

Utilização de osciloscópio como traçador de curvas: uma proposta pedagógica para aulas práticas de eletrônica fundamental.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho é fruto do desenvolvimento de atividades práticas realizadas em uma disciplina de eletrônica fundamental de um curso de engenharia elétrica. O principal objetivo é a utilização do osciloscópio como um traçador de curvas, a fim de que os alunos sejam capazes de visualizar durante as atividades de laboratório as curvas apresentadas durante as aulas teóricas de eletrônica, aprendendo também a utilização de instrumentos de bancada nesse processo. Consultando alguns colegas, e lembrando a experiência do Autor durante sua graduação, constata-se que uma atividade prática recorrente em cursos de engenharia é a caracterização da relação entre tensão e corrente de diodos e transistores. No entanto, na quase totalidade das situações, essa caracterização é feita através da medição pontual de diversas tensões e respectivas correntes dos dispositivos e, posteriormente, feito o traçado destes pontos em papel milimetrado a fim de obter as curvas. Essa abordagem é bastante trabalhosa e sujeita a erros, além de consumir um tempo razoável da atividade prática. Utilizando o osciloscópio como traçador de curvas o mesmo processo pode ser feito muito mais rapidamente, além de permitir que o aluno avalie o efeito da variação da tensão ou corrente sobre o dispositivo de forma imediata.

Nessa proposta pedagógica desenvolveu-se um circuito para determinar a relação entre a corrente de coletor de um transistor de junção bipolar e sua tensão coletor-emissor utilizando um único gerador de funções, um osciloscópio, uma fonte de alimentação e uma placa de protótipo, ou *proto-board*, uma vez que esses elementos são geralmente encontrados em laboratórios de eletrônica fundamental. No entanto, não foi possível desenvolver um circuito que determinasse a relação entre a corrente de coletor de um transistor de junção bipolar e sua tensão coletor-emissor utilizando um único gerador de funções, sendo necessário dois geradores.

A partir dessa proposta, o presente artigo está estruturado da seguinte forma: inicialmente será discutido o funcionamento de osciloscópios e como o mesmo pode ser utilizado como traçador de curvas. Posteriormente, será apresentado o circuito utilizado para caracterizar as curvas de diodos e, finalmente, o circuito utilizado para caracterizar as curvas de transistores.

2 O OSCILOSCÓPIO

O osciloscópio é um dispositivo de medida que permite a visualização de formas de onda de sinais, ao invés de somente seu valor quadrático médio ou valor médio, como no caso de multímetros. Os primeiros modelos eram analógicos e seu funcionamento baseava-se na capacidade de deflexão de feixes eletrônicos por campos elétricos em tubos de raios catódicos. Uma representação esquemática de um osciloscópio analógico está presente na **figura 1**. Seu funcionamento básico é o que segue: um feixe de elétrons é emitido por um catodo e acelerado por um campo elétrico aplicado entre o catodo e a tela do instrumento, até atingi-la. A tela é coberta por uma camada de fósforo a fim de permitir a visualização do ponto de impacto pelo operador do equipamento. Sabendo que os eixos x e y de um plano cartesiano são linearmente independentes, pode-se defletir o feixe de elétrons utilizando um campo elétrico aplicado horizontalmente ao tubo, sem interferir na movimentação vertical do feixe, e vice-versa. Para realizar este efeito, os osciloscópios analógicos são construídos de forma a terem um par de placas horizontalmente ao tubo e outro par de placas verticalmente ao tubo de forma a se obter a deflexão do feixe de elétrons. Aplicando-se um sinal de tensão nas placas horizontais deflete-se o feixe horizontalmente, aplicando-se um sinal de tensão nas placas verticais deflete-se o feixe verticalmente. O mesmo efeito pode ser obtido com bobinas, defletindo-se o feixe utilizando campos magnéticos. Este mecanismo é utilizado em televisores de tubos de raios catódicos e tem a vantagem de gerar uma

força maior para defletir o feixe, permitindo trabalhar com tubos mais curtos. No entanto, a relação entre a corrente da bobina e o campo magnético produzido é não-linear, e por isso preferem-se utilizar campos elétricos para fazer a deflexão do feixe de raios catódicos em osciloscópios analógicos.

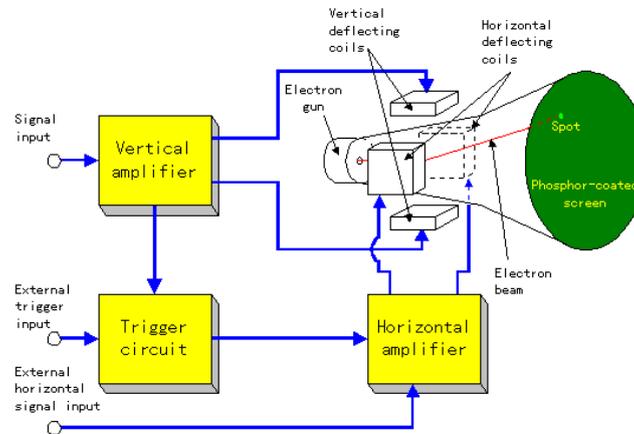


Figura 1: Diagrama esquemático de um osciloscópio analógico

Para apresentar uma forma de onda na tela, segue-se o seguinte procedimento: aplica-se um campo elétrico entre as placas horizontais de tal forma que o feixe seja defletido horizontalmente a uma velocidade constante entre uma extremidade e a outra da tela. Este campo elétrico pode ser gerado inserindo-se uma onda dente-de-serra nas placas horizontais. Aplicando-se o sinal que se deseja visualizar no conjunto de placas verticais, faz-se com que o feixe trace a forma de onda do sinal na tela do osciloscópio, conforme ilustrado na **figura 2**.

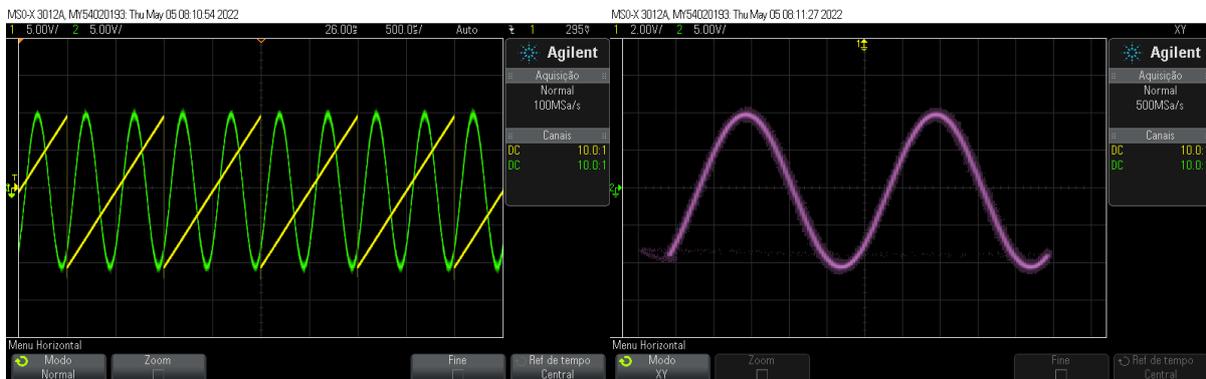


Figura 2: Esquerda: onda dente-de-serra (em amarelo) e senoidal (em verde); Direita: ondas no modo XY

No entanto, se a razão entre as frequências do sinal aplicado às placas horizontais e às placas verticais não for um número fracionário, a cada ciclo da onda dente-de-serra o feixe será variado verticalmente de uma forma distinta, e o resultado é a apresentação de várias senóides com defasagem distinta superpostas, conforme ilustrado na **figura 3**. Mesmo uma variação pequena de frequência, de 1% entre as frequências, é suficiente para que o sinal visualizado não se estabilize, movendo-se lentamente.

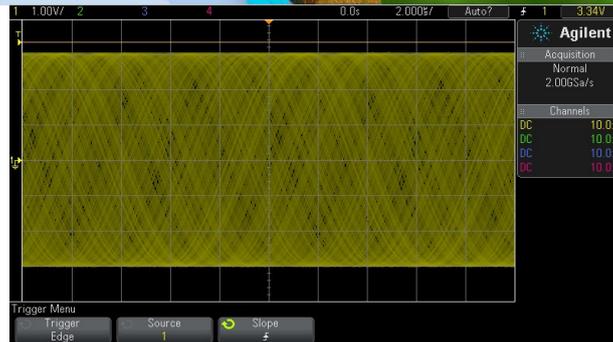


Figura 3: Forma de onda de um sinal não sincronizado com o sinal horizontal do osciloscópio.

Para contornar este problema, costuma-se implementar uma onda dente-de-serra com um circuito de gatilhamento, ou *trigger*: traça-se um ciclo da onda dente-de-serra e espera-se o sinal vertical atingir uma condição preestabelecida. Em osciloscópios analógicos, a condição usualmente empregada é o cruzamento do sinal aplicado às placas verticais por um nível de tensão preestabelecido (usualmente zero) e sua primeira derivada positiva. Esse mecanismo de onda dente-de-serra com circuito de *trigger* é implementado internamente nos osciloscópios, não sendo necessário um gerador de função dedicado para isso. Tal circuito é apresentado ao usuário na forma de ajuste do canal horizontal e a frequência da onda dente-de-serra é fornecida em termos de quantos milissegundos (ou microssegundos) o feixe leva para percorrer uma divisão horizontal. Mesmo assim, osciloscópios permitem que se insira um sinal a ser utilizado para defletir o feixe horizontalmente, caso haja interesse. Essa opção geralmente está disponível no menu do canal horizontal do osciloscópio e é usual, em osciloscópios de dois ou mais canais, utilizar-se o canal 1 para a deflexão horizontal e o 2 para a deflexão vertical.

A habilidade de se utilizar um sinal para defletir o feixe de elétrons horizontalmente e outro verticalmente é o que permite a utilização do osciloscópio como um traçador de curvas.

Uma *feature* bônus presente em osciloscópios é a utilização do sinal da rede elétrica como referência de gatilhamento para estabilizar o sinal que está na tela. Essa *feature* possui a seguinte vantagem: se o sinal visualizado está parado ao se selecionar varredura por sinal da rede, isso significa que o sinal visualizado está sincronizado com o sinal da rede. Como a rede é uma grande fonte de ruído, esta opção permite rapidamente determinar se o sinal visualizado é ruído ou não.

Osciloscópios digitais são, grosso modo, formados por osciloscópios analógicos onde o sinal é digitalizado e, posteriormente, apresentado em uma tela, ao invés de ser apresentado diretamente em um tubo de raios catódicos, conforme **figura 4**. Portanto, todas as *features* já apresentadas estão presentes em osciloscópios digitais, muitas vezes com mais opções. No entanto, o mecanismo básico descrito anteriormente continua presente.

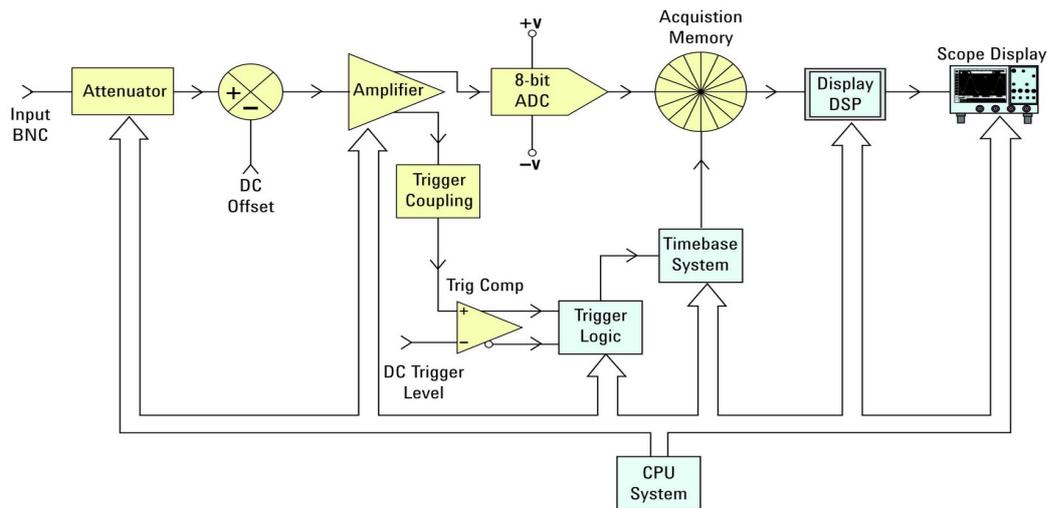


Figura 4: diagrama esquemático de um osciloscópio digital

Vale ressaltar que a apresentação dessa pequena introdução aos osciloscópios feita durante as aulas práticas de eletrônica aos alunos, apesar da necessidade de utilização de dois geradores de função, teve como uma vantagem o efeito de fazer os alunos pararem de utilizar a função *autoset* presente em osciloscópios digitais, ajustando o sinal diretamente no controle vertical, horizontal e trigger, mostrando que eles realmente compreenderam o funcionamento básico do osciloscópio. Em uma ocasião particular, inclusive, quando um sinal de gerador de função estava conectado ao osciloscópio sem o sinal de terra, causando uma modulação da onda quadrada fornecida pelo gerador de funções pelo sinal de ruído de rede, notou-se que os alunos prontamente ajustaram o canal horizontal no modo “rede” para conferir se o sinal modulante realmente era o sinal da rede.

3 Traçador de curva de diodo

O circuito da **figura 5** é o circuito proposto para apresentar a relação entre a tensão e a corrente de um diodo. Seu princípio de funcionamento é o que segue: o amplificador operacional, devido ao seu alto ganho, altera sua saída de tal forma que a diferença de tensão entre os terminais de entrada seja desprezível (da ordem de alguns mV). Com isso, a tensão no terminal negativo é aproximadamente zero, mas a impedância de entrada do amplificador operacional é muito alta e, portanto, não drena ou fornece corrente ao circuito. Portanto, diz-se que o amplificador operacional gera um *terra virtual* entre suas entradas.

Essa característica faz com que a tensão de saída do amplificador seja igual à tensão sobre o diodo, V_{d1} , com sinal negativo. A tensão do gerador de funções, V_1 , por sua vez, é igual à tensão sobre o resistor de 1K, gerando uma corrente proporcional ao sinal V_1 . Essa corrente é a mesma corrente que atravessa o diodo, ou seja, V_1 é proporcional a i_d . Pode-se ainda argumentar que a relação V_{out}/V_1 é igual à relação tensão-corrente do elemento que está realimentando o amplificador operacional na configuração de amplificador inversor.



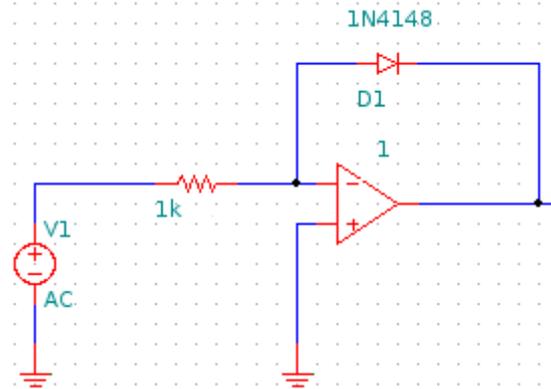


Figura 5: circuito proposto para determinação da relação tensão-corrente do diodo.

Assim, colocando a ponteira 1 do osciloscópio, responsável pela deflexão horizontal, na saída do amplificador operacional e a ponteira 2, responsável pela deflexão vertical, sobre o gerador de funções, pode-se traçar a relação tensão-corrente do diodo na tela do osciloscópio, conforme ilustrado na **figura 6**. Esta figura foi obtida por alunos da disciplina de eletrônica fundamental e apresentada como parte do relatório de atividade prática.

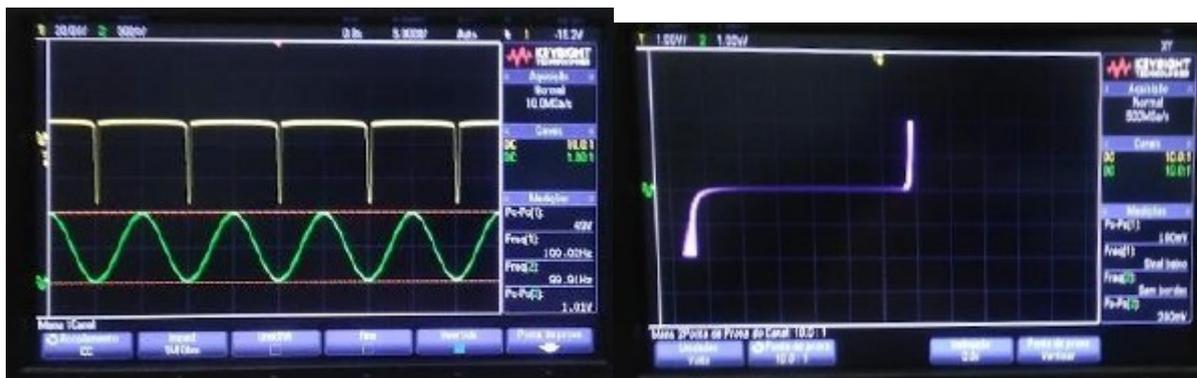


Figura 6: Esquerda: Onda senoidal (verde) e saída do amplificador (amarelo). Direita: mesmos sinais no modo XY.

A forma de onda do gerador de funções pode ser tanto triangular quanto senoidal, e sua frequência pode ser arbitrariamente escolhida, desde que o amplificador operacional não atinja seus limites de operação. Uma frequência de 1 kHz é suficiente. Quando o sinal V_1 for negativo, duas coisas podem ocorrer: ou o amplificador operacional torna a sua saída o mais positiva possível para forçar uma condução de corrente reversa sobre o diodo, chegando à saturação, ou o diodo atinge o ponto de ruptura e começa a conduzir reversamente. A diferenciação entre um caso e outro é facilmente detectável alterando-se a tensão de alimentação positiva do amplificador operacional. Se o ponto de condução reversa mudar, o amplificador operacional atingiu sua saturação. Utilizando-se diodos Zener, cuja tensão de ruptura é tão baixa quanto 5 volts, sem danificação do dispositivo, é possível o levantamento da curva de condução positiva e negativa do diodo, sem levar o amplificador operacional à saturação.

Durante as práticas de laboratório obtiveram-se bons resultados solicitando-se que os alunos configurassem o gerador de funções para uma saída de onda senoidal com tensão mínima de 0V e máxima 0.5V e, em seguida, que a amplitude fosse aumentada até 1V positivo e 1V negativo. Essa prática acaba sendo realizada em meia hora, em média, sendo necessário inserir outras atividades caso a atividade de laboratório tenha duração de uma hora, o que é muito comum em cursos de graduação.

4 Curvas do transistor BJT

Na **figura 6** é apresentado o circuito utilizado em aula e que utiliza dois amplificadores operacionais. Para não ser necessário utilizar dois circuitos integrados, utilizou-se um chip contendo dois amplificadores no mesmo encapsulamento, o TL082. O funcionamento do circuito é o que segue: a tensão V_1 , fornecida por um gerador de funções, é aplicada ao resistor de 100K. Como o ponto 2 do circuito é igual a zero devido ao terra virtual produzido pelo amplificador operacional localizado em 1-2-3, a corrente sobre o resistor de 100K é igual à tensão V_1 do gerador de funções dividida pela resistência de 100K. Esta corrente é igual à corrente sendo inserida na base do transistor, ou seja, V_1 é proporcional a i_b . A tensão de saída do amplificador operacional localizado em 1-2-3 é igual à tensão de emissor, V_e , do transistor. Como a base do transistor está conectada ao terra virtual do amplificador operacional em 1-2-3, a saída do amplificador operacional em 1-2-3 é igual à tensão V_{be} do transistor, com sinal negativo. O amplificador operacional localizado em 5-6-7 garante uma tensão de coletor $V_c = 0$ devido ao seu terra virtual, mantendo o transistor no modo ativo direto. A corrente de coletor, i_c , por sua vez, é a corrente sobre o resistor de 100 ohms, e portanto a tensão de saída do operacional em 5-6-7 é proporcional à corrente I_c .

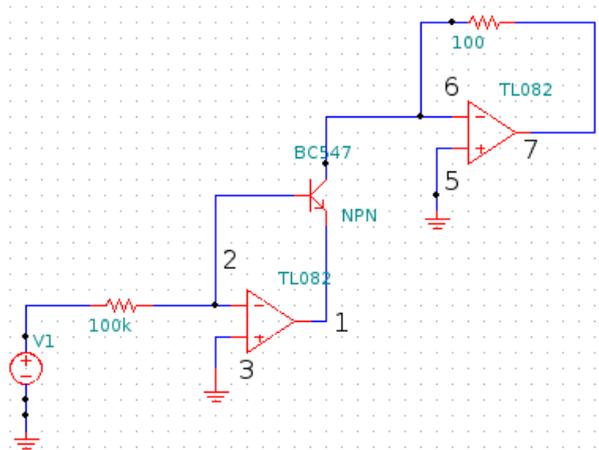


Figura 7: Circuito proposto para determinação de curvas do transistor de junção bipolar

Devido a estas características é possível posicionar a ponteira do canal 1 do osciloscópio na saída do operacional em 1-2-3 e, colocando-se a ponteira do canal 2 no gerador de funções, traçar a relação I_b por V_{be} , que deve ser a mesma curva vista em um diodo, conforme apresentado na **figura 8**. Esta figura foi obtida por alunos da disciplina de eletrônica fundamental e apresentada como parte do relatório de atividade prática.



Figura 8: I_c versus V_{BE}

Posicionando-se a ponteira do canal 2 na saída do amplificador operacional localizado em 5-6-7 e mantendo a ponteira do canal 1 na saída do amplificador operacional em 1-2-3 pode-se traçar a curva I_C por V_{BE} , mostrando que esta relação é similar à de um diodo. Esta relação é apresentada na **figura 9**. Esta figura foi obtida por alunos da disciplina de eletrônica fundamental e apresentada como parte do relatório de atividade prática..



Figura 9: I_b versus V_{BE}

Posicionando-se a ponteira do canal 1 no gerador de função e a ponteira do canal 2 na saída do amplificador operacional em 5-6-7 é possível então traçar a relação I_C por I_b , mostrando que esta relação é linear. Esta relação é apresentada na **figura 10**. Esta figura foi obtida por alunos da disciplina de eletrônica fundamental e apresentada como parte do relatório de atividade prática.



Figura 10: I_C versus I_b

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho foi implementado com sucesso em atividades de laboratório do curso de engenharia elétrica. Trabalhos futuros podem estender a metodologia aqui apresentada para traçar outras curvas de dispositivos já apresentados, como a relação I_C por V_{ce} de transistores de junção bipolar, bem como curvas de transistores de efeito de campo. Pode-se inclusive utilizar o mesmo procedimento para apresentar a relação entre entrada e saída de circuitos com topologias conhecidas, como amplificadores transistorizados ou comparadores com histerese.

REFERÊNCIAS

Keysight Technologies: **Introdução ao osciloscópio.** Disponível em: <https://www.keysight.com/br/pt/assets/9018-18308/quick-start-guides/9018-18308.pptx>. Acesso em: 09 Mai 2022

SEDRA, Adel S; SMITH, Kenneth C. **Microeletrônica.** 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

HOROWITZ, P.; HILL, W. **A arte da eletrônica: circuitos eletrônicos e microeletrônica.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

Abstract: *The present work is the result of practical activities performed in the electronics discipline of the electrical engineering course. One practical activity very common to see in laboratory practices on electronics curriculum is the plot of the voltage and current characteristics of common devices, such as diodes and transistors. However, in many cases this relationship is done by hand, measuring the voltage and current of the device and sketching the relationship on paper. This approach is very error-prone, and it takes a significant amount of time to perform. However it is possible to use the oscilloscope as a curve tracer to perform the same task in a much faster way, and as a benefit the students can explore the usage of oscilloscopes beyond the basics. The present work presents circuits developed to trace the voltage and current relationship of diodes and bipolar transistors using one function generator, one oscilloscope and one prototype board. This work also contain some waveform curves obtained by the students themselves in the laboratory activities, and provided in the lab report.*

Keywords: *oscilloscope, curve tracer, electronics, laboratories*