

## 1. Driver com Saturação Forte para MOSFET: Como Calcular Tudo Passo a Passo!

### Descrição

Neste tutorial técnico do Professor Bairros, você vai aprender a calcular todos os componentes de um driver com transistores para acionar MOSFETs, usando a famosa **regra da saturação forte!** Explicamos passo a passo como determinar as resistências R1, R2 e R3, a corrente do LED do optoacoplador 4N25, e como usar corretamente o parâmetro **CTR** do datasheet. Tudo com base em fundamentos sólidos, referências bibliográficas consagradas (Sedra & Smith, Marcelo Wendling - UNESP) e um toque bem-humorado com a presença do Arthurzinho.

Se você sempre teve dúvida sobre como projetar um driver confiável para chaveamento rápido de MOSFETs, esse vídeo é para você. Bora eletrizar o cérebro!

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

VISITE O SITE DO PROFESSOR BAIROS LÁ EM O PDF E MUITO MAIS.

PARA AULAS ONLINE CONTATE VIA SITE.

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

<https://www.youtube.com/@professorbairros>



The image shows a promotional graphic for Professor Bairros. On the left is a screenshot of the website [www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com), which features a navigation menu and a section titled 'APRENDA A LER RESISTORES'. On the right is a green banner with the text 'VISITE O NOSSO SITE e CANAL YOUTUBE' and the website URL and name 'www.bairrospd.com Professor Bairros'.

---

## Sumário

1.	<b>Driver com Saturação Forte para MOSFET: Como Calcular Tudo Passo a Passo! ...</b>	1
1.1.	Introdução.....	3
1.2.	A regra da saturação forte. ....	4
1.3.	Calculando a corrente de base do transistor Q3. ....	5
1.4.	A resistência de GATE do MOSFET. ....	5
1.5.	A potência na resistência de GATE.....	6
1.6.	O tempo de carga do capacitor. ....	6
1.7.	A potência na resistência de gate. ....	7
1.8.	Calculando a corrente e resistência R2 ....	8
1.9.	Calculo da corrente e resistência na base do transistor Q1. ....	8
1.10.	A resistência R1.....	9
1.11.	A corrente de entrada do circuito. ....	9
1.12.	Calculando a resistência de entrada RB ....	10
1.13.	O circuito final. ....	11
1.14.	Conclusão.....	12
1.1.	Referências .....	13

## 1.1. Introdução

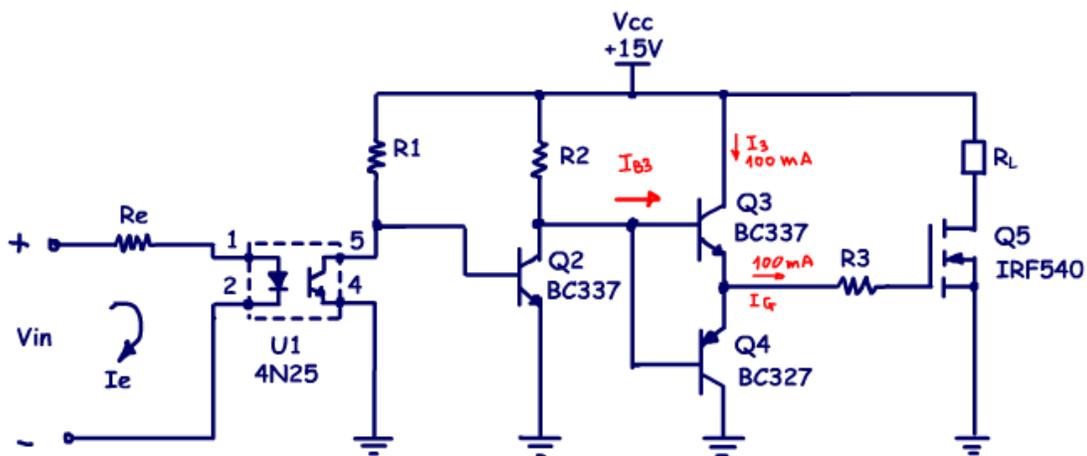
Arthurzinho pergunta com apreensão: “Como calcular os componentes do circuito da figura, um driver de MOSFET com transistores?”

Arthurzinho está olhando o projeto de um driver com transistores para acionar um MOSFET, esse do diagrama da figura, esse driver é acionado por um optoacoplador, a frequência de operação é de 25 kHz, a fonte de alimentação é de 15V, nesse caso o pico de corrente de acionamento do MOSFET deverá ficar ao redor de 100 mA.

Esse é um típico circuito de driver para MOSFET.

A questão aqui é: Como calcular os valores das resistências?

É isso que eu vou mostrar nesse tutorial.

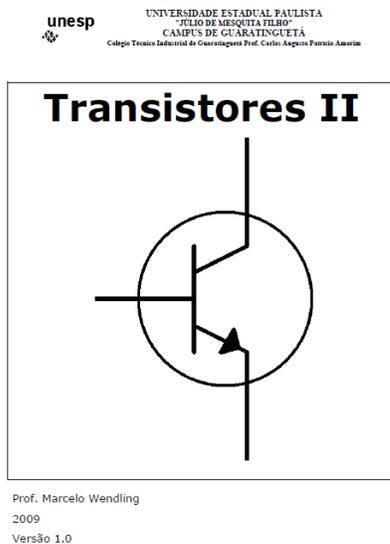


Driver com transistor para acionamento de MOSFET

O circuito.

## 1.2. A regra da saturação forte.

A questão toda é ter uma regra para calcular a polarização do transistor na saturação.

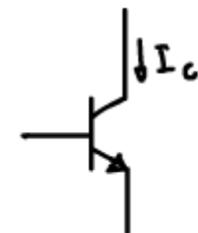


Como os transistores estão trabalhando como chaves, a regra mais simples é a da saturação forte, regra citada no livro: “SEDRA, A.; SMITH, K. *Microelectronic Circuits*. 7. ed. Oxford: Oxford University Press.” Ou ainda na postila WENDLING, Marcelo. *Transistores II*. UNESP!”.

Ou ainda na apostila da UNESP de Marcelo Wendlin.

Vamos ver o que diz a apostila do Marcelo Wendlin: “Saturação forte significa dispor de corrente da base suficiente para saturar o transistor para todas as variações de valores de  $\beta$ . No pior caso de temperatura e corrente, a maioria dos transistores de silício de pequeno sinal tem um  $\beta$  maior do que 10, a regra consiste em considerar ganho beta igual a 10!

Polarização Forte  
(transistor como chave)

$$I_B = \frac{I_C}{10} \rightarrow$$


### 1.3. Calculando a corrente de base do transistor Q3.

Portanto, uma boa orientação de projeto para a saturação forte é de considerar um  $\beta(\text{SAT}) = 10$ , ou seja, dispor de uma corrente de base que seja de um décimo do valor da corrente de coletor.

(página 4)

Essa regra simples garante que o transistor entre direto na saturação, mesmo com variações de temperatura ou lote.

Então, se a corrente no coletor do transistor Q3 é 100 mA, a corrente de base deverá ser de **10 mA**.

$$I_{B3} = \frac{I_{c3}}{10} = \frac{100\text{mA}}{10} = 10\text{mA}$$

### 1.4. A resistência de GATE do MOSFET.

O gate do MOSFET tem um comportamento capacitivo.

A resistência de GATE do MOSFET serve para limitar o pico de corrente, tanto na carga como na descarga. Na carga o transistor Q3 satura com corrente de 0,1A, 100mA, então a resistência R3 será igual a tensão de alimentação dividido pela corrente fornecida pelo transistor Q3. Para a tensão de 15V, R3 será de 150 OHM.

$$R3 = \frac{15V}{0,1A} = 150\Omega$$

Essa resistência **limita o pico de corrente** durante a carga do capacitor do gate, protegendo os transistores e o próprio MOSFET. Para o IRF540, podemos considerar que a capacitância efetiva do gate (Ciss) gira em torno de **1 nF**, está lá no datasheet.

## 1.5. A potência na resistência de GATE.

A corrente é transitória e a potência varia no tempo.

A potência na resistência será função da energia armazenada no capacitor de GATE do MOSFET, como para o IRF540 esse capacitor pode ser considerado de 1nF é só calcular a potência a partir da energia armazenada no capacitor de GATE, que é igual a metade do produto do capacitor multiplicado pela tensão ao quadrado, essa equação tem em todo o livro de física, substituindo os valores dá 112,5 nano joules, um energia muito baixa, claro o capacitor é bem pequeno.

$$E = \frac{1}{2} \cdot 1 \times 10^{-9} \cdot (15)^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \times 10^{-9} \cdot 225 = 112,5 \text{ nJ}$$

Já a potência vai depender do tempo de carga, que vai depender da frequência da onda quadrada que nesse caso é para 25kHz, mas qual o tempo de carga do capacitor?

## 1.6. O tempo de carga do capacitor.

Para saber o tempo de carga é só usar a equação prática que considera um capacitor carregado depois do tempo igual a cinco vezes a constante de tempo do circuito RC.

Como eu sei o valor do capacitor e da resistência fica fácil saber a constante de tempo é só multiplicar um pelo outro, calculando dá 150 ns.

$$\tau = R3 \times C_{gate} = 150 \Omega \times 1 \text{ nF} = 150 \text{ ns}$$

Agora o tempo de carga será de 5 vezes esse valor, calculando dá 750 ns, um tempo muito curto, já que capacitor de GATE é muito pequeno.

$$t = 5 \times \tau = 5 \times 150 \text{ ns} = 750 \text{ ns}$$

Mas, qual a potência na resistência de gate.

## 1.7. A potência na resistência de gate.

A potência na resistência deverá ser calculada a partir da potência média que é igual a energia armazenada no capacitor que é a mesma energia dissipada pela resistência, esse é o segredo, a energia deverá ser dividida pelo tempo de acionamento do gate.

A potência média é calculada dividindo a energia envolvida pelo tempo de acionamento, que é igual ao inverso da frequência, aquela equação que todo o técnico eletrônico deve conhecer, calculando para 25 kHz encontramos um tempo de 40 microssegundos.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{25000\text{Hz}} = 0,00004\text{s} = 40\mu\text{s}$$

O importante aqui é conferir que o tempo de acionamento do gate seja maior do que o tempo de carga do capacitor, é isso que acontece aqui, o tempo de acionamento de 40 microssegundos é maior do que os 750 ns do tempo de carga.

Se o tempo fosse de carga fosse maior então você teria que diminuir a frequência do sinal de acionamento.

A potência média é igual a energia dividida pelo tempo de acionamento.

$$P_{\text{média}} = \frac{E}{T} = \frac{112,5 \times 10^{-9}}{40 \times 10^{-6}} = 2,8 \text{ mW}$$

Ou seja: **dissipação média baixíssima**, embora o pulso de corrente seja de até 7,5 W no pico, mas cai rapidamente, note que a maior parte do tempo de acionamento a resistência fica sem corrente, por isso ela vai esquentar bem pouco.

Se quiser margem, considerar **0,5 W de potência nominal para o resistor** está mais do que seguro, potência na resistência de GATE não vai ser problema.

## 1.8. Calculando a corrente e resistência R2

Relembrando, a corrente de base do transistor Q3 é igual a corrente de coletor dividido por 10, regra da saturação forte, sempre lembrando que a corrente de base do transistor Q3 é a mesma corrente de coletor do transistor Q2.

A corrente de base do transistor Q3 é igual a 100mA dividido por 10, 10 mA!

$$I_{B3} = \frac{I_C}{10} = \frac{100 \text{ mA}}{10} = 10 \text{ mA}$$

Essa corrente é a mesma corrente que circula pela resistência R2, então a resistência R2 será igual a tensão VCC menos a tensão base emissor do transistor Q3 dividido pela corrente da base do transistor Q3 calculada a pouco, calculando tudo dá 1,2 KOHM comercial.

$$R_2 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{B3}} = \frac{15V - 0,7V}{1 \text{ mA}} = 1430 \text{ ohm (1,2 kohm comercial)}$$

## 1.9. Calculo da corrente e resistência na base do transistor Q1.

A corrente na base do transistor Q2 será a corrente de coletor do transistor Q2 dividido por 10, calculando dá 1mA

$$I_{B2} = \frac{I_C}{10} = \frac{0,01A}{10} = 0,001A = 1 \text{ mA}$$

Essa deverá ser a corrente desviada pelo optoacoplador, então a corrente no coletor do transistor do optoacoplador também deverá ser 1 mA.

Mas qual a corrente de entrada do circuito, a corrente no diodo do optoacoplador?

## 1.10. A resistência R1.

Mas antes vamos calcular a resistência R1, essa resistência será igual a tensão de alimentação menos a tensão VBE do transistor Q2 dividido pela corrente de base do transistor Q2.

Substituindo os valores e calculando dá 12 kOHM comercial.

Isso leva a outra forma de interpretar a regra da saturação forte, conhecendo a resistência de coletor, a resistência de base pode ser estivada como sendo 10 vezes o valor da resistência de coletor, como podemos ver aqui.

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{B1}} = \frac{15V - 0,7V}{1 \text{ mA}} = 14300 \text{ ohm (12 kohm comercial)}$$

## 1.11. A corrente de entrada do circuito.

Agora vamos a corrente de entrada e aqui vem o pulo do gato: o ganho do optoacoplador é o **CTR (Current Transfer Ratio)**, que é simplesmente a razão entre a corrente no coletor do transistor do opto dividido pela corrente do LED do opto em porcentagem.

$$CTR = \frac{I_C}{I_F} \cdot 100\%$$

Para o 4N25, o datasheet típico dá um CTR de 100%, esse é um valor típico para os opto acopladores (ou seja, a corrente no LED deverá ser igual a corrente que queremos no coletor do opto).

Mas aqui você deverá lançar mão da chamada regra segura, isso porque o CTR depende da temperatura e varia de um componente para outro, ou com o envelhecimento.

Considere um **CTR forçado de 20%** e não 100%, isso para garantir operação robusta. Assim, se você precisa de 1 mA no coletor do opto, a corrente no LED deverá ser:

$$CTR_{\text{forçado}} = \frac{I_C}{0,2} = 5 \text{ mA}$$

$$I_F = \frac{1 \text{ mA}}{0,2} = 5 \text{ mA}$$

Assim você garante operação **mesmo no pior caso** de CTR baixo.

Anota aí essa regra, ela é importante quando você estiver trabalhando com optoacoplador.

## 1.12. Calculando a resistência de entrada RB

Agora é possível calcular a resistência Rb.

Essa resistência irá limitar a corrente no LED.

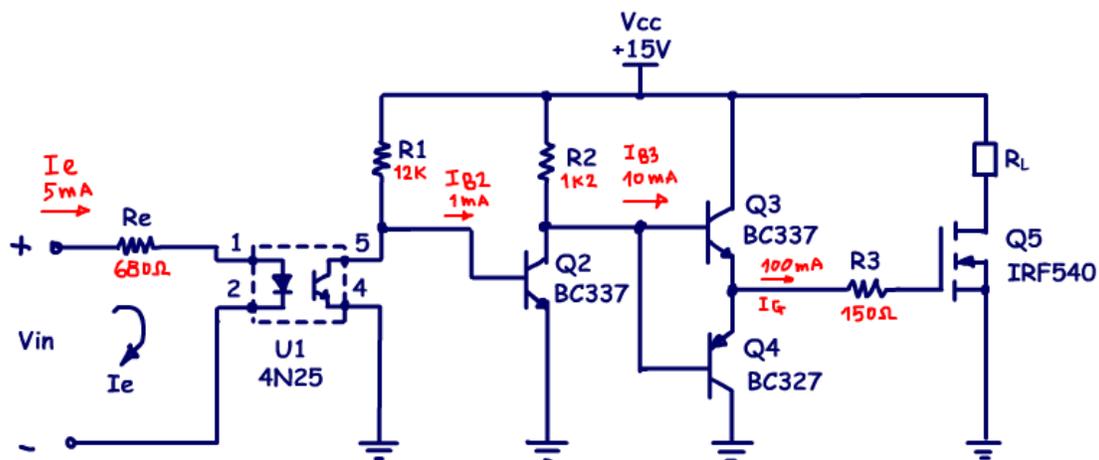
Se o circuito for acionado por um ARDUINO de 5V, a queda de tensão no LED do 4N25 é de 1,2V (valor médio no datasheet).

Então a resistência de entrada Rb será igual a 5V da tensão de entrada menos 1,2V da queda de tensão no opto sobre 5 mA a corrente no LED do opto, isso dá 760 OHM, 680 OHM comercial.

$$R_b = \frac{5V - 1,2V}{5mA} = \frac{3,8V}{0,005A} = 760\Omega \Rightarrow 680\Omega \text{ (comercial)}$$

### 1.13. O circuito final.

Veja o circuito final.



Driver com transistor para acionamento de MOSFET

Se você estiver usando outro dispositivo para acionar o driver é só ajustar a tensão de entrada.

Se você estiver usando outra tensão de alimentação agora você já sabe como calcular cada componente, é só ajustar os cálculos para a nova tensão.

Como os cálculos foram detalhados você tem condições de adaptar para o seu projeto.

---

## 1.14. Conclusão

Arthurzinho feliz montando o seu circuito do driver exclama: “Agora sim, calculei tudo direitinho, sei que vai funcionar!”

Pronto você viu como calcular todas as resistências desse circuito e você também viu como **aplicar a regra da saturação forte, entender o CTR do optoacoplador e calcular cada resistor com critério**. Se mudar a fonte ou o transistor, basta refazer os cálculos e bom proveito!

---

---

## 1.1. Referências

Driver com Saturação Forte para MOSFET: Como Calcular Tudo Passo a Passo!

**YOUTUBE:** <https://youtu.be/lbA1KtUZ-w>

**Apostila da UNESP:**

[https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWending/1---transistores-ii---v1.0.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWending/1---transistores-ii---v1.0.pdf?utm_source=chatgpt.com)