

Data: _____ Bancada n° _____ Nota: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

MÓDULO 5: Conversores CC-CC e aplicação em Fonte Chaveada
Parte Experimental – Aula 1

Operação em Malha Aberta (chave na posição MA)

- a) Alimente o circuito de potência com 20 V. Coloque a chave na **posição MA**. Conecte a carga resistiva de 25 Ω . Monitore continuamente a tensão de saída com o multímetro. *Exceto quando indicado diferentemente, as medidas são feitas em relação ao ponto 0. Para minimizar o problema de ruído, sempre conecte ambos os terminais de “terra” das pontas de prova ao ponto de referência.*
- b) Observe simultaneamente, registre e comente os sinais em (7) e (9). Coloque ambos os sinais em uma mesma escala e mesma referência de visualização (de modo que os sinais se interceptem na tela). Determine a frequência e a amplitude da onda triangular produzida pelo CI.

Frequência: Amplitude (pico a pico):

- c) Varie o *potenciômetro* até obter 10 V **na saída do conversor** (medida com multímetro). A comparação entre a tensão do ponto 9 (definida pelo potenciômetro em operação MA) e a onda triangular define a largura de pulso. Com base nos ajustes indicados, esboce as formas de onda e estime a largura de pulso. Desconsidere as eventuais oscilações e ruídos nos sinais. $\delta =$

- d) Varie a tensão de entrada entre aproximadamente 15 e 20 V e verifique como varia a tensão de saída.

V_{fonte} [V]	20	19	18	17	16	15
$V_{\text{saída}}$ [V]						
$V_{\text{saída}}/V_{\text{fonte}}$						

- e) Retorne ao ajuste de 20 V na entrada e 10 V na saída. Observe simultaneamente as tensões nos pontos 7 e 11. Mantendo o potenciômetro fixo, novamente varie a tensão de entrada entre aproximadamente 20 e 15 V. Observe os sinais e explique.

- f) Retorne ao ajuste de 20 V na entrada. Observe os sinais nos pontos 7 e 11, varie o *potenciômetro* (o que altera a tensão no ponto 9) e comente o comportamento da largura de pulso. Retorne ao ajuste de 10 V na saída.

g) Observando simultaneamente os pontos (11) e (S) em relação ao 0, meça os atrasos para ligar e desligar o MOSFET. Considere o intervalo entre o início da variação observada no ponto S e o início da variação do sinal no ponto 11. Em especial no desligamento podem aparecer algumas oscilações no sinal de comando (ponto 11). Para estimar o atraso, considere apenas a primeira transição.

Atraso para ligar: Atraso para desligar:

h) Meça a largura de pulso ($\delta=t_T/\tau$) do sinal no ponto S e compare com o valor teórico necessário para obter 10V na saída a partir de uma entrada de 20V. (circuito ideal). Justifique a diferença.

$t_T=$ $\tau=$ $\delta=$

i) Determine o rendimento da fonte, ou seja, a relação entre a potência de entrada e a de saída. A potência de entrada pode ser obtida lendo diretamente no *display* da fonte a corrente fornecida (I_i). A potência de saída pode ser obtida da tensão V_o e da resistência da carga (V_o^2/R).

$P_i=V_{\text{fonte}} \cdot I_i=$ $P_o=$ Rendimento= $P_o/P_i=$

j) Observe simultaneamente os pontos D e C utilizando o ponto S como referência (tensão V_{ds} e corrente de dreno invertida). Meça a corrente pelo transistor no momento do desligamento, assim como a duração desta transição (tempo de aumento da tensão V_{ds}). A tensão entre os pontos C e S é observada sobre uma resistência de 1Ω .

$I_{\text{omax}}=$ $t_r=$

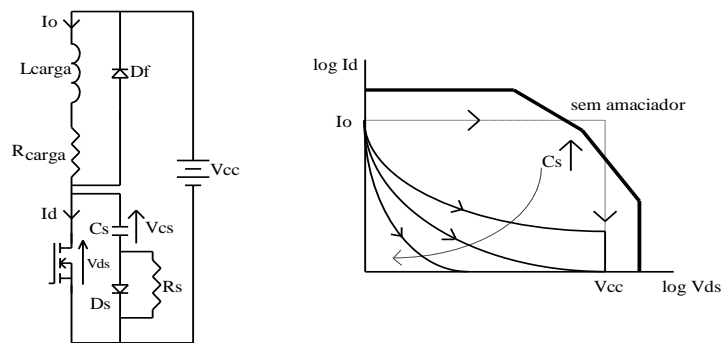
k) Faça o produto destes sinais, o que fornece a potência dissipada sobre o MOSFET. Esboce no espaço a seguir as formas de onda, indicando os valores de potência e duração dos picos nos momentos das comutações. Estime a duração dos picos de potência nas transições. Considere apenas o 1º pico, desprezando as oscilações sucessivas, se ocorrerem.

Pico de potência ao ligar: Pico de potência ao desligar:

Duração da transição para ligar: Duração da transição para desligar:

Qual transição dissipa maior energia? Qual a energia dissipada?

k) Utilizando o método descrito a seguir, dimensione um circuito amaciador para o desligamento do transistor. Use as medidas obtidas no item j) para estimar as grandezas necessárias. Deve-se usar um diodo rápido, com corrente e tensão adequada à aplicação. **TRAGA OS VALORES DE Rs E Cs CALCULADOS PARA A PRÓXIMA AULA.** Será usado um diodo 1N4148, pois a corrente é baixa neste experimento.



Circuito amaciador de desligamento e trajetórias no plano Vds x Id.

Dimensionamento simplificado de circuito amaciador de desligamento

O papel dos circuitos amaciadores é garantir a operação do transistor dentro da área de operação segura do plano Vds x Id, especialmente durante o chaveamento de cargas indutivas.

No caso de um circuito para o desligamento, os objetivos são desviar a corrente de dreno e atrasar o crescimento de Vds. Quando Vds começa a crescer, o capacitor Cs começa a se carregar (via Ds, que deve ser um diodo rápido), desviando parcialmente a corrente, reduzindo Id. O diodo de livre-circulação, Df, só conduzirá quando o capacitor estiver carregado com uma tensão Vds > VCC.

Quando o transistor liga, o capacitor se descarrega por ele, a corrente limitada por Rs. A energia acumulada em Cs é dissipada sobre Rs e no próprio transistor. O valor de Rs deve ser tal que permita toda a descarga de Cs durante o mínimo tempo ligado do transistor e, por outro lado, limite o pico de corrente em um valor inferior à máxima corrente de pico repetitiva do componente. **Deve-se usar um valor de Rs elevado** a fim de minimizar as perdas no transistor quando o capacitor for descarregado.

Considerando que Io é a corrente no momento do desligamento do MOSFET, e que a tensão por Cs cresce de forma aproximadamente linear, durante um tempo tr, especificado pelo projetista para um valor próximo do tempo de crescimento da tensão sem o amaciador, os valores da capacitância e da resistência (e sua potência) são dados, respectivamente por:

$$C_s = \frac{I_o \cdot t_r}{V_{cc}} \qquad \frac{V_{cc}}{I_{d_{pico}}} \leq R_s \leq \frac{\delta_{min}}{3 \cdot f_s \cdot C_s} \qquad P_{R_s} = \frac{C_s \cdot V_{cc}^2}{2} \cdot f_s$$

fs é a frequência de chaveamento, Id_pico é a máxima corrente repetitiva suportável pelo transistor (ver características abaixo) e δ_min é o mínimo ciclo de trabalho especificado para o conversor, tipicamente alguns %, para fontes de tensão ajustável. Para este cálculo suponha que se deseja uma tensão mínima de 4 V na saída e determine os valores de

δ_min = Cs = Rs = PRs =

Maximum Ratings				
Symbol	Characteristic	Rating IRF340/342 IRF740/742 MTM8N40	Rating IRF341/343 IRF741/743 MTM8N35	Unit
V _{DSS}	Drain to Source Voltage	400	350	V
V _{DSM}	Drain to Gate Voltage R _{GS} = 1.0 MΩ	400	350	V
V _{GS}	Gate to Source Voltage	±20	±20	V
T _J , T _{stg}	Operating Junction Temperature Storage Temperature	-55 to +150	-55 to +150	°C
T _L	Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/8" From Case for 5 s	275	275	°C
Maximum On-State Characteristics				
R _{DS(on)}	Static Drain-to-Source On Resistance	0.55	0.80	Ω
I _D	Drain Current Continuous Pulsed	10 40	8 48	A
Maximum Thermal Characteristics				
R _{θJC}	Thermal Resistance, Junction to Case	1.0	1.0	°C/W
P _D	Total Power Dissipation at T _C = 25°C	125	125	W

Dados do MOSFET

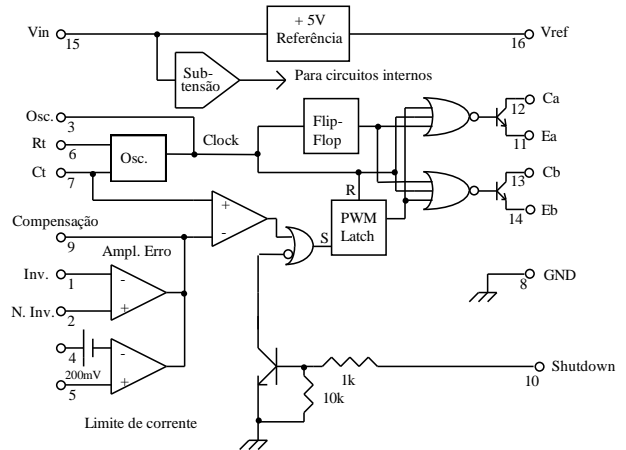
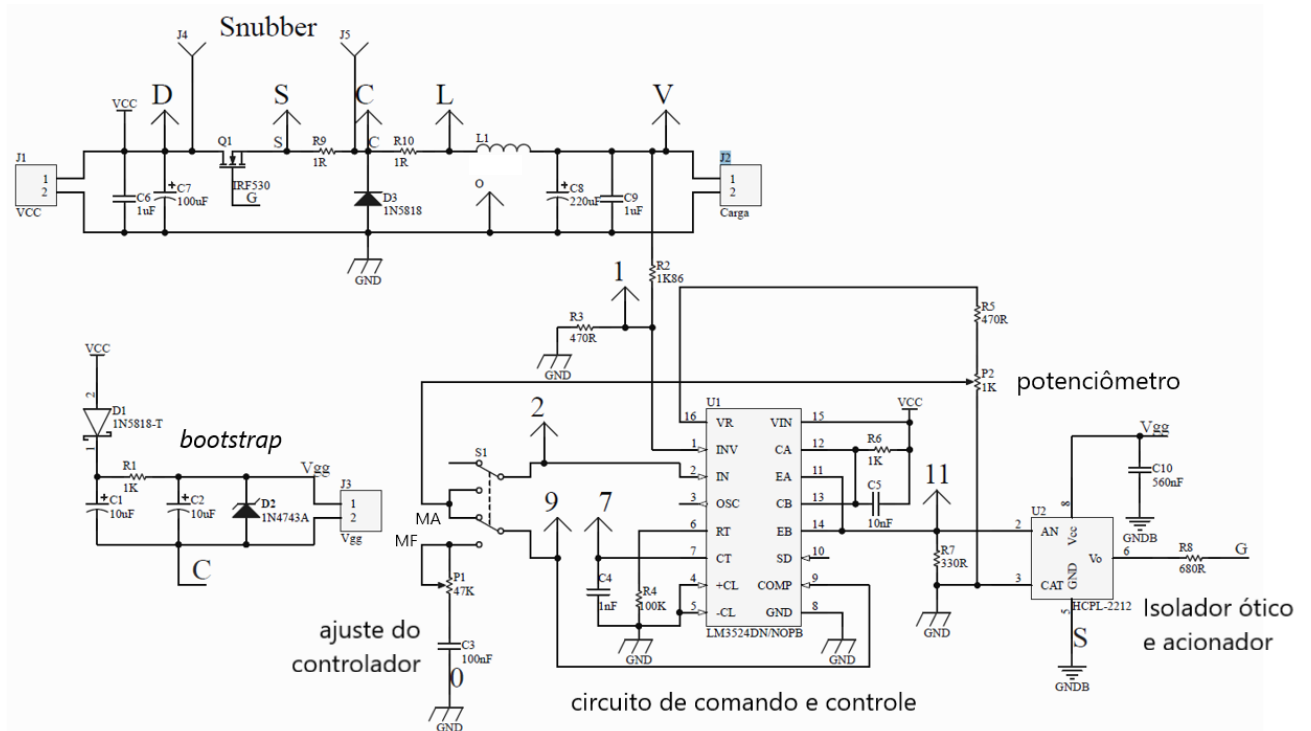
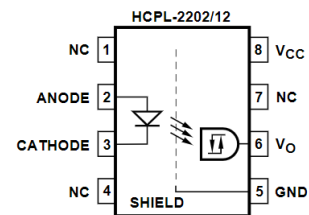
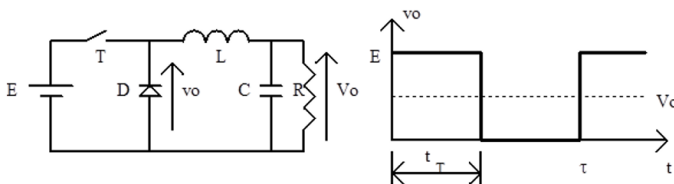
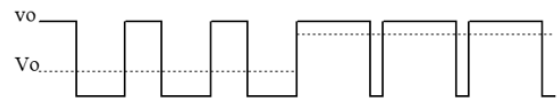
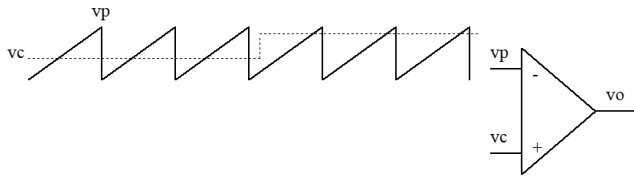


Diagrama interno do LM3524



Circuito de Teste.



Acoplador óptico e acionador do transistor.

MÓDULO 5 CONVERSORES CC-CC FONTES CHAVEADAS

Parte Experimental – Aula 2

Data: _____ Bancada n° _____ Nota: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

Circuito Integrado LM3524

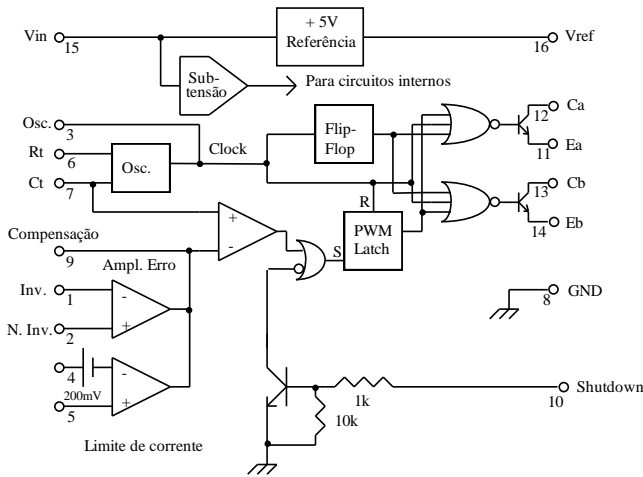
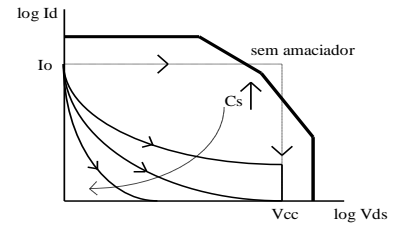
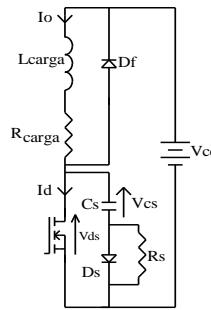
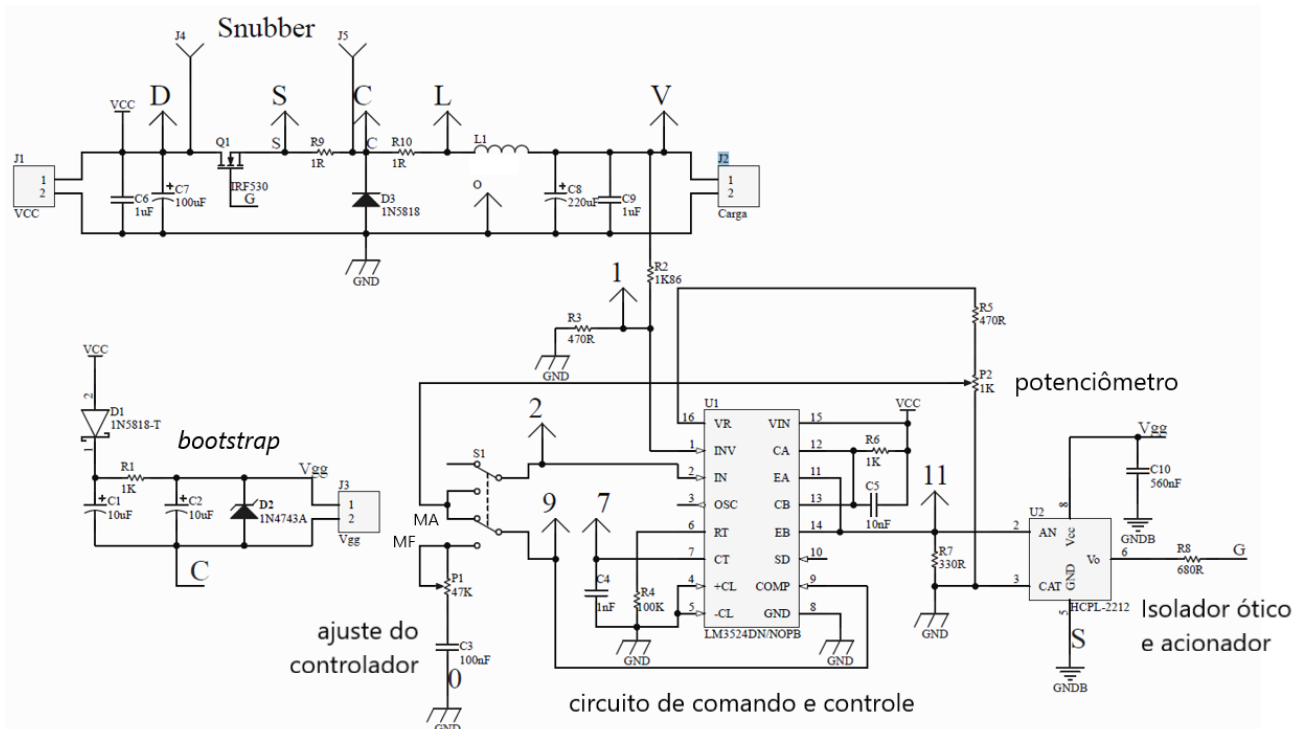


Diagrama interno do LM3524



Circuito amaciador de desligamento e trajetórias no plano $V_{ds} \times I_d$.



Operação em Malha Aberta (chave na posição MA)

k) Considerando os valores calculados na aula passada para o circuito *snubber*, monte um arranjo RCD, usando um diodo 1N4148 ou 1N914 (adequados para a corrente de ensaio). O capacitor deve ter o valor comercial imediatamente superior ao calculado, assim como o resistor. Indique os valores utilizados em sua montagem: $C_s =$ $R_s =$

l) Observe simultaneamente os pontos D e C utilizando o ponto S como referência (tensão V_{ds} e corrente de dreno invertida). Obtenha a potência instantânea multiplicando os sinais. As oscilações que se observam após o desligamento são devidas a comportamentos parasitas dos componentes e conexões. **Coloque o circuito implementado entre os pontos D e C** (nos pinos J4 e J5, veja o esquema do circuito). Cuidado para não encostar o *snubber* em outros componentes. Observe e comente as alterações nas formas de onda no desligamento do mosfet, com e sem o *snubber*, considerando apenas o pico de dissipação de potência (e não as oscilações subsequentes). Esboce os comportamentos da **potência** no **desligamento** do transistor com e sem o *snubber*.

m) Retire o circuito amaciador. Observe simultaneamente a tensão invertida (ponto V) e a corrente (ponto C) no indutor, tendo como referência o ponto L. Esboce as formas de onda, indique valores nas escalas horizontal e vertical, marque a posição do zero. Desconsidere as oscilações de alta frequência. Estime o valor da indutância. $L =$

n) Com 20 V na entrada, ajuste a largura de pulso para obter 7 V na saída. Retire os núcleos do indutor, o que reduz a indutância. Verifique se o circuito passa a operar no modo de condução descontínua. Anote o valor de $V_o =$ Recoloque os núcleos de modo a retornar ao valor inicial de indutância.

Operação em Malha Fechada (controlador PI)

Mude a posição da chave para MF. Ajuste o *trimpot* (controlador) para a máxima resistência. Ajuste o *potenciômetro* (referência) até obter 10 V na saída.

o) Meça as tensões nos pontos (1) e (2) em relação ao ponto 0. Identifique estes pontos no esquemático e analise se os valores medidos estão de acordo com a expectativa. $V_1 =$ $V_2 =$

Reconexão da carga (base de tempo 2 ms/div.):

- q) Com a carga conectada, reduza o valor do *trimpot* até que o sistema fique instável. Procure identificar o início da instabilização e meça a frequência inicial de oscilação. Verifique o valor de V_o indicado pelo multímetro. Comente, considerando os resultados obtidos no exercício preparatório em relação à situação instável.

$f_{oscilação} =$

$V_o =$
