

Data: _____

Bancada n° _____

Nota: _____

Nome: _____

RA: _____

Nome: _____

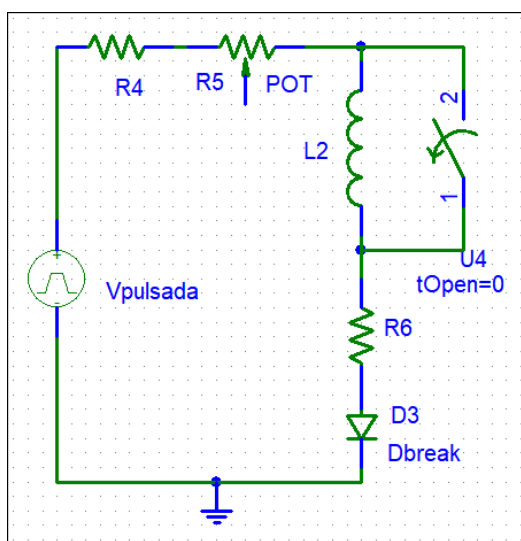
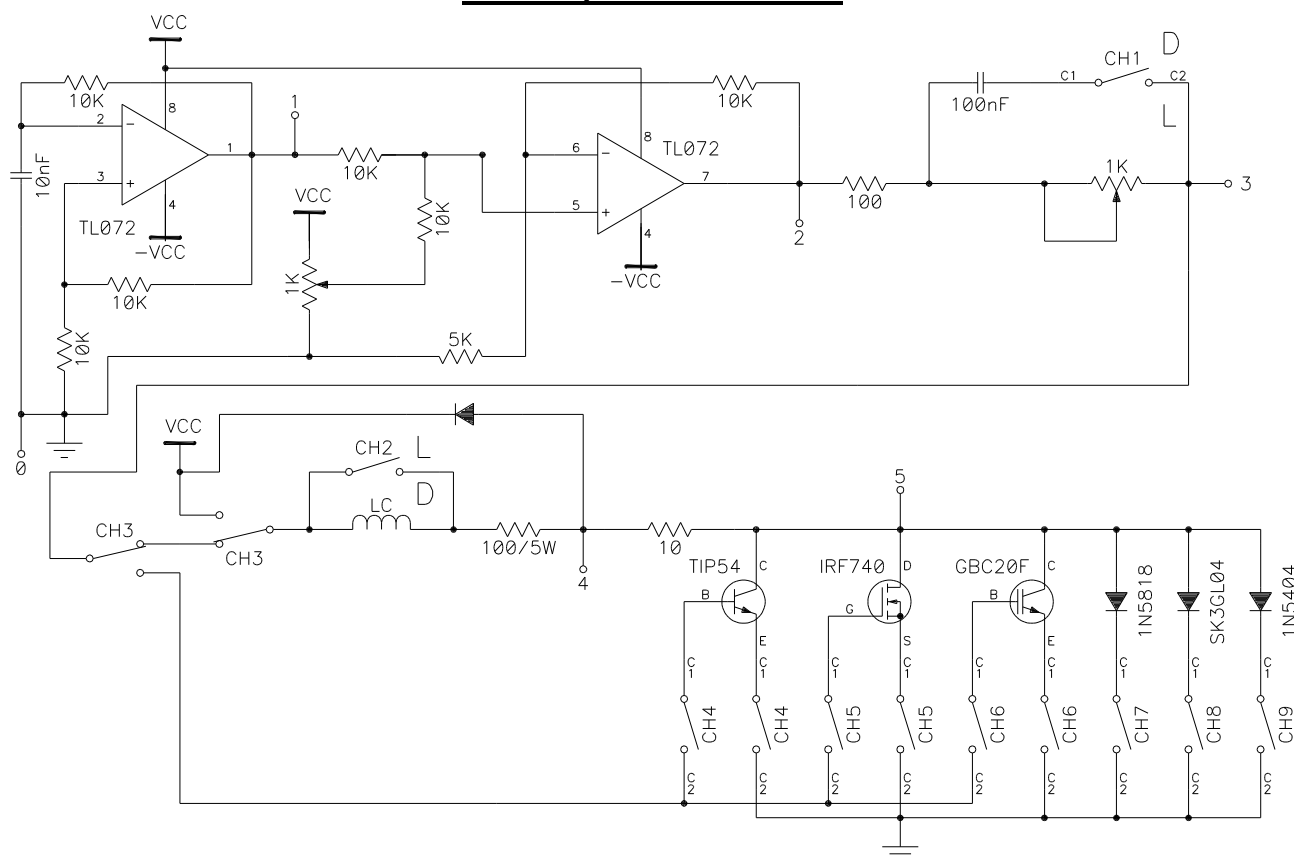
RA: _____

Nome: _____

RA: _____

MÓDULO 4: COMPONENTES SEMICONDUTORES RÁPIDOS DE POTÊNCIA

Parte Experimental: Diodos



Circuito equivalente

4.1 Oscilador de onda quadrada

- a) Coloque todas as chaves na posição D. Todas as chaves de CH4 a CH9 devem estar desligadas (posição “para baixo”). Alimente o circuito com uma fonte de +/- 15V
- b) Observe os pontos 1 e 2 (em relação ao 0). Descreva o funcionamento do oscilador cuja saída é observada no ponto 1. **Atenção**, ambos os terminais de referência das pontas de prova (“jacaré”) devem ser conectados no circuito.

- c) Varie o TRIMPOT, identifique e descreva seu efeito sobre a forma de onda no ponto 2.

- d) Para a máxima variação pico a pico da tensão no ponto 2, meça os tempos de subida e de descida no ponto 2 (use a medida automática do osciloscópio). Fazendo uso dos cursores, meça os atrasos entre os sinais dos pontos 1 e 2, em ambas as transições, tomando como referência os respectivos cruzamentos com zero.

Tempo de subida Tempo de descida

Atraso na subida Atraso na descida

4.2 Testes dos diodos

- a) Certifique-se que a tensão no ponto 2 está com variação simétrica. Coloque a chave CH3 na posição "DIODOS". Coloque o POTENCIÔMETRO na posição de **máxima resistência**. Ligue a chave CH8 (selecionando o diodo rápido SK3GL04 para o teste)
- b) Observando os pontos 2 e 5 em relação ao ponto 0, analise e **meça os atrasos nas comutações do diodo**. Faça a medida considerando o atraso entre os cruzamentos com o zero de ambos os sinais. Note que o dv/dt no ponto 5 (tensão V_{ak}) é limitado pelo comportamento do ponto 2.

Atraso para ligar Atraso para desligar

- c) Reduza a resistência do POTENCIÔMETRO ao mínimo (o que aumenta a corrente pelo diodo Colocando os "terras" de ambas as pontas de prova no ponto 5, observe o ponto 4 (corrente pelo diodo observada em um resistor de 10Ω) e 0 (inverso da tensão sobre o diodo). Estime a resistência total do circuito (além das resistências indicadas no esquemático há a resistência interna do OpAmp) com base na tensão sobre o resistor, ou seja, $(V_{cc} - V_{ak})$ e na corrente durante a condução:

$$I = \boxed{} \quad R \approx \boxed{}$$

- d) Observe inicialmente a comutação de desligamento. Estime a carga de recombinação reversa deste diodo (Q_{rr}). Esboce a forma a corrente durante a comutação de desligamento e indique os valores necessários à estimativa da Q_{rr} .

$$Q_{rr} \approx \boxed{}$$

- e) Meça o intervalo de tempo entre os instantes em que a corrente e a tensão cruzam o zero $\boxed{}$

- f) Ligue a chave CH2 (a qual conecta uma indutância em série com o diodo). Observe os pontos 4 e 0 com referência ao ponto 5. Esboce a forma da corrente e estime a indutância com base no comportamento da corrente quando o diodo entra em condução. Sugestão, faça isso identificando a constante de tempo L/R a partir da forma exponencial da corrente.

$$L \approx \boxed{}$$

- g) Explique o comportamento oscilatório observado quando o diodo desliga. Estime a capacitância equivalente a partir da frequência de oscilação.

$$C_{eq} \approx \boxed{}$$

- h) Desligue a chave CH2. Com o POTENCIÔMETRO na mínima resistência, abra a chave CH8 e feche CH9 para ensaiar o diodo retificador 1N5404. Observando os pontos 4 e 0 em relação ao ponto 5, estime a carga de recombinação reversa deste diodo. Esboce a forma da corrente durante a comutação de desligamento e indique os valores necessários à estimativa da Q_{rr} .

$Q_{rr} =$

- i) Meça o intervalo de tempo entre os instantes em que a corrente e a tensão cruzam o zero
- j) Abra a chave CH9 e feche CH7 para ensaiar o diodo Schottky (1N5818). Observando os pontos 4 e 0 em relação ao ponto 5, estime a carga de recombinação reversa deste diodo (Q_{rr}). Esboce a forma de onda da corrente durante a comutação de desligamento e indique os valores necessários à estimativa da Q_{rr} .

$Q_{rr} =$

- k) Meça o intervalo de tempo entre os instantes em que a corrente e a tensão cruzam o zero
- l) Analise comparativamente o comportamento dos três diodos no desligamento em termos de Q_{rr} e dos atrasos medidos.

Data: _____

Bancada n° _____

Nota: _____

Nome: _____

RA: _____

Nome: _____

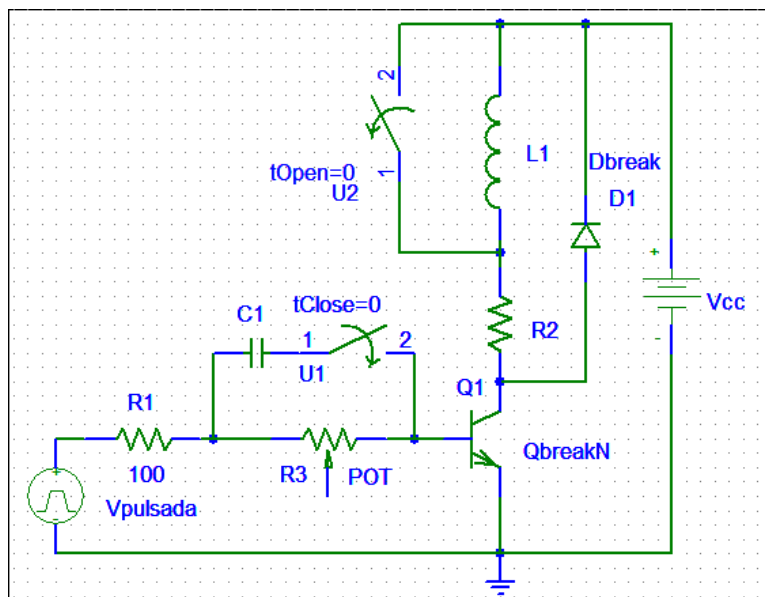
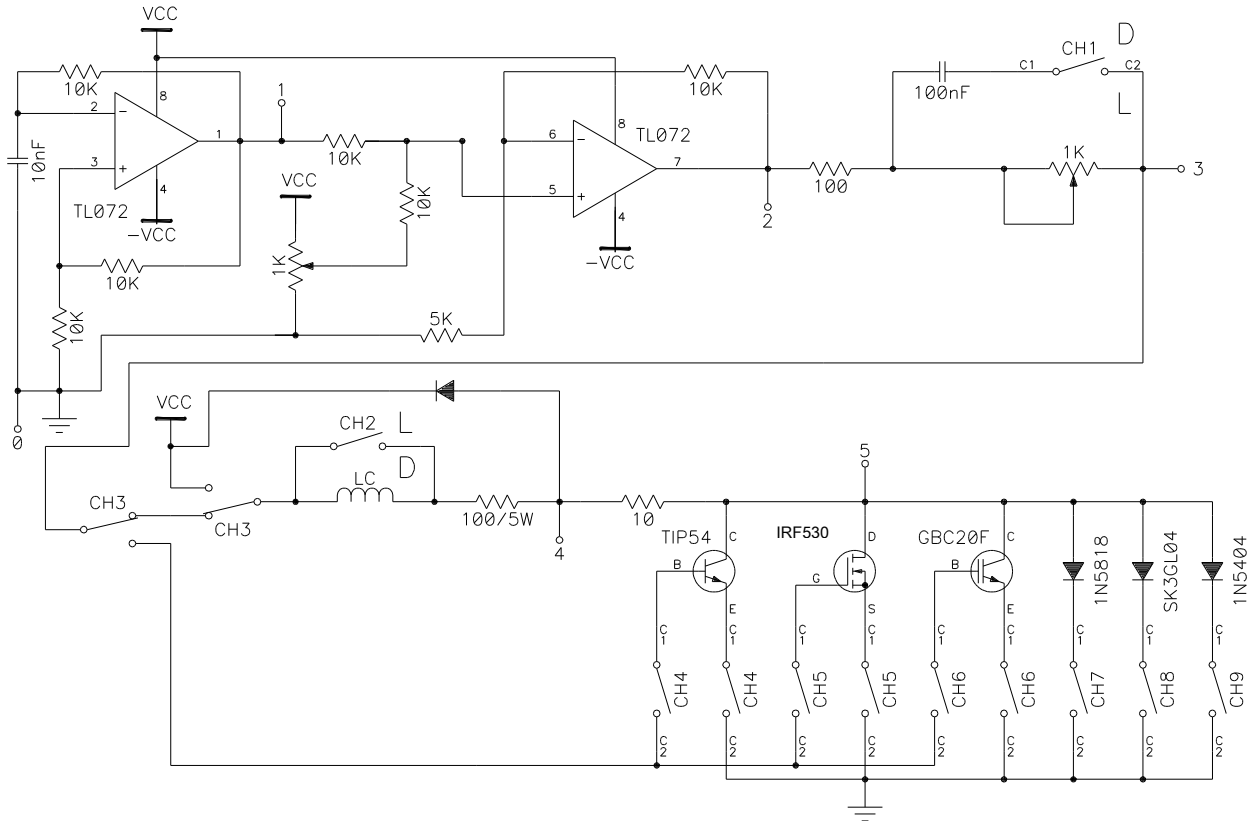
RA: _____

Nome: _____

RA: _____

MÓDULO 4: COMPONENTES SEMICONDUTORES RÁPIDOS DE POTÊNCIA

Parte Experimental: *Transistores*



- a) Verifique o sinal no ponto 2 e ajuste o **trimpot** para que a tensão seja a mais negativa possível. Desligue todas as chaves (posição D). Passe a chave CH3 para a posição "TRANSISTORES". Ligue CH5, que conecta o MOSFET ao circuito. Este sinal, com seus tempos de subida e descida (medidos na aula anterior), será usado para o comando dos transistores.
- b) Com o POTENCIÔMETRO na resistência máxima, observe os pontos 3 (tensão de *gate*, V_{gs}) e 5 (tensão dreno-*source*, V_{ds}), em ambas as transições. Esboce as formas de onda. **Observe e anote os atrasos para ligar e desligar o transistor.** Meça os atrasos medindo o intervalo entre o início da variação da tensão V_{gs} e o início da variação da tensão V_{ds} .

Atraso para ligar

Atraso para desligar

- c) A tensão de limiar é o valor da tensão de gate em que se forma o canal e, portanto, inicia a condução de corrente no MOSFET. Identifique e quantifique essa tensão no sinal do ponto 3. $V_{th} =$

- d) Varie o POTENCIÔMETRO e comente o efeito sobre os atrasos e os tempos de transição dos sinais.

- e) Com o POTENCIÔMETRO na *máxima* resistência, ligue a chave CH1 (que conecta um capacitor em paralelo com o POTENCIÔMETRO). Quantifique e comente o efeito do capacitor de *speed-up* sobre os atrasos.

Atraso para ligar

Atraso para desligar

- f) Com o POTENCIÔMETRO na *máxima* resistência, mas sem o capacitor (CH1 desligado), observe os pontos 3 e 5, varie o TRIMPOT e verifique o efeito da polarização negativa de *gate* sobre ambos os atrasos de comutação. **Explique.**

- g) Retorne o TRIMPOT para a situação de ajuste inicial (máxima tensão negativa). Desligue CH5 e ligue CH6 (conectando o IGBT). Com o POTENCIÔMETRO na posição de resistência máxima, observe os pontos 3 (tensão V_{ge}) e 5 (tensão V_{ce}). Verifique que o comando segue o mesmo comportamento do MOSFET. Meça a tensão de limiar. $V_{th} =$

- h) **Observe os pontos 3 e 5. Anote os atrasos para ligar e desligar o transistor.** Meça os atrasos medindo o intervalo entre o início da variação da tensão V_{ge} e o início da variação na tensão V_{ce} .

Atraso para ligar Atraso para desligar

- i) Desligue CH6 e ligue CH4 (conectando o TBP). Com o POTENCIÔMETRO na posição de resistência máxima, observe os pontos 2 e 5 (tensão V_{ce}).

- j) **Observe e anote os atrasos para ligar e desligar o transistor.** Meça os atrasos medindo o intervalo entre o início da variação da tensão no ponto 2 e o início da variação de V_{ce} .

Atraso para ligar Atraso para desligar

- k) Coloque o POTENCIÔMETRO no mínimo e verifique o efeito sobre os atrasos observados no item anterior. Explique o que ocorre e a razão para o comportamento do atraso no desligamento.

Atraso para ligar Atraso para desligar

- l) Para o MOSFET (CH5 ligada), com o potenciômetro em MAX e o capacitor ligado (CH1 ligada). Observe os pontos 4 e 0 (em relação ao 5), o que mostra, respectivamente a corrente de dreno (observada em um resistor de 10Ω) e a tensão V_{ds} (invertida). Verifique as formas de onda com

carga resistiva (chave CH2 posição D). Anote o valor da corrente de dreno quando o transistor conduz: $I_{d_{on}} =$

- m) Passe a chave CH2 para a posição L, o que introduz um comportamento indutivo para a carga. Verifique e esboce as alterações na forma da corrente. Verifique em detalhe a entrada em condução do transistor e explique, analisando o circuito, a origem do pico inicial de corrente. $I_{pk} =$

- n) Para carga indutiva, obtenha a potência instantânea no transistor (pela multiplicação dos canais). Meça os valores de pico da potência (lembre que a corrente está observada em um resistor de 10Ω) e a duração dos picos iniciais nas transições, Δt . Desconsidere eventuais oscilações subsequentes. Esboce as formas de onda da potência nas transições.

$P_{pico}(ligar)$ $\Delta t(ligar)$ $P_{pico}(desligar)$ $\Delta t(desligar)$

- o) Desligue a chave CH2, retornando à carga resistiva, e veja as alterações nos picos de potência nas comutações. Comente as alterações em relação ao item anterior.

$P_{pico}(ligar)$ $P_{pico}(desligar)$
