

## Transistor

- Dispositivo de três camadas
- Usado para controlar sinais elétricos
- Funções mais usais de controle:
  - Amplificação
  - Chaveamento
- Dispositivo ativo:
  - Pois converte uma energia de uma fonte dc em uma energia de sinal controlado
- Tipos:
  - Transistor Bipolar de junção
  - Transistor de Efeito de campo

## Transistor Bipolar

- Consiste em três camadas de diferentes dopagens, p-n-p ou n-p-n
- As três camadas são chamadas:
  - Emissor
  - Base
  - Coletor
- ALGUÉM COLOCA A FIGURA 7.3 e 7.4
- Relações entre as correntes:
  - $I_{cp} = B \cdot I_{ep}$ 
    - $B$  = fator de transferência da base
  - $I_{ep} = \gamma \cdot I_e$ 
    - $\gamma$  = fator de eficiência de injeção de emissor
  - $I_c = \alpha \cdot I_e$ 
    - $\alpha$  = fator de transferência corrente ( $\alpha = B \cdot \gamma$ )
  - $I_c = \beta \cdot I_b$ 
    - $\beta$  = fator de amplificação ou ganho de corrente
- 

OBS.: Em um transistor simétrico, a carga deve se distribuir igualmente entre dreno e fonte, resultando em  $V_D = V_F$ .

Explique o transistor bipolar.

## TBJ(Transistor bipolar)

$$I_e = I_c + I_b$$

Efeito Early (ou efeito de estreitamento da base): efeito devido a dependência de  $L_{eff}$  (comprimento efetivo da base) com a tensão reversa de  $V_{cb}$ . Ocorre principalmente em transistores de base muito estreita e submetidos à  $V_{cb}$  reversos.

a) Explique a estrutura do dispositivo.

- Consiste em três camadas de diferentes dopagens, p-n-p ou n-p-n
- As três camadas são chamadas:
  - Emissor
  - Base
  - Coletor

b) O seu princípio físico de funcionamento.

c) A característica I-V.  
falta botar a figura...

O funcionamento na zona de corte (interruptor aberto) caracteriza-se, pela ausência de corrente de coletor ( $I_c = 0$ ) e conseqüentemente  $V_{ce} = V_{cc}$ . Para tal é necessário fazer  $I_b = 0$ .

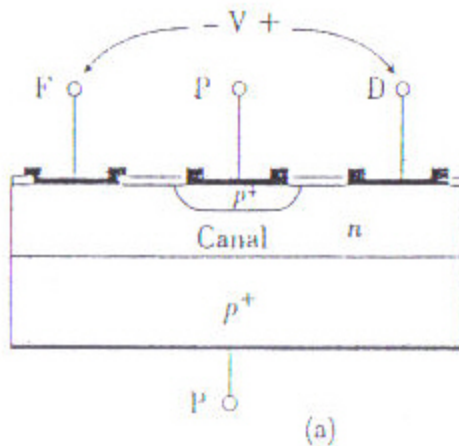
d) Símbolo e Aplicações.

Bipolar x Efeito Campo

Nos bipolares, o sinal de saída é controlado por uma corrente de entrada, enquanto que nos FET's, ele é controlado por uma tensão de entrada. Nos bipolares, o controle do sinal de saída é feito através dos portadores minoritários em movimento de difusão na base, enquanto que nos FET's, o controle é feito sobre os portadores majoritários em movimento de deriva.

**JFET**

a) Explique a estrutura do dispositivo.

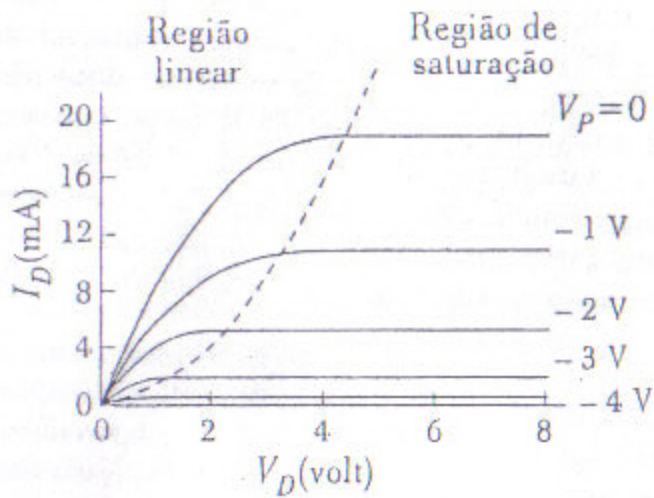


Estrutura: Consiste numa pastilha de semicondutor de um Jfet de canal n(figura), no qual aparece a regiao tipo n do canal, e as regioes tipo p das portas, bem como seus contatos metálicos da fonte(F), porta(P), e dreno(D).

b) O seu princípio físico de funcionamento.

Princípio Físico de Funcionamento: Uma tensão variável aplicada à porta controla a seção reta efetiva de um canal semicondutor por onde fluem portadores majoritários. Em outras palavras, a diferença de potencial  $V_d$  entre Dreno e Fonte produz uma corrente  $I_d$  predominantemente formada por elétrons à deriva da fonte para o dreno (oposta do sentido convencional). o valor da corrente é definida por  $V_d$  e pela resistência do canal (dependente da concentração de impurezas do comprimento e da área efetiva da seção reta do canal). A área da seção do canal pode ser controlada pelo tamanho das regiões de depleção das junções p-n; que por sua vez dependem da tensão reversa na junção( $V_p$ ). Desta forma, a variação da corrente  $I_d$  no Dreno é controlada pela tensão  $V_p$  entre a porta e a fonte.

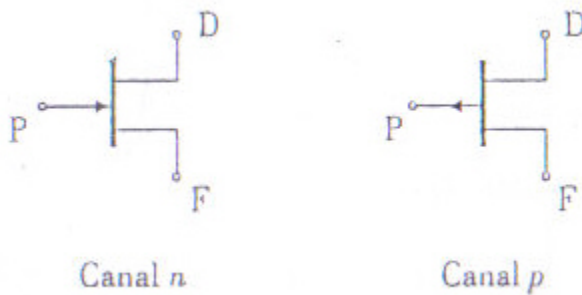
c) A característica I-V.



Para tensões de dreno baixas, é a região linear. Quando  $V_D$  atinge o valor de  $V_C + V_P$ , a corrente atinge a região de saturação, que corresponde a situação do canal quase que totalmente obstruído. Para  $V_D > V_C + V_P$ , a corrente mantém o mesmo valor.

#### d) Símbolo e Aplicações.

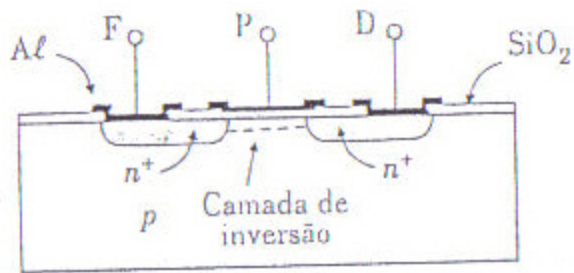
Aplicação: utilizado para amplificação ou chaveamento em aplicações que requerem alta impedância de entrada.



## MOSFET

Os transistores MOS são dispositivos simétricos e portanto os modelos devem ser simétricos, ou seja, os terminais de dreno e fonte podem ser escolhidos arbitrariamente e as características do transistor devem permanecer as mesmas qualquer que seja a escolha.

#### a) Explique a estrutura do dispositivo.



Ele é formado por duas regiões  $n^+$  implantadas num substrato tipo  $p$ , sendo uma para a fonte (F) e outra para o dreno (D). A fonte e o dreno são ligados ao circuito através de contatos de alumínio. O canal de condução entre a fonte e o dreno é induzido no substrato por uma tensão aplicada à porta, cujo contato é isolado do semiconductor por uma camada de óxido, através do fenômeno da inversão.

b) O seu princípio físico de funcionamento.

Se uma tensão for aplicada entre o dreno e fonte, em qualquer sentido, uma das duas junções  $p$ - $n$  estará polarizada diretamente, enquanto a outra ficará polarizada reversamente. Neste caso, se não houver tensão na porta, não haverá canal e, portanto, a corrente entre fonte e dreno será desprezível devido a presença da junção reversa. Quando uma tensão positiva é aplicada à porta, uma camada de cargas negativas é induzida no semiconductor, em frente ao contato metálico da porta. Esta camada de cargas proporciona um canal de condução entre fonte e dreno, resultando numa corrente que varia com a amplitude da tensão da porta. Essa tensão positiva aplicada na porta, tem que passar de um certo valor crítico  $V_c$ , para que a concentração de elétrons seja maior que a concentração de buracos, e por conseguinte, os elétrons passam a ser os portadores majoritários. Então o semiconductor do tipo  $p$ , passa a se comportar como um semiconductor do tipo  $n$ . Este fenômeno, chamado de inversão constitui a chave para o aparecimento do canal  $n$  no semiconductor tipo  $p$  do transistor MOSFET.

c) A característica  $I$ - $V$ .

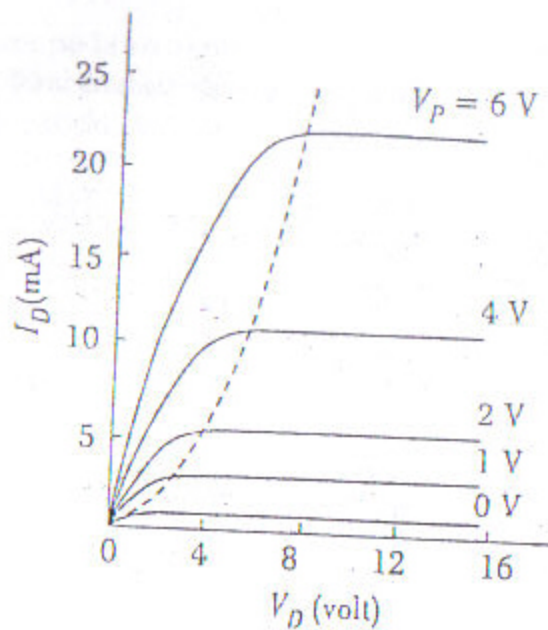


Figura 7.23: Curvas características de MOSFET de canal  $n$ .

A linha tracejada representa onde a corrente satura. Lembrando que o valor da corrente de saturação é encontrado através de  $V_p - V_c = V_d$

#### d) Símbolo e Aplicações.

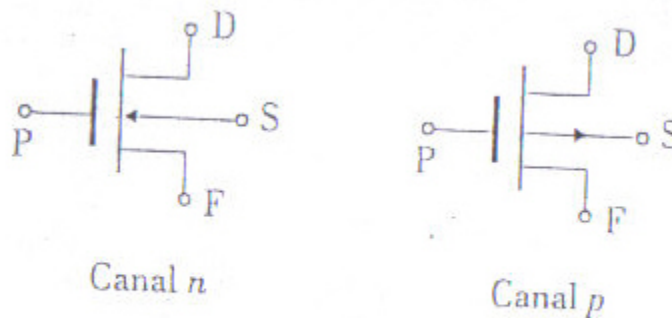


Figura 7.24: Símbolos dos transistores MOSFET.

#### Aplicações:

CMOS(par complementar) - consiste no emprego de pares de transistores interligados, sendo um de canal  $n$  e outro de canal  $p$ .(figura a) Com ela, é possível reduzir drasticamente o consumo de potência. Consiste num circuito lógico inversor do tipo NÃO. Seu objetivo é dar na saída um sinal nulo (0) quando o sinal de entrada for 1, e saída 1 quando a entrada for nula (0). Este funcionamento pode ser verificado na figura b.

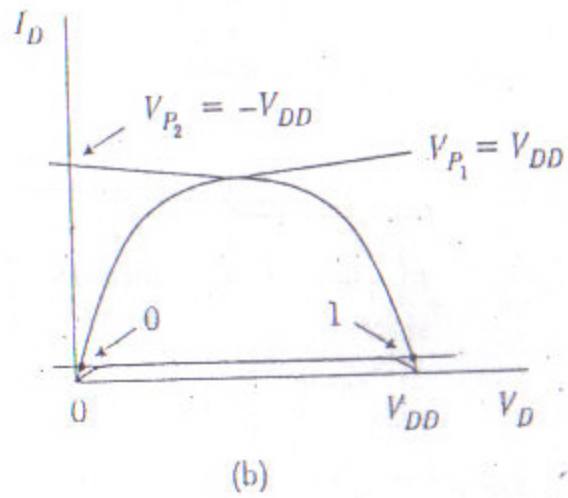
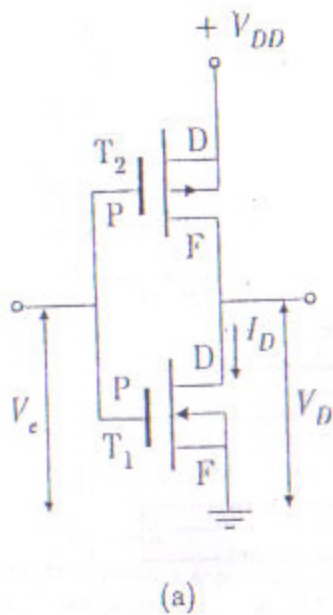


Figura 7.25: (a) Circuito inversor NÃO com par complementar de MOSFETs. (b) Curvas características para determinação dos pontos de operação.

## MESFET

- Explique a estrutura do dispositivo.
- O seu princípio físico de funcionamento.
- A característica I-V.

d) Símbolo e Aplicação

## FotoDetentores

Fotocondutividade: condutividade depende da intensidade da luz incidente.  
fotoresistores são dispositivos lentos, pois são feitos por semicondutores cujo tempo de recombinação são muito grande

### Foto- Resitores

a) Explique a estrutura do dispositivo.

Estrutura: a estrutura mais simples é constituída de uma pequena placa de um semicondutor intrínseco, ou com uma dopagem muito pequena, tendo nas extremidades dois eletrodos metálicos para a aplicação de uma tensão externa. na ausência da luz a resistência do foto-resistor é grande, porque o número de portadores é pequeno.

b) O seu princípio físico de funcionamento.

c) A característica I-V.

d) Símbolo e Aplicação

## Fotodiodos

Fótons geram pares elétrons-buracos numa junção p-n, que são acelerados pelo campo da junção, gerando corrente.

- corrente de escuro

$$I_e = I_s(e^{(e*V/V_bT)} - 1)$$

Sob iluminação:  $I = I_e - I_l$

$$I = I_s(e^{(e*V/K_bT)} - 1)$$

$$I = e*g*A*d$$

$$I_{cc} = I(V = 0) = -I_c$$

$$V_{ca} = V(I = 0) = V_{ca} = (K_bT/e)*\ln(I_l/I_s + 1)$$

a) Explique a estrutura do dispositivo.

b) O seu princípio físico de funcionamento.

Os fotodiodos Pin têm maior sensibilidade (responsividade) e melhor resposta em frequência do que os fotodiodos convencionais

Fotodiodos são detetores de radiação nos quais o sinal elétrico é produzido pela geração de pares elétron-buraco causada por absorção de fótons nas imediações da região de depleção de uma junção p-n. os elétrons e os buracos dos pares criados pela radiação são acelerados em sentidos opostos pelo campo de junção. Isto resulta numa corrente gerada pela radiação no sentido reverso da corrente na junção. Uma grande diferença dos fotodiodos para os foto-resistores é que neles a fotocorrente é produzida sem a necessidade da aplicação de uma tensão externa.

No modo fotovoltaico: o fotodiodo opera com circuito aberto, e quando a junção é iluminada aparece uma tensão entre os lados p e n que pode ser medida externamente;

no modo fotocondutivo: o dispositivo é curto-circuitado, ou opera sob uma tensão externa no sentido reverso.

c) A característica I-V.

d) Símbolo e Aplicação

## Células Solares

Fotodiodo de grande área de exposição que opera no modo fotovoltaico, gerando energia para uma carga.

- eficiência de conversão:  $N_{conv} = P_e/PL = V_m \cdot I_m/PL = FF \cdot I_{cc} \cdot V_{ca}/PL$

a) Explique a estrutura do dispositivo.

b) O seu princípio físico de funcionamento.

c) A característica I-V.

d) Símbolo e Aplicação

## LED

Converte sinal elétrico (portadores) em sinal óptico (fótons)

a) Explique a estrutura do dispositivo.

b) O seu princípio físico de funcionamento.

Princípio de Funcionamento:

Luminescência: processo de emissão de radiação (fótons) que ocorre quando elétrons de um átomo passam de um nível excitado para outro de menor energia. Dependendo de como se coloca o sistema no estado excitado temos: fotoluminescência (excitado por absorção de fótons); catodo-luminescência (excitação por bombardeio de feixe de e); eletroluminescência (por corrente ou tensão elétrica).

Princípio de Funcionamento: baseado em uma forma especial de eletroluminescência, produzida pela injeção de portadores num junção p-n. Quando uma junção p-n é polarizada no sentido direto, os buracos do

lado p e os elétrons do lado n movem-se em sentidos opostos em direção a região de depleção. Os buracos injetados no lado n recombinaem com elétrons que estão chegando na região de depleção e os elétrons injetados no lado p recombinaem com buracos que lá se encontram. Se o semicondutor da junção tiver gap indireto, além de fótons a recombinação produz fônons e, portanto, calor, tornando a emissão de luz pouco eficiente nos semicondutores de gap indireto.

obs: a emissão em LEDs ocorre em semicondutores de gap direto

c) A característica I-V.

d) Símbolo e Aplicação

Aplicações: indicadores luminosos e displays; sistema de comunicação; sistema de iluminação/ circuitos fotoacopladores

# LASER

## Laser de Diodo Semicondutor

características gerais: pequeno; de baixo custo de produção em massa; baixo consumo de potência elétrica;  $\lambda$  visível a I.V. próximo;  $P_{out} = 1mW$  à  $1W$ ; bombeamento por inserção de portadores em junção p-n polarizada diretamente (meio ativo); cavidade óptica formada pelas faces clivadas do semicondutor

Princípio de Funcionamento: A radiação de um laser resulta das emissões de átomos ou moléculas induzidas, ou estimuladas, por um campo eletromagnético macroscópico. A radiação do laser é altamente monocromática, isto é, tem frequências numa estreita faixa de espectro. A intensidade depende do tipo do laser e da magnitude da excitação, podendo variar numa ampla faixa de valores.

Estrutura: A cavidade é formada por dois espelhos parciais que refletem a maior parte da radiação emitida de volta para a região do meio ativo. A estrutura entra em ressonância em certos comprimentos de onda, resultando num campo eletromagnético macroscópico que produz a emissão estimulada nos átomos ou moléculas do meio. Esta emissão amplifica o campo na cavidade e mantém a radiação do laser. As principais características do laser são determinadas pela natureza

do meio ativo. Os lasers mais comuns são de gases, de líquidos orgânicos, de sólidos com níveis de impurezas luminescentes e de diodos semicondutores. Para entender o papel do meio ativo é preciso estudar a emissão estimulada. Os lasers de semicondutor têm dimensões sub-milimétricas, baixo custo e requerem baixa potência de alimentação.

Laser de heterojunções: numa heterojunção existe uma barreira de potencial devido à diferença entre os gaps de energia dos dois lados. Isto permite construir estruturas de heterojunções com barreiras de potencial que produzem confinamento de elétrons e buracos numa camada fina. Ao mesmo tempo, como os índices de refração nos dois lados da heterojunção são diferentes, devido também à diferença dos gaps de energia dos semicondutores, há um confinamento dos fótons emitidos. O aumento da concentração de pares elétrons-buracos e de fótons na mesma região espacial, resulta numa maior taxa de recombinação e portanto numa menor corrente crítica.

a) Explique a estrutura do dispositivo.

b) O seu princípio físico de funcionamento.

c) A característica I-V.

d) Símbolo e Aplicação