MARINHA DO BRASIL

SERVIÇO DE SELEÇÃO DO PESSOAL DA MARINHA

GABARITO DESENVOLVIDO

CP-CEM/ 2021 ENGENHARIA ELETRÔNICA

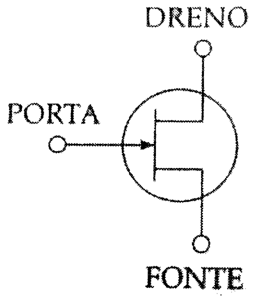
1ª QUESTÃO (8 pontos)

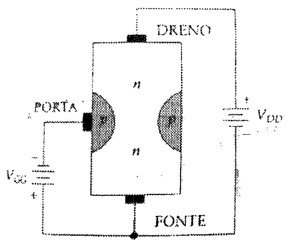
a) (1 ponto)

O componente pode ser um JFET canal n ou MOSFET tipo depleção canal n.

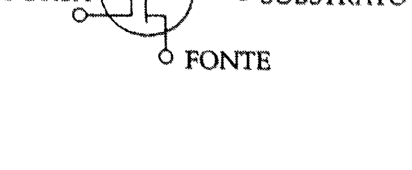
b) (2 pontos)

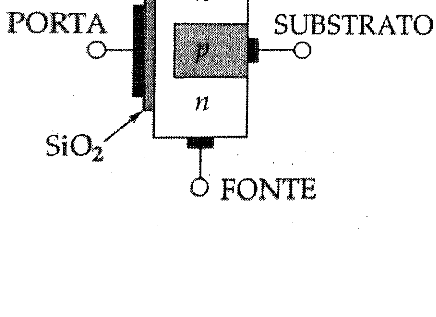
Se for o JFET canal n tem-se:





Se for o MOSFET tipo depleção tem-se:





c) (1,5 pontos)

Sem a tensão de polarização Ve, a corrente flui livremente pelo canal. Mas, conforme a tensão Ve diminui, o canal é “estrangulado” dificultando a passagem da corrente eletrica.

d) (1 ponto)

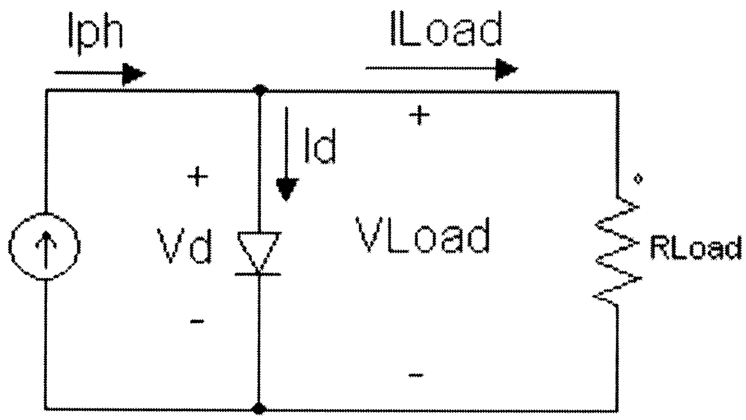
O fenômeno é conhecido como “Pinch off” ou estrangulamento do canal.

e) (2,5 pontos)

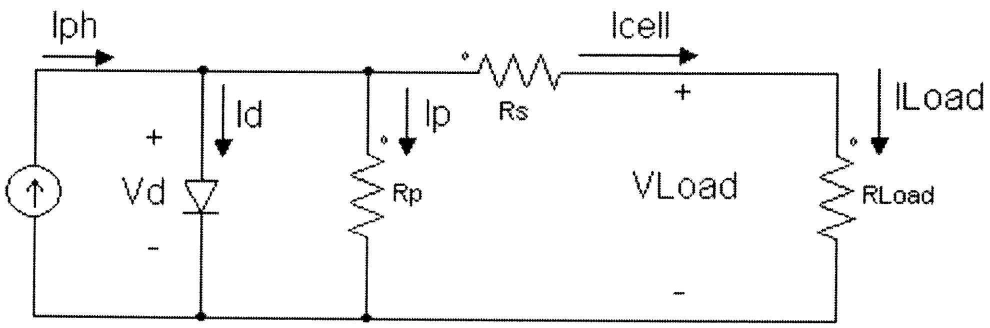
A corrente aumenta repentinamente por causa do efeito de “break down”, em que a tensão é suficientemente grande para acelerar os elétrons livres de maneira a arrancar os elétrons presos no átomo da rede cristalina por colisão, transferência de energia cinética gerando uma avalance de elétrons, aumentando repentinamente a corrente.

2ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (2 ponto)



Modelo simplificado de um módulo fotovoltaico



Modelo completo com resistores Rs e Rp de um módulo fotovoltaico

b) (2 pontos)

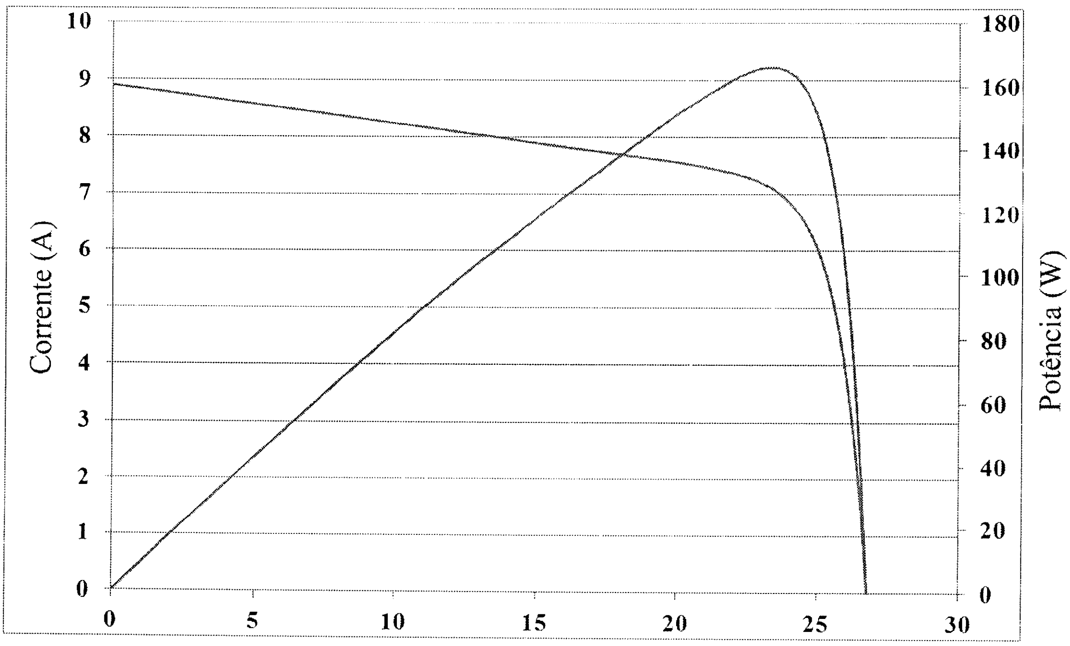
Potência dada por P = I x V (corrente vezes tensão)
A partir do gráfico a potência máxima é 166,0 W (7,1A x 23,4V)

c) (1,5 pontos)
Área = 145 * 69 = aprox 10005 cm^2 ou 1,05 m^2;
rendimento n = potência gerada / potência incidente = 166 W/m^2 / 1000 W/m^2
n = 0,168 ou 16,8 % de rendimento

d) (1,5 pontos)

Do gráfico da potência, p 12V aprox 100W ou da fig aprox 12*8,5 = 102 W

$$n = \frac{102}{1000 * 1,45 * 0,69} = 0,102 = 10,2\%$$



e) (1 ponto)

Potência acumulada = 100W * 4 horas * 30 dias = 1,2 kW/mês

3ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (3 pontos)

Inativando o gerador de corrente, tem-se um RLC série, de forma que:

$$s_{1,2} = -\alpha \pm j\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} = -1 \pm j20 \quad (\mathrm{s}^{-1})$$

$$\alpha = \frac{R}{2L} \Rightarrow L = \frac{R}{2\alpha} = 0{,}5\mathrm{H}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_d^2 + \alpha^2} = \sqrt{401} \cong 20 \text{ rad/s}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow C = \frac{1}{\omega_0^2 * L} = \frac{1}{401 * 0{,}5} = 5mF$$

b) (5 pontos)

Como a tensão permanente no capacitor é de 20V, pois o indutor terá tensão permanente nula, tem-se K=20

$$v_C'(t) = -e^{-t}[(A_1 - 20A_2)\cos 20t + (20A_1 + A_2)sen20t]$$
$$v_C'(0) = -A_1 + 20A_2$$

$$v_C(0) = 0 \Rightarrow A_1 + K = 0 \Rightarrow A_1 = -20$$
$$v_C'(0) = 720 \Rightarrow -A_1 + 20A_2 = 720 \Rightarrow A_2 = 35$$

4ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (3 pontos)

$$I = 100/5 = 20\text{A}$$

$$P = RI^2 = 5\cos(60^o) * 20^2 = 5 * \frac{1}{2} * 400 = 1000\text{W}$$

b) (5 pontos)

$$.R = \frac{V^2}{P} = \frac{100^2}{5} = 2000\Omega \Rightarrow Y = \frac{1}{2000} + j\omega C \Rightarrow$$

$$.\frac{(250/\sqrt{3}) * C}{1/2000} = tan\left(arccos\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right) = \frac{1}{\sqrt{3}} \Rightarrow C = 2\mu F$$

5ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (3,0 pontos)

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K(s+3)}{s(s+1)(s+2)(s+4)+K(s+3)}$$

Com equação característica dada por

$$(s+1)(s+2)(s+4)+K(s+3)=0$$
$$\Longrightarrow s^4+7s^3+14s^2+(8+K)s+3K=0$$

Aplicando o critério de Routh, temos:

s^4	1	14	$3K$
s^3	7	$(8+K)$	
s^2	$\frac{(90-K)}{7}$	$3K$	
s^1	b		
s^0	$3K$		

Assim:

$$3K>0 \Longrightarrow \mathrm{K}>0$$

e

$$\frac{(90-K)}{7}>0 \Longrightarrow \mathrm{K}<90$$

e

$$b=\frac{\left(\frac{(90-K)(8+K)}{7}-21K\right)}{\frac{(90-K)}{7}}=\frac{-K^2-65K+720}{90-K}>0$$

Daí

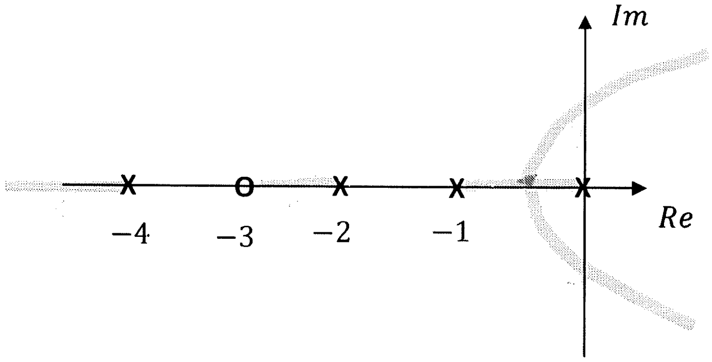
$$-K^2-65K+720=0 \Longrightarrow \mathrm{K}=\frac{65\pm\sqrt{7105}}{-2} \Longrightarrow \mathrm{K}=9{,}645 \text{ ou } \mathrm{K}=-74{,}645$$

Portanto

$$0<K<9{,}645$$

b) (5 pontos)

LGR:



Da eq. Característica:

$$s^4 + 7s^3 + 14s^2 + (8 + K)s + 3K = 0$$

Fazendo $s = j\omega$,

$$(j\omega)^4 + 7(j\omega)^3 + 14(j\omega)^2 + (8 + K)j\omega + 3K = 0$$
$$\omega^4 - 7(j\omega)^3 - 14\omega^2 + (8 + K)j\omega + 3K = 0$$
$$[\omega^4 - 14\omega^2 + 3K] + j[-7\omega^3 + (8 + K)\omega] = 0$$

Para $\mathrm{K} = 9{,}645$ (do item a), temos

$$-\omega(7\omega^2 - 17{,}645) = 0$$
$$\Longrightarrow\ \omega \cong \pm 1{,}587\ rad/s$$

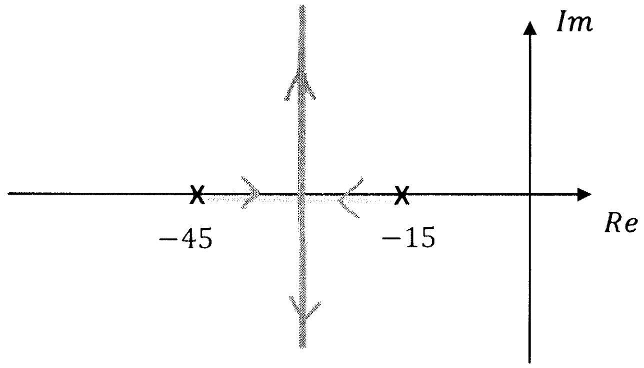
Logo, o par ω, K correspondente à intersecção com o eixo imaginário é:
$\omega \cong \pm 1{,}587\ rad/s$ e $K = 9{,}645$.

6ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (3,0 pontos)

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 60s + 675} = \frac{1}{(s+15)(s+45)}$$

LGR:



b) (5,0 pontos)

$$G_c(s) = K_P\left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s\right) = G_c(s) = K_P T_D \frac{s^2 + {}^1\!/_{T_D}\, s + {}^1\!/_{T_I T_D}}{s}$$

Como $G(s) = \frac{1}{s^2+60s+675}$, para cancelarmos os polos de $G(s)$ devemos ter

$$s^2 + 60s + 675 = s^2 + {}^1\!/_{T_D}\, s + {}^1\!/_{T_I T_D}$$

Portanto

$$ {}^1\!/_{T_D} = 60 \Longrightarrow T_D = 0{,}01667$$

$$ {}^1\!/_{T_I T_D} = 675 \Longrightarrow T_I = 0{,}08889$$

Logo

$$G_c(s)G(s) = \frac{K_P T_D}{s}$$

Como $G_c(s)G(s)$ é de tipo 1, isso garante que o erro estacionário ao degrau será nulo.

A função de transferência de malha fechada é

$$G_{mf}(s) = \frac{K_P T_D}{s + K_P T_D} = \frac{{}^{K_P}\!/_{60}}{s + {}^{K_P}\!/_{60}} = \frac{K_P}{60s + K_P} = \frac{1}{\frac{60}{K_P}s + 1}$$

Note que a função é de primeira ordem. Para que a constante de tempo seja 10 s, devemos ter

$$\frac{60}{K_P} = 10 \Longrightarrow K_P = 6$$

Finalmente

$$G_c(s) = K_P T_D \frac{s^2 + {}^{1}\!/_{T_D}\, s + {}^{1}\!/_{T_I T_D}}{s} = 0{,}1 \frac{s^2 + 60s + 675}{s}$$

7ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (2 pontos)

É imediato de

$$G(z) = \frac{1}{(z - 0{,}1)(z + 0{,}7)}$$

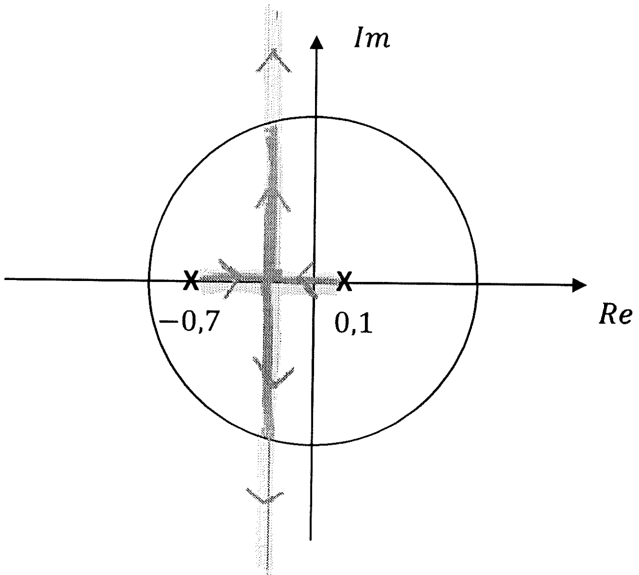
que os polos do sistema em malha aberta se situam em {-0,7 ; 0,1}, isto é dentro do círculo unitário na origem do plano complexo, portanto o sistema em malha aberta é ESTÁVEL.

b) (2 pontos)

Note que o sistema em malha aberta tem um polo real negativo ($z = -0{,}7$), que como se sabe, provoca comportamento oscilatório na resposta do sistema.

c) (2 pontos)

O LGR do sistema:



Pode se notar, por inspeção do LGR, que:

Para valores pequenos de K_c, inclusive para $K_c \to 0^+$, os polos de malha fechada se situam dentro do círculo unitário (nessa situação os polos tendem a 0,1 e -0,7) e o sistema em malha fechada é ESTÁVEL.

d) (2 pontos)

Para valores grandes de K_c, especialmente para $K_c \rightarrow \infty$, os polos de malha fechada se situam fora do círculo unitário (nessa situação os polos tendem a -0,3+j∞ e -0,3-j∞) e o sistema em malha fechada é INSTÁVEL.

8ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (3,0 pontos)

A estabilidade do sistema é dada pelos autovalores da matriz $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, que são os valores de λ tais que

$$\det(A - \lambda I) = 0$$

$$\Rightarrow \det\left(\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \det\left(\begin{bmatrix} -\lambda & 1 \\ 0 & -\lambda \end{bmatrix}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \lambda^2 = 0 \Rightarrow \lambda = 0\ (raiz\ dupla)$$

Como os dois autovalores têm parte real não-negativa, o sistema é INSTÁVEL.

b) (5,0 pontos)

Substituindo

$$u(t) = -\begin{bmatrix} 2 & 3 \end{bmatrix} \cdot x(t)$$

em

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot u(t)$$

temos

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot x(t) - \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2 & 3 \end{bmatrix} \cdot x(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -3 \end{bmatrix} \cdot x(t)$$

A estabilidade do sistema é dada pelos autovalores da matriz $A_{mf} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -3 \end{bmatrix}$.

Daí,

$$\det(A_{mf} - \lambda I) = 0$$

$$\Rightarrow \det\left(\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix}\right) = 0$$

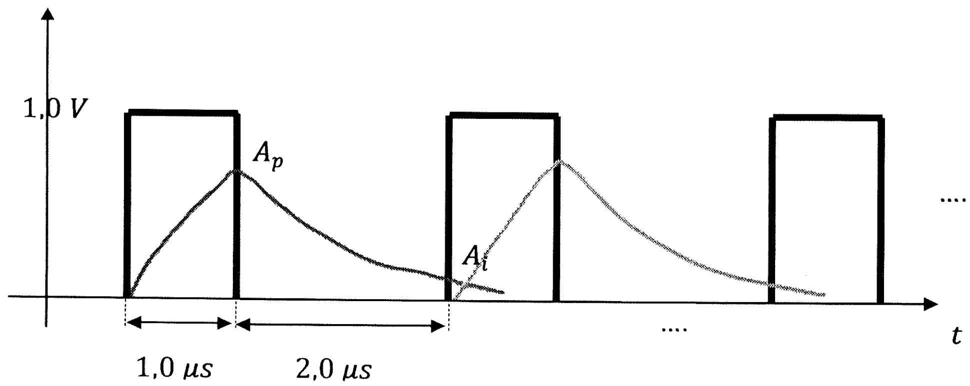
$$\Rightarrow \det\left(\begin{bmatrix} -\lambda & 1 \\ -2 & -(3+\lambda) \end{bmatrix}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \lambda(3+\lambda) + 2 = 0 \Rightarrow \lambda^2 + 3\lambda + 2 = 0 \Rightarrow \lambda = -1\ ou\ \lambda = -2$$

Ambos os autovalores têm parte real negativa, portanto o sistema em malha fechada é estável.

Os autovalores de A_{mf} são também os chamados polos do sistema em malha fechada, que, portanto, são -1 e -2.

9ª QUESTÃO (8 pontos)



Assumimos por conveniência que o primeiro pulso inicia em $t = 0$.

O primeiro pulso tem resposta $p(t)$ dada por

$p(t) = 1 - e^{-ta}$ para $0 \leq t \leq 1{,}0\ \mu s$

que atinge o pico A_p em $t = 1{,}0\ \mu s$. Portanto

$A_p = 1 - e^{-1\times10^{-6}\cdot1\times10^{6}} = 1 - \frac{1}{e} \cong 0{,}63.$

Após o fim do pulso, a resposta decai, segundo

$p_1(t) = A_p e^{-a(t-1\times10^{-6})}$ para $t > 1{,}0\ \mu s$.

De modo que para $t = 3{,}0\ \mu s$, quando se inicia o segundo pulso, temos uma amplitude A_i dada por

$A_i = A_p\ e^{-1\times10^{6}(3\times10^{-6}-1\times10^{-6})} \cong 0{,}63e^{-2} \cong 0{,}63 \cdot 0{,}14 \cong 0{,}09$

A amplitude $A_i{}'$ quando se inicia o terceiro pulso em $t = 6{,}0\ \mu s$ é dada por

$A_i{}' = A_p e^{-1\times10^{6}(6\times10^{-6}-1\times10^{-6})} \cong 0{,}63e^{-5} \cong 0{,}63 \cdot 0{,}01 \cong 0{,}006$

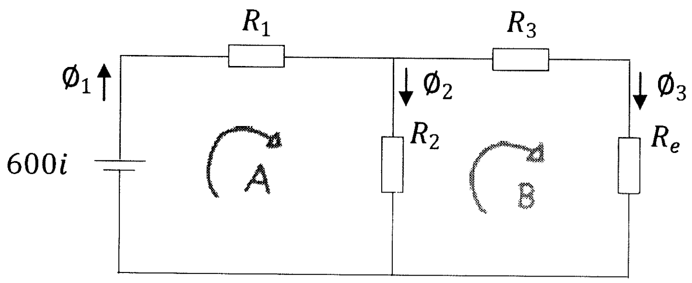
De forma que a interferência no pulso posterior ao imediatamente subsequente é praticamente desprezível, e a interferência nos pulsos seguintes é ainda menor.

Assim sendo, somente a interferência do pulso imediatamente anterior, dada por A_i é significativa.

Como a amplitude do pulso original é unitária, a interferência é de aproximadamente 9%.

10ª QUESTÃO (8 pontos)

Seja o circuito elétrico análogo dado por:



Para $\mu = \mu_R \mu_0$ e $N = 600$, temos:

$$R_1 = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{L_1}{S_1} = \frac{1}{4000 \cdot 4 \cdot 3{,}1416 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{[2(4+2*1)+(10-2 \cdot 1)] \cdot 10^{-2}}{(2 \cdot 10^{-2})(2 \cdot 10^{-2})} = 99{,}47 \cdot 10^3$$
Aesp/Wb

$$R_2 = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{L_2}{S_2} = \frac{1}{4000 \cdot 4 \cdot 3{,}1416 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{(10-2 \cdot 1) \cdot 10^{-2}}{(2 \cdot 10^{-2})(2 \cdot 10^{-2})} = 39{,}79 \cdot 10^3 \text{ Aesp/Wb}$$

$$R_3 = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{L_3}{S_3} = \frac{1}{4000 \cdot 4 \cdot 3{,}1416 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{[2(4+2*1)+(10-2 \cdot 1)] \cdot 10^{-2}}{(2 \cdot 10^{-2})(2 \cdot 10^{-2})} = 99{,}47 \cdot 10^3$$
Aesp/Wb

Note que para o entreferro com faces paralelas e iguais, podemos assumir que $S_e = (2 + 0.1) \cdot 10^{-2} \times (2 + 0.1) \cdot 10^{-2}$.

OBS. Outras aproximações razoáveis podem ser aceitas.

Daí $$R_e = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{l_e}{S_e} = \frac{1}{4 \cdot 3{,}1416 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{(2+0.1) \cdot 10^{-2} \times (2+0.1) \cdot 10^{-2}} = 1{,}8045 \cdot 10^6$$
Aesp/Wb

No entreferro a densidade magnética $B_e = 0,3$ Wb/m2 é dada, portanto

$\emptyset_3 = B_e \cdot S_3 = 1,2 \cdot 10^{-4}$ Wb.

Da malha B: $(R_e + R_3)\emptyset_3 = R_2\emptyset_2 \Longrightarrow \emptyset_2 = \frac{(R_e+R_3)\emptyset_3}{R_2} = 57,42 \cdot 10^{-4}$ Wb.

Como $\emptyset_1 = \emptyset_2 + \emptyset_3 = 58,62 \cdot 10^{-4}$ Wb, da malha A temos:

$$Ni = R_1\emptyset_1 + R_2\emptyset_2 \Longrightarrow i = \frac{R_1\emptyset_1+R_2\emptyset_2}{N} = 1,353 \text{ A.}$$