

Poupança de energia dissipada em função da redução da intensidade que percorre um condutor. Caso geral para cabos de cobre ou alumínio termo estáveis considerando o efeito de redução da resistência

Recentemente fizemos estudos para quantificar a redução de perdas nas linhas por redução da intensidade de corrente que as percorre, ampliamos o estudo ao caso geral para cabos de cobre ou alumínio termo estáveis (90 °C) ao ar ou enterrados afinando o cálculo considerando o efeito de redução da resistência.

Recordemos que a temperatura de um condutor percorrido por uma corrente I responde à fórmula:

$$T = T_{\text{amb}} + (T_{\text{max}} - T_{\text{amb}}) (I/I_{\text{max}})^2$$

Onde:

T_{amb} : temperatura ambiente da instalação (“Standard” de 40 °C para instalações ao ar)

$T_{\text{máx}}$: temperatura máxima que pode suportar o condutor (90 °C para cabos termo estáveis como Afumex 1000 V (AS) ou Retenax Flex)

I : intensidade que percorre o condutor

$I_{\text{máx}}$: intensidade máxima que pode percorrer o condutor nas condições da instalação

Se o cabo estivesse em instalação ao ar a 40 °C suportando a sua máxima intensidade admissível $\rightarrow I = I_{\text{máx}}$ mas se por exemplo transporta 80 % da corrente máxima $\rightarrow I = 0,8 I_{\text{máx}}$ e substituindo valores:

$$T = 40 + (90 - 40) \times (0,8 \times I_{\text{máx}}/I_{\text{máx}})^2 = 40 + 50 \times 0,64 = 72 \text{ °C}$$

Generalizando: para qualquer intensidade $cI_{\text{máx}}$ que percorra um cabo termo estável em ambiente “standard” ao ar de 40 °C:

$$T_c = 40 + (90 - 40) \times (cI_{\text{máx}}/I_{\text{máx}})^2 = 40 + 50c^2$$

Onde logicamente $0 \leq c \leq 1$

Revemos agora a fórmula de cálculo da resistência de um condutor em função da sua temperatura:

$$R_T = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (T - 20))$$

R_T : valor da resistência do condutor em Ω/km à temperatura T

R_{20} : valor da resistência do condutor a 20 °C (valor tipicamente tabelado).

α : coeficiente de variação de resistência específica por temperatura do condutor em $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (0,00392 para Cu e 0,00403 para Al)

T : temperatura real do condutor (°C)

Para um cabo termo estável de cobre percorrido pela intensidade $cI_{\text{máx}}$ a temperatura do condutor é T_c :

$$R_{T_c} = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (T_c - 20))$$

Substituindo T_c

$$R_{T_c} = R_{20} \times (1 + 0,00392 \times (40 + 50c^2 - 20)) = R_{20} \times (1 + 0,00392 \times (20 + 50c^2))$$

$$R_{T_c} = R_{20} \times (1,0784 + 0,196c^2)$$

Já temos o valor da resistência do condutor à temperatura T_c à qual está o condutor e portanto podemos obter as perdas térmicas ($P_{T_c} = R_{T_c} I_{T_c}^2 = R_{T_c} (cI_{\max})^2$) a esta temperatura.

Como queremos comparar estas perdas com as que se produziram à máxima intensidade que percorre a linha, o que acontece quando a temperatura do condutor é a máxima admissível de 90 °C temos por um lado...

$$P_{90} = R_{90} I_{\max}^2$$

...e por outro lado temos a potência dissipada na linha quando é percorrida por cI o que leva ao condutor à temperatura T_c e a expressão da potência dissipada ficará como segue:

$$P_{T_c} = R_{T_c} I_{T_c}^2 = R_{20} \times (1,0784 + 0,196c^2) (c I_{\max})^2$$

Dividimos P_{T_c} entre P_{90} para comparar

$$\frac{P_{T_c}}{P_{90}} = \frac{R_{20}(1,0784 + 0,196c^2)c^2 I_{\max}^2}{R_{90} I_{\max}^2} = \frac{R_{20}(1,0784 + 0,196c^2)c^2}{R_{90}}$$

A relação entre R_{90} e R_{20} pode-se obter facilmente:

$$R_{90} = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (90 - 20)) \rightarrow R_{90} = R_{20} \times (1 + 0,00392 \times 70) = 1,2744 R_{20}$$

Substituímos R_{90}

$$\frac{P_{T_c}}{P_{90}} = \frac{R_{20}(1,0784 + 0,196c^2)c^2}{1,2744 R_{20}} = \frac{(1,0784 + 0,196c^2)c^2}{1,2744}$$

Operando:

$$P_{T_c} = P_{90} (0,8462 + 0,1538 c^2) c^2$$

E a redução de potência dissipada em percentagem responderá à seguinte expressão:

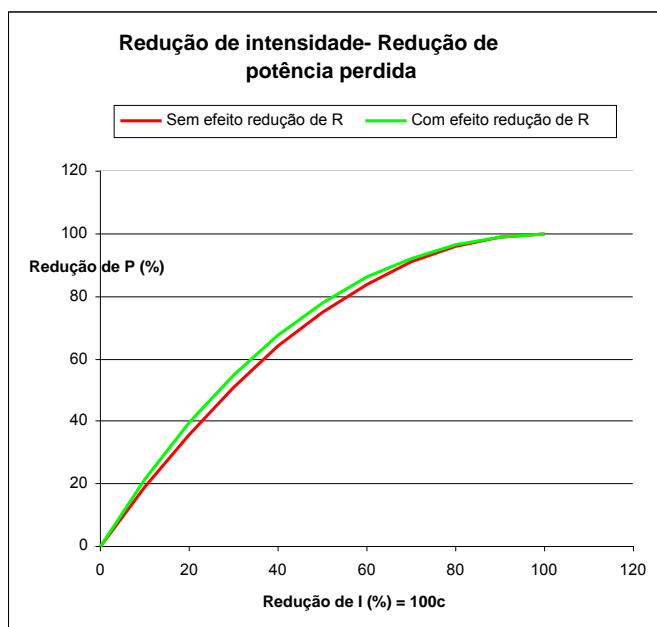
$$\Delta P = \frac{P_{90} - P_{T_c}}{P_{90}} \times 100 = \frac{P_{90} - P_{90}(0,8462 + 0,1538c^2)c^2}{P_{90}} \times 100$$

$$\Delta P (\%) = 100 - (84,62 + 15,38c^2)c^2$$

Dando valores a c podemos ver graficamente como reduzindo 20 % a I (c = 0,2) relativamente à máxima poupamos quase 40 % de perdas, para redução de 30 % de I (c = 0,3) quase 55 % e para 40 % (c=0,4) cerca de 68 % de poupança energética.

Também se pode comparar com os valores obtidos no exemplo publicado com anterioridade no que não se considera o efeito de redução da resistência. A variação é de até 7%, não é muito significativa mas ao afinar os cálculos os números “insistem” em desenhar baixando as intensidades nas linhas para melhorar a eficiência energética.

I reduzida %	Redução de potência perdida aprox. (sem considerar efeito de redução de R) %	Redução de potência perdida considerando a redução de R %
0	0	0,00
10	19	21,37
20	36	39,54
30	51	54,84
40	64	67,54
50	75	77,88
60	84	86,07
70	91	92,26
80	96	96,59
90	99	99,15
100	100	100,00



Os números resultam praticamente iguais quando consideramos instalação enterrada com cabo de cobre termo estavel ou cabo de alumínio ao ar ou enterrado. Operando de forma análoga obtemos as seguintes expressões:

Cabo termo estavel de cobre enterrado (temperatura ambiente “standard” 25 °C) →
 $\Delta P (\%) = 100 - (80 + 20c^2)c^2$

Cabo termo estavel alumínio ao ar (temperatura ambiente “standard” 40 °C) →
 $\Delta P (\%) = 100 - (84,28 + 15,72c^2)c^2$

Cabo termo estável de alumínio enterrado (temperatura ambiente “Standard” 25 °C) →
 $\Delta P (\%) = 100 - (79,57 + 20,43c^2)c^2$

Por exemplo para uma intensidade de 70 % da I_{max} na linha (c = 0,7) temos que ΔP (%) é respectivamente: 56,00, 54,93 y 56,11.

Os números reflectem uma vez mais que reduzir as intensidades nas linhas, ou de outra forma, eleger secções superiores às que obtemos por critérios técnicos é uma forma inteligente de poupar energia e dinheiro.