

SC Analyzer 2005

Instrumento para teste de Semicondutores

Michel Waleczek

publicado na revista **ELEKTOR** inglesa de abril de 2005

Quase todos os circuitos eletrônicos contêm transistores bipolares, FETs ou diodos. A maioria dos radioamadores e hobbystas de eletrônica têm uma oferta de tais componentes retirados de antigas placas de circuitos impressos. Um instrumento que possa ser usado para identificar os terminais e medir as características dos semicondutores é, no mínimo, uma ferramenta imprescindível.

Se a identificação no semicondutor ainda puder ser lida, normalmente é possível verificar suas características técnicas num *datasheet*. Mas se a identificação for vaga, ou um código e referência ou completamente apagada, você só pode adivinhar. Usando este instrumento particularmente útil, você pode identificar rapidamente os mais comumente usados tipos de dispositivos semicondutores (transistores bipolares, JFETs, MOSFETs e diodos), incluindo componentes SMD. Além de identificar os terminais, o instrumento calcula vários parâmetros, tais como HFE para transistores bipolares, V_{IDSS} e $R_{DS(on)}$ para JFETs, a tensão de limite para MOSFETs, e corrente / tensão inversa e fuga de corrente para diodos. Todas essas informações são mostradas claramente num *display* LCD.

Princípio de Operação

Cada um dos três terminais de um semicondutor desconhecido dispositivo é ligado a terra ou a uma tensão de +5 volts através de resistores de valores conhecidos. Os seguintes valores de resistores podem ser utilizados: 100 Ω , 1 K, 5K6 e 100 K. Para cada configuração, três tensões são medidas através de um microcontrolador PIC16F876. O microcontrolador sempre começa com uma medida rápida e bruta, para determinar se o componente é um transistor bipolar. Isto é feito através da ligação de dois ou três terminais do transistor ligados ao terra, enquanto o terceiro terminal é ligado a tensão de +5 volts através de um resistor de 5K6. O microcontrolador mede a tensão sobre o resistor e armazena o valor medido. Mais duas medições deste tipo são feitas com diferentes sequências de terminais, com cada uma das medições feitas na junção dos resistores de 5K6 e o transistor. Isto produz três valores que têm uma relação específica com o tipo de transistor.

Table 1. Initial measurements				
Type	E	B	C	measured value
NPN	-	-	+	5 V
	+	-	-	5 V
	-	+	-	0.7 V
PNP	-	-	+	0.7 V
	+	-	-	0.7 V
	-	+	-	5 V

A **Tabela 1** mostra os valores que teoricamente deveriam ser medidos para transistores NPN e PNP. Aqui, o sinal corresponde a uma ligação ao terra através de um resistor de $100\ \Omega$, e no sinal de descanso de uma ligação a +5 volts através de um resistor de 5K6. Um transistor NPN dá dois valores de cerca de 5 volts e uma de cerca de 0,7 volts, enquanto um transistor PNP dá um valor único de 5 volts e dois valores de 0,7 volts.

O primeiro teste também é suficiente para identificar a base do transistor, uma vez que é este terminal cujo valor difere dos valores para os outros dois terminais. Uma vez que o transistor foi identificado dessa forma, ele é testado para o ganho. Como as posições de emissor e coletor não são conhecidas, o ganho é medido para cada uma das duas combinações possíveis.

O último valor é considerado como sendo o maior dos dois valores medidos. Se a medida de tensão não corresponde a nenhum dos conjuntos na Tabela 1, o dispositivo é submetido a testes especiais para outros tipos de componentes (MOSFET, JFET e diodo). Para testar se o dispositivo é um MOSFET, o ganho é medido de forma idêntica para todas as seis possíveis combinações de terminais. No entanto, alguns transistores bipolares também produzir resultados que diferem dos apresentados na Tabela 1. Isso ocorre principalmente com transistores com uma proteção a diodo entre o coletor e o emissor. Para este tipo de transistores, o ganho também é medido em relação a todos os seis das possíveis modalidades.

Limitações

Para evitar possíveis mal-entendidos, temos que dizer de antemão de que o **SC Analyzer 2005** não pode ser utilizado para medir tiristores ou transistores Darlington.

Medindo o ganho em transistores bipolares

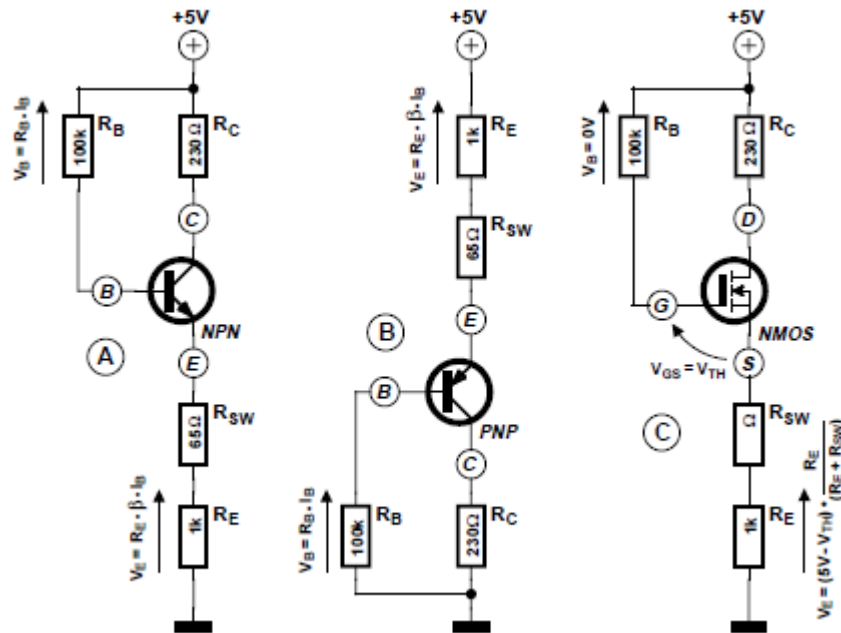


Figura 1: configuração de medição dos valores de β para um transistor e o limite de tensão para um MOSFET

As medidas acima descritas foram identificadas na base do transistor, e agora os outros dois terminais são identificados pela conexão do transistor na configuração de coletor comum, se for um transistor bipolar, ou em uma configuração *Source* em série, se for um MOSFET (veja **Figura 1**). O ganho do transistor é determinado pela medição de V_B e V_E . As fórmulas para esse parâmetro são:

$$V_E = R_E \times (\beta + 1) \times (V_B \div R_B)$$

$$\beta = [(V_E \times R_B) \div (V_B \times R_E)] - 1$$

O circuito pode medir ganho de valores acima de um intervalo de 5 a 999. Um MOSFET canal N (**Figura 1c**) podem se distinguir de um transistor bipolar pelo fato de a sua corrente de *Gate* ser praticamente zero. Neste caso, o limite de tensão corresponde à tensão $V_{CC} - V_E$ (para um tipo canal-N). Para ser devidamente identificado pelo testador, o MOSFET deve ter um limite de tensão inferior a 4,5 volts, e deve ser do tipo “*enhancement*” (que é quase sempre na maioria das vezes). O outro tipo de MOSFET, que é chamado tipo “*depletion*” (esgotamento), é pouco ou quase não mais utilizado.

Medindo parâmetros de FETs

Transistores de efeito de campo (FETs) podem ser caracterizados por certo número de parâmetros, mas aqui estamos apenas interessados em três deles: V_{TH} (limite de tensão

gate-source), I_{DSS} (corrente de saturação no dreno), e R_{DSON} (resistência total no estado “on”). Determinar estes parâmetros é mais complicado do que simplesmente medir o ganho de um transistor bipolar.

A topologia do circuito é pouco adequada para efetuar medições diretas, de forma indireta um método baseado em um modelo matemático do FET (o modelo Schichman-Hodges) é usado para determinar os valores das referidos três parâmetros de cálculo. Dos três principais parâmetros do modelo estático, que é utilizado principalmente na simulação Spice, ele transforma-se que apenas duas são realmente necessário aqui, uma vez que o terceiro parâmetro (λ) tem praticamente nenhum efeito sobre o último cálculo (ver o quadro *Measuring FETs with the Schichman-Hodges model*, no artigo original).

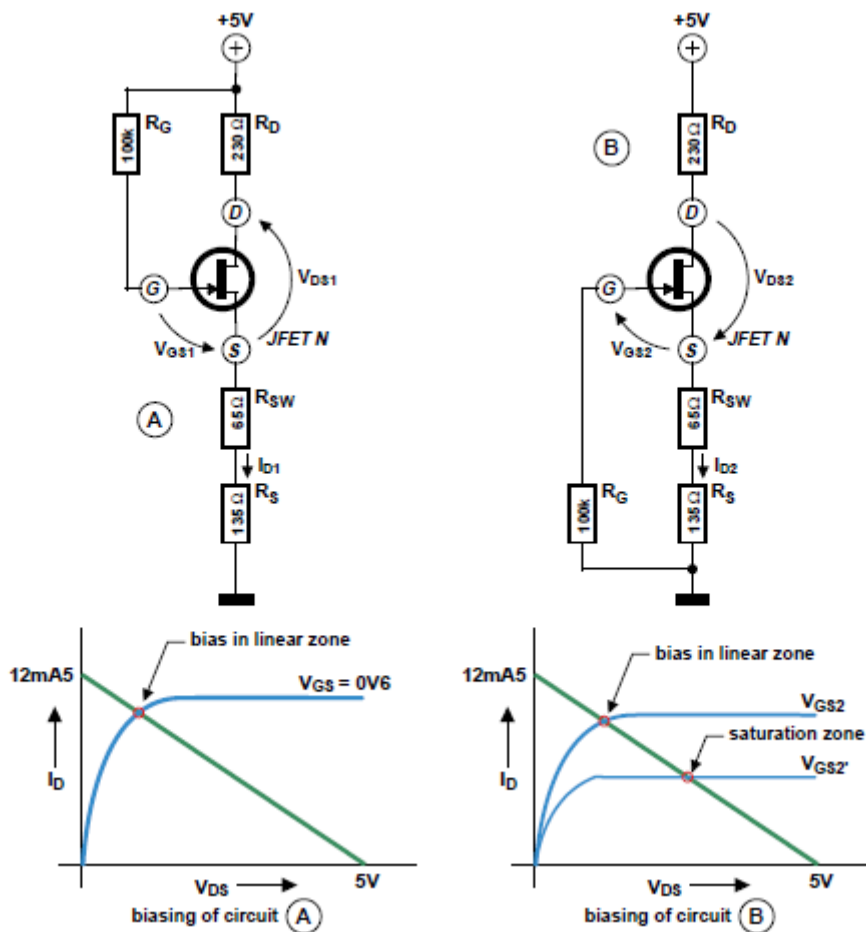


Figura 2: Configuração de parâmetros para a medição de JFET

A fim de determinar os valores destes dois parâmetros, é necessário examinar duas questões específicas de funcionamento, a fim de obter um conjunto de duas equações. No primeiro caso, o FET é alimentado em sua região linear de funcionamento (Figura 2a) pela utilização do R_G para forçar V_{GS1} de aproximadamente 0,6 volts. Alguns FETs com baixa corrente de saturação podem ser tendenciosos em sua região de saturação nesta configuração, e em tais casos, uma variação sobre o circuito mostrado na Figura 2 é utilizada, mas isto não é descrito em qualquer outro lugar.

A primeira configuração produz o primeiro conjunto de valores para V_{DS1} , V_{GS1} e I_{D1} . O segundo ponto de funcionamento é obtido pela configuração do transistor a ser testado com a tensão de fonte (Figura 2b), que produz um segundo conjunto de valores

(VDS2, VGS2 e ID2). Agora as coisas se tornam um pouco mais complicado, porque o segundo ponto de funcionamento pode residir na região linear ou na região de saturação região.

A região de funcionamento não pode ser determinada até que o limite de tensão VTH seja conhecido. Há, portanto, nenhuma outra escolha do que para calcular o valor de VTH para cada tipo de região de exploração e, em seguida, escolher o valor adequado a partir dos dois resultados, verificando o funcionamento das regiões correspondentes.

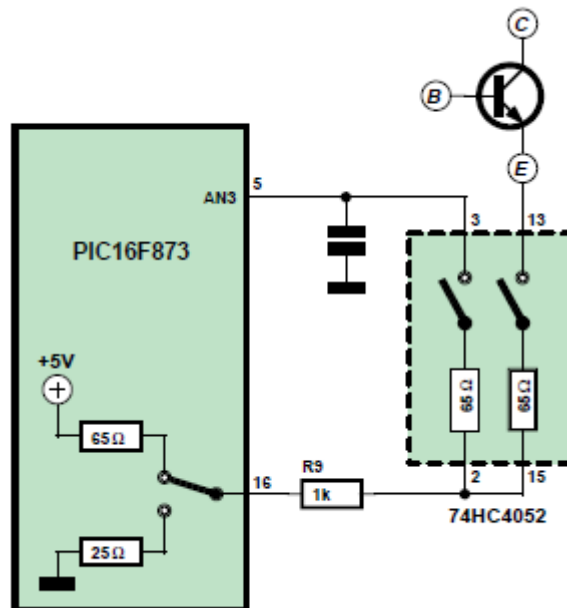


Figura 3: O circuito Kelvin evita erros devido à resistência interna do SN74HC4052

As resistências RSW dos comutadores analógicos são mostradas no diagrama esquemático na **Figura 3**. Elas têm um valor de aproximadamente 65 Ω. Os valores exatos são determinados utilizando um procedimento automático de calibração. A resistência de dreno, que é de aproximadamente 230 Ω, consiste de um resistor de 100 Ω, a resistência da chave analógica (65 Ω), e da resistência de saída do microprocessador (65 Ω).

Outro fator que deve ser tida em mente é que a maioria dos FETs são simétricos, o que significa que o dreno e o supridor são intercambiáveis. Assim, é impossível dizer diante desses dois terminais, de modo que o testador só pode realmente identificar o terminal *gate*. Os terminais do dreno e do supridor são indicados de acordo com a configuração utilizada para o cálculo dos parâmetros do transistor. Intercambiar os terminais do supridor e do dreno não irá alterar a informação mostrada no *display* do **SC Analyzer 2005**, mas os resultados do cálculo sempre corresponderão aos terminais indicados na ligação.

Os valores da resistência são determinados pela seleção dos sinais pares RB4 e RB5 para o sinal do lado direito (J1), RA2 e RB2 para o sinal do centro (J2), e RB1 e RB2 para o sinal do lado esquerdo (J3). As tensões presentes nos terminais de teste são medidas pelo PIC15F876 através de entradas analógicas AN0, AN1 e AN3.

Para compensar os efeitos das resistências internas dos interruptores analógicos quando efetuam medições, essas medições são feitas utilizando um segundo comutador em cada 74HC4052, em vez de diretamente na leva do desconhecido transistor. O funcionamento desse arranjo é mostrado esquematicamente na **Figura 3**, com resistor R9 ligado ao circuito. A resistência interna da saída do microcontrolador, que é de cerca de 30 Ω , também deve ser levada em conta. Por último, três capacitores de 1nF fornecem uma certa filtragem aos sinais medidos.

Software

O software é escrito inteiramente em linguagem *assembler* e preenche uma grande parte da memória do PIC16F876. Cerca de metade do espaço ocupado é usada para calcular valores de parâmetros para FETs. Se você quer programar seu próprio microcontrolador, você pode baixar o código hexa no site da revista Elektor inglesa (www.elektor-electronics.co.uk). O arquivo é encontrado com o *download* do PDF para este artigo (abril 2005). Para aqueles de vocês, sem acesso a internet esses arquivos também estão disponíveis em disquetes do *Reader Services* (departamento de atendimento ao leitor), e o código de ordem é 0.304.051-11. Naturalmente, você também pode adquirir o microcontrolador já programado no *Reader Services* (número de ordem **030451-41**).

Construção

O *layout* da placa PCB e a disposição dos componentes são mostrados na **Figura 5**. Certifique-se de que os soquetes dos integrados, os capacitores eletrolíticos, o regulador de 5 volts e os quatro integrados fiquem montados da maneira correta. Os resistores de 1% podem ser substituídos por resistores *metal film* de 5%, desde que sejam cuidadosamente selecionados por um multímetro confiável e preciso. Os comutadores analógicos devem ser do tipo 74HC, pois a resistência interna dos comutadores normais da série CD40XX é demasiadamente alta para esta aplicação.

O módulo do *display* pode ser montado no lado de cobre da placa de circuito impresso. Para tornar mais fácil para conectar o *display*, há uma única linha de 16 pinos sobre a placa de circuito, cuja pinagem corresponde com o conector fêmea de 16 pinos das placas utilizadas na maior parte dos displays LCD. No protótipo da revista Elektor optamos por utilizar um moderno tipo de *display* chamado “PLED” (ver o quadro “OLED e PLED” no artigo original), mas você também pode usar qualquer módulo LCD compatível com o Hitachi HD44780, apesar de que a sequência dos pinos pode diferir do padrão utilizado no *display* desse projeto.

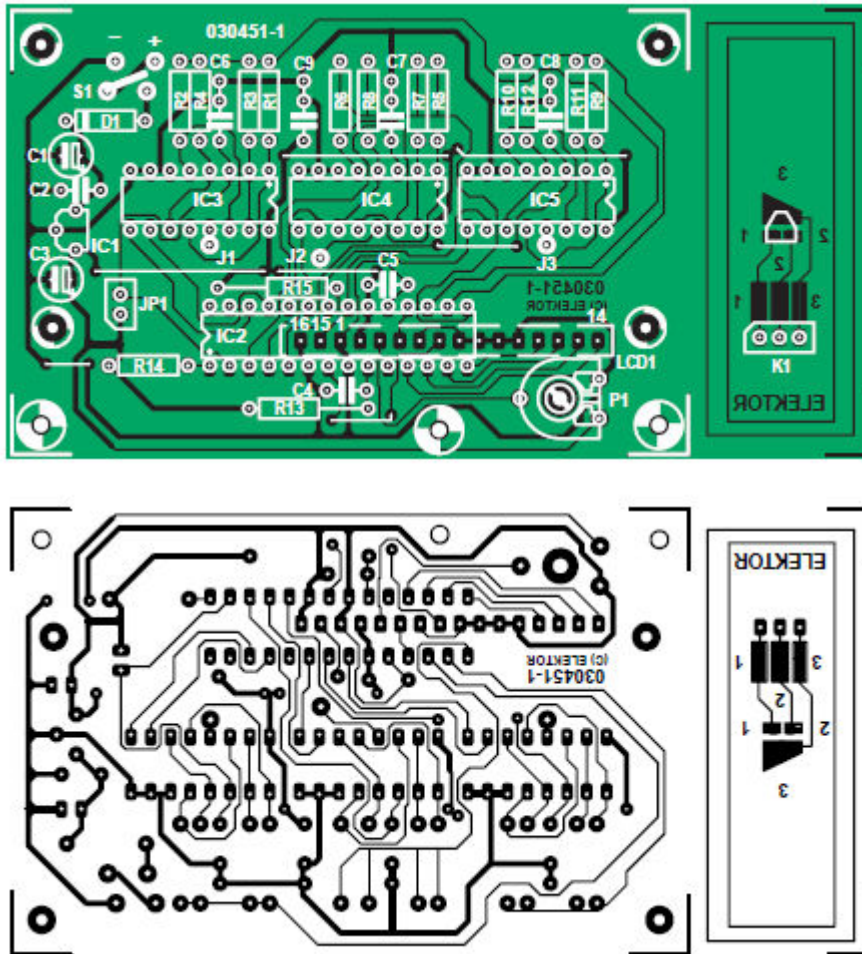


Figura 5: *layout* das trilhas e disposição dos componentes da placa PCB

Note que a sequência dos pinos do *display* utilizado aqui é bastante incomum, com os pinos 15 e 16 no fim, localizado próximos ao pino 1. Além do teste poder utilizar garras tipo “jacaré”, há também o *layout* de uma placa especial para testes que pode ser conectada à placa de circuito principal, o que pode facilitar a leitura de componentes SMD (diodos e transistores). Utilize três fios curtos e flexíveis para ligar essa placa de leitura de componentes SMD à placa principal do circuito, assegurando-se de que a sequência correta seja mantida: (1 para o contato J1, 2 para o contato J2 (no meio) e 3 para contato J3).

Embora isso dificilmente afete as medições, é importante identificar os terminais do semicondutor. **O terminal “central” deve ser sempre ligado a J2.** Naturalmente, você também pode usar cabos flexíveis com as garras “jacaré”. A placa de circuito é projetado para se encaixar numa caixa padrão com compartimento para uma bateria de 9 volts.

Calibragem

Depois que o testador é ligado, uma mensagem de boas-vindas aparece e exibe a versão do software (*SC-2005 Analyzer Elektor Rev. 1.0e*). Se você não ver esta mensagem, tente ajustar o trimpot de ajuste de contraste P1 para melhorar a situação. A primeira

coisa que você deve fazer é calibrar a resistências internas dos interruptores analógicos. Se esses valores são conhecidos com a maior exatidão possível, as medições dos diferentes parâmetros de transistor serão mais precisas.

Se esta calibragem não for executada, um valor padrão de 65Ω será usado para cada interruptor. Cada vez que o testador for ligado, o *software* verificará se a calibração foi feita, e se não tiver sido, a mensagem "Cal error" será exibida durante aproximadamente um segundo:



O processo de calibração é fácil e é executado automaticamente. Para realizar o procedimento, coloque *jumper* na posição JP1 enquanto o testador está desligado e curto-circuite todos os três terminais de teste juntos, em seguida, ligue o testador. A mensagem "Cal remove jumper W1" será exibida no *display*:



Agora você deve remover o *jumper*, e o processo de calibração será iniciado. Três resistências são medidas uma após a outra, e seus valores são exibidos sucessivamente.

Em seguida, a mensagem "Short RSH Ω " irá aparecer:



Após isso, você pode desligar os três terminais do teste um do outro, e o aparelho mudará automaticamente para o modo de teste e exibirá a mensagem "No component *-**" (Foto1).



Foto1

A calibração pode ser realizada sempre que desejar, repetindo o procedimento acima (desligar a alimentação, ajustar o *jumper*, e ligar a alimentação outra vez). Se tiver problemas, verifique se os cinco fios de *jumpers* estão de fato devidamente montados e

soldados no lugar. Certifique-se também de que a tensão de alimentação está presente nos soquetes dos integrados.

Operação

Após a mensagem de boas vindas mostrando a versão do software (*SC-2005 Analyser Elektor Rev. 1.0e*), o *display* deve mostrar as seguintes informações: a primeira linha mostra o tipo do transistor e o valor de um dos parâmetros característicos. A segunda linha mostra a disposição dos terminais do transistor e, se relevante, o valor de um segundo parâmetro.

Transistores bipolares

A primeira linha do *display* indica a polaridade do transistor (PNP ou NPN), o tipo de material semicondutor (silício ou germânio), e o parâmetro HFE. A segunda linha mostra a disposição dos terminais e a corrente do coletor. A corrente tem um valor de cerca de 1,5 a 4 mA, dependendo do ganho.

O **SC 2005 Analyser** exibe o tipo de material semicondutor ("Ge" para germânio ou "Si" de silício), de acordo com o valor medido de VBE (**Foto 2**).

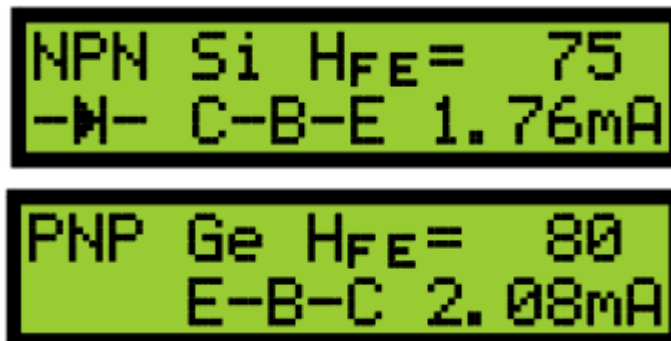


Foto2

Se o transistor está parcialmente ou completamente em curto, os terminais associados ficarão marcados com um 'X' pelo instrumento. Um curto é considerado presente se a resistência medida entre dois terminais for inferior a 50 Ω (**Foto 3**).



Foto 3

FETs

Os valores dos parâmetros V_{TH} , I_{DSS} e R_{DSON} são mostrados aproximadamente a cada dois segundos. Os terminais dreno e supridor são determinados arbitrariamente pelo **SC Analyzer 2005**, mas corresponderão à configuração utilizada para determinar os parâmetros.

Se você trocar os terminais dreno e supridor do componente em teste (TUT), você pode obter os valores para inverter a configuração, mas, desde FETs têm estruturas simétricas, não deverá existir grandes diferenças entre os valores medidos. Considerando-se o método utilizado para efetuar as medições, a precisão dos valores fornecidos pelo **SC Analyzer 2005** é mais que suficiente. Para I_{DSS} é $\pm 5\%$, e para R_{DSON} é $\pm 5 \Omega$. No entanto, o valor medido do limite de tensão pode diferir do valor real de 0,5 V para determinados transistores, embora em regra será obtida uma precisão de 50 mV.

Um tipo particular de FET de um fabricante pode produzir um valor muito próximo do valor real, enquanto o mesmo tipo de um fabricante diferente mostrará um valor que diferirá por várias centenas de milivolts. Na prática, a precisão está relacionada com a precisão do modelo Schichman-Hodges e revela as limitações deste modelo (consulte a introdução sobre este assunto).

Limite de tensão

O limite de tensão é negativo para FETs canal-N e positivo para FETs canal-P. O valor máximo é limitado a ± 20 volts pelo *software*. A resolução é de 10 mV para valores de até $\pm 9,99$ V e 100 mV para valores maiores (**Foto 4**).



Foto 4

Corrente de saturação

A saturação de corrente (com o Gate em curto com o Source) é mostrada aqui. O valor da saturação de corrente varia de 0 a 99,9 mA. A resolução é de 10 μ A para correntes até 10 mA e 100 μ A para correntes até 100 mA (**Foto 5**).

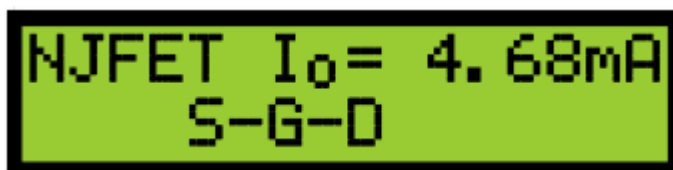


Foto 5

Resistencia dreno–supridorou

Este é a resistência entre dreno e supridorou quando o FET for totalmente 'on' com $V_{GS} = 0$ V. A medição tem um range de 0 a 999 Ω (Foto 6).

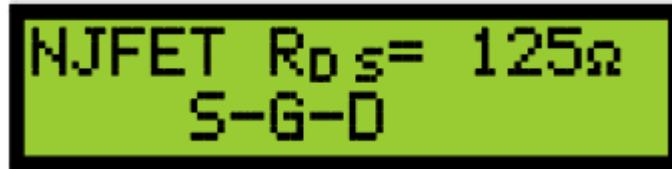


Foto 6

MOSFETs

A tensão mostrada corresponde ao limite de tensão do MOSFET para a corrente de dreno de aproximadamente 2 mA. O range de medição é de 0 a 4,5 volts, com uma resolução de 10 mV. Para a identificação correta do dispositivo como um MOSFET, a corrente de fuga do gate não deve exceder 0,5 μ A (Foto 7).

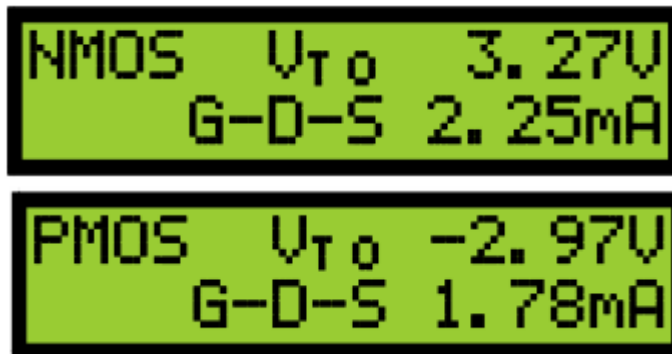


Foto 7

Diodos

Díodos podem ser conectados entre o lado esquerdo e o lado direito dos terminais do instrumento. O **SC Analyzer 2005** indica as posições do anodo e catodo. Três telas são exibidas em sequência em um intervalo de cerca de 2 segundos. A primeira tela mostra a tensão e a corrente através do diodo através de um resistor de cerca de 400 Ω . A corrente máxima é assim limitada a cerca de 12 mA (Foto 8).



Foto 8

A segunda tela mostra a mesma informação, mas desta vez com um resistor de cerca de 5K9, o que faz com que a corrente máxima deve ser limitada a cerca de 800 μ A (Foto 9).



Foto 9

A terceira tela mostra a corrente em sentido inverso e o ensaio de tensão. A resolução é de 100 nA (Foto 10).



Foto 10

SMDs

Você provavelmente se perguntou como usar a parte de teste de SMD do instrumento. Os terminais do componente a ser analisado devem fazer contato com as correspondentes áreas cobreadas sobre a placa de circuito impresso. Diodos SMD devem ser ligados entre área 1 e área 3. Uma pequena vareta de plástico pode ser usada para pressionar adequadamente o componente SMD contra a placa de circuito impresso de modo com que seus terminais tenham bom contato.

Conclusão

O **SC Analyzer 2005** é um instrumento prático, de fácil construção e com grande número de funcionalidades, que pode ser uma ajuda muito valiosa para radioamadores, hobbystas de eletrônica e profissionais. Um breve resumo de suas aplicações possíveis incluem a pesquisa de um tipo equivalente, teste de operação do semicondutor, teste de curtos em semicondutores, medição de semicondutores sem identificação e simplesmente a rápida identificação dos terminais de um semicondutor sem ter a necessidade de se consultar um *datasheet*. Tempo necessário para aquecer um ferro de solda!

LISTA DE COMPONENTES

Resistores:

R1,R5,R9 = 100 K, 1% (marrom-preto-amarelo-marrom)
R2,R6,R10,R13 = 5K6 (verde-azul-vermelho)
R3,R7,R11 = 1K, 1% (marrom-preto-vermelho-marrom)
R4,R8,R12 = 100 Ω , 1% (marrom-preto-marrom-marrom)
R14 = 47 K (amarelo-violeta-laranja)
R15 = 33 Ω (laranja-laranja-preto)
R16 = 27 Ω (vermelho-violeta-preto) (não está na placa!)
P1 = trimpot de 10 K deitado

Capacitores:

C1,C3 = 10 μ F X 25V radial
C2,C5,C9 = 100 nF (0,1 μ F -100 n - 104)
C4 = 100 pF (101)
C6,C7,C8 = 1 nF (0,001 μ F – 1 n - 102)
C10 = 10 μ F 25V radial (não está na placa !)

Semicondutores:

D1 = 1N4007
IC1 = LM78L05
IC2 = PIC16F876-20/SP
IC3,IC4,IC5 = 74HC4052 (apenas HC !)

Miscelânea:

S1 = chave liga/desliga
LCD1 = LCD padrão com 2 linhas e 16 caracteres
JP1 = terminal de dois pinos com *jumper*
3 mini garras “jacaré” *
3 soquetes de pinos torneados para 16 pinos DIL
1 soquete de pinos torneados para 28 pinos DIL
Caixa (no protótipo foi utilizada a Hammond 1591BTBU)
Bateria de 9 volts com terminais
5 fios para *jumper*
Placa PCB, código **030451-1** (veja Readers services em www.elektorelectronics.co.uk)
PIC programado, código **030451-11** ou download gratuito em www.elektor-electronics.co.uk
* leia o texto

Configuração do microcontrolador

O microcontrolador pode ser configurado com as seguintes opções:

- oscillator in RC mode
- watchdog timer (WDT) disabled
- ‘timer reset on power on’ enabled
- brownout reset disabled
- EEPROM protection disabled
- writing to Flash memory disabled
- debug mode disabled
- code protection disabled

Outra versão de placa:

O autor deste projeto também publicou outra versão para este instrumento, num artigo chamado **Determinator 4001**, publicado na edição número 282 da revista francesa *Electronique Pratique*. Este artigo, com o código de programação do microcontrolador e o *layout* dessa outra versão de placa, muito mais prática para ser confeccionada por ter trilhas mais grossas do que essa versão da Elektor, pode ser baixado no *site* da própria revista:

<http://www.electroniquepratique.com/detail.php?idMg=29&id=303>

O **Gomes, PY2MG** também elaborou uma versão para essa placa, podendo disponibilizá-la pronta aos colegas. O *e-mail* do Gomes é py2mg1@gmail.com

Sobre o autor deste projeto

Michel Waleczek nasceu em 1965 e estudou na *École Nationale Supérieure d'Électronique et de Radioélectricité de Grenoble* (ENSERG), na França. Trabalhou como engenheiro por sete anos no departamento de desenvolvimento e pesquisas de um grande fabricante francês de equipamentos para balanças. Após isto passou para a sucursal francesa da Hameg, onde ocupa o cargo de Diretor de Desenvolvimento. Entre suas viagens para o outro lado do globo, ele consegue encontrar um pouco de tempo para projetar instrumentos de medição para hobbystas de eletrônica.

e-mail do autor: m.waleczek@mwinstruments.com