

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CIRCUITOS ELÉTRICOS I - LABORATÓRIO**

OSCIOSCÓPIOS

Kleber César Alves Souza, elaboração.
Paulo Zanelli Júnior, elaboração.
Clóvis Antônio Petry, professor.

Florianópolis, junho de 2006.
Versão preliminar.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
2	OS OSCILOSCÓPIOS DIGITAIS TDS 200	6
2.1	Operações básicas	8
2.1.1	Área do display	9
2.1.2	Usando o sistema de menu	11
2.1.3	Caixa de menu circular lists	11
2.1.4	Caixa de menu action button	11
2.1.5	Caixa de menu radio button	12
2.1.6	Caixa de menu page selection	12
2.1.7	Display de formas de onda	13
2.2	Controle vertical	14
2.2.1	Controle horizontal	15
2.3	Tipos de conectores	17
2.4	Alguns exemplos de sondas de medição	17
2.5	Medidas de tensão em dois pontos diferentes	18
3	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1 INTRODUÇÃO

A história das medições eletrônicas compõe-se de uma série de passos voltados à visualização de formas de ondas cada vez mais rápidas e mais complexas e de detalhes de sinal. A visualização através do osciloscópio tem sido consistentemente o juízo final para o desempenho de circuitos eletrônicos. Durante muitas décadas, a ferramenta chave para a aquisição das formas de ondas mais desafiadoras, tem sido a amostragem digital, e mais recentemente o osciloscópio de armazenagem digital (DSO).

Os DSOs hoje em dia dominam a maioria das aplicações de osciloscópios por oferecerem vantagens cruciais sobre os osciloscópios analógicos. Os osciloscópios digitais documentam, analisam e comparam formas ondulares de maneira muito mais eficiente, apresentando imagens nítidas e estáveis de formas ondulares complexas.

Embora o DSO tenha suplantado os osciloscópios analógicos na maioria das aplicações, os consumidores dos mercados de testes do setor de manufatura, de educação e de prestação de serviços continuam fiéis aos osciloscópios analógicos. Por quê? Porque estes acreditam que uma combinação de fatores (custo, desempenho, facilidade de uso e outros) limitam a utilidade de instrumentação digital em suas aplicações.

Apesar de serem conhecidos e fáceis de usar, os osciloscópios analógicos têm suas limitações, e seus usuários ficariam felizes de vê-las desaparecer. Embora o osciloscópio analógico realmente capte uma tela cheia de informações de formas ondulantes para cada evento acionador, tal informação nem sempre é legível. Considere, por exemplo (Figura 1), um sinal consistindo de pulsos de 100 ns ocorrendo a cada 50 ms; o osciloscópio mostrará prontamente uma seqüência de pulsos quando estiver ajustado para uma faixa de limpeza média. Para se examinar os pulsos individuais, no entanto, é necessário que se aumente a velocidade de limpeza até o ponto em que o sinal se torna fraco e difícil de ler, perdendo-se detalhes. Embora o sinal acione o osciloscópio, este poderá não ser adequadamente visível. Outras limitações bem conhecidas incluem a tremulação da imagem, problemas com a velocidade de escrita em larguras de banda altas e a inabilidade de traçar uma linha contínua quando está funcionando em velocidades muito baixas.

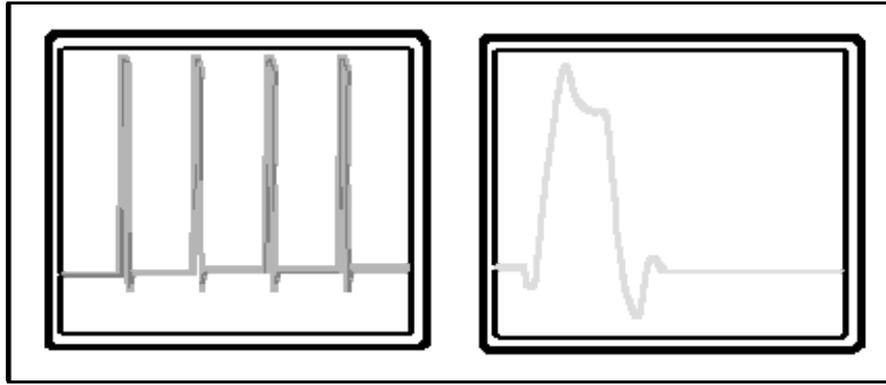


Figura 1 - Quando está observando eventos freqüentes e rápidos, o osciloscópio analógico esconde os detalhes em velocidades de limpeza baixas (esquerda) e apresenta formas ondulares apagadas e difíceis de visualizar em velocidades de limpeza altas.

Embora recursos como medições com o apertar de um botão, capacidade para cálculos matemáticos e padrões de formas ondulares armazenados sejam disponíveis em muitos DSOs, não tem sido possível até o momento trazer a plataforma digital para um nível de paridade com a analógica. Porém, a Tektronix encontrou uma tecnologia de baixo custo - Digital de Tempo Real - que sustenta os osciloscópios digitais em todos os níveis de preços. Antes de explicarmos as características que fazem da DTR a arquitetura de amostragem mais poderosa do mundo, vale a pena dar-se uma olhada nas tecnologias que a precederam para que se possa entender porque a DRT é a descoberta do século.

A *Amostragem de Tempo Equivalente (TE)* foi, por muitos anos, a única arquitetura de amostragem disponível (Figura 2). A TE usa taxas de amostragem relativamente baixas (uma fração da freqüência de entrada) para coletar amostras através de diversos ciclos do sinal de entrada. Inerentemente, a taxa de atualização é também vagarosa, pois leva-se muitos ciclos para se construir um registro para ser mostrado na tela. Se o sinal de entrada for perfeitamente repetitivo, o osciloscópio TE produzirá uma imagem precisa da forma ondular. Se a forma ondular mudar durante o ciclo de amostragem, o osciloscópio irá criar pontos de dados falsos ("criação de segundo designativo para o mesmo ponto"), fazendo com que a imagem perca o significado. Esta característica impede a amostragem de tempo equivalente de captar eventos momentâneos de ocorrência única.

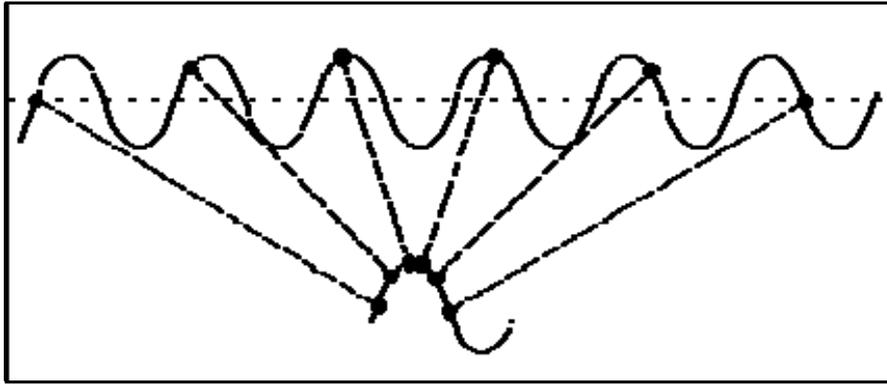


Figura 2 - Amostragem de Tempo Equivalente: Pontos de dados são adquiridos de diversos ciclos para se construir uma imagem na tela.

A *Amostragem de Tempo Real* é um método de amostragem mais direto, sendo também o único modo de capturar eventos transientes (não repetitivos). Infelizmente, as taxas de amostragem baixas da maioria dos osciloscópios da atualidade não são adequadas para dar apoio à largura de banda analógica completa dos instrumentos. Uma solução comum para esta dificuldade é a amostragem de Tempo Real Intercalado, que se utiliza dos circuitos de conversão atrás dos canais de entrada não utilizados para ampliar o desempenho de instrumentos de canais múltiplos. A intercalação de dois canais irá duplicar a taxa de amostragem de tempo real; se forem usados quatro canais, a taxa será quadruplicada. Infelizmente, a alternância desativa os canais de suporte, transformando um osciloscópio de quatro canais em uma ferramenta de um canal só. A maioria dos usuários de osciloscópios necessitam de dois ou mais canais para quase todas as medições que precisam fazer.

A maioria dos DSOs usa uma combinação de técnicas de amostragem de tempo real e de TE. Em frequências mais baixas, a aquisição em tempo real fornece pontos de amostragem suficientes para se definir a forma ondular. Conforme o osciloscópio vai se aproximando de sua largura de banda analógica, este passa automaticamente para TE. Ou seja, um DSO convencional troca sua habilidade de captura de transientes críticos pelo alcance de sua largura de banda especificada.

Digital de Tempo Real (DTR) é uma técnica de sobreamostragem que tira proveito de uma série de inovações da Tektronix em tecnologias de integração de circuitos CMOS (semicondutores complementares de óxido metálico), arquitetura de relógios e conversão de analógico para digital. Esta é apropriadamente denominada, pois adquire amostras verdadeiramente em tempo real, em velocidades de relógio extremamente altas. Os instrumentos DTR não recorrem a esquemas de alternância ou TE para prover o desempenho especificado. Na verdade, esses recursos seriam redundantes em um osciloscópio DTR.

Os osciloscópios Digitais de Tempo Real perfazem a aquisição em tempo real até a totalidade de sua largura de banda analógica, tanto para eventos repetitivos como para eventos de ocorrência única. Um osciloscópio DTR sobreamostra 5, 7, 10 ou até mesmo 16 vezes a sua largura de banda. Um evento acionador provoca a aquisição de um registro completo - pontos de dados suficientes para que possa exibir a forma ondular na tela em detalhes precisos.

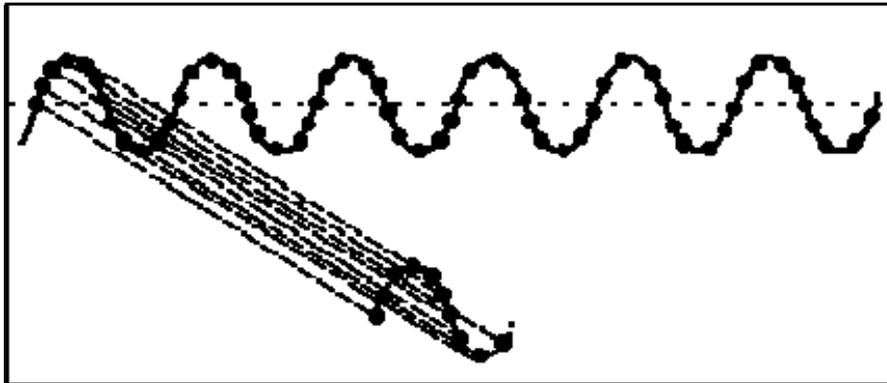


Figura 3 - Amostragem Digital de Tempo Real: Cada ciclo da forma ondular produz mais do que o número suficiente de pontos para construir um registro completo (imagem na tela).

Cada canal em um osciloscópio DTR é totalmente apoiado por um sistema independente de aquisição DTR. Conseqüentemente, o osciloscópio Digital de Tempo Real fornece aquisição não adulterada em todos os canais simultaneamente. Isto proporciona imagens nítidas e fáceis de entender, mesmo para eventos rápidos de ocorrência única, minimizando a distorção e a criação de um segundo designativo para o mesmo ponto, tão comuns em DSOs convencionais de pouca amostragem.

A tecnologia Digital de Tempo Real é transparente. Uma vez que esta funciona igualmente bem para eventos repetitivos, ou de ocorrência única, não há necessidade de se ligar e desligar. Os usuários de DTR podem apreciar uma operação semelhante à analógica, enquanto ganham os atributos de precisão e análise de um instrumento digital. As atualizações de telas são bastante rápidas porque todas as amostras são captadas em uma única aquisição.

2 OS OSCILOSCÓPIOS DIGITAIS TDS 200

O osciloscópio TDS 220 é apresentado na Figura 4. Os controles do painel frontal da Série TDS 200 são produzidos na escala e na configuração de um osciloscópio analógico clássico. Os controles do painel frontal conhecidos, como escala vertical, nível de acionamento, cursores e posicionamento do traçado são todos feitos com botões convencionais. O usuário de analógicos vai achar esses controles reativos e lineares, tal e qual os controles de um instrumento analógico.

Recursos digitais complementares, como medição automática de formas ondulares e armazenamento de formas ondulares, encontram-se dentro de uma estrutura simples de menus, que é simples de se ter acesso e simples de se entender. Muitos desses recursos são ativados com um simples apertar de botão.

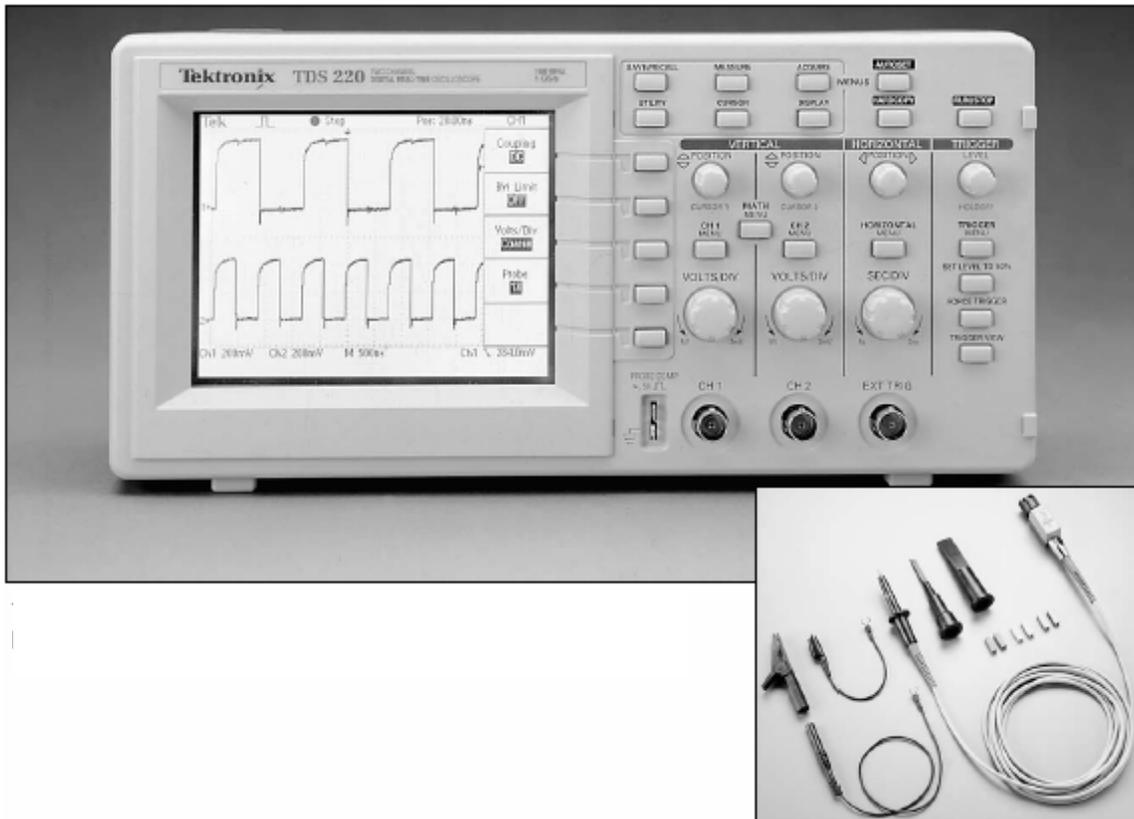


Figura 4 – Foto do osciloscópio digital TDS 220 da Tektronics.

O mostrador da Série TDS 200 é uma tela de cristal líquido, luminosa, com iluminação posterior, visão panorâmica e dimensões de 11,5 x 8,6 cm. Sua nitidez é páreo para qualquer osciloscópio analógico e, graças à aquisição DTR, este não depende de "sombras" vagas de uma forma ondular para transmitir detalhes sobre o sinal. A sobramostragem DTR (10X para o TDS 220, 16X para o TDS 210) capta sinais marginais, transientes e formas ondulares repetitivas comuns igualmente bem. Qualquer sinal que acione o osciloscópio irá produzir uma imagem de forma ondular nítida, definida e de alta visibilidade.

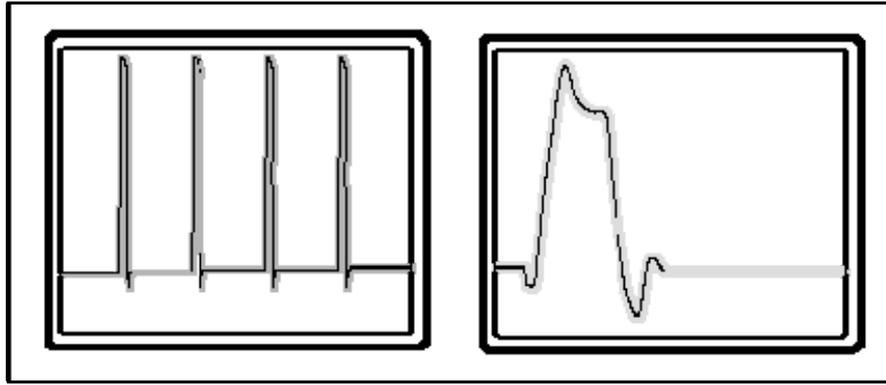


Figura 5 - Os osciloscópios Digitais de Tempo Real mostram eventos rápidos e infreqüentes com contraste e nitidez totais, tanto em velocidades de limpeza baixas como altas.

Ao contrário dos primeiros mostradores de cristal líquido, a tela da Série TDS 200 tem ângulo de visão panorâmico que aumenta a clareza fora de eixo. Talvez mais importante ainda, sua vida útil estimada e sua confiabilidade são na verdade melhores do que os mostradores de tubo de raios catódicos tradicionais. O mostrador de cristal líquido emprega tecnologias recentemente desenvolvidas que têm provado manter contraste utilizável por mais tempo que os tubos de raios catódicos. E, porque os mostradores de cristal líquido não dependem de elementos críticos de posicionamento de feixes alinhados, estes são mais resistentes a impactos e mais duráveis do que os tubos de raios catódicos.

Pelo fato de que os novos instrumentos são baseados em DTR, estes minimizam os efeitos de criação de um segundo designativo para o mesmo ponto ("aliasing"), tão comum aos DSOs antigos. Os instrumentos TDS 200 aceitam medições de largura de banda total em ambos os canais simultaneamente, da mesma forma que os instrumentos DTR de laboratório da Tektronix.

2.1 Operações básicas

A seguir, é fornecida uma breve descrição dos principais controles de um osciloscópio digital do laboratório (modelo Tektronix, TDS210 ou 220), e alguns exemplos de sua utilização em medições simples. O painel frontal de um equipamento desse tipo é mostrado na Figura 6.

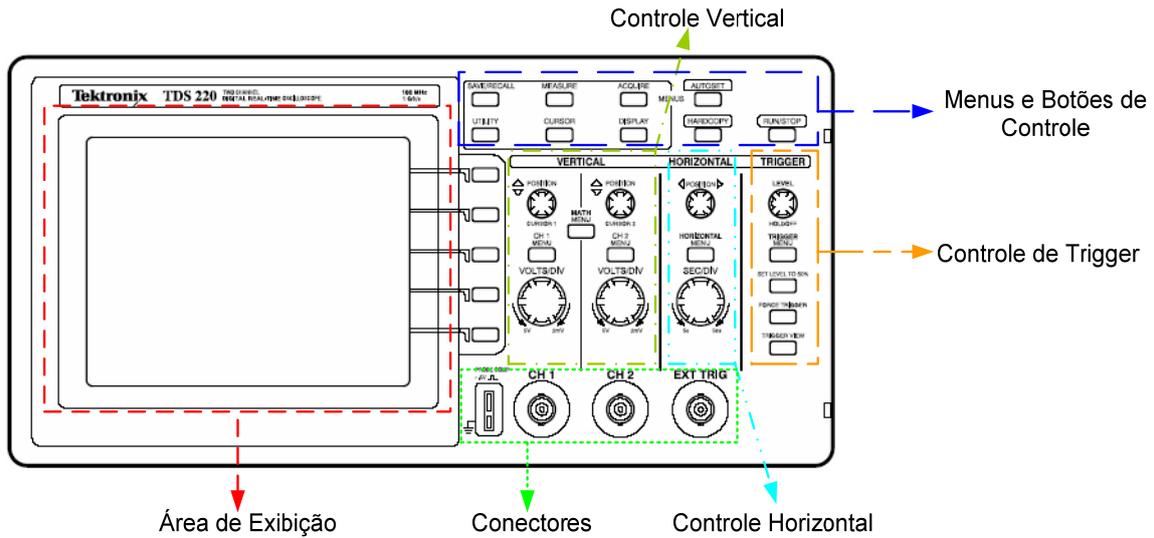


Figura 6 – Painel frontal do osciloscópio TDS 220.

2.1.1 Área do display

Na aquisição para exibir formas de onda o display é preenchido com muitos detalhes sobre a forma de onda e os dados do instrumento de controle. (Figura 7)

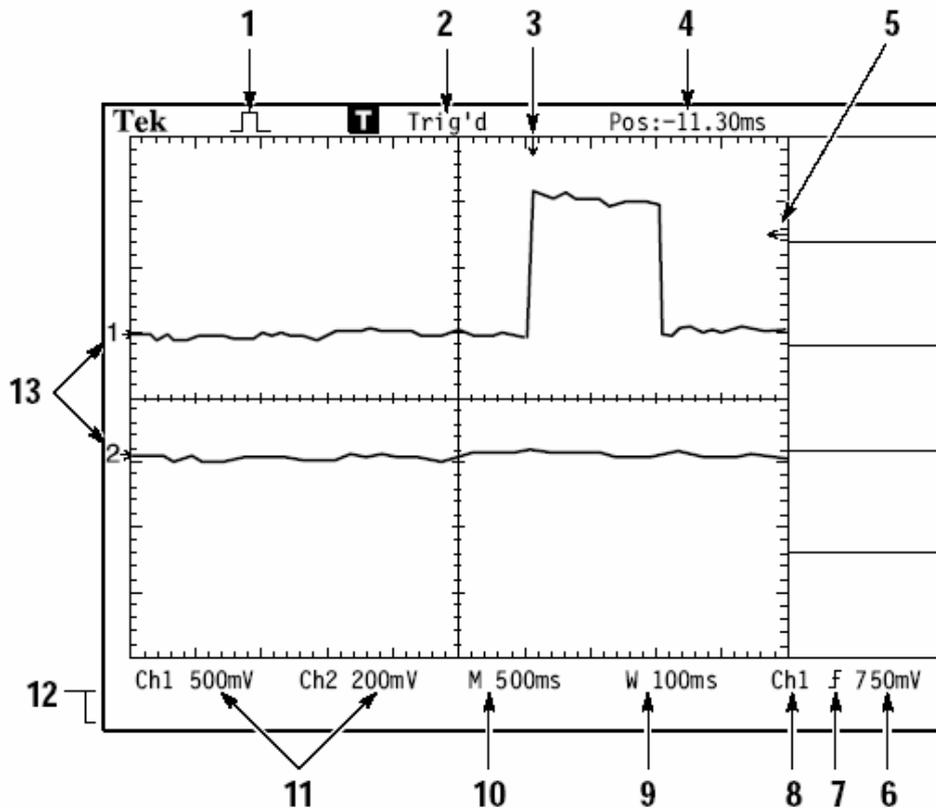


Figura 7 – Detalhe do display.

1. Este ícone do display mostra o modo de aquisição do osciloscópio.



Modo de amostragem.



Modo de detecção de pico.



Modo médio.

2. O símbolo “*Trigger*” representa:



Armed.

O Osciloscópio está fazendo uma aquisição de dado pré-*Trigger*. Todos os *Triggers* são ignorados neste estado.



Ready.

Todos os dados pré-*Trigger* foram adquiridos e o osciloscópio está pronto para aceitar um *Trigger*.



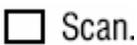
Triq'd.

O osciloscópio viu um *Trigger* e está adquirindo um dado pós-*Trigger*.



Auto.

O osciloscópio está no modo automático e está adquirindo formas de onda na ausência do *Trigger*.



Scan.

O osciloscópio está adquirindo e mostrando continuamente dados da forma de onda no modo “scan”.



Stop.

O osciloscópio parou a aquisição de dados da forma de onda.

3. Este marcador mostra a posição horizontal do *Trigger*. A posição deste marcador pode ser ajustada pelo o cursor “Horizontal Position”.

4. Este campo mostra a diferença de tempo entre o centro da grade e a posição horizontal do *Trigger*. O centro da tela tem valor igual a zero.

5. Este marcador mostra o nível do *Trigger*.

6. Este campo mostra o valor numérico do nível de *Trigger*.

7. Este ícone de *Trigger* mostra o seguinte.



Trigger ajustado para borda de subida.



Trigger ajustado para borda decida.



Vídeo *Trigger* para linha de sincronismo.



Vídeo *Trigger* para campo de sincronismo.

8. Este campo mostra a fonte de *Trigger* utilizada para “trigger”.

9. Este campo mostra o ajuste da janela de base de tempo, se esta estiver sendo usada.

10. Este campo mostra o principal ajuste da base de tempo.
11. Estes campos mostram os fatores da escala vertical dos canais.
12. Esta área de exibição mostra mensagens momentâneas.
13. Estes marcadores na tela mostram os pontos de referência do “terra” da forma de onda apresentada. Se estes marcadores não estiverem aparecendo isto indica que o canal não esta sendo mostrado.

2.1.2 [Usando o sistema de menu](#)

A interface do usuário dos osciloscópios da família TDS200 foi feita para possibilitar fácil acesso para funções especializadas através da estrutura de menu.

Ao apertar o botão do menu na frente do painel, o título do menu associado aparece no canto superior direito da tela. Abaixo do título do menu podem aparecer até cinco caixas de menu. À direita de cada caixa de menu está um botão que pode ser utilizado para mudar os ajustes do menu .

Existem quatro tipos de caixas de menu que podem ser utilizadas para mudar os ajustes: *Circular Lists*, *Action Buttons*, *Radio Buttons* e *Page Selections*.

2.1.3 [Caixa de menu circular lists](#)

O menu *Circular List* aparece com o título no alto com a opção selecionada listada abaixo. Por exemplo, é possível apertar o botão da caixa de menu para o acoplamento do ciclo vertical através do menu do CH1. (Figura 8)

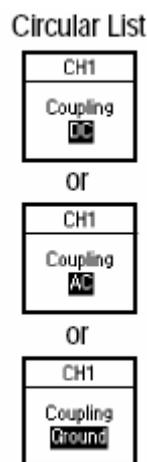


Figura 8 – Menu Circular List.

2.1.4 [Caixa de menu action button](#)

A caixa de menu *Action Button* mostra o nome da ação. Por exemplo é possível usar os dois botões mais baixos da caixa de menu para aumentar e diminuir o contraste. (Figura 9)

Action Button

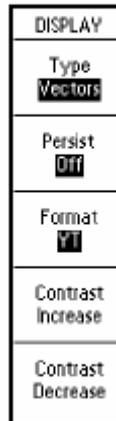


Figura 9 – Menu Action Button.

2.1.5 [Caixa de menu radio button](#)

A caixa do menu *Radio Button* são separadas por linhas pontilhadas. O nome na caixa do menu selecionado aparece no vídeo reverso. Por exemplo, é possível usar os três menus no alto da caixa de menu, no menu ACQUIRE, para selecionar um modo de aquisição.

Radio Button

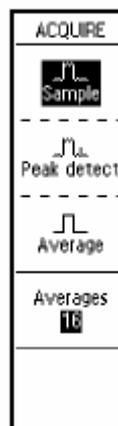


Figura 10 – Menu Radio Button.

2.1.6 [Caixa de menu page selection](#)

A caixa de menu *Page Selection* contém dois menus para um único botão na frente do painel com o menu de exibição colocado em vídeo reverso. Cada vez que se aperta o botão na caixa de menu para migrar entre os dois menus, a caixa de menu abaixo também muda.

Por exemplo, ao apertar o botão SAVE/RECALL na frente do painel, no alto do menu *Page Selection* contém o nome dos dois menus: *Setups* e *Waveforms*. Ao selecionar o menu *Setups* pode-se continuar usando a caixa de menus para salvar ou recarregar os *setups*. Ao selecionar o menu *Waveforms* pode-se continuar usando as caixas de menu para salvar ou recarregar formas de onda.

Os botões SAVE/RECALL, MEASURE e TRIGGER na frente do painel exibem a caixa de menu *Page Selection*.



2.1.7 [Display de formas de onda](#)

Obter e exibir uma forma de onda depende de alguns ajustes nos instrumentos. Uma vez que se obteve a forma de onda, é possível obter suas medidas. Mas a aparência dessas formas de onda também fornece informações chaves sobre a forma de onda.

Dependendo do tipo das formas de onda elas serão exibidas em três estilos de cores diferentes: preto, cinza e pontilhado. (Figura 11)

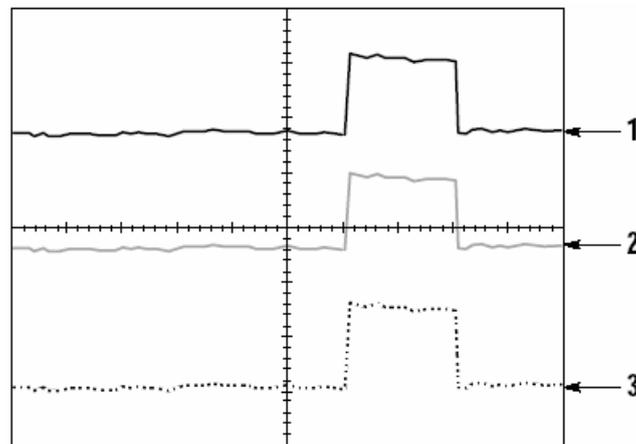


Figura 11 – Modos de exibição das formas de onda.

1. A forma de onda em preto sólido indica a exibição de uma forma em tempo real. A forma de onda permanece preta quando a aquisição esta parada, caso os controles não forem mudados, o que pode tornar incerta a precisão da forma de onda exibida. A mudança dos controles verticais e horizontais é permitida parando as aquisições.
2. Formas de onda de referência e formas de onda aplicadas com persistência aparecem cinza.

3. A forma de onda com aparência pontilhada indica que a precisão da forma de onda mostrada é incerta. Por exemplo, se os controles de *Trigger* forem mudados, com a aquisição parada, isto causara a forma de onda pontilhada.

2.2 Controle vertical

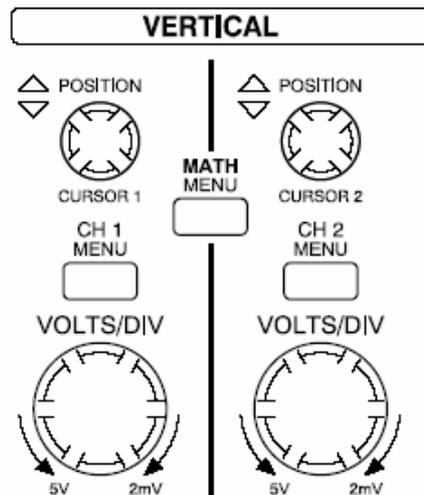


Figura 12 – Controle vertical do osciloscópio.

CURSORES 1 & 2 POSITION. Posicionam, verticalmente e de maneira manual, a forma de onda no display.

CH1 e CH2 MENU. A cada toque nesses botões o sinal monitorado no canal correspondente aparece ou não na tela. Esses botões também acionam os menus correspondentes a esses canais.

VOLTS/DIV (CH 1 & CH 2). Ajuste manual da escala de amplitude, similar aos osciloscópios convencionais.

MATH MENU. Aciona o menu para operações matemáticas avançadas nos sinais monitorados.

2.2.1 Controle horizontal

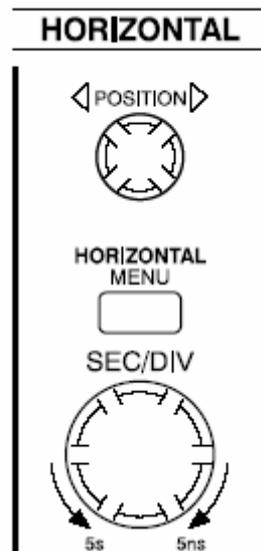


Figura 13 – Controle horizontal do osciloscópio.

POSITION. Ajusta a posição horizontal de todos os canais e formas de onda matemáticas. A resolução deste controle varia com a base de tempo.

HORIZONTAL MENU. Exibe o menu horizontal.

SEC/DIV. Seleciona o fator de escala horizontal (time/div) para o principal ou para a janela da base de tempo. Quando “Window Zone” está habilitado, o mesmo mudará a largura da zona da janela mudando a base de tempo da janela.

Controle de trigger

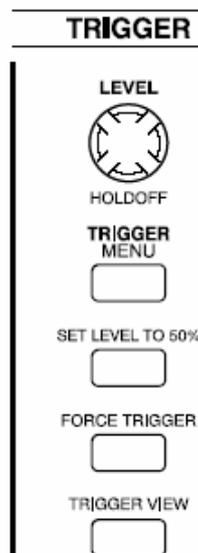


Figura 14 – Controle de Trigger do osciloscópio.

LEVEL AND HOLDOFF. Este controle tem propósito duplo. Se usado para controlar o nível (*Level*) de *Trigger*, ele ajustará o nível da amplitude que o sinal deve cruzar para causar uma aquisição. Se usado na opção *Holdoff*, ele ajustará a quantidade de tempo que deve decorrer antes que outro evento de *Trigger* possa ser aceito.

TRIGGER MENU. Exibe o menu *Trigger*.

SET LEVEL TO 50%. O nível de *Trigger* é ajustado para o ponto médio entre os picos do sinal *Trigger*.

FORCE TRIGGER. Começa uma aquisição sem levar em conta um sinal de *Trigger* adequado. Este botão não tem efeito se a aquisição já está parada.

TRIGGER VIEW. Exibe o sinal de *Trigger* no lugar da forma de onda do canal, enquanto o botão TRIGGER VIEW é mantido pressionado.

Menu dos botões de controle

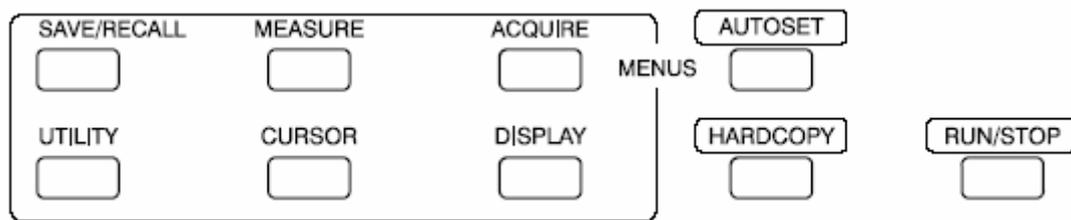


Figura 15 – Menu dos botões de controle do osciloscópio.

SAVE/RECALL. Exibe o menu SAVE/RECALL para formas de onda e “*setup*”.

MEASURE. Exibe o menu de medições.

ACQUIRE. Exibe o menu de aquisição.

DISPLAY. Exibe o menu de exibição.

CURSOR. Exibe o menu cursor. *Vertical Position* controla o ajuste da posição do cursor enquanto a exibição do menu cursor e os cursores são ligados. Os cursores permanecem sendo exibidos deixando depois o menu cursor, mas não são ajustados.

UTILITY. Exibe os menus de utilidades.

AUTOSSET. Ajusta automaticamente os controles do osciloscópio para produzir uma exibição usual do sinal de entrada.

HARDCOPY. Inicia a operação de impressão.

RUN/STOP. Inicia e interrompe a aquisição da forma de onda.

Conectores

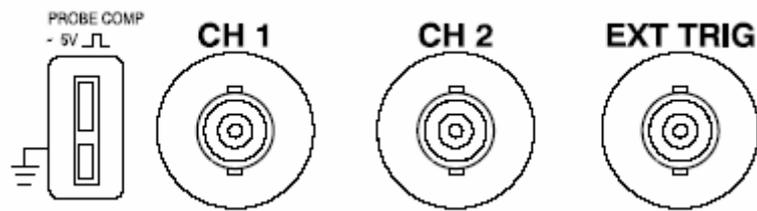


Figura 16 – Conectores do osciloscópio.

PROBE COMP. Saída do compensador da sonda de tensão. Usado para combinar eletricamente a sonda de tensão com a entrada do osciloscópio.

CH1 E CH2. Entrada de conectores para exibir formas de onda.

EXT TRIG. Conector de entrada para uma fonte externa de *Trigger*. Deve-se usar o menu *Trigger* para selecionar a fonte de *Trigger*.

2.3 Tipos de conectores

A Figura 17 apresenta alguns tipos de conectores utilizados nos osciloscópios. A grande quantidade de modelos de osciloscópio e capacidades é uma das razões fundamentais para a grande quantidade de conectores.



Figura 17 – Sondas com diferentes tipos de conectores são necessárias para adaptar os diferentes tipos de sinais lidos pelo osciloscópio.

2.4 Alguns exemplos de sondas de medição

Alguns modelos de sondas são apresentados nas figuras abaixo. A Figura 18 apresenta a sonda de tensão P2100. Modelo que acompanha os osciloscópios da série TDS200. Este modelo apresenta como características: atenuação de 1X/10X, largura de banda (CC) até 100MHz e tensão máxima de 300V quando operando com atenuação de 10X e largura de banda (CC) até 7MHz com tensão máxima de 300V quando operando com atenuação de 1X.

A sonda apresentada na Figura 21 corresponde ao modelo P6015A e foi projetada para medir valores de tensões contínuas superiores a 20kV e pulsos de tensão de 40kV para uma largura de banda de 75MHz. Já o modelo da Figura 20 corresponde a uma sonda de corrente, apropriada para trabalhar com correntes em alta frequência.



Figura 18 – Sonda de tensão utilizada.

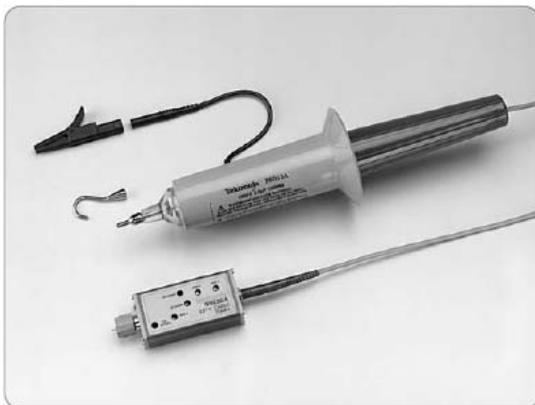


Figura 19 – Sonda de medição de altas tensões.

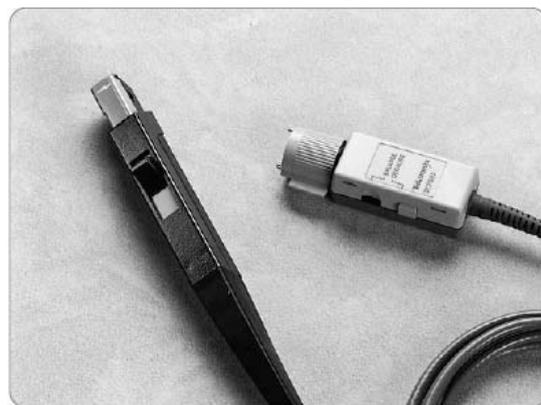


Figura 20 – Sonda de medição de corrente.

2.5 Medidas de tensão em dois pontos diferentes

Uma questão bastante freqüente, quando se necessita realizar medidas de tensão em dois pontos diferentes, é: onde conectar o “terra” do circuito?. Deve haver um ponto de referência de potencial comum para as duas ponteiros. A Figura 21 mostra as maneiras corretas e erradas de se conectar duas ponteiros para a medição de dois sinais de tensão diferentes no mesmo circuito. Na medição correta o canal 2 está medido a tensão sobre R e o canal 1 está medindo a tensão sobre o conjunto R-L. Ambos os potenciais são medidos com relação ao mesmo ponto (o terra do circuito, onde devem se conectar os dois terminais negativos das ponteiros). Não faz sentido medir dois potenciais com relação a pontos diferentes como no caso da medição errada.

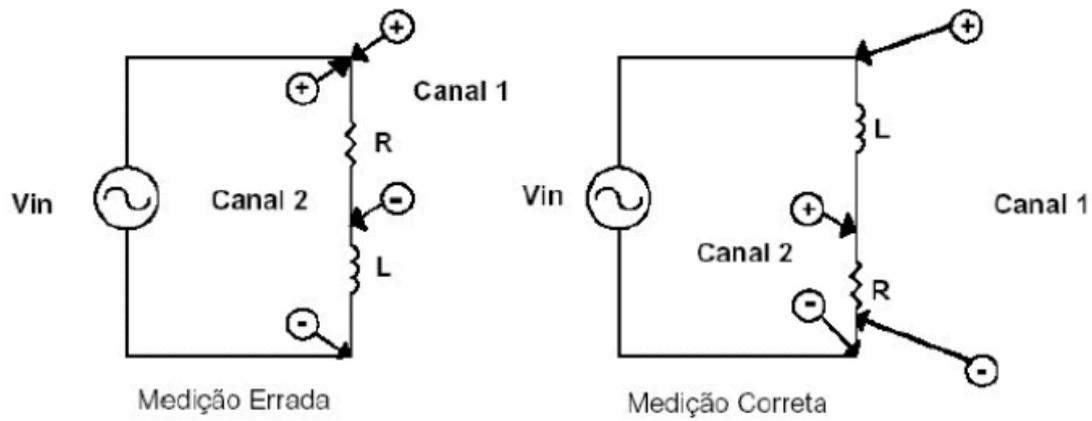


Figura 21 – Maneiras erradas e corretas de se fazer uma medição.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Osciloscópios Tektronix, www.tektronix.com;
- [2] Osciloscópios Minipa, www.minipa.com.br;
- [3] Tópicos importantes sobre osciloscópios convencionais. Notas de aula da disciplina de Circuitos Elétricos I – Laboratório. EEL/UFSC;
- [4] Osciloscópios digitais – tópicos importantes. Notas de aula da disciplina de Circuitos Elétricos I – Laboratório. EEL/UFSC.