



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL – INPE

PROVA DISCURSIVA

TG41

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE SUPRIMENTO DE ENERGIA PARA SATÉLITES



SUA PROVA

- Além deste caderno contendo **5 (cinco)** questões discursivas **com as respectivas folhas de rascunho**, você receberá do fiscal de prova as folhas de textos definitivos;



TEMPO

- Você dispõe de **4 (quatro) horas** para a realização da prova;
- **2 (duas) horas** após o início da prova, é possível retirar-se da sala, sem levar o caderno de questões;
- A partir dos **30 (trinta) minutos** anteriores ao término da prova é possível retirar-se da sala **levando o caderno de questões**.



NÃO SERÁ PERMITIDO

- Qualquer tipo de comunicação entre os candidatos durante a aplicação da prova;
- Anotar informações relativas às respostas em qualquer outro meio que não seja no caderno de questões e nas folhas de textos definitivos;
- Levantar da cadeira sem autorização do fiscal de sala;
- Usar o sanitário ao término da prova, após deixar a sala.



INFORMAÇÕES GERAIS

- Verifique se seu caderno de questões está completo, sem repetição de questões ou falhas. Caso contrário, **notifique imediatamente o fiscal da sala**, para que sejam tomadas as devidas providências;
- Confira seus dados pessoais, especialmente nome, número de inscrição e documento de identidade e leia atentamente as instruções para preencher as folhas de textos definitivos;
- Para o preenchimento das folhas de textos definitivos, use somente caneta esferográfica, fabricada em material transparente, com tinta preta ou azul;
- Assine seu nome apenas no(s) espaço(s) reservado(s) no cartão de respostas;
- Caso você tenha recebido caderno de cargo **diferente** do impresso em suas folhas de textos definitivos, o fiscal deve ser **obrigatoriamente** informado para o devido registro na ata da sala;
- O preenchimento das folhas de textos definitivos é de sua responsabilidade e **não será permitida a troca de folha de texto definitivo em caso de erro cometido pelo candidato**;
- Para fins de avaliação, serão levadas em consideração apenas os textos das folhas de textos definitivos;
- A FGV coletará as impressões digitais dos candidatos na lista de presença;
- Os candidatos serão submetidos ao sistema de detecção de metais quando do ingresso e da saída de sanitários durante a realização das provas.
- **Boa prova!**

Questão 1

Amplificadores operacionais são circuitos de variadas aplicações dentro da eletrônica analógica, sendo utilizados amplamente em missões espaciais. Uma configuração muito comum é o circuito ilustrado na Figura 1.

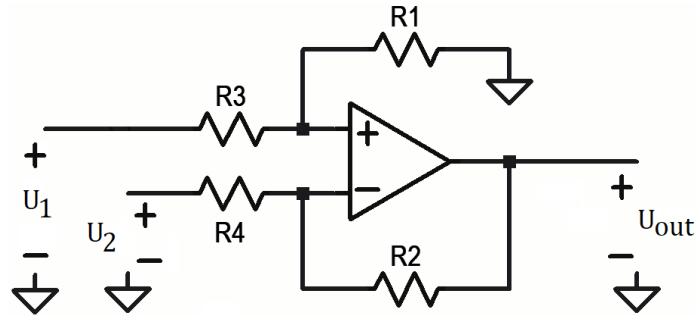


Figura 1

- A) Como é chamado esse circuito?
- B) Deduza a tensão de saída U_{out} em função de $R1$, $R2$, $R3$, $R4$, U_1 e U_2 , considerando que o amplificador operacional é ideal;
- C) Sendo $R1 = R2$ e $R3 = R4$, reescreva a equação que descreve U_{out} ;
- D) Se $R1 = 10k\Omega$, quais os valores de $R2$, $R3$ e $R4$ para que $U_{out} = U_1 - U_2$?
- E) Suponha agora que a tensão de alimentação do amplificador operacional seja simétrica, de $+15V$ e $-15V$, e o slew rate de $20V/\mu s$. Sendo $R1 = R2 = 10k\Omega$ e $R3 = R4 = 2k\Omega$, ilustre, apresentando valores, a forma de onda de tensão de saída U_{out} quando os sinais apresentados na Figura 2 abaixo são aplicados em U_1 e U_2 . O sinal aplicado em U_1 é periódico, com frequência de $100kHz$ e o ciclo de trabalho é de 50% ; o sinal aplicado em U_2 é contínuo.

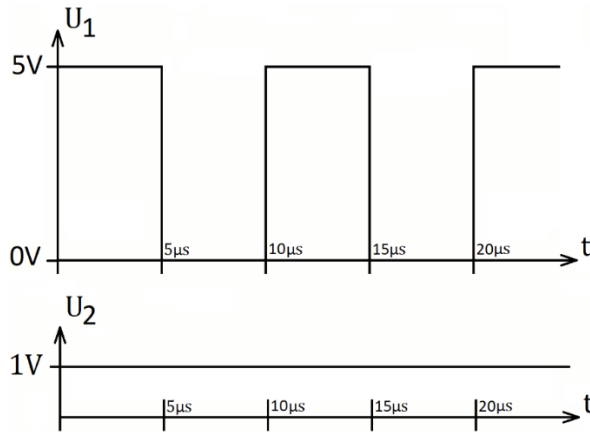


Figura 2

Questão 2

Sabe-se que um Sistema de Suprimento de Energia (SSE) para Satélites tem a função de prover alimentação elétrica a todas as cargas do satélite, em todos os modos de operação previstos para a missão. Considere um SSE constituído de: painéis fotovoltaicos, baterias recarregáveis e eletrônica de condicionamento e conversão de energia. Quando o satélite está fora do alcance dos raios solares, nos períodos de “noite” do satélite, a bateria deve ser capaz de suprir as cargas previstas para o período, pois os painéis solares ficam inoperantes. Considere essa configuração reduzida do SSE, hipoteticamente constituído apenas de uma bateria e um conversor DC/DC.

- A) Calcule as tensões mínima e máxima da bateria durante sua descarga, sabendo-se que possui 20 células em série que operam com 1,2V no início da descarga e 1,0V no final da descarga.
- B) Seja C a capacidade de carga em Ampère-hora (Ah) de uma célula da bateria. Calcule a capacidade de carga de uma bateria de 20 células em série, cada uma com capacidade C.
- C) Fazendo uma análise de pior caso, calcule a mínima capacidade de carga necessária (desconsiderando efeitos térmicos e degradação decorrente do tempo de vida), considerando que a bateria deve fornecer ao conversor DC/DC a potência de 200W no final da descarga, e que a duração desse período é uma hora.
- D) Considere que o conversor DC/DC possui apenas uma saída e esta fornece 15V e que são disponíveis duas opções de topologia, a saber: Buck e Boost. Escolha a topologia a ser usada e justifique sua escolha. Para a topologia escolhida apresente um esquema elétrico representativo e explique o seu princípio de funcionamento.

Questão 3

Conversores CC/CC são circuitos eletrônicos essenciais para adequar os níveis de tensão de fontes de energia em corrente contínua (CC) às tensões de alimentação das cargas. Dentre as topologias básicas de conversores CC/CC, considere os conversores buck, boost e buck-boost. Na Figura 1, o circuito de um destes conversores está conectado a uma fonte de tensão E e a uma carga resistiva.

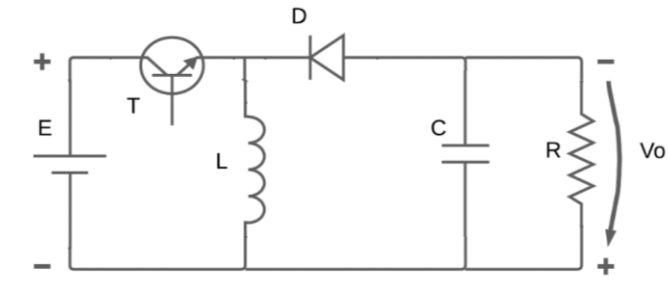


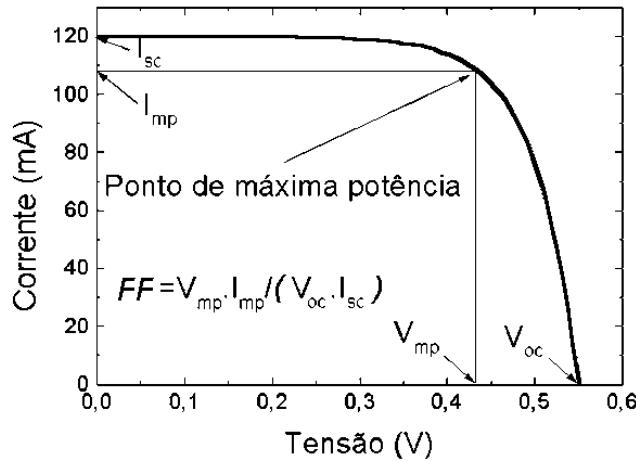
Figura 1

- Identifique o conversor representado na Figura 1.
- Considere que o transistor T e o diodo D operam como chaves e são ideais, de maneira que durante um período de chaveamento T_s o transistor fique ligado por um intervalo de tempo igual a t_{on} e fique desligado por um intervalo de tempo igual a $T_s - t_{on}$. Determine a tensão na indutância L durante os intervalos de tempo t_{on} e $T_s - t_{on}$.
- Deduz o ganho estático (relação entre a tensão de saída V_o e a tensão de entrada E em função da razão cíclica d) do conversor representado na Figura 1. Considere que: o conversor irá operar em modo de condução contínua; o transistor T e o diodo D operam como chaves e são ideais; o valor médio da tensão na indutância L num período de chaveamento do transistor é igual a zero.
- Sendo a tensão E igual a 12V, calcule o valor da tensão de saída V_o para os seguintes valores de razão cíclica i) 0,2; ii) 0,5; iii) 0,8. Indique, para cada valor de razão cíclica, se o valor resultante para a tensão de saída é maior, menor ou igual ao valor da tensão de entrada.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30

Questão 4

A curva característica de corrente por tensão de uma célula solar iluminada é mostrada na figura abaixo:



na qual os parâmetros de saída são:

I_{sc} – Corrente de curto circuito (short circuit current);

V_{oc} – Tensão de circuito aberto (open circuit voltage);

V_{MP} e I_{MP} – Tensão e corrente de máxima potência e

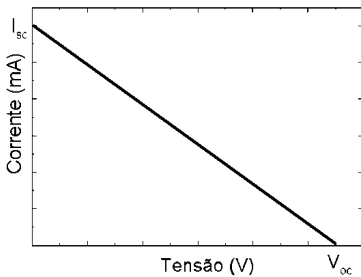
FF – Fator de preenchimento (Fill Factor), que é a fração da área inscrita na curva dada pela equação mostrada na figura.

A curva característica $I \times V$ de uma célula solar ideal é representada pela equação de corrente (I) por tensão (V) dada por:

$$I = I_L - I_0 \{ \exp(qV/kT) - 1 \}$$

em que I_L é a corrente fotogerada; I_0 é a corrente de saturação da junção; q é a carga do elétron; k é a constante de Boltzmann e T é a temperatura da célula solar em K.

A) Uma célula solar ruim (com defeitos) mostra sua curva $I \times V$ como um segmento de reta entre V_{oc} e I_{sc} , conforme figura abaixo. Calcule o valor do fator de preenchimento (FF) desta curva $I \times V$, no ponto de máxima potência.



B) Deduza, com explicações textuais, a equação que define o valor da corrente de curto circuito (I_{sc}) da célula solar, a partir da equação mostrada acima.

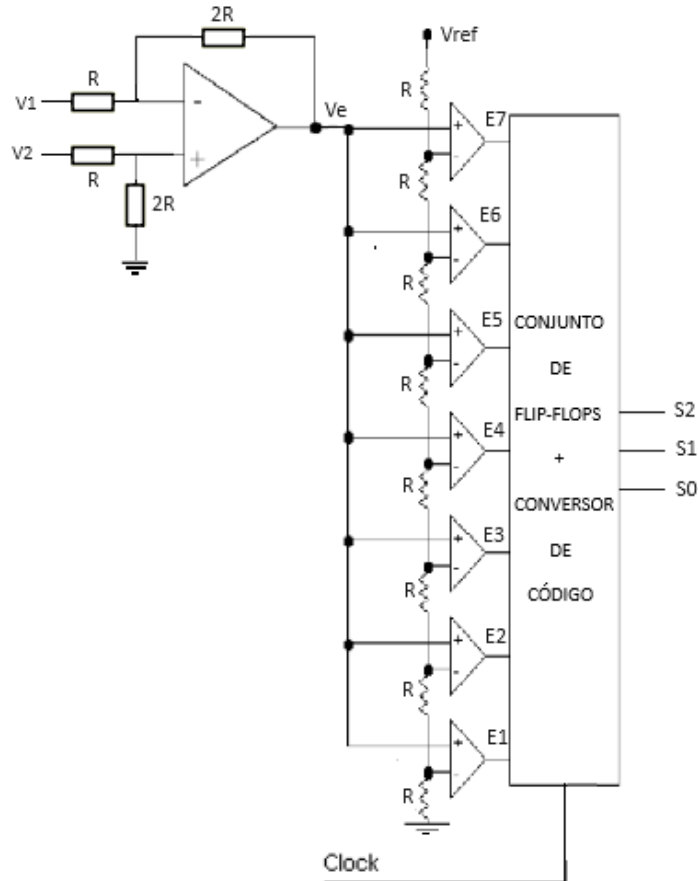
C) Deduza, com explicações textuais, a equação que define o valor da tensão de circuito aberto (V_{oc}) da célula solar, a partir da equação mostrada acima.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30

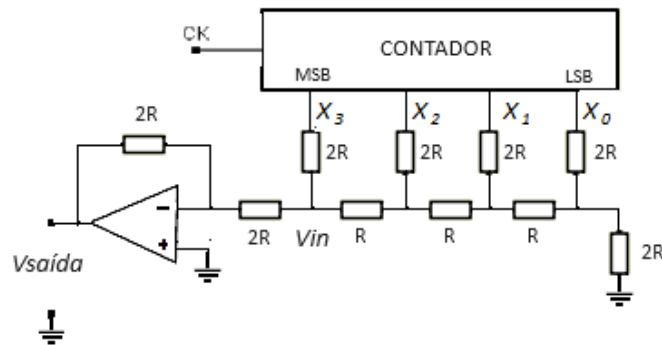
Questão 5

Responda ao que se pede a seguir.

- A) Para se implementar um conversor A/D tipo flash (paralelo) com N=5 bits, quantos comparadores serão necessários?
- B) Para o circuito do conversor A/D abaixo, com $V_{ref} = 4,0V$ e considerando que o conjunto de flip-flops e o conversor de código são partes integrantes de um conjunto:
 - B₁ Obtenha a tabela de saída do conversor de código (S₂, S₁ e S₀) em função da entrada V_e (Ventrada) e dos sinais E1, E2, E3, E4, E5, E6 e E7.
 - B₂ Considerando agora as tensões de entrada do amplificador operacional $V_2 = 2,3V$ e $V_1 = 1,0V$, determine qual é o valor na saída do conversor de código (S₂, S₁ e S₀).



- C) Dado o circuito abaixo, considerando que as tensões das saídas do contador (X_3, X_2, X_1, X_0) têm $V=0 V$ para o nível 0 (GND) e $V_r=3 V$ para o nível 1, calcule:
 - C₁ Os valores de V_{in} e $V_{saída}$ para os binários 1) $X_3X_2X_1X_0 = 1000$ e 2) $X_3X_2X_1X_0 = 1100$
 - C₂ A frequência mínima de amostragem (f_s) necessária em um conversor A/D para que seja possível reconstruir com fidelidade sinais analógicos de uma frequência de entrada (f_i) contendo componentes de até 20 kHz.



Realização

