

didática

Antônio E. A. de Araújo
Washington L. A. Neves

**CÁLCULO DE TRANSITÓRIOS
ELETROMAGNÉTICOS
EM SISTEMAS DE ENERGIA**

FEA

6.6.2. Exemplos de Cálculo

Pretende-se começar com exemplos idealizados e a seguir abordar alguns problemas mais realistas.

Linha com uma extremidade aberta

Considere-se uma linha com uma extremidade aberta e alimentada por uma tensão em forma de degrau unitário. A figura 6.17 mostra a linha e o diagrama de reflexões para a tensão na linha. Pode-se montar esta tabela:

Desenvolvimento temporal da tensão no final da linha da figura 6.17

Tempo (τ)	Tensão (Volts)
0	0
1	$1 + 1 = 2$
2	2
3	$2 - 1 - 1 = 0$
4	0
5	$1 + 1 = 2$
6	2
\vdots	\vdots

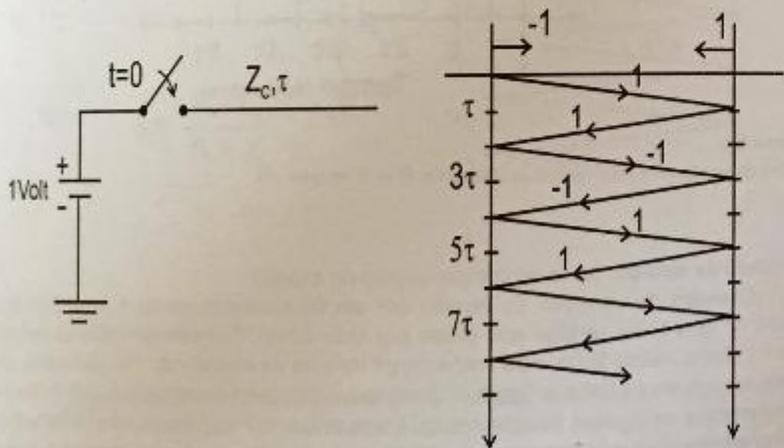


Figura 6.17:

Linha aberta alimentada por degrau unitário

Tem-se, então, o gráfico da tensão \times tempo mostrado na figura 6.18. Pode-se, igualmente, calcular a corrente em qualquer ponto, bastando, para isso, que se faça o diagrama de reflexões para a corrente, como o mostrado na figura 6.19. Note-se que os coeficientes de reflexão da corrente são diferentes dos da tensão.

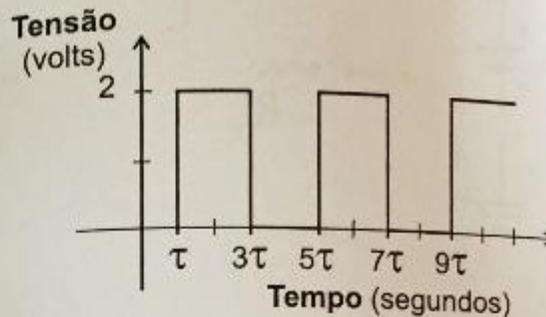


Figura 6.18:

Gráfico da tensão no final da linha aberta da figura 6.17

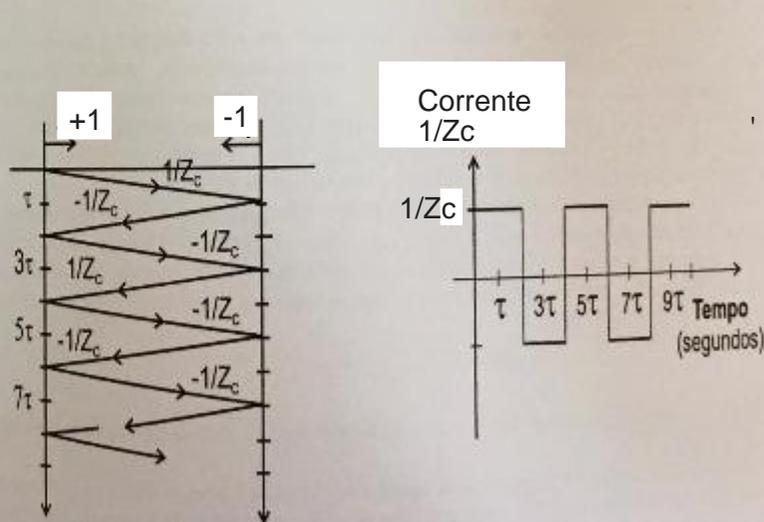


Figura 6.19:

Gráfico da corrente que sai da fonte da figura 6.17

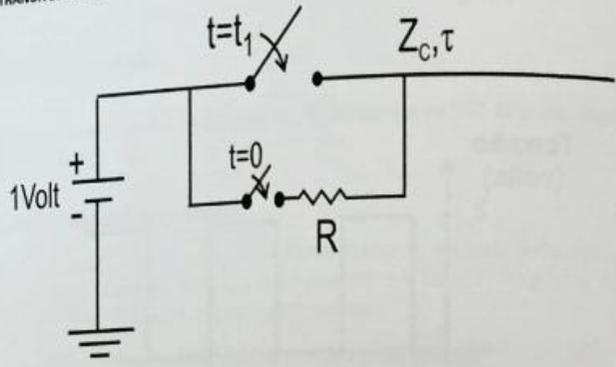


Figura 6.20: Resistor de pré-inserção: diagrama do circuito

Resistor de pré-inserção

No exemplo anterior, a energização de uma linha em aberto provoca transitórios no final dela de amplitude de 2 pu. Para evitar-se essa sobretensão, usam-se, algumas vezes, os chamados resistores de pré-inserção. A linha é, então, energizada por meio desses resistores, colocados em contatos auxiliares do disjuntor, de forma a atenuar as sobretensões máximas na energização. Depois de um certo tempo, os resistores são retirados do circuito e a linha passa a funcionar normalmente. (Para mais detalhes, ver [34]).

O efeito de um tal resistor é mostrado calculando-se, pelo diagrama de reflexões, a tensão no final da linha da figura 6.20. Note-se a presença do resistor próximo à chave. Sabe-se que o valor ótimo do resistor — que promove a mínima sobretensão — se localiza próximo à impedância característica da linha a ser energizada [34]. Dois cálculos são feitos: o primeiro com o valor de $Z_c/10$; e o outro com o valor de Z_c . Em ambos os casos, calcula-se a tensão no final da linha.

A diferença do cálculo em relação aos anteriores é que, nesse caso, a tensão que começa a se propagar na linha precisa ser calculada. Em $t = 0$, a fonte que alimenta a linha "enxerga" o resistor de pré-inserção em série com a impedância característica da linha. Assim, há uma divisão de tensão, sendo que a que começa a propagar-se é

$$V_i = V_{fonte} \cdot \frac{Z_c}{R + Z_c}$$

Agora, o cálculo pode ser feito como anteriormente. É o que mostram as figuras 6.21 e 6.22.¹⁸

O resistor de pré-inserção diminui a tensão no final da linha, mediante a absorção da energia da sobretensão. No caso em que $R = Z_c$, não há sobretensão alguma no final da linha, sendo essa a situação ideal.

¹⁸ O resistor de pré-inserção permanece por alguns milissegundos conectado. Depois do tempo de inserção (t_1) o contato principal do disjuntor se fecha e o resistor é desconectado. Tanto a conexão quanto a desconexão do resistor geram transitórios. Os transitórios mostrados se referem apenas à inserção (em $t = 0$) do resistor e não ao desligamento do mesmo (em $t = t_1$).

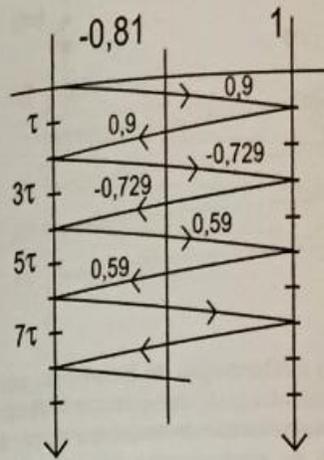


Figura 6.21: Resistor de pré-inserção: cálculo da tensão no final da linha para $R = Z_c/10$

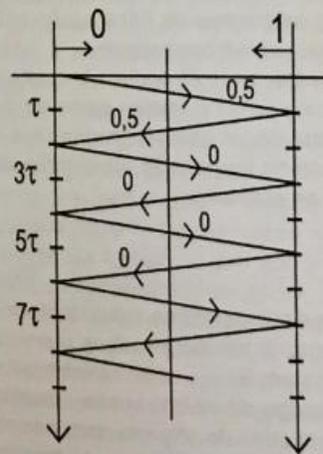
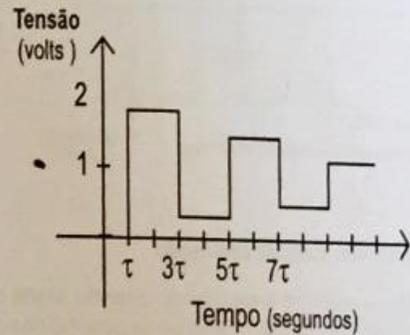


Figura 6.22: Resistor de pré-inserção: cálculo da tensão no final da linha para $R = Z_c$

