UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ELETRÔNICA

III EXERCÍCIO ESCOLAR **SÉRIE DE EXERCÍCIO**

PARTE I (*Série de Exercício*) **PARTE II (*Projeto-Relatório descritivo*)**

Justifique todas as respostas

Identifique a região de operação para cada amplificador operacional nas questões a seguir.

NOME _____**Matrícula** _____ **NOTA** _____

(1A) FONTE DE ALIMENTAÇÃO LINEAR - REGULADOR DE TENSÃO

(A) Determine o valor da tensão na saída V_o do regulador de tensão mostrado na figura 1.

(B) Determine o valor do resistor R_2 no regulador de tensão mostrado na figura 2.

(C) Identifique a ***região de operação*** do amplificador operacional nas figuras 1 e 2.

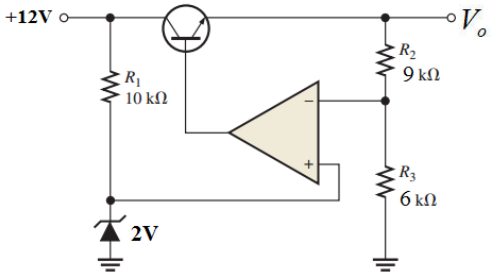


FIGURA 1

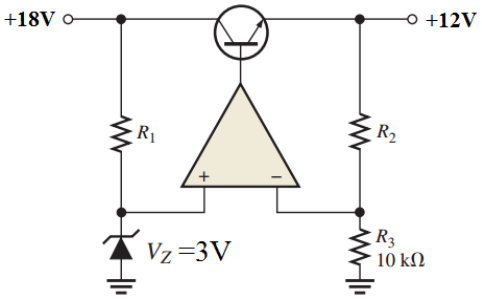
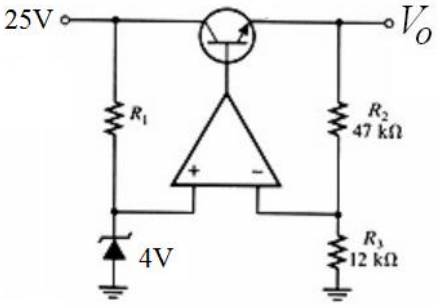


FIGURA 2

(1B) FONTE DE ALIMENTAÇÃO LINEAR

Determine o valor da tensão de saída $\mathbf{V_o}$.



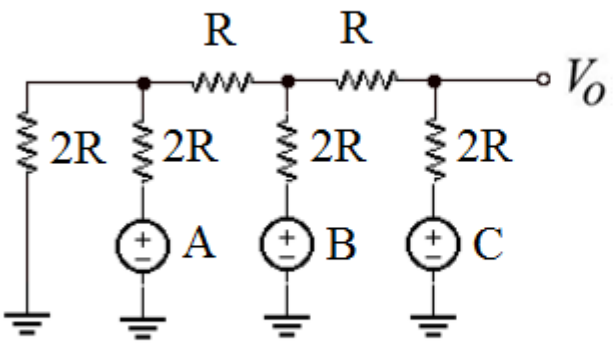
(2A) O que você entende por: (A) ***Skin effect*** (*Efeito pelicular*) (B) ***DTMF*** (C) ***PLL*** (D) ***Aliasing*** (E) ***ASK, PSK e FSK*** (F) ***SAR*** (G) ***Aproximação Butterworth*** (H) ***Slew Rate*** (I) ***Sample&Hold*** (J) ***Filtro anti-aliasing*** (K) ***Schmitt trigger (Comparador com Histerese)*** (L) ***Duty Cycle*** (M) ***Conversor Buck-Boost*** (N) ***VCA*** (O) ***VCO*** (P) ***Módulo PELTIER***

(**2B**) Escreva as 5 primeira componentes da ***série de Fourier*** para um sinal ***PWM*** com ***duty cycle de 40%*** e amplitude variando entre 0 e 5V. (B) Para que valor de ***duty cycle*** **D** um sinal ***PWM*** não apresenta ***componente de quinta harmômica***? (C) Determine o ***duty cycle*** **D** correspondente para que um sinal ***PWM não contenha nenhuma componente harmônica de ordem par.***

(3A) CONVERSOR DIGITAL-ANALÓGICO - CONVERSOR D/A COM REDE R-2R

O circuito a seguir faz a *conversão digital-analógica* de um sinal binário utilizando apenas dois valores de resistores. Considere que as tensões A, B e C correspondem a 0V e 5V. Considere o bit "1" representado por V = 5V.

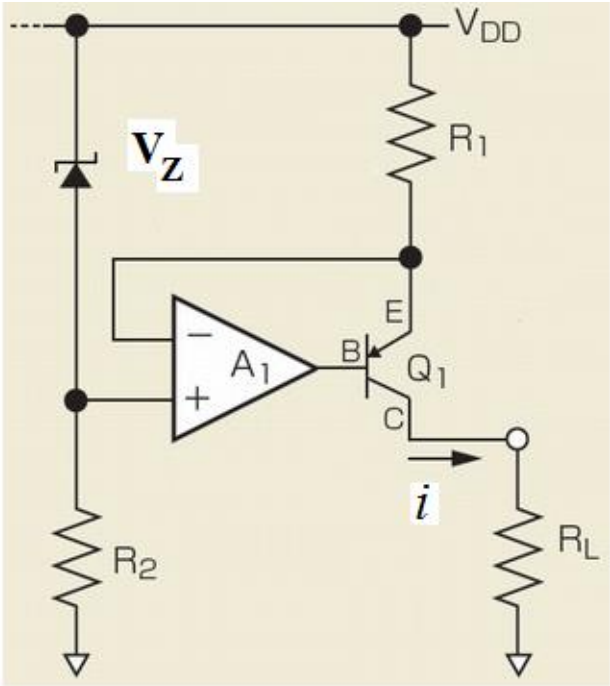
(A) Escreva a expressão para V_o. (B) Preencha a Tabela de Conversão.

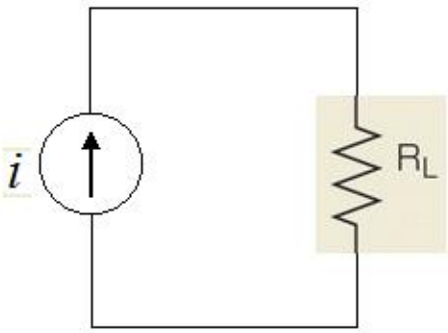


C	B	A	V_o (Volt)
0	0	0	.
0	0	1	.
0	1	0	.
0	1	1	.
1	0	0	.
1	0	1	.
1	1	0	.
1	1	1	

(3B) FONTE DE CORRENTE CONSTANTE

Determine o valor da corrente ***i***. Observe que o valor da corrente ***i*** independe do valor da carga R_L. O circuito opera como uma *fonte de corrente* constante para a carga R_L.





(4A) AMPLIFICADOR

Apresente circuitos amplificadores com os seguintes ganhos.

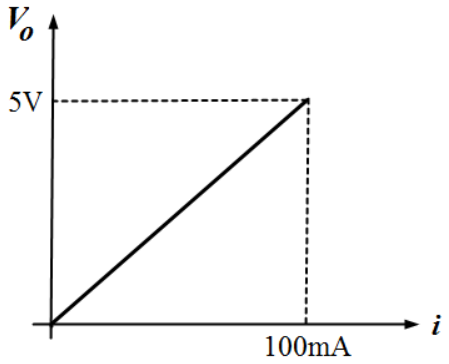
(I) $e^{(2Ln3)}$ (II) $Log(10^8)$ (III) $10^{(\log 12 - \log 4)}$ (IV) $10^{2\log 3}$

(VI) $Ln(e^8)$ (V) $10^{(\log 2,2+\log 4)}$

(4B) CONVERSOR CORRENTE-TENSÃO

Um conversor corrente-tensão produz uma tensão na saída linearmente proporcional a uma corrente aplicada na entrada, ou seja, $V_o = ki$.

Projete um conversor corrente-tensão para ser acoplado a um microcontrolador, tal que, para uma corrente na entrada variando na faixa de $0 + 100mA$, proporcione na sua saída uma variação de tensão equivalente de $0 + 5V$.



(5A) **(I)** Apresente um circuito capaz de produzir uma saída em tensão igual a ***média geométrica*** entre duas tensões aplicadas na entrada V_1 e V_2.

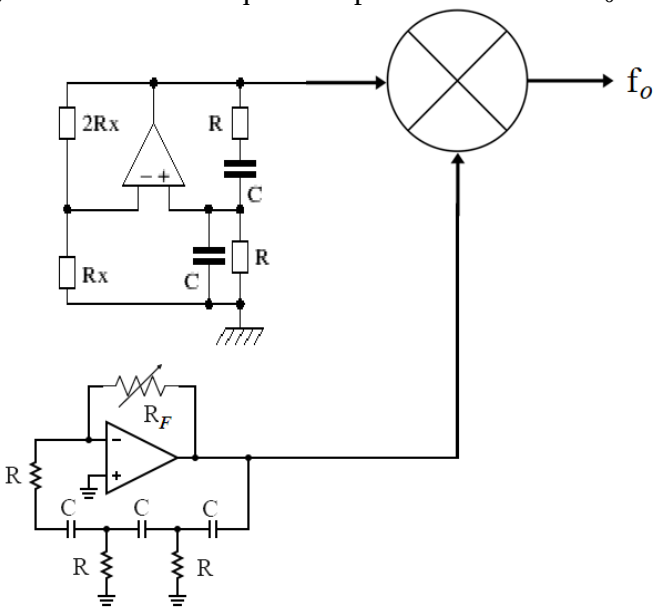
(II) Apresente um circuito capaz de produzir uma saída igual a $V_o = V_1^{V_2}$ para duas tensões aplicadas na entrada V_1 e V_2.

(III) Apresente um circuito capaz de realizar as seguintes ***equações diferenciais***:

(I) $$\frac{d^2V(t)}{d_t^2} + 10\frac{dV(t)}{dt} + 5V(t) = 0$$

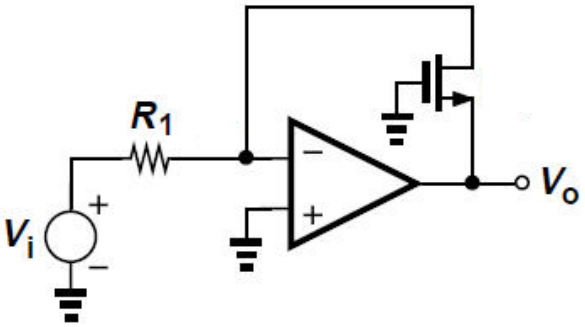
(II) $$V_o = \frac{d^2(2x+3y)}{dt^2} - \frac{d(2x+3y)}{dt}$$

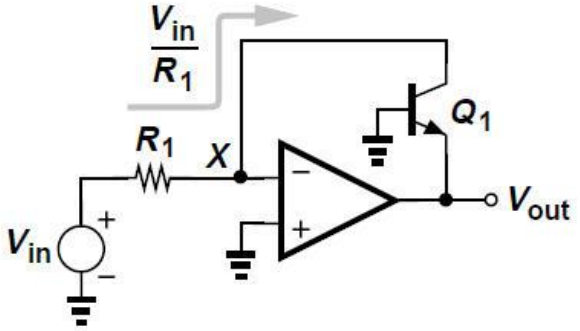
(**5B**) Considere o multiplicador analógico mostrado na figura a seguir usado como conversor de frequência (*Mixer*). Determine as frequências presentes na saída f_0.



(6A) (I) AMPLIFICADOR OPERACIONAL COM TRANSISTOR MOSFET NA MALHA DE REALIMENTAÇÃO NEGATIVA

Escreva a expressão para $V_O = f(V_i)$.





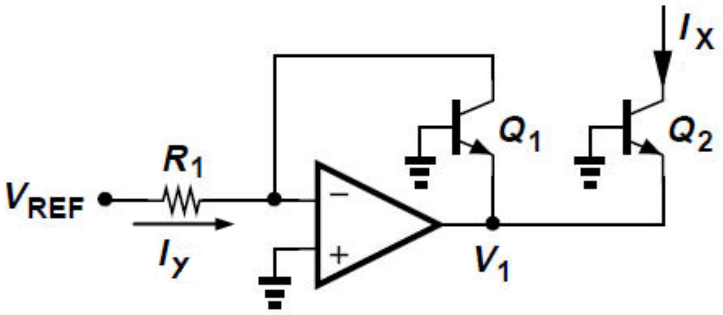
$$V_{BE} = V_T \ln \frac{V_{in}/R_1}{I_S}$$

$$V_{out} = -V_T \ln \frac{V_{in}}{R_1 I_S}$$

(II) ESPELHO DE CORRENTE

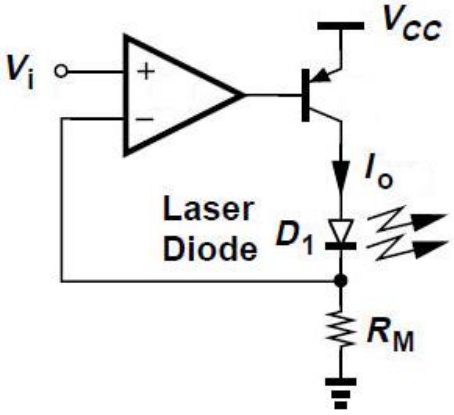
AMPLIFICADROR OPERACIONAL COM TRANSISTOR BIPOLAR NA MALHA DE REALIMENTAÇÃO NEGATIVA

Determine a relação entre as correntes $\frac{I_Y}{I_X}$.



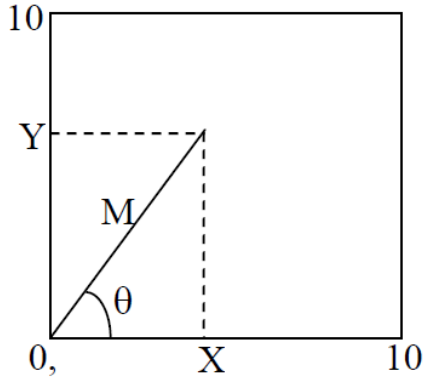
(III) Determine o valor da corrente I_O que circula pelo diodo laser.

Qual a funcionalidade do transistor neste circuito.



(6B) CONVERSOR DE *COORDENADAS RETANGULARES* PARA SISTEMA DE *COORDENADAS POLARES*.

Seu supervisor está pensando em promovê-lo a estagiário senior. No entanto resolveu fazer um último teste para comprovar sua capacidade de resolver problemas, assim ele te propôs o seguinte projeto: Na empresa, há uma máquina que realiza furos automáticos em placas de circuito impresso, capaz de fazer um furo em qualquer posição (X,Y) de um plano limitado. Os sensores de posição da máquina retornam os valores das coordenadas X e Y em tensões de 0 a 10 Volts. Isto é, *X* Î[0,10] *e Y* Î[0,10] . Seu supervisor, portanto, solicita que você projete um circuito que converta este sistema de *coordenadas retangulares* no sistema de *coordenadas polares*. Isto é, um circuito capaz de gerar os sinais M e q, onde M é o módulo e q é o ângulo com a horizontal, ambos dados em Volts. Projete um circuito que tenha como entradas os sinais X e Y e forneça como saída os sinais M e θ.

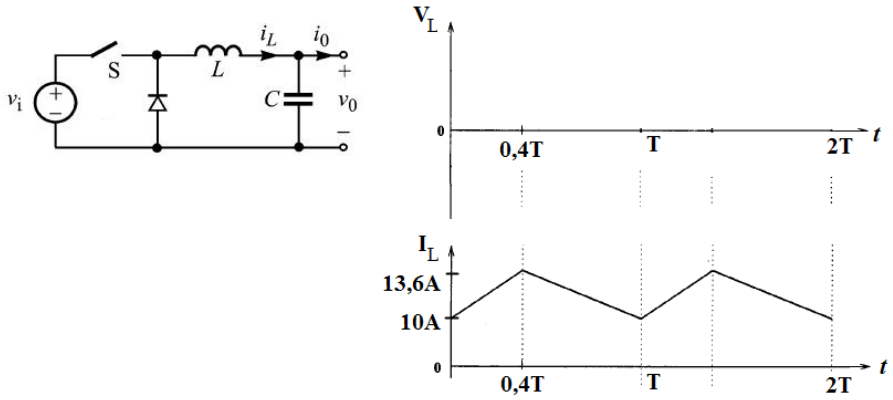


Dica: $\arctan(x) \cong \frac{\pi}{2} \cdot \frac{x^{1,21}}{1+x^{1,21}}, \quad x > 0$

(7A) FONTE CHAVEADA (SMPS – Switched Mode Power Supply) – PROJETO

A fonte chaveada mostrada na figura a seguir é usada para fornecer 6V a uma determinada carga. Considere que foi escolhida uma frequência de chaveamento de 100 kHz.

(I) Identifique o **tipo de conversor** e determine o valor de V_i. (II) Determine o **valor da indutância L** e do **capacitor C**. Considere um *ripple* sobre o capacitor de $\Delta V_0 = 100mV$ na saída V_o. (III) Determine a potência máxima na carga. (III) Expresse **graficamente**, com valores, a **tensão V_L** sobre o indutor.



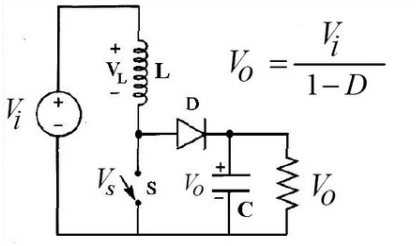
(7B) FONTE CHAVEADA (SMPS – Switched Mode Power Supply)

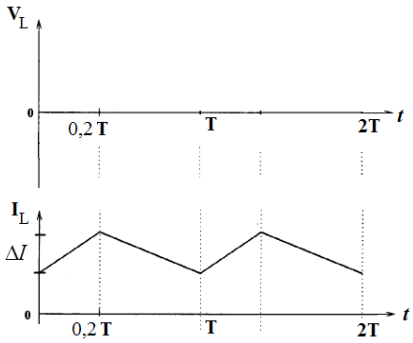
A fonte chaveada mostrada na figura a seguir é usada para alimentar com 10V uma carga na saída a partir de uma tensão V_i na entrada. Frequência de chaveamento de 10 kHz e L=10mH.

(I) Identifique o ***tipo de conversor*** e determine o ***valor da tensão na entrada***.

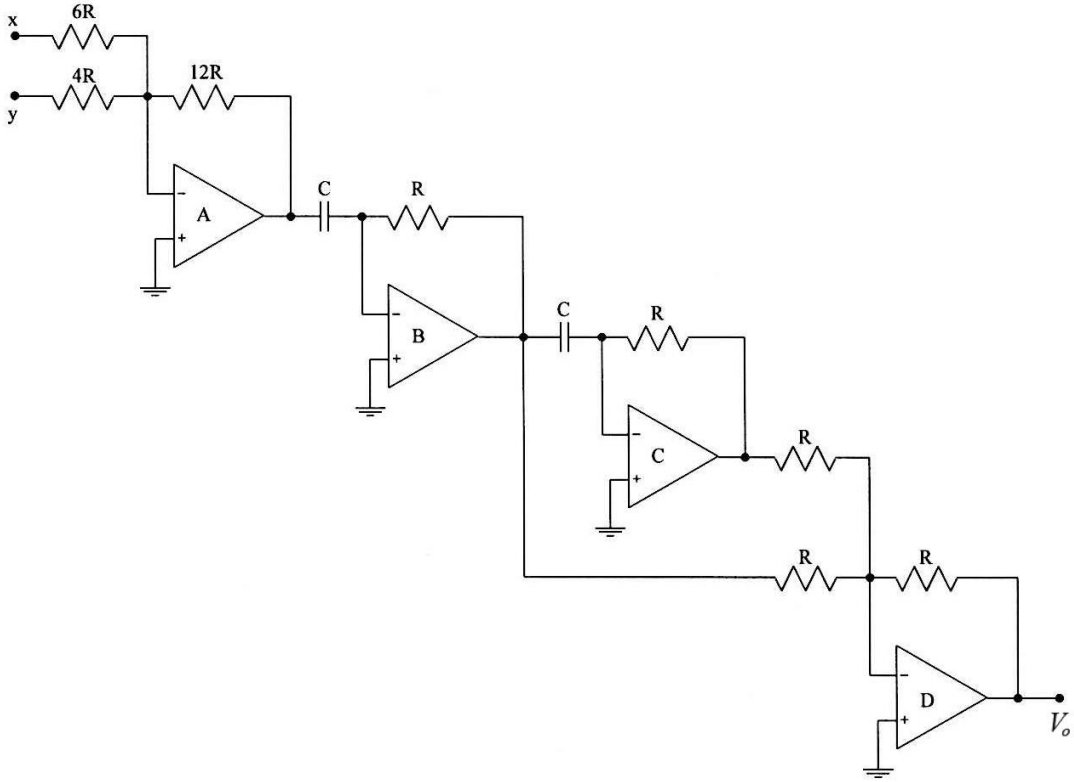
$V_i =$_____ *volts*

(II) Expresse *graficamente*, com valores, a tensão V_L sobre o indutor quando a chave estiver fechada e aberta. (C) Determine ΔI.



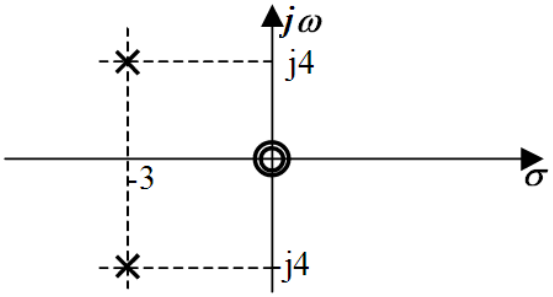


(8) Determine a função realizada pelo circuito a seguir, ou seja, $V_o = f(x, y)$. Considere RC=1s.



(9A) IMPLEMENTAÇÃO DE CIRCUITO - DIAGRAMA DE PÓLOS E ZEROS

(I) Apresente um ***circuito*** capaz de implementar o diagrama de pólos e zeros, mostrado na figura a seguir, com um par de zeros na origem e um par de pólos complexos conjugados **(-3 ± j4)**. Considere um ganho de 40dB. (**II**) Escreva a ***função de transferência*** **H(s).** Sugira uma aplicação.



PLANO "s"
Diagrama de Pólos e Zeros

(9B) COMPARADORES DE TENSAO (*SIMPLES, JANELA, HISTERESE*)

Frequentemente, em muitas aplicações na eletrônica, necessita-se comparar uma tensão que representa uma grandeza física (*temperatura, luminosidade, aceleração, umidade, etc*) com outra tensão para determinar qual delas é a maior ou menor com o objetivo de atuar sobre um sistema acionando alguma carga. Um comparador de tensão simples, com apenas uma tensão de referência, indica quando uma tensão na entrada excede certo limite ou limiar, enquanto que um comparador janela, com duas tensões de referências, detecta quando uma tensão de entrada situa-se entre os dois limites dessas tensões de referências. Um comparador Janela é composto por um circuito com duas tensões de referências (tensões limites), um sinal de entrada e um sinal de saída resultante da comparação. O sinal de entrada é então comparado com as duas tensões de referências (janela de tensões limites) a fim de produzir uma saída. Por outro lado, os *comparadores com Histerese* (*Schmitt-trigger*) fazem uso de realimentação positiva para rejeitar ruídos na faixa de transição. O benefício de um comparador *Schmitt* sobre um circuito com somente um ponto limiar de entrada é uma estabilidade maior (*imunidade ao ruído*). Com somente um ponto de limiar de entrada, um sinal ruidoso operando próximo a esse ponto, poderia fazer com que a saída ficasse comutando rapidamente, acima e abaixo do nível do ruído. O *disparador de Schmitt* foi proposto pelo cientista Otto Herbert Schmitt nos Estados Unidos em 1934, quando era apenas um estudante de graduação. Seria descrito mais tarde em sua tese de doutorado como um disparador. Projete um

I) **Comparador Simples** (Tensão de referência 2V).
II) **Comparador Janela** (Tensões de referências -2V e 2V)
III) **Comparador com Histerese** (*Schimth Trigger*) (Tensões limiares -2V e 2V)

(10B) FILTRO ATIVO PASSA BAIXA COM APROXIMAÇÃO BUTTERWORTH

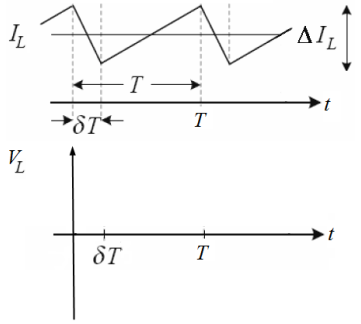
Projete um circuito para um ***filtro ativo passa baixa de segunda ordem, com ganho de 36dB, aproximação Butterworth*** com ***frequência de corte*** de **20 kHz**, para ser usado como filtro *anti-aliasing*, evitando sobreposição espectral, na entrada de um conversor analógico-digital de um equipamento de áudio digital.

O filtro com aproximação *Butterworth* ganha o seu nome por ter sido o primeiro a desenvolver uma teoria sobre filtros. *Stephen Butterworth*, do Laboratório de Pesquisa do Almirantado no Reino Unido (*Admiralty Research Laboratory*), publicou seu trabalho em outubro de 1930, intitulado: "*On the Theory of Filter Amplifiers*" na qual desenvolveu as equações básicas para um filtro maximamente plano para uso em amplificadores valvulados RF (**R***adio* **F***requency*). O artigo foi publicado na revista intitulada "*Experimental Wireless and Wireless Engineer*".

(10C) FONTE CHAVEADA – ENERGIA NO INDUTOR

A corrente mostrada a seguir circula em um ***indutor*** de uma ***fonte chaveada*** com frequência de 20 kHz e I_L=40A. $\delta = 0{,}2 \quad \Delta I_L = 16A \quad L = 100\mu H$

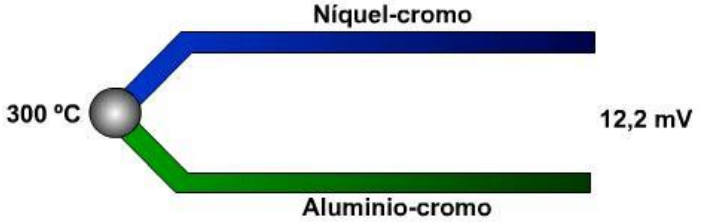
(**A**) Represente ***graficamente***, ***com valores***, ***a tensão*** $\mathbf{V_L}$ sobre o indutor L.
(**B**) Determine a ***energia armazenada no indutor*** durante o ***ciclo de carga***.
(C) Determine o ***duty cycle*** **D**.



(10D) Em 1822 o físico estoniano ***Thomas Seebeck*** descobriu acidentalmente que a união entre dois metais distintos gera uma tensão que é função da temperatura. Este fenômeno ficou conhecido como ***Efeito Seebeck*** ou ***Efeito termoelétrico*** e os pares de metais que formam a junção dos metais são denominados de ***termopares***. Atualmente, na eletrônica, os ***termopares*** são amplamente usados como sensores de temperatura. ***Termopar*** é um tipo de sensor de temperatura muito simples, robusto, de baixo custo e de fácil utilização. São intercambiáveis, possuem conectores padrões e são capazes de medir uma ampla faixa de temperatura. O dispositivo gera eletricidade a partir de diferenças de temperatura.

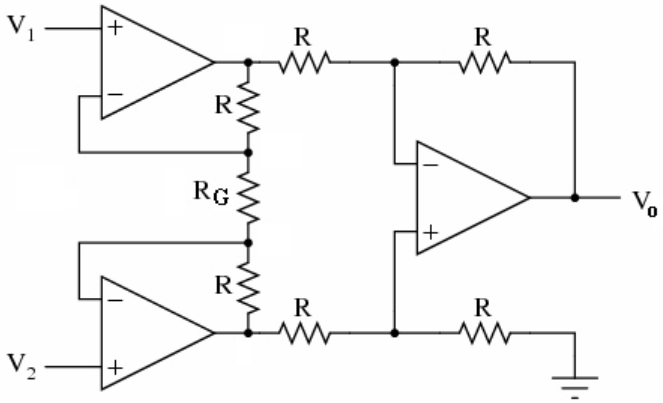
Um ***termopar*** é um circuito formado por dois metais distintos que produzem uma tensão sempre e quando os metais se encontram a temperaturas diferentes.

O diagrama a seguir ilustra um ***termopar*** padrão do tipo ***K***, muito utilizado em processos industriais para medição de temperatura. O termopar do tipo ***K*** produz **12,2mV** em **300ºC, conforme Tabela mostrada na questão seguinte**.



Deseja-se usar um ***amplificador de instrumentação***, conforme mostrado na figura a seguir, para amplificar a tensão diferencial produzida por um ***termopar*** tipo ***K***, na temperatura de **300^0C**, e produzir em sua saída uma tensão de **1,22V**.

Determine o valor da relação entre R e R_G.



(10E) MEDIÇÃO DE TEMPERATURA - TERMOPAR (*Efeito Seebeck)*

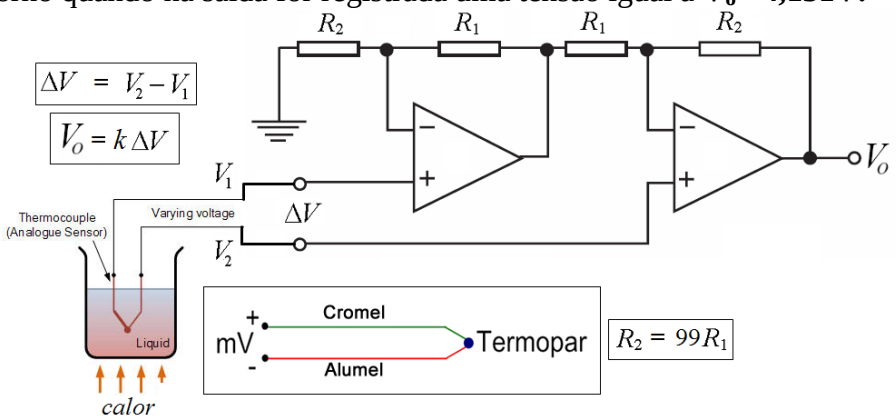
Termopares são sensores de temperatura simples, robustos e de baixo custo, sendo amplamente utilizados nos mais variados processos de medição de temperatura. Um termopar é constituído de dois metais distintos que unidos por sua extremidade formam um circuito fechado. O termopar desta maneira gera uma *Força Eletro-Motriz* (FEM), que quando conectada a um instrumento de leitura consegue obter a temperatura do processo onde estes termopares estão inseridos.

Em 1822, o físico *Thomas Seebeck* descobriu (*acidentalmente*) que a junção de dois metais distintos gera uma tensão elétrica em função da temperatura. O funcionamento dos termopares é baseado neste fenômeno, que é conhecido como Efeito de Seebeck. Embora praticamente se possa construir um termopar com qualquer combinação de dois metais, utiliza-se apenas algumas combinações normalizadas, isto porque possuem tensões de saída previsíveis e suportam grandes gamas de temperaturas.

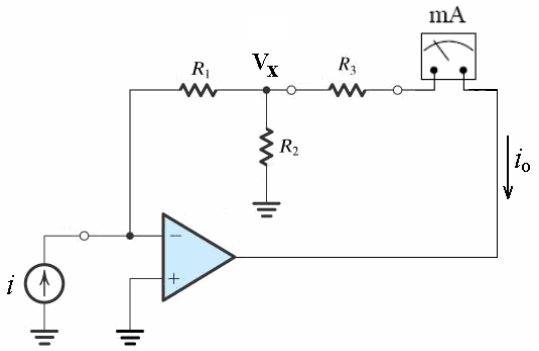
O **termopar tipo K** é um termopar de uso genérico. É formado pela junção de fios de ***CHROMEL***(Cromo+Niquel) e ***ALUMEL***(Alumínio+Niquel). Tem um baixo custo e, devido a sua aplicabilidade, estão disponíveis variadas sondas. Cobrem temperaturas entre **-200°C** e **1200 °C**, tendo uma sensibilidade de aproximadamente **41µV/°C** (***Seebeck Coefficient***).

O circuito a seguir é aplicado para medir a tensão usando um termopar.
Considere um termopar tipo K sujeito a temperatura dentro de um forno.

(I) Determine $\mathbf{V_o}$ em função de V_1 e V_2, ou seja, $\mathbf{V_o=f(V_1,V_2)}$ (II) Sabendo-se que V_o é proporcional a temperatura na junção do termopar, **determine o valor da temperatura** medida no forno quando na saída for registrada uma tensão igual a $\mathbf{V_o= 4{,}131V}$.



Termocupla tipo K - Equivalencias: grados celsius - milivoltios													
ºC	mV	ºC	mV	ºC	mV	ºC	mV	ºC	mV	ºC	mV	ºC	mV
0	0,00	200	8,13	400	16,40	600	24,91	800	33,30	1000	41,31	1200	48,89
10	0,40	210	8,54	410	16,82	610	25,34	810	33,71	1010	41,70	1210	49,25
20	0,80	220	8,94	420	17,24	620	25,76	820	34,12	1020	42,09	1220	49,62
30	1,20	230	9,34	430	17,67	630	26,19	830	34,53	1030	42,48	1230	49,98
40	1,61	240	9,75	440	18,09	640	26,61	840	34,93	1040	42,87	1240	50,34
50	2,02	250	10,16	450	18,51	650	27,03	850	35,34	1050	43,25	1250	50,69
60	2,43	260	10,57	460	18,94	660	27,45	860	35,75	1060	43,64	1260	51,05
70	2,85	270	10,98	470	19,37	670	27,87	870	36,15	1070	44,02	1270	51,41
80	3,26	280	11,39	480	19,79	680	28,30	880	36,55	1080	44,40	1280	51,76
90	3,68	290	11,80	490	20,22	690	28,72	890	36,96	1090	44,78	1290	52,11
100	4,10	300	12,21	500	20,65	700	29,14	900	37,36	1100	45,16	1300	52,46
110	4,51	310	12,63	510	21,07	710	29,56	910	37,76	1110	45,54	1310	52,81
120	4,93	320	13,04	520	21,50	720	29,98	920	38,16	1120	45,92	1320	53,16
130	5,33	330	13,46	530	21,92	730	30,39	930	38,56	1130	46,29	1330	53,51
140	5,73	340	13,88	540	22,35	740	30,81	940	38,96	1140	46,67	1340	53,85
150	6,14	350	14,29	550	22,78	750	31,23	950	39,35	1150	47,04	1350	54,20
160	6,54	360	14,71	560	23,20	760	31,65	960	39,75	1160	47,41	1360	54,54
170	6,93	370	15,13	570	23,63	770	32,06	970	40,14	1170	47,78	1370	54,88
180	7,33	380	15,55	580	24,06	780	32,48	980	40,53	1180	48,15		
190	7,73	390	15,98	590	24,48	790	32,89	990	40,92	1190	48,52		

(10F) *AMPLIFICADOR* DE CORRENTE

No circuito a seguir o ***miliamperímetro*** registra uma corrente de 500 μA.
Determine o valor da corrente i. Considere $R_1 = 49R_2$.