

Experiência 1 — OSCILOSCÓPIO

Segundo uma opinião geralmente aceita, o mais importante e sofisticado instrumento de teste eletrônico de que dispomos é o osciloscópio. Além de ser utilizado para observar visualmente formas de onda e medir tensões e frequências, este versátil instrumento é largamente aplicado em meios industriais e científicos para a medição e observação de várias grandezas físicas que são convertidas em impulsos elétricos. Contudo, antes de falarmos do osciloscópio, faz-se necessário que voltemos às experiências de Thomas Edison, na segunda metade do século XIX.

I - INTRODUÇÃO

Durante as experiências que levaram a invenção da lâmpada incandescente, Thomas Edison¹ construiu um protótipo onde havia vários eletrodos, entre os quais fixava-se um longo filamento. Como o rompimento destes filamentos era freqüente, ele elaborou esta montagem de modo que pudesse realizar vários experimentos. Algumas partes do filamento romperam-se, mas outras continuaram em funcionamento, deixando alguns eletrodos isolados. Edison observou que, quando era ligado um fio entre esse eletrodo isolado e o polo positivo da bateria que alimentava o filamento, havia um fluxo eletrônico no fio. Observou também que não havia fluxo eletrônico quando o eletrodo isolado era ligado ao polo negativo da bateria. Esse fenômeno, conhecido como **efeito Edison**, constitui a base de toda a teoria de que hoje chamamos de **Eletrônica**.

Em trabalhos posteriores ao de Edison, observou-se que vários elétrons são emitidos de um filamento aquecido. Uma placa metálica carregada positivamente (pólo positivo da bateria) no interior de um invólucro no qual está o filamento, atrai os elétrons emitidos pelo filamento aquecido. Se a placa metálica estiver carregada negativamente (polo negativo), ela irá repelir os elétrons emitidos pelo filamento. Esta combinação de placas metálicas, e filamentos no vácuo é chamada de **válvula**. A placa carregada positivamente recebeu o nome de **ânodo**, (do grego *nodos*, que significa ponto ou pontos ao redor dos quais se desenvolve uma ação), e o elemento emissor de elétrons (negativo) recebeu o nome de **catodo** (do grego *kathodos*). Esta primeira válvula foi denominada **diodo**.

Posteriormente, foi introduzida uma grade metálica entre o anodo e o catodo. Esta grade é carregada negativamente e sua carga é controlável. Quanto mais negativa estiver a grade, menor será o fluxo de elétrons entre o catodo e o anodo. Deste modo, a grade é o elemento de controle. Uma válvula com três elementos (anodo, catodo e grade) é denominada **triodo**, e é a base para a amplificação de sinais.

As válvulas eletrônicas foram rapidamente aperfeiçoadas e aparelhos, tais como rádios e televisores, puderam ser desenvolvidos. Com o tempo porém vieram a ser substituídos por dispositivos semicondutores. Entretanto, ainda hoje, as válvulas são utilizadas principalmente em telecomunicações, além de monitores de vídeo dos computadores, TRC (Tubos de Raios catódicos) dos receptores de televisão e telas de osciloscópio, entre outras. Nas aplicações em telecomunicações, e em particular nos sistemas de microondas, a válvula de ondas progressivas TWT (*Travelling Wave Tube*) e a de Klystron têm sido amplamente usadas. No forno de microondas utiliza-se uma variação da válvula de Klystron, conhecida como Magnetron.

Osciloscópio: o TRC

A parte principal de um osciloscópio é seu tubo de raios catódicos (TRC), mostrado na figura 1, que se trata de um tipo especial de válvula. O tubo contém as seguintes partes básicas:

- um *canhão eletrônico* para produzir a nuvem de elétrons;
- elementos de *focalização e aceleração* para produzir um feixe de elétrons bem definido;
- *placas de deflexão horizontal e vertical* para controlar a direção do feixe;
- um *invólucro de vidro sob vácuo* com uma *tela fosforescente* que emite luz visível devido ao choque de elétrons.

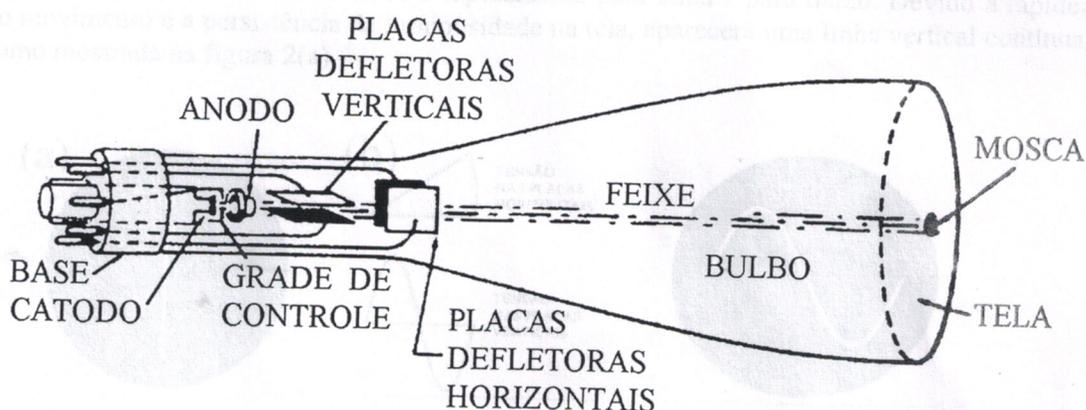


Figura 1: Estrutura básica do tubo de raios catódicos de um osciloscópio.

Os elétrons são emitidos pelo catodo em várias direções e com diferentes valores de *momentum* linear associado a eles. Uma grade de controle varia a intensidade do feixe de elétrons, ou seja, o número de elétrons que vai constituir o feixe. Após a grade de controle, temos o primeiro anodo cuja função é focalizar o feixe, e a seguir, temos o segundo anodo que serve para acelerar os elétrons. Estes anodos são conectados a potenciais positivos da ordem de 1000 V e 2000 V , respectivamente. Estes elementos (catodo, grade, 1º anodo e 2º anodo) formam o *canhão eletrônico*. Ajustando-se adequadamente as tensões dos dois anodos, obtém-se o melhor foco, que corresponde às menores dimensões do ponto luminoso formado na tela do osciloscópio.

A superfície interna da tela do TRC é recoberta por um filme de material fluorescente¹ (impropriamente chamado de fósforo), que emite luz no ponto atingido pelo feixe eletrônico.

¹Luminescência é a emissão de luz por materiais relativamente frios, ao contrário da incandescência, na qual o material emite luz como resultado de sua alta temperatura. Emissões luminescentes originam-se de átomos ou moléculas que foram excitados por algum processo que não cause aquecimento apreciável do material. Estas excitações podem ser causadas pela absorção de luz visível, radiação ultravioleta, raios-X, raios gama, por colisão com partículas carregadas ou por vários outros processos. A luminescência inclui os fenômenos de fluorescência e fosforescência. A fluorescência e a fosforescência distinguem-se pelo tempo decorrido entre a excitação e a emissão de fótons. Na fluorescência, o decaimento é rápido ($\approx 10^{-8}\text{ s}$), enquanto que na fosforescência, devido a existência de níveis de energia metaestáveis (com tempo de vida mais longo), há um tempo relativamente longo entre a excitação e a emissão de fótons, podendo durar horas ou até dias.

A parte interna do bulbo de vidro é recoberta por um filme de carbono conhecido como *aquadag*. O aquadag é ligado eletricamente ao primeiro anodo. Este revestimento condutor tem por finalidade coletar, da tela fluorescente, os elétrons deslocados pelo bombardeamento causado pelo feixe eletrônico. Se isso não fosse feito, os elétrons permaneceriam nas proximidades da tela, em movimento aleatório, produzindo uma luminosidade de fundo que reduziria o contraste e a definição do ponto luminoso.

O feixe bem definido de elétrons em alta velocidade passa através de duas placas defletoras, que provocam uma deflexão vertical e horizontal do feixe, segundo o campo elétrico aplicado a elas. Quando não há tensão aplicada às placas defletoras, o feixe eletrônico atinge a tela aproximadamente no centro. Se for aplicada em uma das placas uma tensão positiva, o feixe, que é constituído por elétrons em movimento, será atraído por esta placa, e o ponto na tela deslocar-se-á nesta direção. Uma tensão negativa provocará o efeito oposto, repelindo os elétrons e afastando o feixe da respectiva placa.

Aplicando-se uma tensão senoidal de frequência não muito baixa às placas de deflexão vertical, o ponto na tela deslocar-se-á rapidamente para cima e para baixo. Devido a rapidez do movimento e a persistência da luminosidade na tela, aparecerá uma linha vertical contínua, como mostrada na figura 2(a).

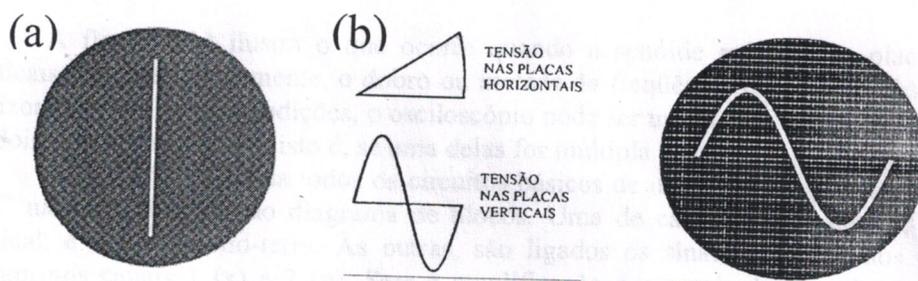


Figura 2: Imagem de (a) somente uma tensão alternada aplicada às placas de deflexão vertical e (b) uma tensão alternada às placas de deflexão vertical e uma tensão dente-de-serra às placas horizontais.

Aplicando também uma tensão dente-de-serra às placas horizontais, o feixe será deslocado de modo linear na direção horizontal, concomitantemente com o seu movimento vertical. O resultado é visto na figura 2(b). A tensão senoidal aplicada às placas defletoras verticais será desenhada na tela. Para que isso aconteça, é necessário que a tensão dente-de-serra inicie seu movimento ascendente exatamente no mesmo instante em que se inicia um novo ciclo da senóide, já que os dois sinais se repetem indefinidamente.

Em todos os osciloscópios, as placas defletoras horizontais são ligadas de tal maneira que o movimento linear de deflexão ocorre da esquerda para a direita. Este movimento é chamado de *traço* ou movimento direto. O movimento de volta recebe, então, o nome de *retraço* ou movimento de retorno.

A imagem circular da figura 3(a) é obtida quando duas ondas senoidais, de mesma amplitude e frequência, mas defasadas de 90° , são aplicadas às placas defletoras verticais e horizontais. A amplitude do sinal aplicado às placas defletoras horizontais na realidade deverá ser ligeiramente maior do que a do aplicado às verticais, devido à posição relativa entre os conjuntos de placas defletoras - as de deflexão horizontal estão um pouco mais próximas da tela do TRC, causando um deslocamento do ponto na tela um pouco menor na tela, para mesma tensão aplicada. A sensibilidade horizontal do TRC é, portanto, um pouco inferior à sensibilidade vertical.

Se a defasagem for igual a zero o sinal será uma reta e se for diferente de zero e 90° será uma elipse. Este método é muito usado para medir a defasagem entre dois sinais como será visto adiante no experimento 3(b).

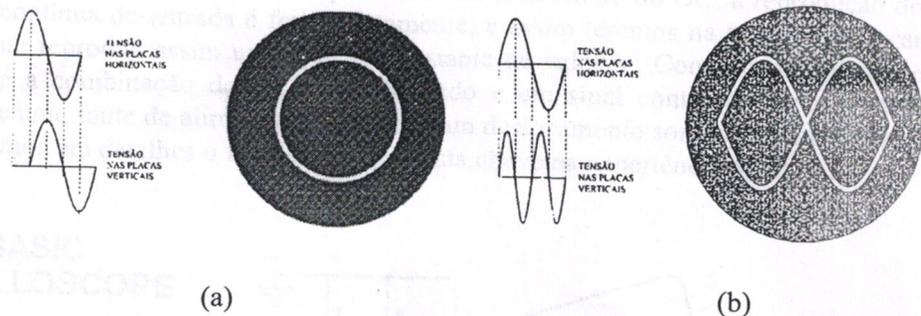


Figura 3: (a) Imagem obtida quando as duas senóides têm a mesma amplitude e frequência, mas estão defasadas de 90° . (b) Imagem obtida quando a frequência da tensão senoidal aplicada às placas verticais é o dobro da horizontal.

A figura 3(b) ilustra o que ocorre quando a senóide aplicada às placas defletoras verticais tem, respectivamente, o dobro ou metade da frequência da que é aplicada às placas horizontais. Sob certas condições, o osciloscópio pode ser usado para comparar as frequências de dois sinais harmônicos (isto é, se uma delas for múltipla da outra).

A figura 4 apresenta todos os circuitos básicos de um osciloscópio, podendo-se ver o TRC na parte superior do diagrama de blocos. Uma de cada placa defletora, horizontal e vertical, é ligada ao fio-terra. Às outras, são ligados os sinais, amplificados ou não, que entram nos canais 1 (x) e 2 (y). Sem a amplificação dos sinais da entrada, o osciloscópio perderia a sua maior parte de utilização, porque a tensão necessária para deslocar o feixe de apenas alguns centímetros é muito alta.

Os circuitos empregados nestes amplificadores são lineares, o que significa que podem reproduzir amplitude suficiente para acionar as placas defletoras e fidelidade total para uma tensão tão pequena que, de outra forma, não poderia ser observada. As chaves S1 e S2, contudo, permitem que o sinal externo, quando tiver amplitude suficiente, seja aplicado diretamente às placas defletoras verticais ou horizontais.

Para quase todos os osciloscópios, a tensão aplicada às placas defletoras horizontais é obtida do gerador de varredura, ou gerador dente-de-serra, interno do aparelho. Este gerador utiliza uma parte do próprio sinal aplicado ao amplificador vertical para sincronizar a frequência gerada com a do próprio sinal. Os osciloscópios dispõem ainda de recursos para sincronizar o gerador de varredura com um sinal externo, aplicado aos terminais correspondentes.

Em muitos instrumentos, o ponto de controle que faz variar a parcela do sinal de entrada que será amplificada é chamado de *ganho vertical* (*vertical gain*), *amplificador vertical* ou *sensibilidade vertical*. O controle de ganho do amplificador horizontal tem denominação análoga, ou ainda, *microsegundo por centímetro* ou base de tempos. O controle que ajusta a polarização da grade de controle do TRC é designado por *brilho* ou *intensidade*.

Normalmente, existem dois controles para variar a frequência do gerador de varredura. Um deles é uma chave rotativa com várias posições, que modifica a frequência horizontal em saltos relativamente grandes. O outro é um potenciômetro, o *ajuste fino de frequência*, que permite um ajuste mais preciso desta última. Os geradores de varredura geralmente podem fornecer sinais de 20 Hz a 100 kHz, ou até mais, varia para cada osciloscópio. A chave S1, na

figura 4, tem duas posições: *amplificador vertical* para a posição (1), e *direto* para a posição (2).

O osciloscópio possui uma chave que seleciona os modos AC e DC. Na posição AC, devido à colocação de um capacitor interno em série com o sinal de entrada, apenas a componente alternada do sinal será reproduzida na tela. No modo DC, a reprodução do sinal de tensão contínua de entrada é feita diretamente, e assim teremos na tela um deslocamento do traço que reproduz assim uma função constante de valor V . Contudo, se aplicarmos um sinal que é a combinação de um sinal alternado e um sinal contínuo (como a saída não regulada de uma fonte de alimentação) teremos um deslocamento somado à parte alternada do sinal. Veremos em detalhes o funcionamento desta chave na experiência número 2.

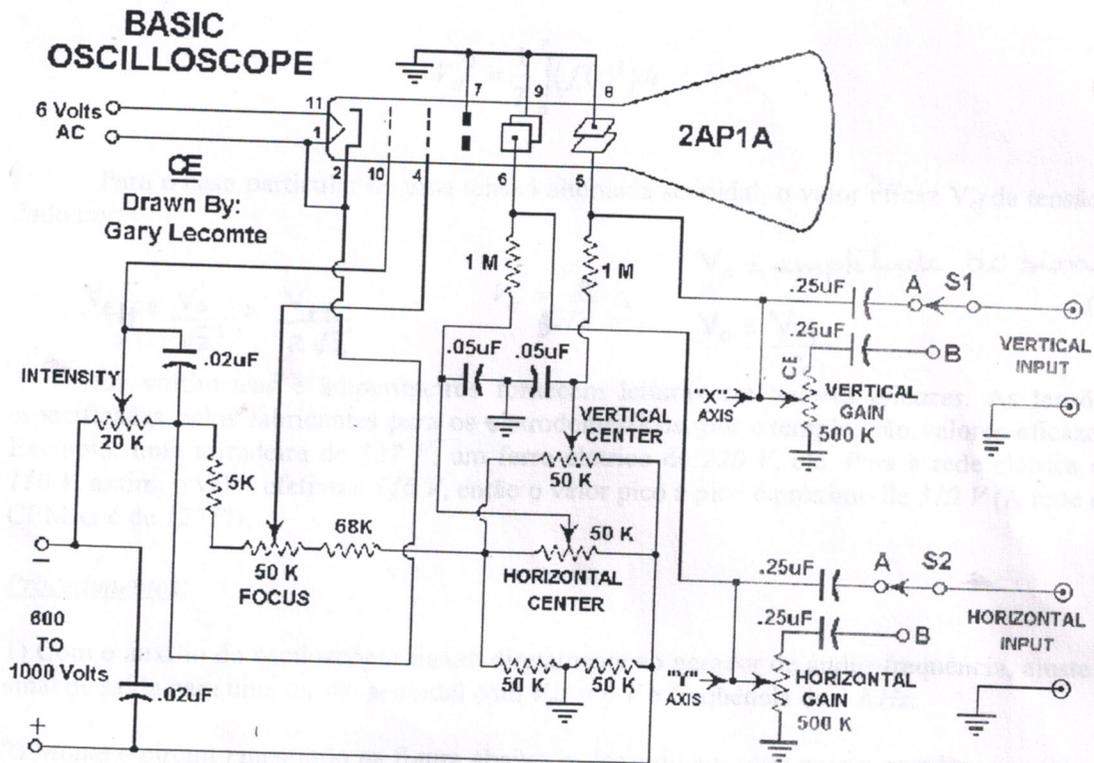


Figura 4: Diagrama de blocos de um osciloscópio básico.

Leitura recomendada

- “Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos”, R. Boylestad e Louis Nashelsky – Cap. 18.
- “Medidores e Provadores Eletrônicos”, Joseph A. Risse.
- “ABC da Eletrônica”, Farl J. Waters.

II - PARTE EXPERIMENTAL

A) Medidas de Tensão - Valor Eficaz ou Efetivo

O osciloscópio nos permite observar a forma de uma tensão complexa qualquer e medir o período T o valor pico a pico V_{pp} . Embora as tensões ou correntes senoidais variem no tempo, na prática elas são expressas pelos seus valores eficazes. Por definição, o **valor eficaz ou efetivo** de uma tensão (ou corrente) alternada é o valor de uma tensão (ou corrente) contínua que produz a mesma dissipação de potência num resistor R .

O valor eficaz de uma função periódica $f(t)$ de período T é definido por:

$$V_{ef}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T \langle f(t)^2 \rangle dt \quad , \quad (1)$$

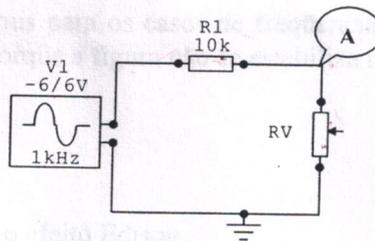
Para o caso particular de uma tensão alternada senoidal, o valor eficaz V_{ef} da tensão é dado por:

$$V_{eff} = \frac{V_o}{\sqrt{2}} = \frac{V_{PP}}{2\sqrt{2}} \quad , \quad V_o = \frac{V}{\sqrt{2}} \quad , \quad V_o = \text{amplitude do sinal} \quad (2)$$
$$V_o = \frac{V_{PP}}{2}$$

Os voltímetros e amperímetros fornecem leituras em *valores eficazes*. As tensões especificadas pelos fabricantes para os eletrodomésticos, por exemplo, são valores eficazes. Exemplo: uma torradeira de $127 V$; um ferro elétrico de $220 V$, etc. Para a rede elétrica de $110 V$, assim, o valor efetivo é $110 V$, então o valor pico a pico é próximo de $310 V$ (A rede da CEMIG é de $127V$!).

Procedimentos:

- 1) Com o auxílio do osciloscópio ligado diretamente ao gerador de áudio-frequência, ajuste o sinal de saída para uma tensão senoidal com $V_{pp} = 6 V$ e frequência de $1 KHz$.
- 2) Monte o circuito mostrado na figura abaixo, colocando em série com o gerador um resistor fixo de $10 k\Omega$ e uma década de resistências (R_V).



- 3) Conecte o osciloscópio ao resistor R_V (pino (+) ou vermelho no ponto A, e pino (-) ou preto no terra) e meça os valores das tensões no resistor R_V para cinco valores de resistência $R_V = 10, 20, 30, 40, 50 K\Omega$. Atenção, você fará leituras de V_{pp} . Meça também, com o multímetro (modo V_{ac}), os valores das tensões para as cinco resistências acima.

4) Determine teoricamente os valores de V_{pp} e V_{ef} para todas as resistências e compare com os valores experimentais.

B) Medidas de Intervalos de Tempo

O osciloscópio pode ser usado também para medidas de intervalos de tempo, tais como, por exemplo, o *período de um sinal gerado* por um Gerador de Áudio-Frequência.

1) Para realizar medidas de tempo, coloque o controle "*variable*" completamente girado no sentido horário, quer dizer, na posição *cal* (calibrado)

2) Meça 5 (cinco) valores de períodos diferentes para ondas senoidais com frequências variadas geradas pelo Gerador de Áudio.

3) Faça uma tabela contendo estes valores, suas frequências calculadas e as correspondentes leituras das frequências feitas diretamente do gerador de áudio. Lembre-se que período é definido como o inverso da frequência ($f = 1/T$).

4) Compare os resultados.

C) Uso da operação X-Y

Para esta parte serão utilizados dois geradores, um no canal 1 e o outro no canal 2.

1) Aplique uma tensão senoidal em cada canal do osciloscópio. Selecione a posição da chave Trig Mode na posição *X-Y*. Ajuste os controles de ganho dos canais 1 e 2 para obter tamanho adequado de visualização.

2) Sabemos que, se as frequências dos sinais alternados estiverem numa relação simples $1/2$, $2/3$, $3/5$, etc. e estáveis, aparecerá uma *Figura de Lissajous* na tela do osciloscópio.

3) Desenhe as figuras de Lissajous para os casos de frequência senoidal dos canais 1 e 2 na relação de $1/1$ e $1/2$. Explique porque a figura não se estabiliza na tela.

D) Questões

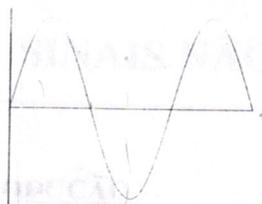
1) Descreva com suas palavras o efeito Edison.

2) Enumere as partes que compõem um canhão eletrônico.

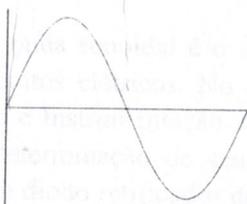
3) Qual é a posição relativa e a finalidade dos dois anodos encontrados no TRC ?

4) Diga o que significa traço e retraço de um osciloscópio.

5) Desenhe a forma de onda resultante da aplicação dos seguintes sinais:

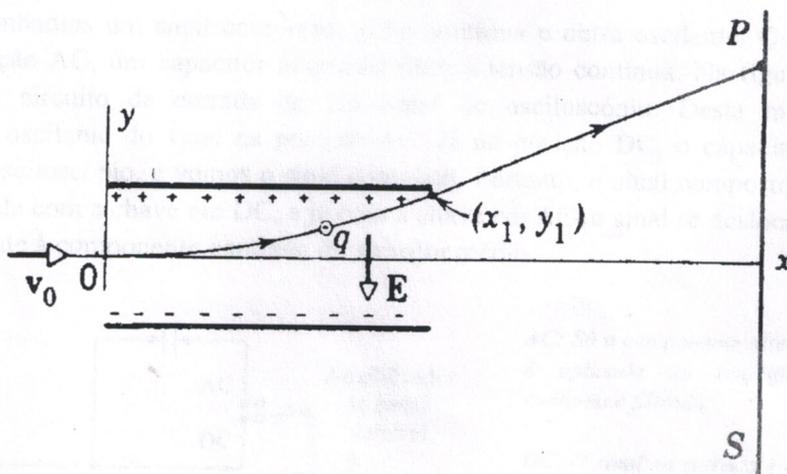


Sinal aplicado às placas horizontais



Sinal aplicado às placas verticais

- 6) Como produzir um círculo perfeito na tela de um osciloscópio?
- 7) Por que precisamos utilizar um amplificador para os sinais de entrada do osciloscópio, antes que estes sejam aplicados às placas defletoras? Qual a finalidade de utilizarmos amplificadores lineares para isso?
- 8) Como podemos ajustar a intensidade do feixe eletrônico?
- 9) Calcule a deflexão Y (na tela) que sofre um elétron ao passar por um campo elétrico como é apresentado na figura abaixo.



Dados:

Energia do elétron = $2,0 \text{ KeV}$,
 comprimento = $15,0 \text{ mm}$
 dist. entre as placas = $2,0 \text{ mm}$
 distância à tela = $100,0 \text{ mm}$
 Campo elétrico $|E| = 1,2 \times 10^4 \text{ N/C}$