

Quem tem medo dos T.E.C.?

NA Parte I, publicada mês passado, vimos como surgiram os transistores de efeito de campo e também suas principais diferenças com relação aos transistores bipolares. Tivemos, da mesma forma, o ensejo de abordar os T.E.C. de junção e os de porta isolada do tipo "enriquecido" e "depleção".

Nesta Parte II veremos como se comportam os T.E.C. na prática, mostrando como polarizá-los, medir seus parâmetros e verificar seu estado.

POLARIZANDO UM T.E.C.

Vejamos, inicialmente, algumas regras básicas: 1) Como o dispositivo é unipolar, só devemos ter um tipo de carga circulando nele.

Assim, no canal N quem flui é o elétron, e no canal P, o fluxo é de lacunas; 2) Os portadores de carga (eléctrons ou lacunas) deverão entrar no canal pelo supridor e sair pelo dreno (repare que o nome destes terminais ajuda a lembrar o sentido do fluxo de cargas).

Raciocinando "em cima" das duas regras anteriores, podemos

PAULO BRITES

PARTE II (FIM)*

Entre o supridor e o dreno há uma região "ôhmica", cuja resistência varia entre centenas de quilohms e alguns quilohms. Assim, a tensão aplicada entre dreno e supridor provoca um fluxo de corrente no canal, fluxo este que, em princípio, só é limitado pela resistência do mesmo. Todavia, é possível controlar esta corrente através da região porta-supridor.

Lembre-se da diferença entre os T.E.C. do modo depleção e enriquecido. **Nos T.E.C. de junção, o único modo de operação é o de depleção.** Neste caso, devemos polarizar a junção porta-supridor inversamente.

Lembramos que uma junção p-n polarizada inversamente opõe-se ao fluxo de corrente, formando uma região inteiramente vazia ao fluxo de portadores de carga. Ora, como a região entre porta e supridor é uma junção p-n, se a polarizarmos inversamente teremos uma região de depleção em torno do terminal de porta. Esta região de depleção vai reduzir a largura do

canal, fazendo com que a corrente nele tenha "um caminho estreito para passar" (Fig. 14).

A região de depleção pode, como vimos, ser controlada pelo potencial entre porta e supridor e, portanto, a corrente no canal ficará sob o comando deste potencial.

Quanto maior o valor absoluto de V_{PS} , menor será a corrente de dreno (I_D). **O maior valor de I_D que se pode conseguir é com V_{PS} nulo.**

Todavia, à medida que a tensão inversa porta-supridor vai aumentando, a região de depleção também aumenta, até não permitir que haja corrente no canal. Este valor de V_{PS} é chamado de **tensão de corte**, sendo representado por $V_{PS(OFF)}$. Neste caso, I_D é aproximadamente zero.

Concluimos, assim, mais uma regra básica para polarizar o T.E.C. de junção:

Polarização da junção porta-supridor de um T.E.C. de junção

— Na Fig. 15 temos a polarização de dois T.E.C. de junção, uma para o canal N, e outra para o canal P.

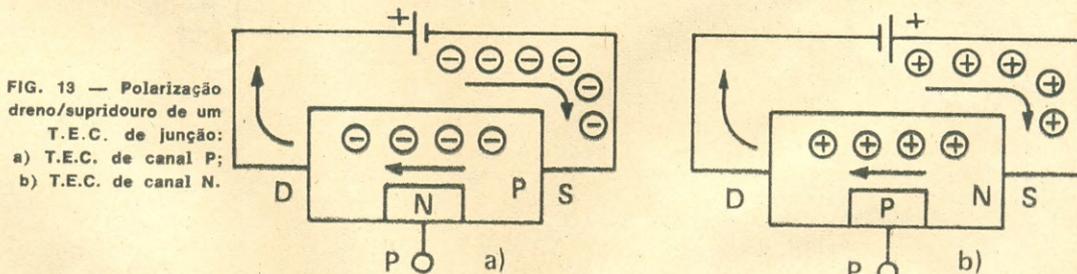


FIG. 13 — Polarização dreno/supridor de um T.E.C. de junção:
a) T.E.C. de canal P.
b) T.E.C. de canal N.

concluir como ligar **corretamente** uma bateria entre o dreno e o supridor de um T.E.C. de junção. Antes, porém, lembre-se: elétrons são cargas negativas, e saem do terminal negativo da fonte; lacunas são cargas positivas, e saem do terminal positivo da fonte; os portadores majoritários no canal N são elétrons, e no canal P, lacunas.

Com todas estas "dicas", você já deve ter imaginado como ligar uma bateria entre dreno e supridor. Se fez como na Fig. 13, parabéns! Caso contrário, é bom reler este parágrafo antes de prosseguir.

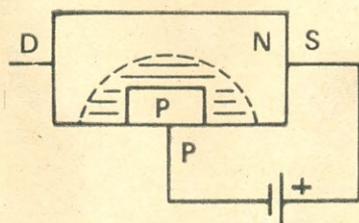


FIG. 14 — Com a polarização inversa da junção p-n entre porta e supridor, ocorre uma região de depleção no canal do T.E.C. Com isto, há um "estreitamento" no canal e uma diminuição no fluxo de corrente entre dreno e supridor.

Polarizando o T.E.C. de porta isolada — Para polarizar um T.E.C. de porta isolada temos mais um elemento a analisar: o substrato.

Em geral, o terminal do substrato já vem ligado internamente ao supridor, apresentando-se, assim, como um dispositivo de três terminais. Os terminais de dreno e substrato são ligados diretamente à massa do circuito.

Por outro lado, a polarização porta-supridor vai depender do modo de operação: "depleção" ou "enriquecido".

(*) Parte I: Antenna, vol. 86, nº 1, julho de 1981.

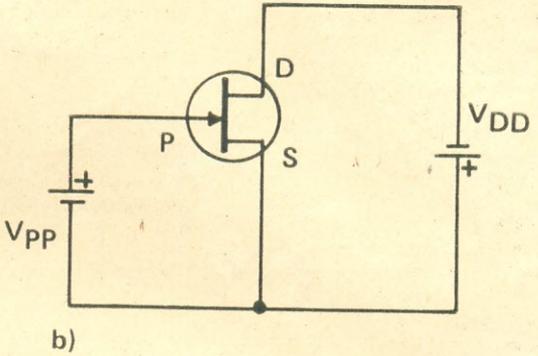
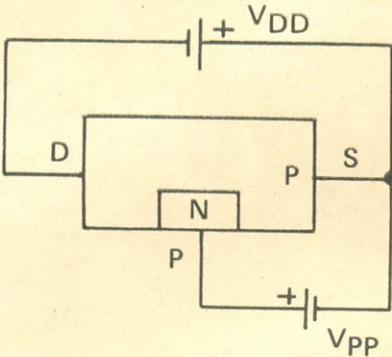
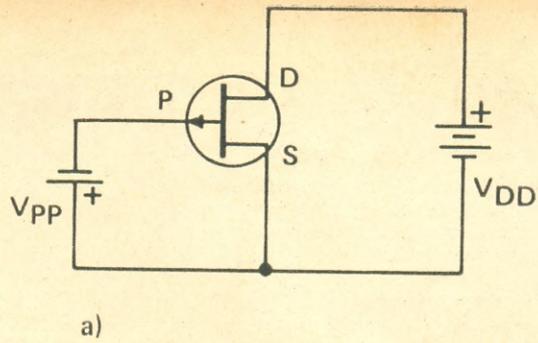
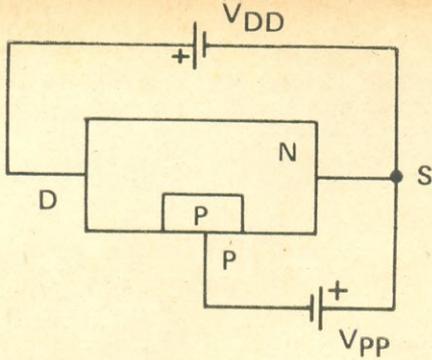


FIG. 15 — Polarização porta/supridor de um T.E.C. de junção: a) T.E.C. de canal P; b) T.E.C. de canal N.

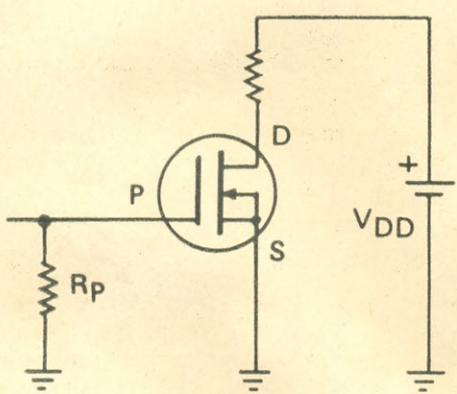


FIG. 16
Polarização de um MOSFET tipo "depleção".

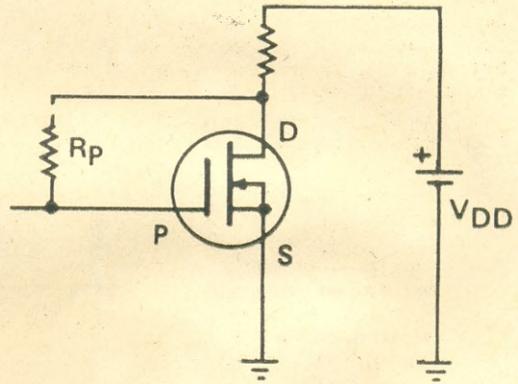


FIG. 17
Polarização de um MOSFET tipo "enriquecido".

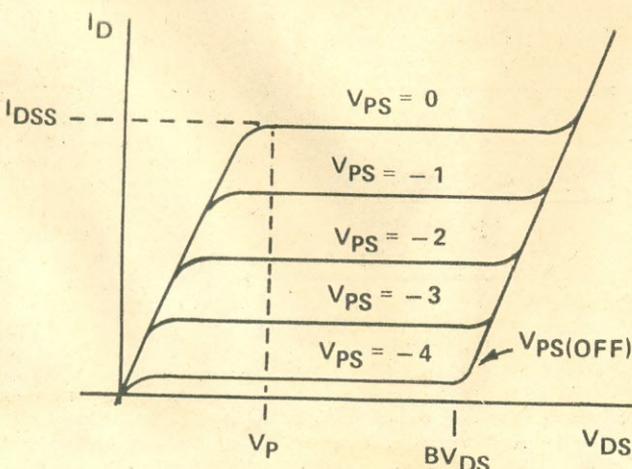


FIG. 18 — Curvas características de um T.E.C. do tipo "depleção".

No caso do modo depleção, a porta é ligada à massa através de um resistor de valor bem elevado (1 a 10 MΩ), enquanto que, para o modo enriquecido, a porta é ligada ao dreno por um resistor (Rp), como se vê nas Figs. 16 e 17.

PARÂMETROS DOS T.E.C.

Os parâmetros fundamentais de um T.E.C. são: I_{DSS} = corrente de dreno para $V_{PS} = 0$; $V_{PS(OFF)}$ = tensão de corte; V_p = tensão de estrangulamento ("pinch off"); g_m = transcondutância.

Vamos examinar, a seguir, o significado de cada um destes parâmetros. Na Fig. 18 temos curvas características de um

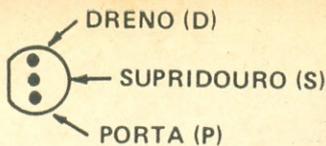


FIG. 19 — Identificação dos terminais do transistor de efeito de campo MPF102.

T.E.C. do tipo "depleção", que representa cerca de 90% dos utilizados na prática. Trata-se de um gráfico que mostra a corrente de dreno I_D como uma função de V_{DS} para diferentes valores de V_{PS} .

A partir destas curvas podemos definir, facilmente, I_{DSS} , V_p e $V_{PS(OFF)}$.

A corrente I_{DSS} , por exemplo, é a corrente de dreno para $V_{PS} = 0$, ou seja, quando colocamos a porta e o supridor em curto.

Como se vê, aumentando a tensão entre dreno e supridor (V_{DS}), a corrente de dreno aumenta. Entretanto, a partir de um certo valor de V_{DS} , a corrente de dreno se mantém constante. Aqui o T.E.C. atua como um gerador de corrente constante, cujo valor máximo, I_{DSS} , ocorre para $V_{PS} = 0$.

Como vimos, existe um valor de V_{DS} a partir do qual a corrente não aumenta mais, quando $V_{PS} = 0$. Este valor é o V_p : tensão de estrangulamento ("pinch off").

Chamamos a atenção para o fato de que V_{DS} não pode ser aumentado indefinidamente. Há um valor, designado como BV_{DS} (tensão de "break down"), onde ocorre a ruptura do material, e o valor da corrente dispara irreversivelmente.

Temos ainda a considerar a tensão de corte porta-supridor ($V_{PS(OFF)}$), que é o valor da tensão entre porta e supridor para o qual a corrente de dreno é reduzida a, praticamente, zero.

Em geral, o valor de V_p não é fornecido nos manuais, isto porque tem-se a seguinte relação:

$$V_p \approx V_{PS(OFF)} \quad (1)$$

Caso queiramos encontrar o valor da corrente de dreno (I_D) para um determinado valor de V_{PS} , podemos utilizar a seguinte relação matemática:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{PS}}{V_p} \right)^2 \quad (2)$$

O último parâmetro que nos resta analisar é a transcondutância (gm). Este parâmetro nos dá a relação entre a variação de corrente de dreno para uma variação na tensão V_{PS} . Basicamente, ele traduz o quanto o T.E.C. é capaz de amplificar.

Em alguns manuais, em vez de gm , é fornecido o parâmetro y_{fs} , que é, aproximadamente, igual. Ambos são medidos em S (siemens). Em alguns manuais vamos encontrar y_{fs} , para $V_{PS} = 0$, que é o mesmo que g_{m0} ; de posse deste valor, podemos encontrar outros valores de gm , através da relação:

$$gm = g_{m0} \times \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} \quad (3)$$

O T.E.C. NA PRÁTICA: MEDINDO OS PARÂMETROS

Após tanta teoria, já nos parece chegada a hora de comprovar tudo o que foi dito. Começemos por verificar os parâmetros experimentalmente, o que, sem dúvida, servirá para embasamento de experiências futuras.

Escolhemos para nossa "cozinha" o MPF102, um T.E.C. de junção canal N, cuja configuração de terminais é vista na Fig. 19.

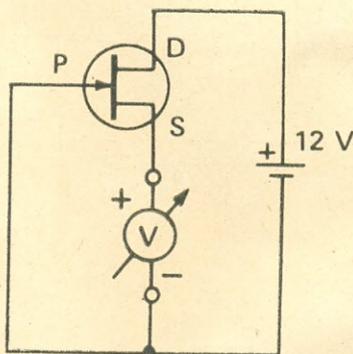


FIG. 20 — Obtenção do parâmetro V_p em um T.E.C. de junção.

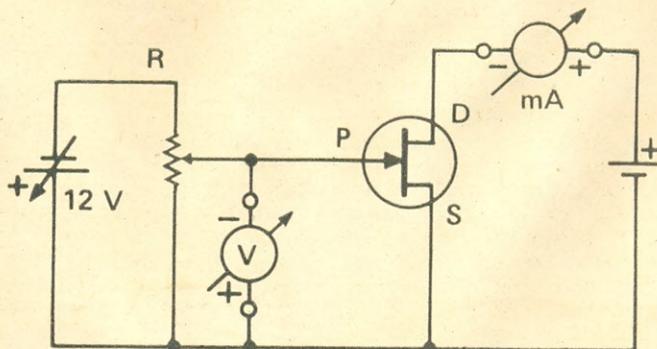


FIG. 22 — Obtenção de $V_{PS(OFF)}$ em um T.E.C. de junção.

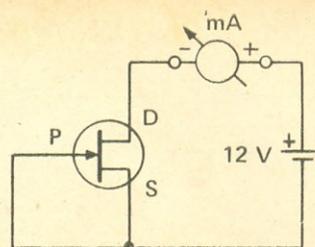
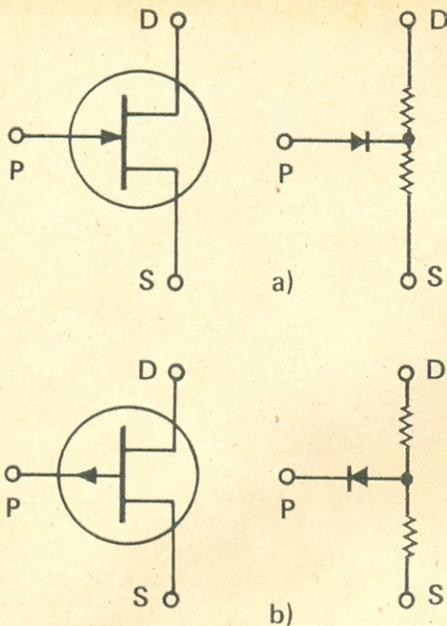


FIG. 21 — Determinação de I_{DSS} em um T.E.C. de junção.

Determinação de V_p — Nossa primeira experiência é determinar a tensão de estrangulamento (V_p) que, como já vimos, é aproximadamente igual à tensão de corte ($V_{PS(OFF)}$). Na Fig. 20 mostramos como proceder para obter o valor de V_p , e chamamos a atenção para o fato de que qualquer valor entre 0,5V e 6,0V pode ser, em geral, esperado. Realizamos as experiências com dois T.E.C. MPF102, sendo que um apresentou V_p igual a 1,55V, e outro, 1,65V.

Determinação de I_{DSS} — Passemos, agora, à determinação da corrente de dreno para $V_{PS} = 0$. Para esta experiência, acompanhe o circuito da Fig. 21. Para os mesmos T.E.C., encontramos 4,8 e 5,4 mA.

Obtenção de $V_{PS(OFF)}$ — Como já foi enunciado, V_p é aproximadamente igual a $V_{PS(OFF)}$, o que você poderá comprovar se montar o circuito sugerido na Fig. 22. Ajuste o potenciômetro para obter uma corrente I_D da ordem de 1 a 0,1% de I_{DSS} , a qual pode ser considerada nula. Quando você conseguir "zerar" a corrente I_D , o voltímetro ligado entre a porta do T.E.C. e a massa estará indicando o valor de $V_{PS(OFF)}$, que você constatará ser aproximadamente igual a V_p .



PONTOS A VERIFICAR	POLARIDADE DO V.O.M.	RESISTÊNCIA ESPERADA
dreno/supridor	indiferente	100 Ω a 10 kΩ
porta/dreno	indiferente	circuito aberto
porta/supridor	indiferente	circuito aberto
dreno/substrato	direta	1.000 Ω (aprox.)
supridor/substrato	inversa	circuito aberto
dreno/substrato	direta	1.000 Ω (aprox.)
supridor/substrato	inversa	circuito aberto

TABELA II — Verificação de um MOSFET do tipo "depleção", usando um V.O.M. comutado para a função "ohmímetro".

FIG. 23 — Circuito equivalente de um T.E.C. de junção: a) T.E.C. de canal N; b) T.E.C. de canal P.

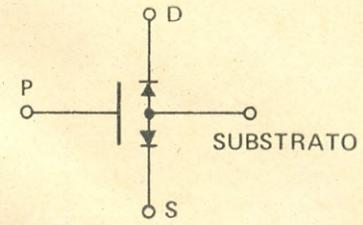


FIG. 24 — Circuito equivalente de um MOSFET do tipo "enriquecido".

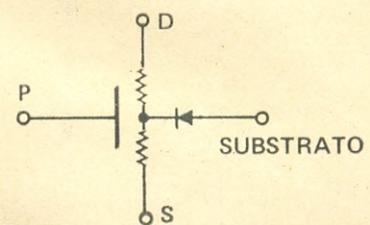


FIG. 25 — Circuito equivalente de um MOSFET do tipo "depleção".

PONTOS A VERIFICAR	POLARIDADE DO V.O.M.	RESISTÊNCIA ESPERADA
dreno/supridor	indiferente	100 Ω a 10 kΩ
porta/supridor	direta	1 kΩ (aprox.)
porta/dreno	direta	1 kΩ (aprox.)
porta/supridor	inversa	bem alta
porta/dreno	inversa	bem alta

TABELA I — Verificação de um T.E.C. de junção com um V.O.M. comutado para a função "ohmímetro".

Calculando g_{mo} — Finalmente, usando a fórmula (4) abaixo, podemos calcular g_{mo}:

$$g_{mo} = \frac{2I_{DSS}}{V_p} \quad (4)$$

Neste caso, você deverá usar V_p, em lugar de V_{FS(OFF)}, para obter maior precisão.

TESTANDO T.E.C. COM UM OHMÍMETRO

Como o V.O.M. é um instrumento que está sempre disponível na bancada de um técnico, nada mais justo que utilizá-lo para verificar o estado de um T.E.C. Embora esta não seja uma prova definitiva, ela poderá, em muitos casos, determinar o estado do T.E.C.

Começemos com o T.E.C. de junção, e tomemos como ponto de partida o seu circuito equivalente (Fig. 23).

Analisando este circuito equivalente podemos chegar às conclusões reunidas na Tabela I.

TESTANDO OS MOSFET

Para os MOSFET teremos que considerar dois casos: os que só operam no modo enriquecido; os que operam em ambos os modos: depleção e enriquecido.

Para o modo enriquecido, o circuito equivalente é visto na Fig. 24.

Considerando que este tipo de MOSFET só conduz com alguma tensão positiva na porta, um ohmímetro deverá medir entre dreno e supridor uma alta resistência (circuito aberto); também, deveremos ter circuito aberto entre porta e dreno, e porta e supridor, qualquer que seja a polaridade do ohmímetro.

O MOSFET que opera no modo depleção tem seu circuito equivalente mostrado na Fig. 25,

e dela podemos concluir as medições a serem feitas. Veja o resumo na Tabela II.

Para finalizar, desejamos chamar a atenção do leitor para o fato de que os T.E.C. são bem mais sensíveis a maus tratos do que os transistores bipolares, com os quais a maioria já está bastante familiarizada. Qualquer distração com relação a polaridades, ou excesso de corrente, e teremos o dissabor de ver um T.E.C. irremediavelmente danificado.

Isto não deve, entretanto, desencorajá-lo a efetuar experiências e montar circuitos com transistores de efeito de campo, deixando, assim, de usufruir das vantagens que eles podem oferecer.

Agora, é só redobrar a atenção e começar a "curtir" os T.E.C. e seus circuitos.

0 0 0 — 0 — (OR 1762/B)