 - 3665

Radiographias a 10\$000 (entregues a domicilio no perimetro urbano).