

Quem tem medo dos T.E.C.?

PARTE I

Conheça os transistores de efeito de campo; aprenda a polarizá-los e avaliar seu estado.

PAULO BRITES

SE nos reportarmos à história da Eletrônica nos idos de 1948, vamos encontrar uns "papers" (como dizem os americanos) publicados pelo Dr. Schockley, "o pai do transistor", em que ele teorizava sobre algo a que chamou de **transistor unipolar**. No entanto, os transistores bipolares foram se tornando populares rapidamente e, pouco a pouco, os técnicos se familiarizaram com eles, de modo que os tais transistores unipolares, hoje normalmente conhecidos como transistores de efeito de campo ou T.E.C. (FET — "field effect transistor") ficaram naquela época um pouco "proscritos", só tendo sido usados, durante muito tempo, pela turma mais avançada. Mesmo assim, embora os T.E.C. já tenham tomado espaço na Eletrônica atual, notamos que pouco tem sido escrito sobre estes semicondutores e, por isso, nos decidimos a colocá-los "na rua".

Começaremos por apresentar alguns conceitos básicos e mostrar as principais diferenças entre os transistores bipolares e os unipolares, ou T.E.C.

PRINCIPAIS DIFERENÇAS

Nos transistores bipolares, sejam eles p-n-p ou n-p-n, temos dois tipos de portadores de carga fluindo simultaneamente: elétrons e lacunas.

Já nos T.E.C., ou unipolares, só teremos um tipo de portador de carga fluindo: elétrons ou lacunas. A condição para que seja um ou outro se prende unicamente ao fato de termos T.E.C. de canal N ou de canal P.

Outras características que marcam as diferenças entre os transistores bipolares e os T.E.C. são as seguintes: nos bipolares, a corrente de base controla a corrente no coletor (ou emissor); daí serem eles chamados de dispositivos controlados por corrente; nos T.E.C., ou unipolares, a corrente (de dreno) é controlada por uma tensão (os "saudosistas" vão logo pensar que é algo parecido com as válvulas).

Temos ainda as seguintes características inerentes aos T.E.C.: impedância de entrada extremamente alta (cerca de 100 MΩ); pouco ruidosos, sendo ideais para amplificadores de baixo nível.

"POR DENTRO" DOS T.E.C.

De acordo com o tipo de construção, os T.E.C. podem ser apresentados como canal N ou canal P, em contraposição com os bipolares, que são fabricados nas versões p-n-p ou n-p-n.

Todavia, a fabricação dos T.E.C. vai mais longe, e nos oferece ainda outros dois tipos: os T.E.C. de **junção** e os de **porta isolada**; este último também é conhecido como IGFET ("insulated gate field effect transistor"), ou MOSFET ("metal oxide silicon field-effect transistor"), podendo ambos ser encontrados com canal N ou canal P.

O T.E.C. DE JUNÇÃO

Começemos por dar uma "olhada" no T.E.C. de junção, que é o mais popular. A estrutura física de um semicondutor deste tipo, canal N, bem simplificada, está na Fig. 1. Nela vemos uma barra de silício N, a qual é a parte principal do transistor, e que é denominada **canal**. Neste canal é difundida uma pequena região de silício P. Assim, a barra de silício vai se comportar como um resistor.

Em cada extremo desta barra é colocado um terminal. Por convenção, o terminal no qual é injetada a corrente chama-se **supridor** ("source"), visto que a corrente "partirá" deste terminal. O outro terminal, no extremo oposto da barra, recebe o nome de **dreno** ("drain"). A corrente fluindo entre supridor e dreno

é, em princípio, uma relação entre a tensão aplicada entre dreno e supridor e a resistência da barra.

Quanto à região P, difundida no canal, ela servirá para controlar o fluxo de corrente entre o supridor e o dreno; o terminal a ela associado recebe o nome de **porta** ("gate").

Imagine, agora, que é aplicada uma diferença de potencial entre dreno e supridor, sendo 0 volt a tensão na porta. Suponhamos, ainda, que V_{DS} (tensão entre dreno e supridor) vá aumentando, a partir de 0 volt. A corrente no canal, ou seja, a corrente no dreno, subirá quase que linearmente; entretanto, à medida que V_{DS} vai aumentando, a região de depleção

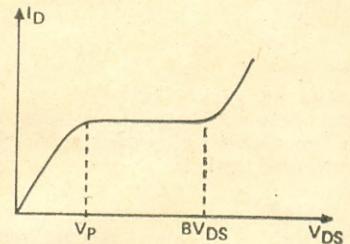


FIG. 2 — Gráfico $I_D \times V_{DS}$ em um T.E.C. de junção.

em torno do material P vai aumentando também, o que faz com que o fluxo de corrente comece a se tornar mais difícil.

Posto isto num gráfico, obteremos a curva mostrada na Fig. 2.

Assim, vemos que de 0 volt até o valor V_P , a corrente cresce rapidamente, para depois se tornar constante, de V_P até atingir BV_{DS} , onde a corrente dispara. BV_{DS} é a tensão de ruptura (B = "break down"), onde ocorrerá a destruição do material.

Passemos, agora, a descrever outro tipo de T.E.C.

O T.E.C. DE PORTA ISOLADA OU MOSFET

Os MOSFET têm um mecanismo de controle de corrente ligeiramente diferente dos JFET. Vejamos, em linhas gerais, como é a construção de um MOSFET; para tornar as coisas mais fáceis,

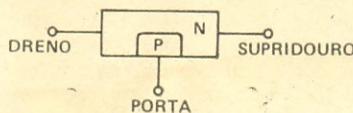


FIG. 1 — Estrutura de um T.E.C. de junção.

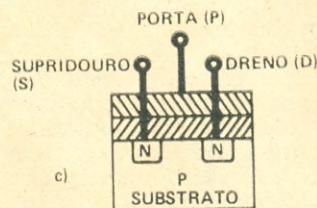
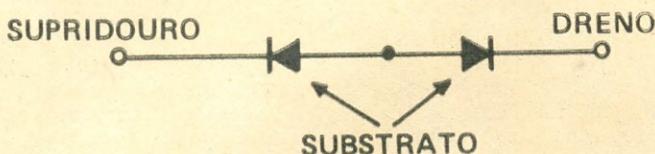
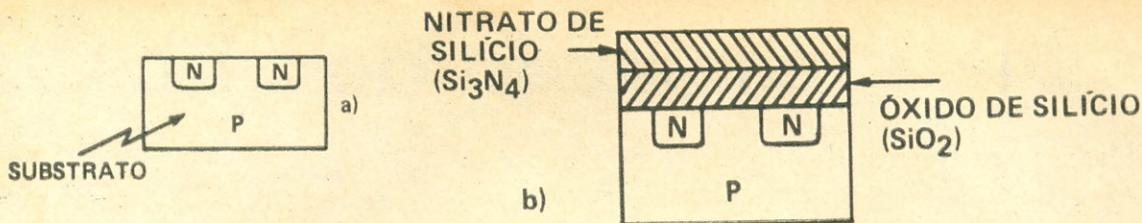


FIG. 4 — A estrutura de um T.E.C. de porta isolada, ilustrada na Fig. 3, é muito semelhante à de dois diodos de junção ligados em série pelos anodos.

reportemo-nos à Fig. 3, a, b e c. Nela vemos uma pastilha de silício tipo P, que é designada **substrato**; nesta pastilha são desenvolvidas duas regiões de material N (Fig. 3a). Sobre toda a pastilha desenvolve-se uma camada de óxido isolante. Todavia, como esta camada de óxido é facilmente contaminável por íons de sódio presentes no ambiente, sobrepõe-se a ela uma camada de nitrato de silício, a qual é impermeável aos íons de sódio, funcionando como uma blindagem (Fig. 3b). Posteriormente, são introduzidos dois contatos metálicos através desta camada, que vão ter às regiões de material N difundidas no substrato, e que serão os terminais de dreno e supridor. Além disso, um contato metálico ligado diretamente à camada de nitrato de silício nos dará o terminal de porta (Fig. 3c). Note que não há contato direto entre o terminal da porta e o substrato. Cabe aqui uma observação muito importante: a corrente dreno-supridor é extremamente baixa na ausência de uma tensão na porta, visto que o dreno e o supridor estão isolados pelo substrato.

Esta estrutura é similar à de dois diodos ligados anodo com anodo, como vemos na Fig. 4.

Além disso, o terminal da porta forma um capacitor com o substrato, tendo a camada de óxido (isolante) como dielétrico.

Se o terminal de porta for ligado a um potencial positivo, teremos um potencial negativo in-

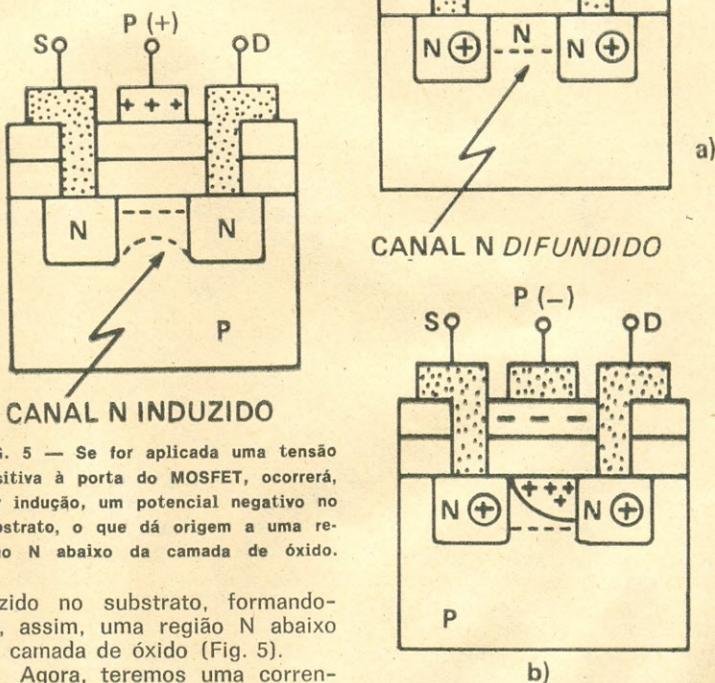


FIG. 5 — Se for aplicada uma tensão positiva à porta do MOSFET, ocorrerá, por indução, um potencial negativo no substrato, o que dá origem a uma região N abaixo da camada de óxido.

duzido no substrato, formando-se, assim, uma região N abaixo da camada de óxido (Fig. 5).

Agora, teremos uma corrente dreno-supridor no canal, "induzida" pela tensão de porta.

Esse MOSFET que acabamos de descrever é conhecido como "do tipo enriquecido" ("enhancement type"). Os MOSFET podem ser também "do tipo depleção", como veremos a seguir.

Voltando à estrutura apresentada na Fig. 3c, pode-se difundir um canal N de moderada resistividade entre o supridor e o dreno, permitindo que haja corrente entre esses dois terminais, mesmo para uma tensão de porta nula.

FIG. 6 — Estrutura de um MOSFET: a) do tipo "enriquecido"; b) do tipo "depleção".

Nesta estrutura temos duas condições: para tensão de porta positiva, temos o MOSFET em modo enriquecido (Fig. 6a); para uma tensão de porta negativa, temos o modo depleção (Fig. 6b).

MODOS DE OPERAÇÃO

Como ficou patente nas explicações anteriores, há dois modos de operação dos T.E.C.

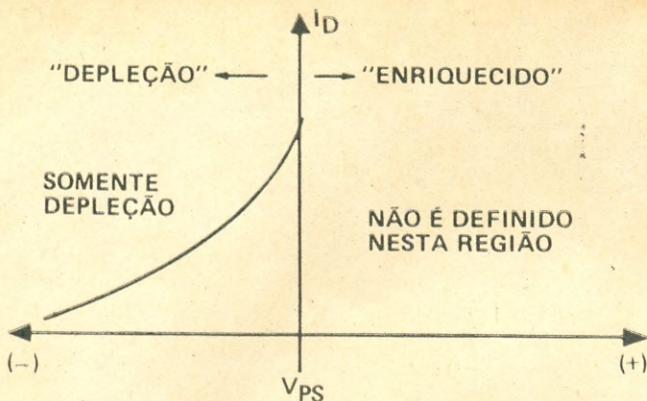


FIG. 7 — Curva $I_D \times V_{PS}$ em um MOSFET do tipo "depleção".

No T.E.C. do tipo "depleção" há portadores de carga presentes no canal para uma tensão porta-supridor zero; isto significa que para $V_{PS} = 0$ tem-se uma corrente de dreno considerável. Uma polarização negativa na porta, com relação ao supridor, aumenta a região de depleção e, portanto, reduz a corrente de dreno por causa do "estreitamento" do canal (Fig. 7).

No T.E.C. do tipo "enriquecido", a porta deve ser polarizada positivamente com relação ao supridor, para produzir portadores ativos no canal e permitir condução através dele. Para V_{PS} nula, ou negativa, a corrente de dreno é muito pequena (Fig. 8). Observa-se, ainda, que a corrente de dreno só assume um valor considerável para V_{PS} acima de um certo valor, conhecido como tensão de limiar ("threshold").

De tudo que foi exposto, os seguintes pontos devem ser enfatizados: os JFET só operam no modo depleção; os MOSFET podem operar em ambos os modos; temos MOSFET que só operam no modo enriquecido; quando um MOSFET opera no modo depleção, ele também pode funcionar no modo enriquecido (Fig. 9).

SIMBOLOGIA DOS T.E.C.

Diversos símbolos são utilizados para representar um T.E.C. em um circuito eletrônico.

Para o caso dos T.E.C. de junção, temos dois símbolos principais, que são os mostrados na Fig. 10, a e b, um para o T.E.C. de canal N, e outro, para o de canal P, respectivamente.

Chamamos a atenção para o fato de que o terminal de porta

é sempre caracterizado por uma seta, a qual apontará para dentro se o canal for N, e para fora, quando se tratar do canal P.

Para os MOSFET, temos ao todo quatro símbolos, sendo dois deles para o tipo "enriquecido", e dois para o tipo "depleção/enriquecido".

Na Fig. 11 mostramos o símbolo do T.E.C. do tipo "enriquecido", e na Fig. 12, o T.E.C. do tipo "depleção/enriquecido".

Observe atentamente as figuras e veja que a diferença é mínima; no tipo "enriquecido" temos uma linha interrompida para representar o canal, enquanto

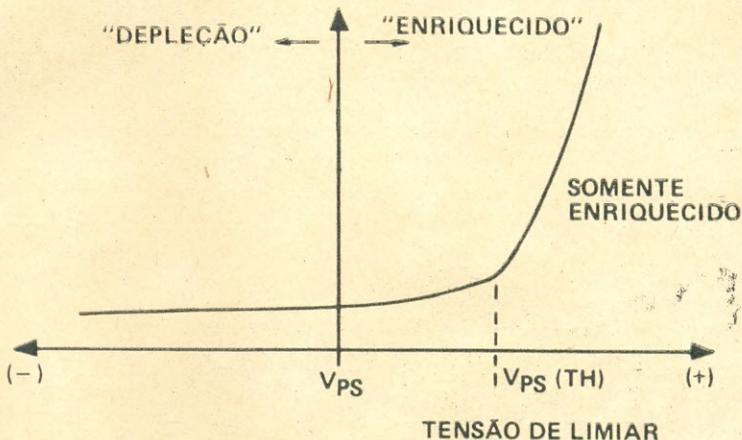


FIG. 8 — Curva $I_D \times V_{PS}$ em um MOSFET do tipo "enriquecido".

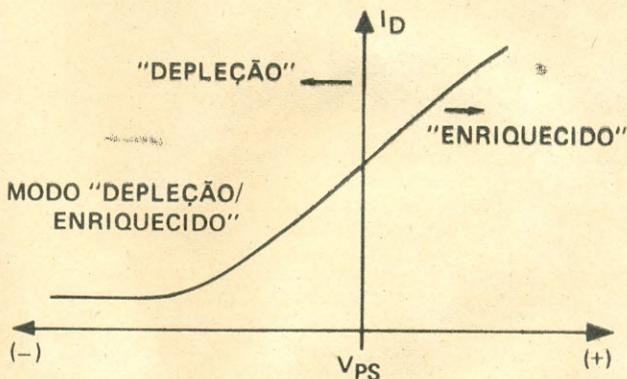


FIG. 9 — Um MOSFET que funciona no modo "depleção" também pode funcionar no modo "enriquecido".

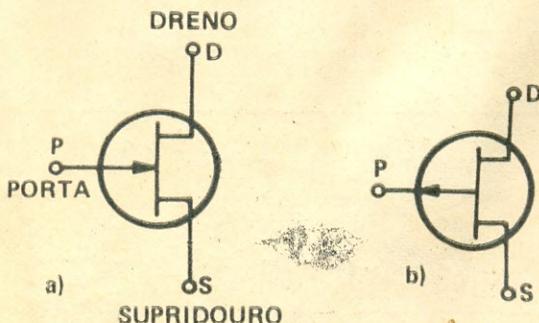


FIG. 10 — Símbolos do T.E.C. de junção: a) de canal N; b) de canal P.

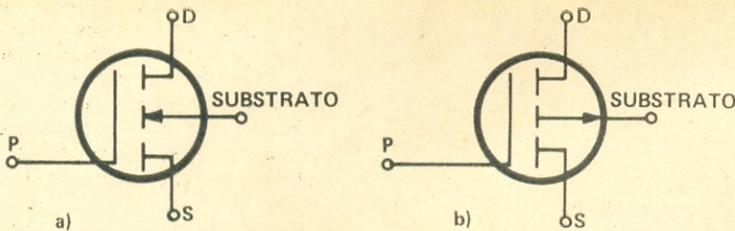


FIG. 11 — Símbolos de um MOSFET do tipo "enriquecido": a) de canal N; b) de canal P.

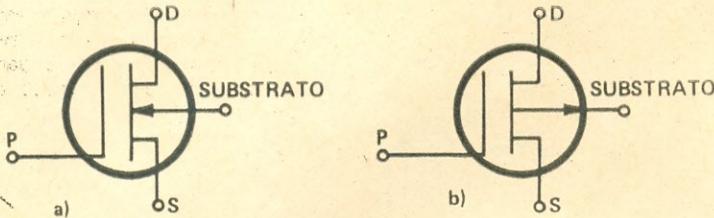


FIG. 12 — Símbolos de um MOSFET do tipo "depleção": a) de canal N; b) de canal P.

que, para o tipo "depleção/enriquecido", a linha é contínua.

Uma outra diferença de simbologia, que deve ser considerada entre os T.E.C. de junção e os de porta isolada, é que, no primeiro, o terminal de porta é representado por uma seta, enquanto que, no segundo, a seta vai corresponder ao substrato, enquanto a porta é representada por um traço que fica separado do restante, lembrando assim um capacitor.

Mês que vem, na Parte II (última), veremos como polarizar um T.E.C., seus principais parâmetros e, inclusive, um pouco do T.E.C. na prática, onde abordaremos os métodos para obter as características deste semiconductor e como realizar provas para avaliar seu estado.

0 0 0 — 0 — (OR 1762/A)
(Conclui no próximo número)



Seção a cargo de
JAIME GONÇALVES DE MORAES FILHO

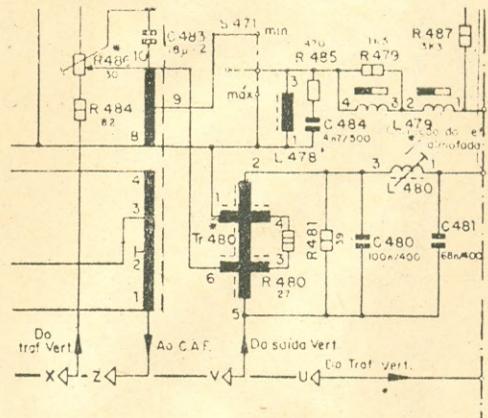
Esta seleção de "casos de oficina" é bastante útil para ampliar a experiência técnica dos leitores dedicados às vídeo-reparações.

**Aparelho: TV Telefunken PAL
COLOR, mod. 561, 562, 661, 662***

Sintoma: forte ruído de alta frequência ("grilo"), como se a frequência horizontal estivesse fora do normal. Tanto a imagem como as cores estão normais.

Remédio: com o aparelho em funcionamento, fazer uma leve pressão sobre o núcleo de TR480, com o auxílio de uma chave de fenda. Se o ruído diminuir ou desaparecer por completo, substitua a peça (transdutor), ou então, com o receptor desligado, cobrir com uma camada de cola epóxica (Araldite, por exemplo); aguardando pelo menos 12 horas até ligar novamente o aparelho.

0 0 0 — 0 —



* (Colaboração de Nestor Paulo Steffer, de Santa Bárbara do Sul, RS)

COMPRE MAIS BARATO: USE O SEU PRÓPRIO CHEQUE

Se v. não pode vir às Lojas do Livro Eletrônico, elas irão até você, em qualquer cidade brasileira! Mande seu pedido pelo correio, junte um cheque da sua própria conta bancária, e os livros lhe serão remetidos sem as onerosas despesas de reembolso! Veja instruções na página 77.