

## LINHA DE TRANSMISSÃO EM FREQUÊNCIAS ALTAS

### RESUMO

*O trabalho que apresentamos aos colegas engenheiros e estudantes de Engenharia Elétrica trata sobre a linha de transmissão em frequências altas. O assunto que abordamos pretende esclarecer sem mitos, o comportamento do deslocamento de energia através da linha de transmissão e a correta relação de fase entre os diversos elementos do sistema de transmissão.*

### ABSTRACT

*The work that we introduced to the colleagues engineers and students of several elements of the transmission system. Electric Engineering, negotiates on the transmission line in high frequencies. The subject that we approached, intends to illuminate without myths, the behavior of the displacement of energy through the transmission line and the correct phase relationship among the several elements of the transmission system.*

### 1. INTRODUÇÃO

O artigo que outrora realizamos nesta revista sob o título "Ondas refletidas em linhas transmissoras de alta frequência", ora nos impele a realizar este novo trabalho, quando desejamos apresentar aos colegas e toda comunidade universitária, assunto que está relacionado com nosso tema exibido no passado.

Assim, desejamos no momento, tratar sobre a linha de transmissão em frequências ele-

vadas. Pretendemos focalizar o comportamento da energia elétrica de um ponto a outro nesta linha de transmissão, estabelecendo a correta relação de fase entre os diversos elementos de um sistema irradiante de energia, assim como a otimização desta para obtenção de níveis superiores no processo de melhor transferência de potência.

Recordamos alguns dos comentários que citamos no artigo anterior, onde focalizamos a carga elétrica. Afirmamos que ela

**Antonio Fernando  
Moura de Almeida**

---

*Engenheiro Eletricista,  
Professor do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da UNIFOR.*

vai e vem no condutor, constituindo um campo elétrico e outro magnético. O campo elétrico surge no momento em que a carga faz parada para mudar seu sentido de movimento. A energia utilizada neste processo é convertida e irradiada sob forma de ondas eletromagnéticas através do espaço aéreo.

As equações de Maxwell que tratam sobre o comportamento do campo elétrico e magnético unificado, constituem as bases atuais da teoria eletromagnética. Estas equações não só descrevem todos os fenômenos eletromagnéticos conhecidos, mas também num sentido mais amplo, a variação eletromagnética, introduzindo simultaneamente na Física, o conceito geral de campos para descrever as interações entre um corpo e outro.

## 2. PROPRIEDADES DISTRIBUÍDAS DA LINHA DE TRANSMISSÃO

As linhas de transmissão, possuem um extremo de entrada onde encontra-se o gerador, e um extremo de carga. As propriedades elétricas da linha de transmissão estão especificadas através de seus parâmetros distribuídos: a impedância série por unidade de longitude (composta da resistência série e da reatância série), a capacitância shunt e a condutância por unidade de longitude. Estes parâmetros são funções da posição e do diâmetro dos condutores, da separação entre eles, de sua estrutura e do meio por onde estão circundando.

Fazemos na figura 01, a representação de uma seção bifilar da linha de transmissão, com dois condutores, como exemplo geral para nosso estudo.

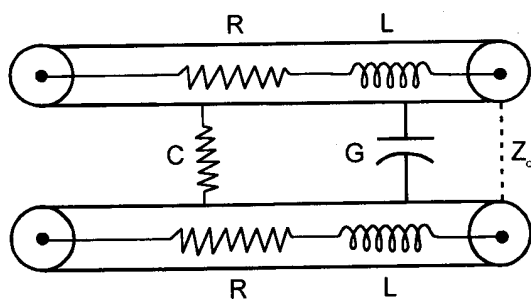


Figura 01

## 3. IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA

A linha de transmissão que ora tratamos, possui impedância característica igual ao valor da impedância medida no extremo de entrada da linha, quando o outro extremo está terminando com uma impedância do mesmo valor. A impedância característica baixa ou praticamente desprezível, depende do comprimento da linha, da resistência dos condutores ou da frequência operacional.

Este conceito pode parecer confuso, entretanto sua validade se evidencia, quando se comprova que, elevando a impedância característica no extremo de certa longitude da linha de transmissão, se pode reduzir realmente a impedância medida no extremo de entrada.

Por conseguinte, pode-se comprovar a possibilidade de que uma linha de transmissão apresenta uma transformação de impedância que quando se interpreta e aplica corretamente, pode ser extraordinariamente útil, porém quando se faz omissão a ela, os resultados podem ser catastróficos.

## 4. A CARGA EQUIVALENTE

Para clarear o conceito sutil de impedância característica que ora realizamos, expomos neste segmento algo que acreditamos melhorar o entendimento do assunto mencionado.

Suponhamos que uma linha de transmissão conhecida, seja terminada por uma resistência e uma capacitância em paralelo, e uma pequena indutância em série com uma resistência, de maneira idêntica a situação de constantes concentradas que representa um corte longitudinal do cabo, conforme a figura 02.

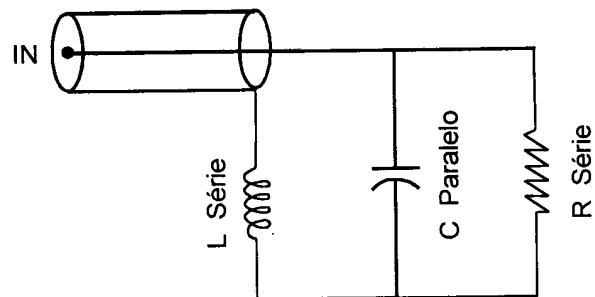


Figura 02.

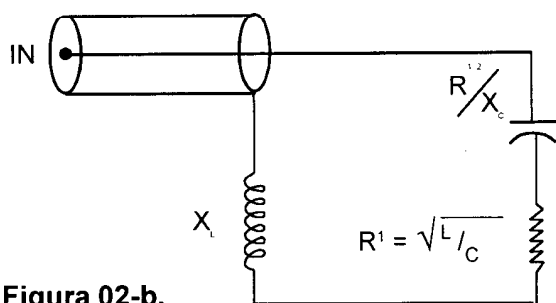


Figura 02-b.

Por transformação matemática, a carga RC em paralelo pode ser representada como um circuito série RC equivalente, como mostramos na figura 02 -b. Se as duas reatâncias são iguais, se cancelam mutuamente ( condição de ressonância ) e assim se chega a seguinte definição de resistência de terminação ( R' ).

Seja R' igual a resistência série de terminação. Na condição de ressonância, temos:

$$XL = R'^2/XC \quad \text{e} \quad \begin{array}{l} XL = 2\pi fL \\ XC = 1/2\pi fC \end{array}$$

Substituindo e simplificando, obtemos:

$$L = R'^2 C \quad \text{ou} \quad R' = \sqrt{L/C}$$

$$\text{e} \quad R' = \sqrt{L/C} = R.$$

Desta maneira, o circuito equivalente de carga visto na fig. 2 b, é idêntico ao circuito da

fig. 02, no que concerne a um instrumento de medida, independentemente da freqüência, podendo servir como substituto da carga de terminação do circuito configurado em 02. A impedância do circuito de entrada do circuito equivalente conserva-se **igual** à impedância original. Não há razão para que não se possa repetir este processo de substituição indefinidamente e assim constituir um equivalente elétrico de qualquer linha de transmissão.

Concluimos então, que qualquer linha de transmissão pode ser substituída por seu equivalente elétrico artificial, podendo se afirmar que a impedância de entrada de tal linha artificial, sempre será a mesma, qualquer que seja sua longitude ou freqüência operacional. A linha de transmissão artificial, sempre será terminada em uma **resistência** de carga igual a  $\sqrt{L/C}$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FUCHS, Dário Rubens - **Transmissão de Energia Elétrica**;
- CLOSE, Charles M. - **Análise de Circuitos Lineares** / Vol. I e II;
- FUCHS, Dário Rubens, ALMEIDA, Márcio Tadeu. - **Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão**.