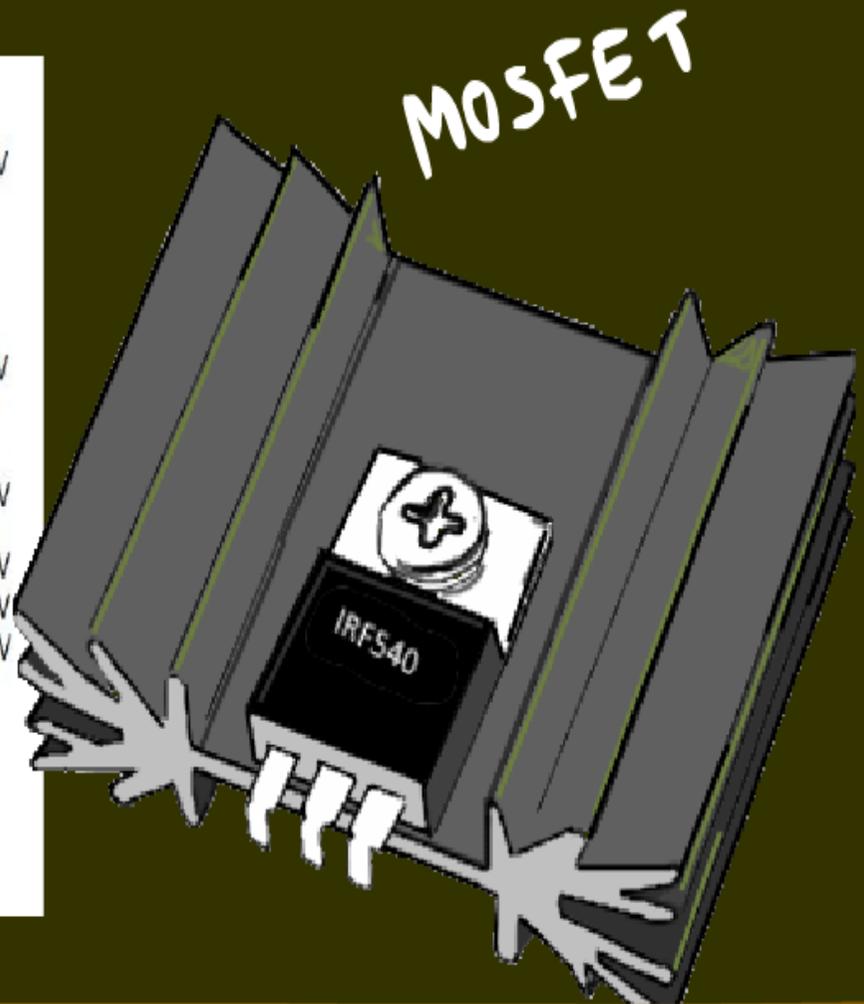
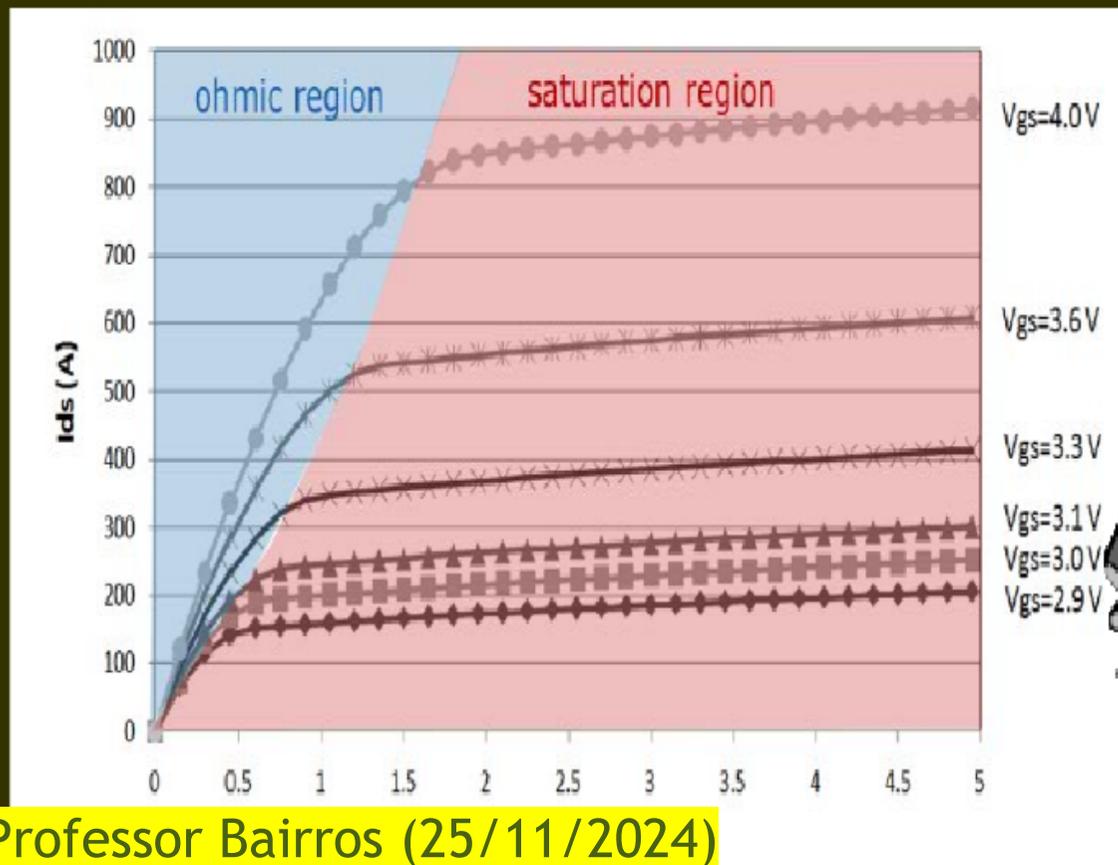


Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear

LINEAR



VEJA OS CUIDADOS PARA USAR O MOSFET NO MODO LINEAR!



**VISITE
O NOSSO
SITE e
CANAL
YOUTUBE**
www.bairrospd.com
Professor Bairos

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

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

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

Sumário

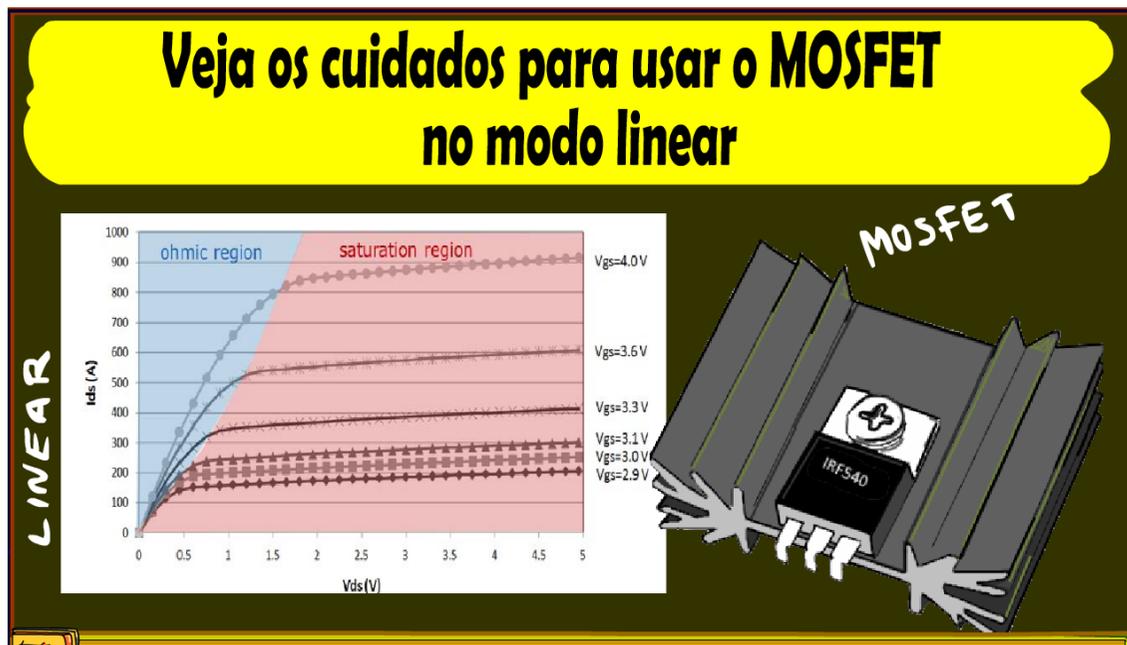
1. Introdução.	5
2. O gráfico da área de operação segura (SOA)	6
3. A região de saturação e o modo linear.	7
4. Região ôhmica.....	8
5. Exemplo de MOSFET na região linear.	9
6. Aplicações do MOSFET no modo linear.	10
7. O funcionamento.	11
8. A dissipação de potência no MOSFET.	12
9. A resistência DRENO SOURCE.	13
10. Operação no modo linear parcial.	14
11. O gráfico.....	15
12. O conversor BUCK.	16
13. Os MOSFETs modernos.....	17
14. O gráfico da área de operação segura o SOA.	18
15. A área de operação segura.	19
16. Escolhendo o MOSFET certo para operação em modo linear	20
17. Tempo de operação no modo linear.....	21
18. Operação contínua em modo linear	22
19. Tempo de operação.....	23

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

20.	Conclusão.	24
21.	Créditos.....	25

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

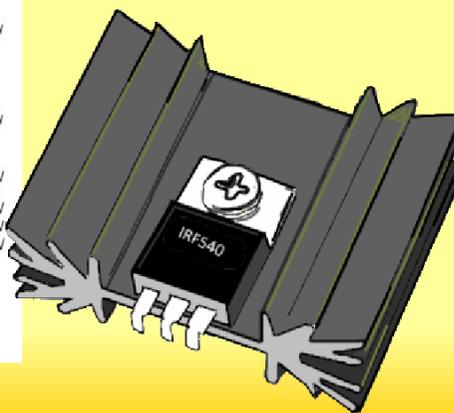
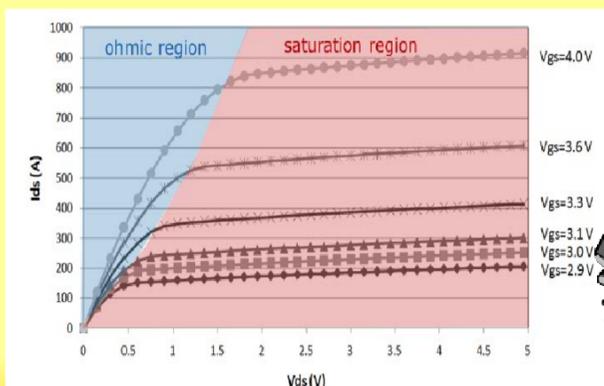


YOUTUBE: <https://youtu.be/HOTJ1ArdevM>

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

1. Introdução.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear



Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

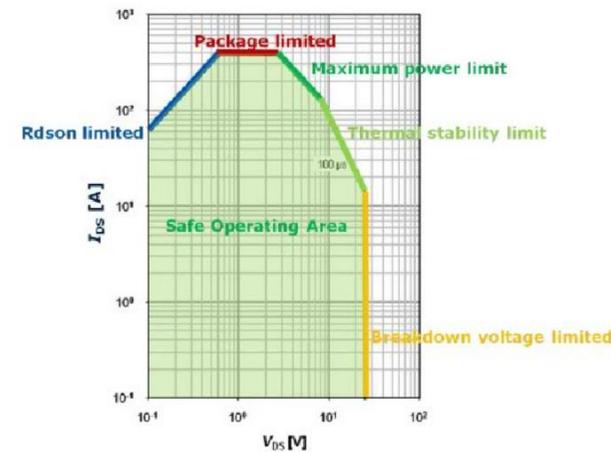
Os MOSFETs de potências utilizados hoje em dia são usados principalmente em circuitos de chaveamento e os modernos MOSFETs se caracterizam por uma área de Silício muito menor do que os MOSFETs de 10 anos atrás, Isso fez com que o manuseio de energia melhorassem muito e o valor da resistência DRENO SOURCE de ligado, o $R_{DS(on)}$, diminuísse muito, isso tudo é fantástico, mas como manter o MOSFETs operando dentro da área segura em aplicações lineares?

É isso que nós vamos ver neste tutorial.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

2. O gráfico da área de operação segura (SOA)

2.O gráfico da área de operação segura (SOA)



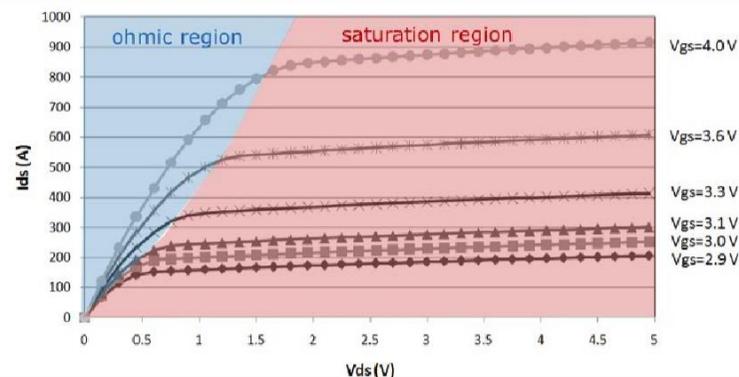
Neste tutorial vamos falar especialmente na aplicação do MOSFETs trabalhando no modo linear.

No modo linear o MOSFET é submetido a alta dissipação de energia isso tudo porque nesse modo de trabalho o MOSFET está submetido a altas correntes e tensões entre o DRENO e o SOURCE , tudo ao mesmo tempo, nesse caso o gráfico da área de operação segura o famoso SOA é uma ferramenta fundamental para avaliar durante o projeto se o MOSFET vai suportar bem o regime de trabalho, senão poderemos ter fogo no parquinho.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

3. A região de saturação e o modo linear.

3.A região de saturação e o modo linear.



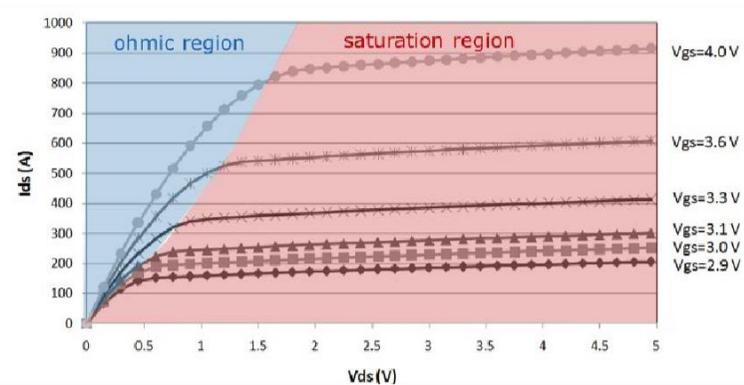
Agora vou tratar de um conceito importante.

O MOSFET está trabalhando na região linear quando ele estiver trabalhando como amplificador e não como uma chave que está ligada ou desligada, como a gente está acostumado a lidar com o transistor de junção a região do transistor em que ele trabalha como chave é chamada de saturação, no MOSFET é diferente, quando você quiser que o MOSFET trabalhe como amplificador aí é que ele deve ser polarizado na região chamada de saturação, essa região vermelha do gráfico, onde a corrente de DRENO e a tensão DRENO SOURCE são altas, nessa região o MOSFET tende a esquentar mais do que quando está operando como chave.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

4. Região ôhmica.

4.Região ôhmica.



Quando o MOSFET tá trabalhando como chave ele deverá ser polarizado na região em azul do gráfico, essa região é chamada de região ôhmica, note que nessa região a tensão DRENO SOURCE é muito baixa, como deve ser a tensão entre os contatos de uma chave, no transistor de junção a gente diz que ele está saturado, mas não podemos dizer isso no MOSFET, quando MOSFETs tá saturado ele está trabalhando como amplificador e não como uma chave, claro que isso confunde muitos técnicos, mas não os seguidores do Professor Bairros é claro.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

5. Exemplo de MOSFET na região linear.

5.Exemplo de MOSFET na região linear.

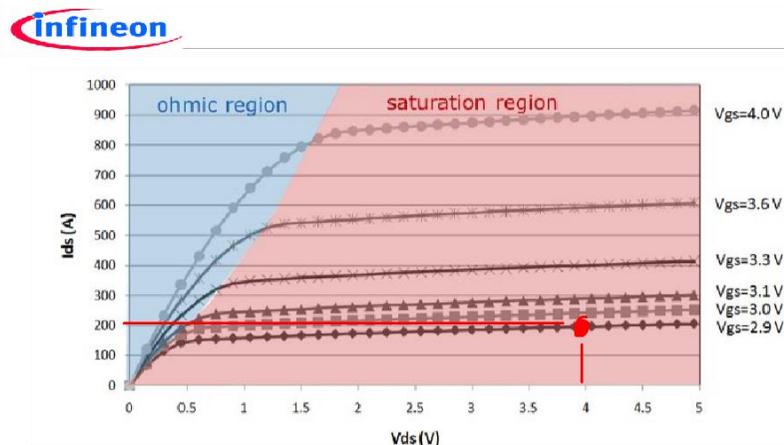


Fig. 1: Output characteristics of a Power-MOSFET (OptiMOS™ 25V, BSC010NE2LS [1]). The blue shaded area indicates the operation in the ohmic region, the red shaded region represents linear mode operation.

Nada melhor do que ver um exemplo.

Esse é o gráfico de transferência do MOSFET indicado na figura, tirei essa figura de uma aplicação da Infineon!

Para uma tensão GATE SOURCE (V_{GS}) de 2,9 volts, a tensão DRENO SOURCE (V_{DS}) fica ao redor de 4 volts e a corrente de DRENO fica ao redor de 200 Ampères, veja que a potência no MOSFET vai ficar ao redor de 800 watts, uma potência muito alta, então se não tomar cuidado o MOSFET vai derreter, é aí que entra o diagrama da área de operação segura, isso para verificar se o MOSFET vai trabalhar seguro nesse regime de polarização, isso é muito importante pois a operação fora da especificação pode tanto queimar o

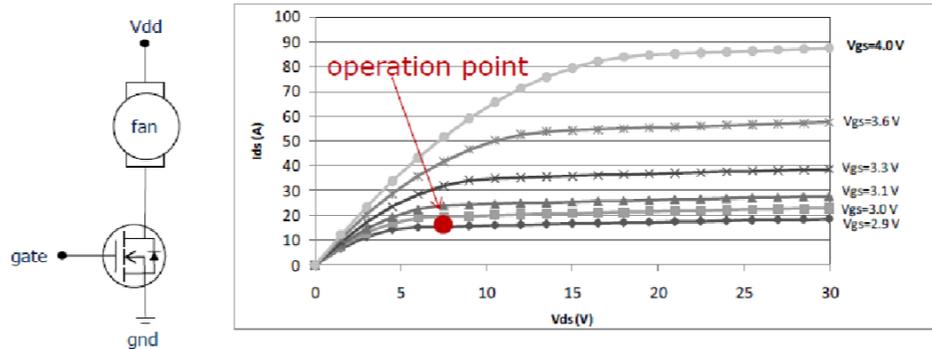
dispositivo como diminuir a sua confiabilidade, ou tempo de vida e em casos graves de violação das especificações, pode ocorrer uma falha catastrófica, mas conhecida como fogo no parquinho.

Para verificar se o MOSFET está dentro da área segura é necessário entender as características das tensões e correntes em função do tempo, é sobre isso que eu vou falar logo a seguir.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

6. Aplicações do MOSFET no modo linear.

6. Aplicações do MOSFET no modo linear.



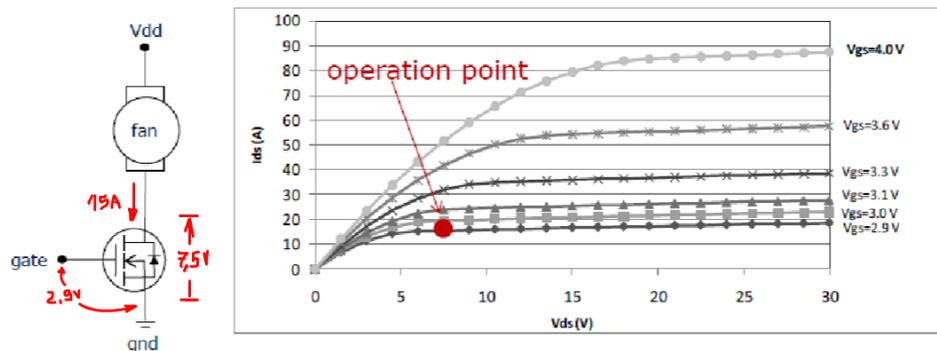
Existem muitas aplicações do MOSFET operando no modo linear e mais ainda mesmo o MOSFET trabalhando como chave ele pode operar brevemente na região linear tudo vai depender da velocidade da comutação.

Veja o circuito da figura onde o MOSFET é usado para controlar a velocidade do motor do ventilador, mas também poderia ser um carregador de bateria, a função do MOSFET é controlar a corrente através do motor ventilador, nesse caso a corrente é controlada somente pelo MOSFET então ele vai estar trabalhando no modo linear.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

7.0 funcionamento.

7.0 funcionamento.

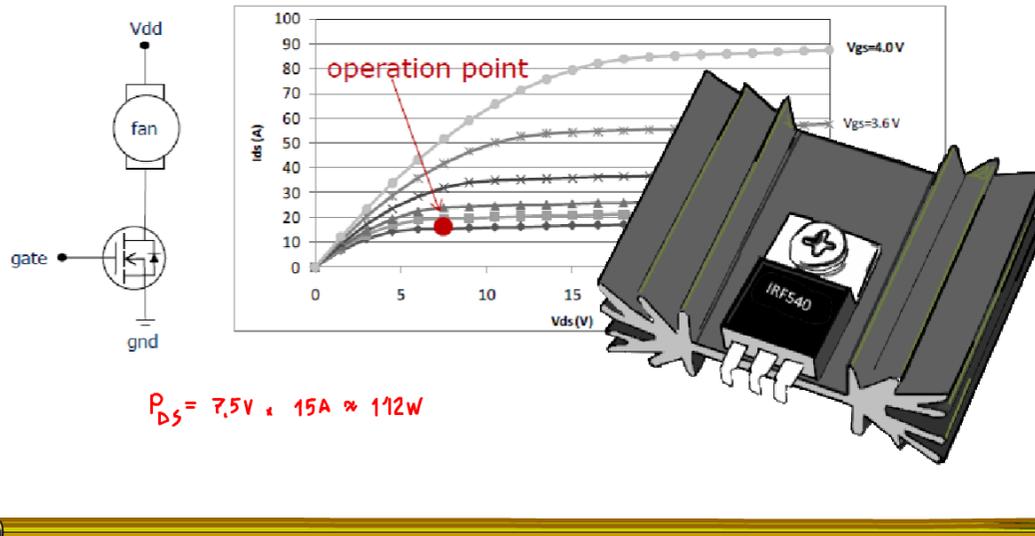


O funcionamento pode ser visto facilmente olhando a curva de transferência do MOSFET essa da figura, nesse exemplo o ponto em vermelho, é o ponto de operação do MOSFET, a tensão DRENO SOURCE (V_{DS}) é de 7 e meio volt, isso faz com que o MOSFET force uma corrente de 15 Ampères no motor, isso irá fazer o motor rodar numa velocidade específica, se aumentar a tensão Gate SOURCE a corrente DRENO SOURCE vai aumentar e o motor vai girar mais rápido e note que a corrente não depende do motor, depende somente do MOSFET.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

8. A dissipação de potência no MOSFET.

8.A dissipação de potência no MOSFET.

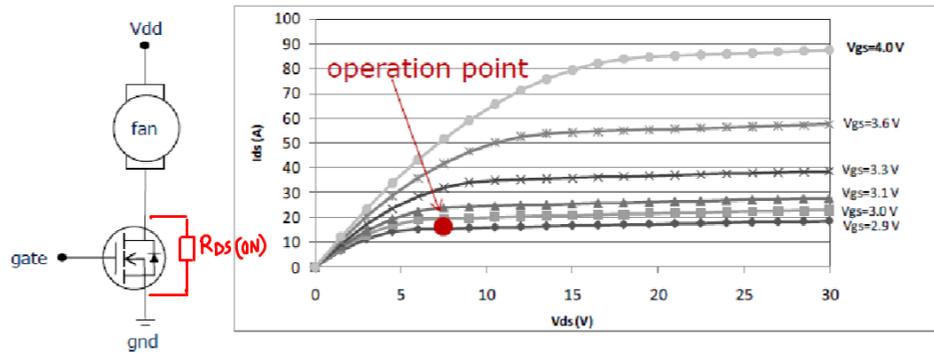


A questão toda aqui é que o MOSFET está trabalhando no modo linear e deverá dissipar uma potência da ordem de 112 watts, então todo o cuidado deverá ser tomado para ajudar o MOSFET a dissipar essa potência, ele deverá ser montado junto com um bom dissipador ou quem sabe até um ventilador.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

9. A resistência DRENO SOURCE.

9.A resistência DRENO SOURCE.



$$P_{DS} = V_{DS} \cdot I_{DS}$$

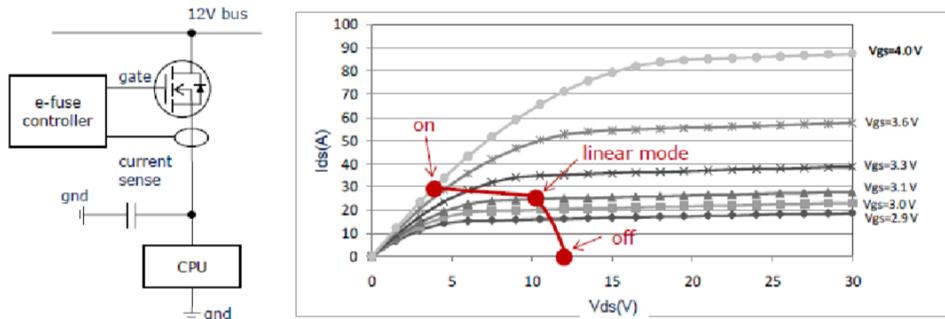
~~$$P_{DS} = I_{DS}^2 \cdot R_{DS(on)}$$~~

Note que nesse caso a resistência DRENO SOURCE que é tão importante no modo de chaveamento, aqui não tem a menor importância, a energia dissipada no MOSFET vai ser função somente da tensão DRENO SOURCE e de corrente DRENO SOURCE, e essa corrente é função do gráfico de transferência do MOSFET.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

10. Operação no modo linear parcial.

10. Operação no modo linear parcial.



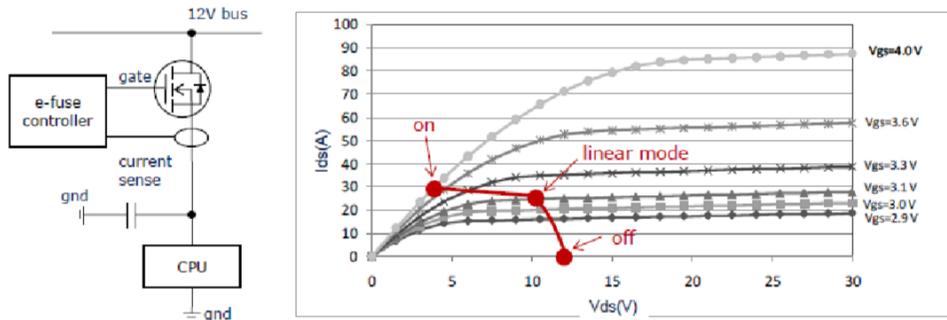
Existem algumas aplicações em que o MOSFET opera só parte do tempo na região linear, é o caso dos circuitos chamados e-fuse, ou fusível eletrônico, nesse circuito o MOSFET é polarizado na região linear quando o circuito é ligado evitando dessa forma altas correntes de partida.

Durante a partida o MOSFET é polarizado no modo linear, quando então o circuito detecta a corrente e polariza o GATE de forma correta, polarizando na região ôhmica, então o MOSFET passa a se comportar como uma chave ligada.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

11. O gráfico.

11.O gráfico.

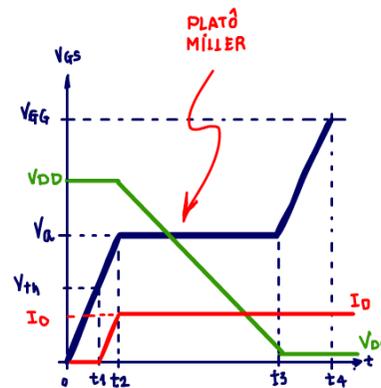
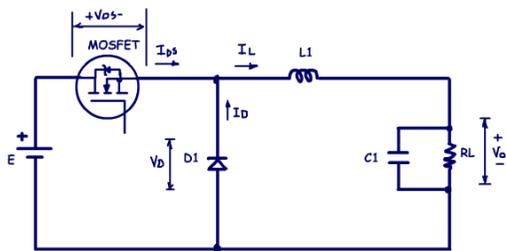


Você pode ver os 3 pontos de operação no gráfico da figura, primeiro MOSFET está desligado, depois ele liga brevemente no modo linear, e na terceira etapa ele passa a operar como uma chave ligada, o ponto crítico nesse tipo de circuito é o tempo que o MOSFET está operando no modo linear, é durante essa transição do desligado para ligado é que o MOSFET vai esquentar mais, felizmente esses tempos são da ordem de micro segundos, mas em alguns casos podem chegar a Mili segundos, então uma verificação cuidadosa da área de operação segura deverá ser feita.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

12. O conversor BUCK.

12.O conversor BUCK.



Quando o MOSFET é usado como chave, como em um conversor buck, ele também entra em operação no modo linear por um período de tempo muito curto.

A operação de modo linear começa exatamente quando a tensão GATE SOURCE (V_{GS}) do MOSFET está na tensão limite a tensão de threshold ($V_{GS(th)}$) e termina com a tensão DRENO SOURCE atingindo zero volt.

Isso corresponde no final do platô de Miller, veja na figura o gráfico de comutação do MOSFET, essa comutação se dá aos passos, o platô de Miller é aquela reta entre os tempos t_2 e t_3 .

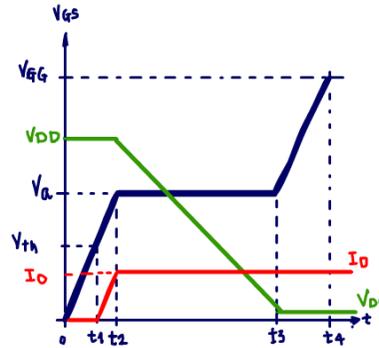
Em outras palavras: durante o evento de comutação, o MOSFET opera no modo linear e o tempo é uma

característica particular de cada MOSFET.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

13. Os MOSFETs modernos.

13.Os MOSFETs modernos.



Mas, não se preocupe, os modernos MOSFETs de potência apresentam tempo de comutação dramaticamente curtos. Os MOSFETs de 25V-250V de última geração são capazes de ficar da região de saturação somente por alguns nanossegundos.

Mas cuidado, qualquer redução no tempo de comutação pode fazer o MOSFET esquentar, essa alteração pode ser causada por uma resistência de GATE maior do que o apropriado ou ainda por um driver inapropriado.

Então, se o MOSFET está esquentando fique atento quanto aos tempos de comutação, trate de diminuir o tempo de comutação aumentando a corrente de GATE, seja mudando o driver ou diminuindo a resistência de

GATE e claro, verifique se o MOSFET não está operando fora da área de operação segura.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

14. O gráfico da área de operação segura o SOA.

15.A área de operação segura.

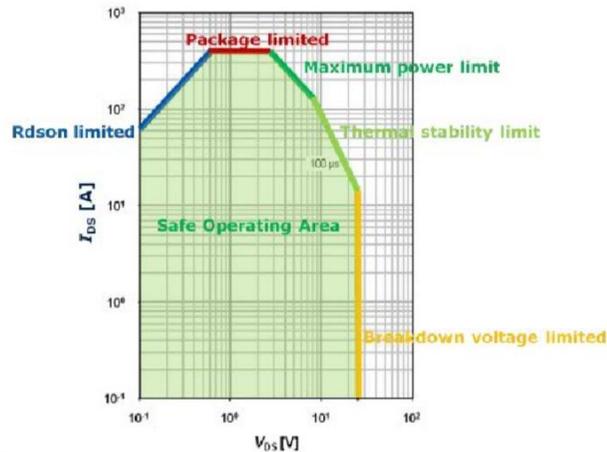


Fig. 4 Safe operating area diagram of a 25V Power MOSFET (BSC010NE2LS). The SOA is shown for 100μs pulse time and the limiting lines are indicated.

A gente falou tanto no gráfico da área de operação segura que não custa nada dar uma revisada nos conceitos envolvidos nesse gráfico.

Na figura mostra o diagrama o gráfico da área de operação segura o SOA.

Nesse exemplo é de um MOSFET de potência da Infineon o BSC010NE2LS, mas o conceito se aplica a qualquer outro MOSFET.

O gráfico possui cinco linhas de limites que são a linha de limite RDS(on) (linha azul), a linha de limite de corrente (linha vermelha), a linha de limite de potência máxima (linha verde escura), a linha de limite de instabilidade térmica (linha verde clara) e a linha de limite de tensão de ruptura (linha amarela).

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

15. A área de operação segura.

15.A área de operação segura.



Fig. 4 Safe operating area diagram of a 25V Power MOSFET (BSC010NE2LS). The SOA is shown for 100 μ s pulse time and the limiting lines are indicated.

Dentro dessas linhas a área sombreada em verde fornece a área onde o MOSFET pode ser operado com segurança.

Neste exemplo, o gráfico da área de operação segura é calculado para uma temperatura constante de $T_c=25^\circ\text{C}$ e um único pulso com duração de 100 μ s.

O datasheet normal fornece um gráfico com mais linhas de limite para vários comprimentos de pulso até operação contínua (operação CC).

O gráfico mais usado é esse mesmo a 25 graus centígrados, mas dá para calcular os novos valores para outras temperaturas, mas isso é assunto para outros tutoriais.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

16. Escolhendo o MOSFET certo para operação em modo linear

16. Escolhendo o MOSFET certo para operação em modo linear

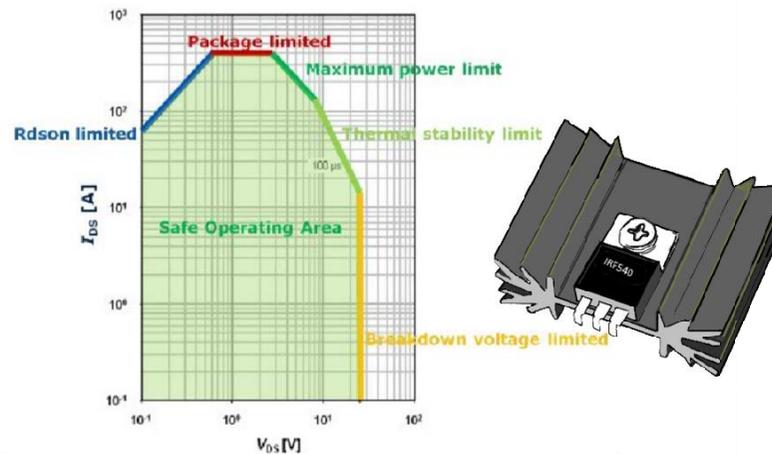


Fig. 4 Safe operating area diagram of a 25V Power MOSFET (BSC010NE2LS). The SOA is shown for 100µs pulse time and the limiting lines are indicated.

Conforme discutido até agora, a operação no modo linear o MOSFET vai trabalhar com tensões DRENO SOURCE e correntes DRENO SOURCE muito altas, tudo ao mesmo tempo, isso vai ter uma consequência importante, a dissipação de energia será alta.

O diagrama da área de operação segura (SOA) é uma ferramenta importante para avaliar se o MOSFET está operando de modo seguro ou não.

A partir da observação da área de operação segura podemos listar algumas dicas para operar com o MOSFET de forma segura no modo linear.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

17. Tempo de operação no modo linear.

17. Tempo de operação no modo linear.

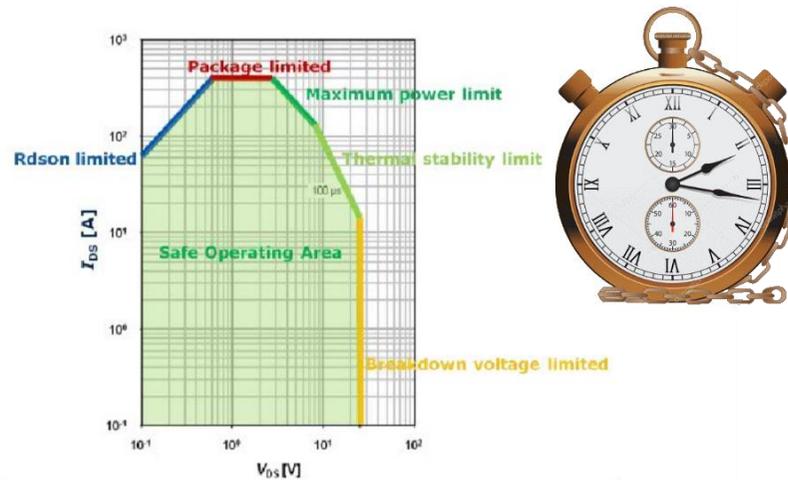


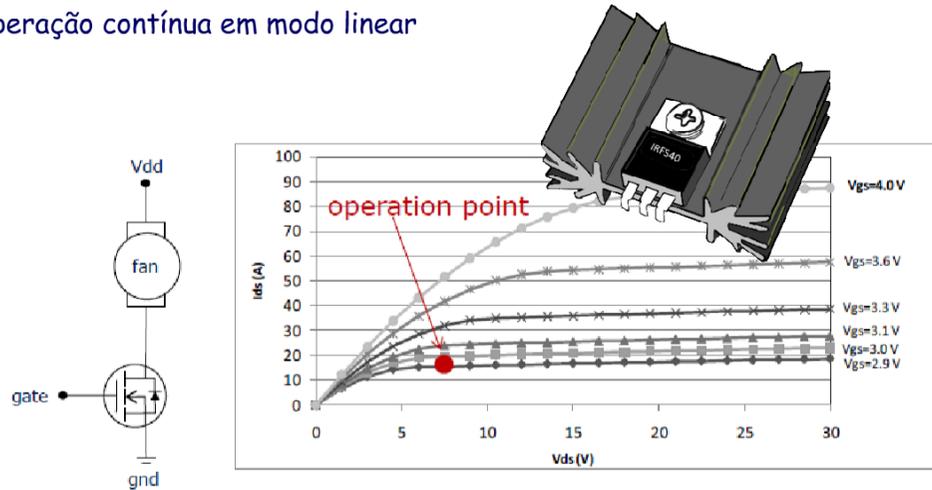
Fig. 4 Safe operating area diagram of a 25V Power MOSFET (BSC010NE2LS). The SOA is shown for 100µs pulse time and the limiting lines are indicated.

Primeiramente, é importante entender se o MOSFET vai trabalhar continuamente no modo linear (por exemplo, fonte de corrente) ou se o MOSFET passa pela região de operação em modo linear por um período de tempo antes de ser totalmente ligado, por exemplo nas fontes chaveadas.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

18. Operação contínua em modo linear

18. Operação contínua em modo linear



Em caso de operação contínua no modo linear, os parâmetros da resistência DRENO SOURCE $R_{DS(on)}$ e os parâmetros dinâmicos do MOSFET são irrelevantes para avaliar a dissipação de energia, mas o gráfico da operação segura SOA é a principal ferramenta para quem está projetando ou adaptando um MOSFET na região linear. Nesse caso o projeto térmico deve ser feito com mais cuidado e portanto, os MOSFETS com baixa resistência térmica entre a junção e a carcaça Z_{thJC} são os mais adequados. O projeto deverá se preocupar em remover o calor gerado, um projeto com dissipador adequado e ventiladores deverão ser levados em conta e aqui tem uma dica valiosa da Infineon, a instabilidade térmica pode ser evitada utilizando MOSFETS com baixo ponto térmico, isso é

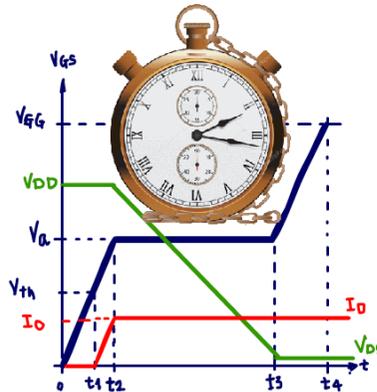
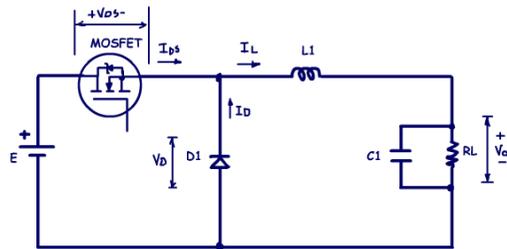
com área do chip maior, sabe o que isso significa?

Isso significa que os MOSFETs de gerações tecnológicas anteriores são melhores para essa aplicação do que os MOSFETs modernos, mas se escolher um MOSFET modernos escolha um com tensão nominal bem acima da tensão do circuito.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

19. Tempo de operação.

19. Tempo de operação.



Se o MOSFET passar pela região de operação do modo linear por um determinado período de tempo, situação muito comum nos circuitos das fontes chaveadas, observe com cuidado o tempo do pulso de comutação para avaliar se o MOSFET pode lidar com a energia gerada durante esse tempo.

O projeto deverá avaliar também se o MOSFET está operando dentro da área de operação segura (SOA) ou não.

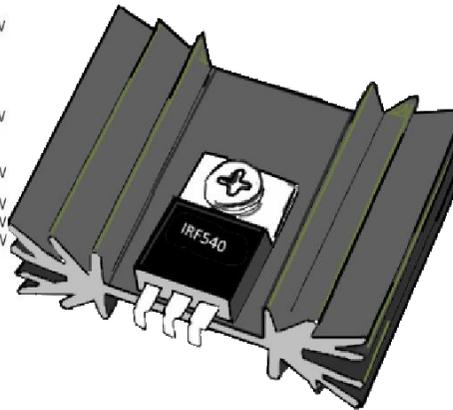
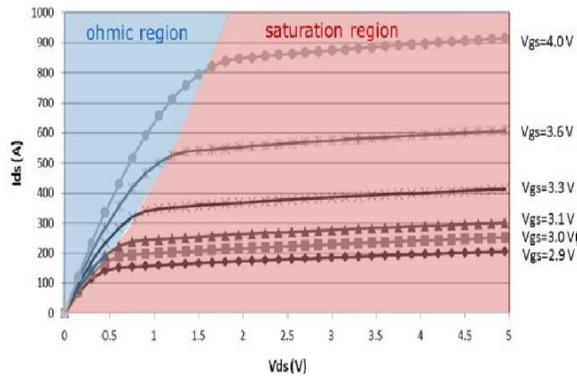
A dica aqui é que o MOSFET mais adequado é aquele com baixa resistência térmica entre a junção carcaça Z_{thJC} e resistência DRENO SOURCE de ligado muito baixa $R_{DS(on)}$, nesse caso essa resistência é importante.

E não esqueça de não alterar o circuito de acionamento do MOSFET, não altere o valor da resistência de GATE nem troque o driver por outro!

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

20. Conclusão.

20. Conclusão.



Você viu nesse tutorial uma avaliação do MOSFET operando no modo linear, uma operação pouco comum, e eu mostrei que essa avaliação também é importante quando o MOSFET está operando como chave, como nas fontes chaveadas, e deixei algumas dicas para usar o MOSFET nessas aplicações, bom proveito.

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

21. Créditos

E por favor, se você não é inscrito, se inscreva e marque o sininho para receber as notificações do canal e não esqueça de deixar aquele like e compartilhar para dar uma força ao canal do professor bairros.

Arthurzinho: E não tem site.

Tem sim é www.bairrospd.com lá você encontra o PDF e tutoriais sobre esse e outros assuntos da eletrônica

E fique atento ao canal do professor bairros para mais tutoriais sobre eletrônica, até lá!

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

VISITE O SITE DO PROFESSOR BAIROS LÁ TEM O PDF E MUITO MAIS

PARA AULAS ONLINE CONTATE VIA SITE

www.bairrospd.com

SOM: pop alegre Mysteries -30 (fonte YOUTUBE)

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear!

20241124 Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear

Veja os cuidados para usar o MOSFET no modo linear

Introdução.

Os MOSFETs de potências utilizados hoje em dia são usados principalmente em circuitos de chaveamento e os modernos MOSFETs se caracterizam por uma área de Silício muito menor do que os MOSFETs de 10 anos atrás, Isso fez com que o manuseio de energia melhorassem muito e resistência dreno source de condução, $R_{DS(on)}$, diminuíssem muito, Isso tudo é fantástico, mas como manter o MOSFETs operando dentro da área segura?

É isso que nós vamos ver neste tutorial.

Assuntos relacionados.

Quanta teoria eu preciso para trabalhar com eletrônica?: <https://youtu.be/-5T6T3sljDo>

YOUTUBE: <https://youtu.be/HOTJ1ArdevM>

MOSFET, MOSFET com amplificador, MOSFET operando na região linear, cuidados para usar o MOSFET no modo linear,