

Questão	Resposta
1  (8 pontos)	<p>a) Determine o valor de <math>R_x</math> de tal forma que a tensão medida pelo voltímetro seja nula. (3,0 pontos)</p> <p>Como a tensão medida pelo voltímetro é nula, temos que <math>V_A = V_B</math></p> $\frac{600\Omega}{600\Omega + R_x} \cdot 10V = \frac{3k\Omega}{3k\Omega + 1k\Omega} \cdot 10V$ $600\Omega(3k\Omega + 1k\Omega) = 3k\Omega(600\Omega + R_x)$ $R_x = 800\Omega - 600\Omega$ <p><b><math>R_x = 200\Omega</math></b></p> <p>b) Supondo que houve uma variação de -5% no valor de <math>R_x</math>, qual será o valor de tensão indicado no voltímetro (2,5 pontos)</p> $R_x = 200\Omega - 0,05 \cdot 200\Omega = 190\Omega$ $V_A = \frac{600\Omega}{600\Omega + R_x} 10V = \frac{600\Omega}{600\Omega + 190\Omega} 10V = 7,6V$ $V_A - V_B = 7,6V - 7,5V = 0,1V$ <p><b>Tensão indicada pelo voltímetro = 0,1V</b></p> <p>c) Supondo que a potência máxima do resistor <math>R_x</math> seja de 100mW, qual será a máxima tensão da fonte permitida? (2,5 pontos)</p> $P_{RX} = R_x \cdot (I_{RX})^2 = 100mW$ $I_{RX} = \sqrt{(0,1W/200\Omega)}$ $I_{RX} = 22,36mA$ $V_{Fonte\_max} = 22,36mA \cdot (200\Omega + 600\Omega)$ <p><b><math>V_{Fonte\_max} = 17,9V</math></b></p>

- a) Desenhe a forma de onda da tensão de saída,  $v_s(t)$ , utilizando o gráfico fornecido. Indique as escalas (tensão e tempo). Considere que o circuito encontra-se em regime. Apresente os cálculos, justificando a resposta. (4,0 pontos)

2  
(8pontos) Como o amplificador operacional é ideal temos que:

$$i(t) = i_c(t)$$

Além disso,

$$i_c(t) = \frac{v_E(t)}{R}, \text{ pois } v_- = 0V \text{ (é um terra virtual)}$$

Da relação constitutiva do capacitor temos que:

$$i_c(t) = C \frac{dv_c}{dt} \text{ ou } v_c(t) = \frac{1}{C} \int i_c(t) dt$$

Logo,

$$v_c(t) = \frac{1}{C} \int \frac{v_E(t)}{R} dt = \frac{1}{RC} \int v_E(t) dt$$

Portanto

$$v_s(t) = \frac{-1}{RC} \int v_E(t) dt$$

Assim:

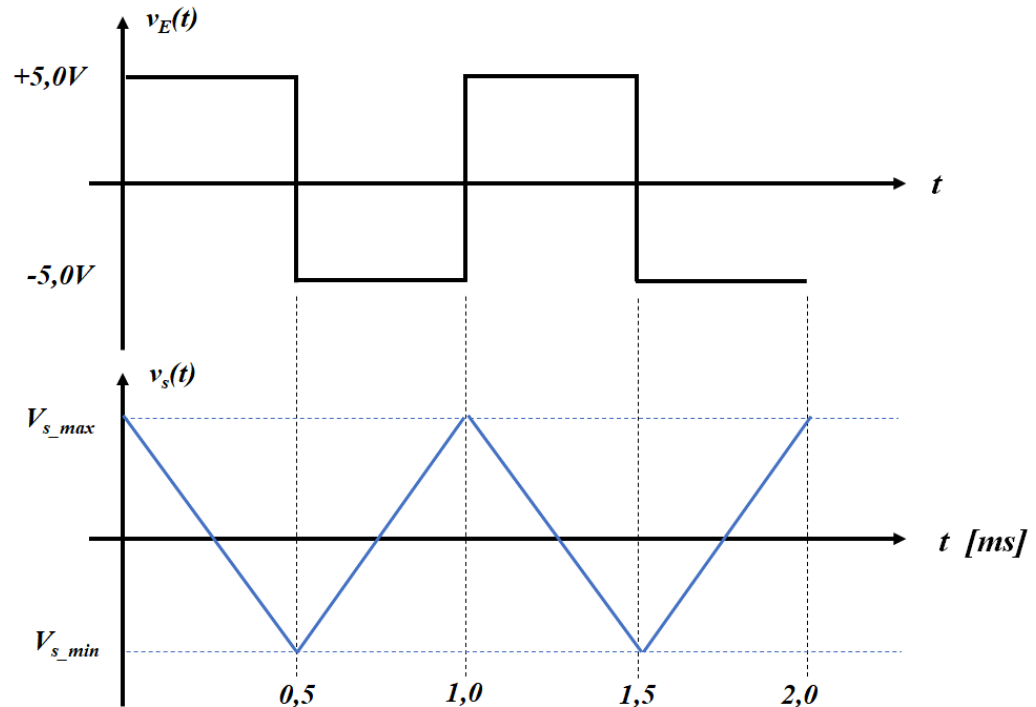
Para  $v_E(t) = +5V$

$$v_s(t) = \frac{-1}{1k \cdot 0,5\mu F} \int 5 dt$$

$v_s(t) = -10000t$  (reta com inclinação **negativa**)

Analogamente para  $v_E(t) = -5V$

$v_s(t) = +10000t$  (reta com inclinação **positiva**)



Continuação	<p>b) Determine os valores de tensão máxima e de tensão mínima de saída do circuito (<math>v_{s\_max}</math> e <math>v_{s\_min}</math>) (4,0 pontos)</p>																																																																														
2	<p>A frequência do sinal de entrada é de 1kHz. Logo o período do sinal é de 1 ms.</p> <p>No primeiro semi-período (intervalo de 0 a 0,5ms) a tensão de entrada é de +5V constante e a tensão de saída varia linearmente de <math>V_{s\_max}</math> até <math>V_{s\_mín}</math> segundo uma função <math>v_s(t) = -10000t</math>.</p> <p>Como a tensão de entrada é simétrico, podemos fazer <math> V_{s\_max}  =  V_{s\_mín} </math></p> <p><math>\Delta V_s = 2V_{s\_max} = -10000(0) + 10000(0,5 \cdot 10^{-3}) = 5,0V</math></p> <p>Finalmente</p> <p><math>V_{s\_max} = +2,5 V</math></p> <p><math>V_{s\_max} = -2,5 V</math></p>																																																																														
3	<p>a) Desenhe as formas das saídas do circuito digital, utilizando o gráfico fornecido. (6 pontos)</p> <table><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr><tr><td>CLK</td><td colspan="12"></td></tr><tr><td><math>Q_0</math></td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td><math>Q_1</math></td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td><math>Q_2</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td><math>Q_3</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table> <p>Contagem: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 1 2</p>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	CLK													$Q_0$	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	$Q_1$	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	$Q_2$	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	$Q_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																			
CLK																																																																															
$Q_0$	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1																																																																			
$Q_1$	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1																																																																			
$Q_2$	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0																																																																			
$Q_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0																																																																			
(8 pontos)	<p>b) <u>Qual a função deste circuito digital (2 pontos)</u></p> <p>Este circuito é um contador de décadas síncrono.</p>																																																																														

- a) Determine a impedância equivalente deste circuito, no domínio de Laplace, visto pelo gerador. (2 pontos)

Visto do gerador tem-se um resistor em série com combinação paralela de indutor e capacitor:

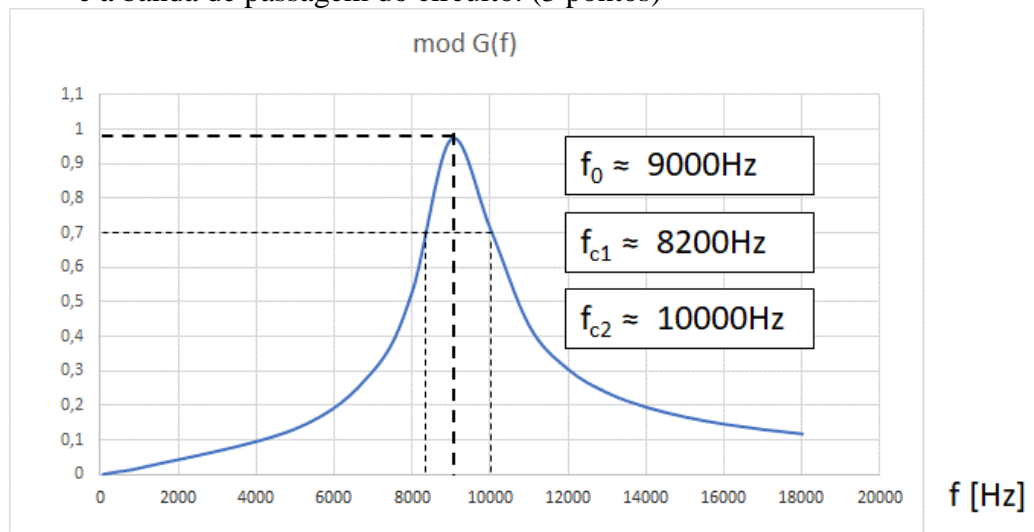
Questão 4

$$Z_{eq} = R + \frac{sL \cdot \frac{1}{sC}}{sL + \frac{1}{sC}} = R + \frac{\frac{L}{C}}{\frac{s^2 LC + 1}{sC}}$$

(8 pontos)

$$Z_{eq} = R + \frac{sL}{s^2 LC + 1}$$

- b) Determine do gráfico de resposta em frequência a frequência de ressonância e a banda de passagem do circuito. (3 pontos)



**Frequência de ressonância: 9000 Hz**

**Banda de passagem:**

frequência de corte:  $\text{Ganho} = G_{\text{max}}/\sqrt{2}$

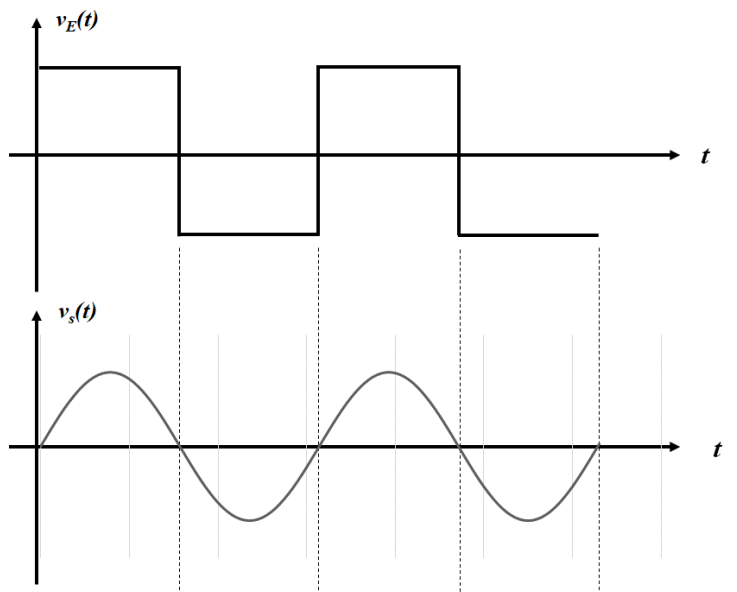
Banda passagem =  $f_{c2} - f_{c1} = 10000\text{Hz} - 8200\text{Hz}$

**Banda passagem = 1800 Hz**

Continuação

Questão 4

c) Esboce a forma de onda de saída deste circuito,  $v_s(t)$ , em regime, considerando que o sinal do gerador,  $v_E(t)$ , é uma onda quadrada com amplitude de 10V pico a pico (sem offset), frequência próximo à frequência de ressonância. Utilize o gráfico fornecido. Justifique a resposta. (3 pontos)



Justificativa:

- A onda quadrada é composta de uma somatória de senóides com frequências múltiplas, ímpares, da frequência fundamental. Como a frequência da onda quadrada é próxima da frequência de ressonância, teremos na entrada do circuito RLC ondas senoidais com frequências  $f_0$ ,  $3f_0$ ,  $5f_0$ ,  $7f_0$ , .....
- Como pode ser verificado pelo gráfico de resposta em frequência, a senóide com frequência fundamental ( $f_0$ ) será a única que não sofrerá atenuação, pois na frequência de ressonância o ganho do circuito RLC é **0,98**. os demais componentes senoidais que compõe a onda quadrada, com frequências  $3f_0$ ,  $5f_0$ ,  $7f_0$  ....serão todos atenuados pelo circuito RLC.
- Ou seja, neste caso o circuito RLC atua como um **filtro passa-faixas**, que deixa passar somente sinais com frequências próximas à ressonância, atenuando sinais com frequências abaixo ou acima da frequência de ressonância.

<p>5</p> <p>(8 pontos)</p>	<p>a) Determine o valor da resistência <b>R<sub>2</sub></b> (2,0 pontos)</p> <p>A tensão <b>V<sub>B2</sub></b> é determinada pela tensão do diodo zener, <b>V<sub>Z1</sub></b>, e pela tensão base-emissor, <b>V<sub>BE</sub></b>, do transistor T2:</p> $V_{B2} = V_{Z1} + V_{BE} = 2,4V + 0,6V$ <p><b>V<sub>B2</sub> = 3,0V</b></p> <p>A tensão <b>V<sub>B2</sub></b> pode também ser determinada considerando-se que os resistores R2 e R3 formam um divisor de tensão, assumindo-se que a corrente de base do transistor é muito menor que corrente que passa pelos resistores:</p> $V_{B2} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_{out}$ $\frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{V_{B2}}{V_{out}} = \frac{3,0V}{10V}$ $\frac{3k\Omega}{R_2 + 3k\Omega} = \frac{3,0V}{10V}$ <p><b>R<sub>2</sub> = 7kΩ</b></p> <p>b) Determine a potência dissipada pelo diodo <b>Zener</b>. (2,0 pontos)</p> <p><b>I<sub>Z1</sub> = I<sub>E2</sub></b>, onde <b>I<sub>E2</sub></b> é a corrente de emissor do transistor T2</p> <p>Assumindo <b>I<sub>E2</sub> ≈ I<sub>C2</sub></b> temos que:</p> <p><b>I<sub>Z1</sub> = I<sub>R1</sub> - I<sub>B1</sub></b>, onde <b>I<sub>B1</sub></b> é a corrente base do transistor T1</p> $I_{R1} = \frac{V_{in} - V_{B1}}{R_1} = \frac{15V - (10V + 0,6V)}{100\Omega} = 44 \text{ mA}$ <p>Assumindo <b>I<sub>C1</sub> ≈ I<sub>E1</sub></b> e considerando que R<sub>2</sub> e R<sub>3</sub> são muito maiores que R<sub>L</sub>:</p> $I_{B1} = \frac{I_{RL}}{\beta} = \frac{V_{out}}{\beta \cdot R_L} = \frac{10V}{100 \cdot 8\Omega} = 12,5 \text{ mA}$ <p>Logo:</p> $I_{Z1} = 44 \text{ mA} - 12,5 \text{ mA}$ $I_{Z1} = 31,5 \text{ mA}$ <p>Portanto</p> $P_{Z1} = V_{Z1} \cdot I_{Z1} = 2,4V \cdot 31,5 \text{ mA}$ <p><b>P<sub>Z1</sub> = 75,6 mW</b></p>
----------------------------	--

<p>Continuação</p> <p>5</p> <p>(8 pontos)</p>	<p>c) Determine a potência dissipada pelo transistor <b>T1 e T2</b>. (2,0 pontos)</p> <p><math>P_{T1} = V_{CE_1} \cdot I_{C1} = (V_{in} - V_{out}) \cdot I_{RL}</math>, pois <math>I_{C1} \approx I_{E1}</math> e <math>R_2</math> e <math>R_3</math> são muito maiores que <math>R_L</math></p> <p><math>P_{T1} = (15V - 10V) \cdot (10V/8\Omega) = 5V \cdot 1,25A</math></p> <p><b><math>P_{T1} = 6,25W</math></b></p> <p><math>P_{T2} = V_{CE_2} \cdot I_{C2} = (V_{B1} - V_{Z1}) \cdot I_{Z1}</math>, pois <math>I_{C2} \approx I_{E2}</math></p> <p><math>P_{T2} = (10,6V - 2,4V) \cdot 31,5mA</math></p> <p><b><math>P_{T2} = 258,3mW</math></b></p> <p>d) Qual a tensão mínima de entrada, <math>V_{in}</math>, de modo que a tensão de saída <math>V_{out}</math> permaneça em <b>10V</b>? (2,0 pontos)</p> <p>É preciso garantir que <math>I_{Z1}</math> seja maior que <math>I_{Z1min}</math></p> <p><math>I_{Z1} = I_{R1} - I_{B1}</math></p> <p><math>I_{R1} = I_{Z1} + I_{B1} = 10mA + 12,5mA</math></p> <p><math>I_{R1} = 22,5mA</math></p> <p><math display="block">I_{R1} = \frac{V_{in} - V_{B1}}{R_1} = \frac{V_{in} - 10,6V}{100\Omega} = 22,5mA</math></p> <p><math>V_{in} = 100\Omega \cdot 22,5mA + 10,6V</math></p> <p><math>V_{in} = 100\Omega \cdot 22,5mA + 10,6V</math></p> <p><b><math>V_{in} = 12,85V</math></b></p>
---	---

<p>6</p> <p>(8 pontos)</p>	<p>a) Calcule as frequências de corte dos quatro primeiros modos que se propagam nesse guia de ondas e indique todos os respectivos modos de propagação (TE e/ou TM) de cada uma dessas frequências de corte. (4 pontos)</p> $f_c = \frac{v}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} = 1,5 \cdot 10^8 \sqrt{\left(\frac{m}{12}\right)^2 + \left(\frac{n}{6}\right)^2}$ <p>Modo TE<sub>10</sub>: m=1 e n = 0 → <math>f_c = \frac{1,5 \cdot 10^8}{12} = 12,5 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 12,5 \text{ MHz}</math></p> <p>Modo TE<sub>01</sub> : m=0 e n = 1 → <math>f_c = \frac{1,5 \cdot 10^8}{6} = 25,0 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 25,0 \text{ MHz}</math></p> <p>Modo TE<sub>20</sub> : m=2 e n = 0 → <math>f_c = \frac{1,5 \cdot 10^8}{6} = 25,0 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 25,0 \text{ MHz}</math></p> <p>Modos TE<sub>11</sub> e TM<sub>11</sub> : m=1 e n = 1 →</p> $f_c = 1,5 \cdot 10^8 \sqrt{\left(\frac{1}{12}\right)^2 + \left(\frac{1}{6}\right)^2} = 27,95 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 27,95 \text{ MHz}$ <p>b) Sinais de rádio AM, com frequências na faixa 535 KHz a 1.700 KHz, propagam-se nesse túnel? Justifique sua resposta. (1 ponto)</p> <p>Não. Sinais AM não se propagam nesse túnel, pois sua faixa de frequências fica abaixo da frequência de corte do primeiro modo de propagação no guia de ondas (TE<sub>10</sub>).</p> <p>c) Sinais de rádio FM, com frequências entre 88 MHz e 108 MHz propagam-se nesse túnel? Justifique sua resposta. (1 ponto)</p> <p>Sim. Sinais FM propagam-se nesse túnel, pois sua faixa de frequências fica acima da frequência de corte do primeiro modo de propagação no guia de ondas (TE<sub>10</sub>).</p> <p>d) Admita que um sinal de 26 MHz propague-se nesse túnel. Quais os modos de propagação desse sinal? (1 ponto)</p> <p>Sinais de 26 MHz propagam-se nos modos TE<sub>10</sub>, TE<sub>01</sub> e TE<sub>20</sub>, cujas frequências de corte são inferiores a 26 MHz.</p> <p>e) O que ocorre com esse sinal à medida que percorre o túnel, sabendo-se que este é longo e que suas paredes têm perdas condutivas elevadas? Justifique sua resposta. (1 ponto)</p> <p>O sinal será atenuado a medida que se propaga ao longo do túnel devido às perdas condutivas das paredes do túnel.</p>
----------------------------	---

<p>7</p> <p>(8 pontos)</p>	<p>a) Qual deve ser a frequência do oscilador local do receptor, sabendo-se que esta é menor que a frequência de RF? (1 ponto)</p> $f_{OL} = f_{RF} - f_{FI} = 23.000 - 200 = 22.800 \text{ MHz} = 22,8 \text{ GHz}$ <p>b) Calcule o ganho total (<math>G_{REC}</math>) e a potência sinal de saída (<math>S_0</math> em mW) do receptor. (1 ponto)</p> <p>Ganho total:</p> $G_{REC} = 20 \cdot 0,891 \cdot 0,316 \cdot 0,794 \cdot 50 = 223,55$ <p>ou</p> $G_{REC}(dB) = 13 - 0,5 - 5 - 1 + 17 = 23,5 \text{ dB}$ <p>Potência de saída do receptor:</p> $S_0 = 223,55 \cdot 10^{-4} = 2,2355 \cdot 10^{-2} \text{ mW}$ <p>ou</p> $S_0(dB) = 23,5 - 40 = -16,5 \text{ dBm}$ <p>c) Calcule a figura de ruído (<math>F_{REC}</math>) do receptor. (2 pontos)</p> $F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} + \frac{F_5 - 1}{G_1 G_2 G_3 G_4}$ $F = 1,258 + \frac{1,122 - 1}{20} + \frac{3,98 - 1}{20 \cdot 0,891} + \frac{1,256 - 1}{20 \cdot 0,891 \cdot 0,316} + \frac{1,778 - 1}{20 \cdot 0,891 \cdot 0,316 \cdot 0,794}$ $F = 1,258 + 0,0061 + 0,16723 + 0,04546 + 0,17624 = 1,653$ <p>ou</p> $F(dB) = 2,18 \text{ dB}$ <p>d) Que componente do diagrama de blocos do receptor tem maior impacto na figura de ruído desse receptor e por quê? (1 ponto)</p> <p>O amplificador de RF, que é o primeiro componente desse receptor, é quem causa maior impacto na figura de ruído do receptor.</p>
----------------------------	--

<p>Continuação</p> <p>7</p> <p>(8 pontos)</p>	<p>e) Qual é a temperatura de ruído do receptor (<math>T_{REC}</math>)? (1 ponto)</p> $F = 1 + T_e/T_0, \text{ sendo } T_0 = 290 \text{ K}$ <p>logo</p> $T_e = (F - 1) \cdot T_0, \text{ sendo } T_0 = 290 \text{ K}$ $T_{REC} = (1,653 - 1) \cdot 290 = 189,37 \text{ K}$ <p>f) Sabendo-se que a temperatura de ruído da antena é 200 K, qual a potência de ruído (<math>N_i</math>) que a antena entrega ao receptor? (1 ponto)</p> $N_i = k \cdot B \cdot T_A \text{ (em W usando unidades do S.I.)}$ $N_i = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 10^6 \cdot 200 = 8,28 \cdot 10^{-13} \text{ W}$ <p>Em mW:</p> $N_i = 8,28 \cdot 10^{-10} \text{ mW}$ <p>g) Qual é a relação sinal-ruído (<math>S_0/N_0</math>) na saída do receptor? (1 ponto)</p> $N_0 = k \cdot B \cdot (T_A + T_{REC}) \cdot G_{REC}$ $N_0 = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 10^6 \cdot (200 + 189,37) \cdot 223,55$ $N_0 = 3,6 \cdot 10^{-10} \text{ W ou } N_0 = 3,6 \cdot 10^{-7} \text{ mW}$ $\frac{S_0}{N_0} = \frac{2,2355 \cdot 10^{-2} \text{ mW}}{3,6 \cdot 10^{-7} \text{ mW}} = 62.097 \text{ (ou } 47,9 \text{ dB)}$
---	---

- a) Uma antena com ganho de 100 (ou 20 dB) foi instalada na estação terrestre para receber o sinal do satélite. Verifique se a potência recebida atende aos requisitos do receptor (3 pontos)

$$P_r = P_t G_t G_r \lambda^2 / (4\pi R)^2$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{7,5 \cdot 10^9} = 0,04 \text{ m} \quad R = \frac{10.000}{\pi} \text{ km} = \frac{10^7}{\pi} \text{ m}$$

$$P_t = 40 \text{ W} \quad G_t = 2.000 \quad G_r(\text{dB}) = 20 \text{ dB} \rightarrow G_r = 100$$

$$P_r = 40 \cdot 2.000 \cdot 100 \cdot \frac{(0,04)^2}{\left(4\pi \cdot \frac{10^7}{\pi}\right)^2} = 8 \cdot 10^{-12} \text{ W}$$

A potência recebida atende à especificação do receptor:

$$P_r = 8 \cdot 10^{-12} \text{ W} > 10^{-12} \text{ W}$$

- b) Calcule a potência entregue ao receptor da estação terrestre na condição de chuva com índice pluviométrico que provoca atenuação de 2,5 dB/km do sinal do satélite. Assuma que o sinal do satélite percorre um trecho da atmosfera de 4 km com chuva. (2 pontos)

A atenuação total devido a chuva será:

$$Aten(\text{dB}) = 2,5 \cdot 4 = 10 \text{ dB}$$

Atenuação de 10 dB corresponde a reduzir a potência em 10 vezes, logo a potência recebida na presença da chuva da questão será um décimo da potência recebida sem chuva.

$$P_r = \frac{8 \cdot 10^{-12}}{10} = 8 \cdot 10^{-13} \text{ W}$$

<p>Continuação</p> <p>8</p> <p>(8 pontos)</p>	<p>c) A estação terrestre utiliza uma antena em guia de ondas tipo corneta com abertura retangular, sendo a maior dimensão “a” e a menor dimensão “a/2”, como mostrado na figura a seguir. Calcule qual deve ser o valor de “a” de modo que essa antena tenha ganho 100 (ou 20 dB) na frequência de operação do sistema. (3 pontos)</p> <p>A área efetiva do plano da abertura da antena pela qual o sinal do satélite é captado vale:</p> $A_{ef} = a \cdot \frac{a}{2} = \frac{a^2}{2}$ <p>O ganho da antena é:</p> $G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_{ef} = \frac{4\pi^2}{\lambda^2} \cdot \frac{a^2}{2}$ <p>Logo</p> $a = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{2 \cdot G}$ $R = \frac{0,04}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{200} = 0,09 \text{ m} = 9 \text{ cm}$
---	---

- a) Calcule os valores das impedâncias características dos braços do divisor de potência,  $Z_{02}$  e  $Z_{03}$ , e da resistência  $R$  conectada entre esses braços. (3 pontos)

$$Z_{03} = Z_0 \sqrt{\frac{1 + K^2}{K^3}} \quad \text{com } K = 2 \text{ e } Z_0 = 50 \Omega$$

$$Z_{03} = 50 \sqrt{\frac{1 + 2^2}{2^3}} = 39,58 \Omega$$

$$Z_{02} = K^2 \cdot Z_{03} = 4 \cdot 39,58 = 158,11 \Omega$$

$$R = Z_0 \left( K + \frac{1}{K} \right) = 50 \left( 2 + \frac{1}{2} \right) = 125 \Omega$$

(8 pontos)

- b) Determine as resistências  $R_2$  e  $R_3$  das saídas desse divisor de Wilkinson assimétrico. (1 ponto)

$$R_2 = Z_0 \cdot K = 50 \cdot 2 = 100 \Omega$$

$$R_3 = \frac{Z_0}{K} = \frac{50}{2} = 25 \Omega$$

- c) Considere que o divisor de potência será fabricado usando-se cabos coaxiais com condutor central de diâmetro  $a = 4$  mm, preenchido com dielétrico de constante dielétrica  $\epsilon_r = 2,25$ . Calcule o diâmetro dos condutores externos de modo a se obter as impedâncias características  $Z_{02}$  e  $Z_{03}$  dos braços do divisor de potência. Aproxime seus cálculos usando o valor mais conveniente da tabela de exponenciais fornecida no enunciado da questão. (3 pontos)

$$Z_{0i} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \left( \frac{b}{a} \right) (\Omega) \text{ sendo } \epsilon_r = 2,25 \text{ e } a = 4 \text{ mm}$$

$$Z_{0i} = \frac{60}{\sqrt{2,25}} \cdot \ln \left( \frac{b}{4} \right) = 40 \cdot \ln \left( \frac{b}{4} \right)$$

Logo

$$b = 4 \cdot e^{Z_{0i}/40}$$

$$Z_{02} = 158,11 \Omega \rightarrow b = 4 \cdot e^{158,11/40} \approx 4 \cdot e^4 = 218,4 \text{ mm}$$

$$Z_{03} = 39,58 \Omega \rightarrow b = 4 \cdot e^{39,58/40} \approx 4 \cdot e^1 = 10,88 \text{ mm}$$

<p>Continuação</p> <p>9</p> <p>(8 pontos)</p>	<p>d) Calcule o comprimento dos braços do divisor de potência. (1 ponto)</p> $l = \frac{\lambda}{4} \quad \text{sendo} \quad \lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} \cdot f}$ $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^{11}}{\sqrt{2,25 \cdot 7,5 \cdot 10^9}} = 26,66 \text{ mm}$ $\text{Assim,} \quad l = \frac{\lambda}{4} = \frac{26,66}{4} = 6,66 \text{ mm}$
---	---

10

(8 pontos)

- a) Para estudar a radiação do forno em seus arredores, esse forno foi modelado como transmissor que irradia 2000 mW através de uma antena. Que valor deve ser atribuído ao ganho da antena desse modelo? (2 pontos)

O forno irradia igualmente em todas as direções, portanto deve-se modelar a antena com ganho:

$$G_t = 1$$

- b) Calcule a densidade média de potência em mW/cm<sup>2</sup> a que ficam expostas pessoas localizadas ao redor desse forno, a distâncias de 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40cm e 50 cm. (4 pontos)

$$S_{AVG} = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \left( \frac{mW}{cm^2} \right), \text{ sendo } P_t = 2.000 \text{ mW e } G_t = 1$$

Logo

$$S_{AVG} = \frac{2.000 \cdot 1}{4\pi R^2} = \frac{500}{\pi R^2}$$

$$R = 10 \text{ cm} \rightarrow S_{AVG} = 1,59 \text{ mW/cm}^2$$

$$R = 20 \text{ cm} \rightarrow S_{AVG} = 0,39 \text{ mW/cm}^2$$

$$R = 30 \text{ cm} \rightarrow S_{AVG} = 0,17 \text{ mW/cm}^2$$

$$R = 40 \text{ cm} \rightarrow S_{AVG} = 0,099 \text{ mW/cm}^2$$

$$R = 50 \text{ cm} \rightarrow S_{AVG} = 6,3 \cdot 10^{-2} \text{ mW/cm}^2$$

- c) Usando o gráfico fornecido de limite seguro para exposição contínua à radiação eletromagnética, verifique qual o limite de densidade de potência para exposição segura em 2,45 GHz e estime qual é a mínima distância segura que as pessoas devem manter em relação ao forno. (2 pontos)

Para a frequência de 2,45 GHz a densidade de potência deve ser menor que

$$S_{AVG} = 2 \text{ mW/cm}^2, \text{ a partir do gráfico fornecido.}$$

Distância mínima segura entre o forno defeituoso e as pessoas:

$$S_{AVG} = \frac{500}{\pi R^2} = 2 \rightarrow R = 8,92 \text{ cm}$$