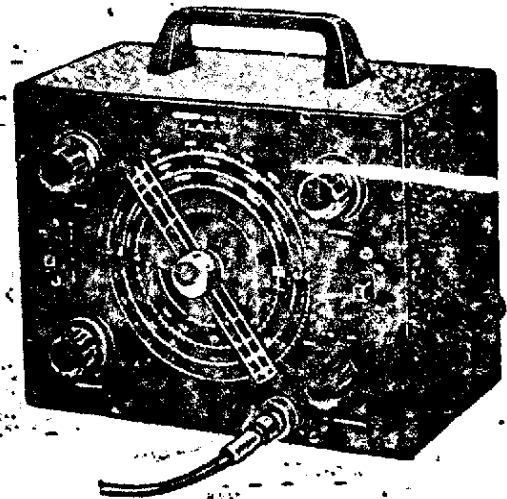
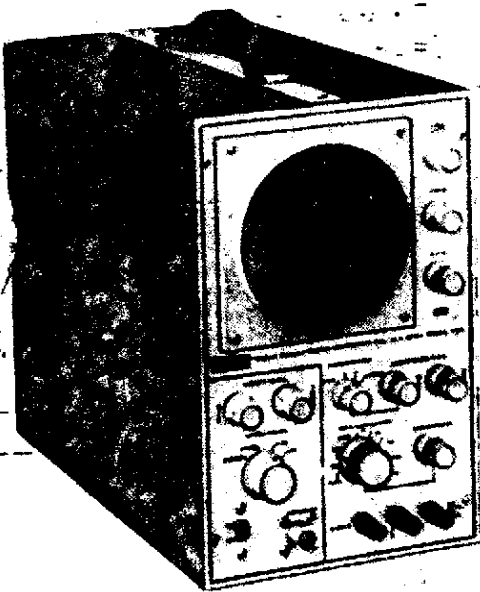


TV UNIVERSITÁRIA R. G. DO NORTE

PROGRAMA INTENSIVO DE PREPARAÇÃO DE MÃO-DE-OBRA



SAIDA HORIZONTAL

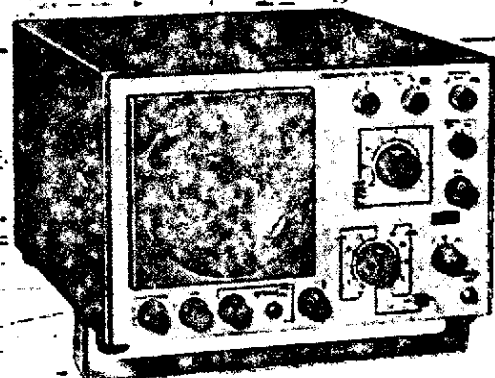
SAIDA



INSTRUMENTOS DE MEDIDAS
ELÉTRICAS E ELETRÔNICAS

SAIDA VERTICAL

COORDENADOR: Adauto Gouveia Motta
PROFESSOR: Jean - Paul Dubut



3814

PALAVRAS INICIAIS

A demanda de técnicos com boa formação especializada, já está constituindo problema dentro do Rio Grande do Norte.

O estabelecimento da TV Universitária, a instalação da nova Estação Telefônica da TELERN, a ampliação da EMBRATEL, além da montagem de computadores, tudo isto criou uma procura elevada de profissionais no campo da Eletrônica e Eletricidade.

Esta situação, conduziu-nos a propor ao Programa Intensivo de Preparação de Mão-de-Obra (PIPMO), um Curso que pudesse atender, simultaneamente, as organizações interessadas.

Consequência: estamos ministrando um Curso de Medidas Elétricas e Eletrônicas.

Para roteirizar os alunos, o Prof. JEAN PAUL DUBUT propôs a elaboração de uma apostilha, que não tem outra pretensão que não a de deixar nas mãos dos estudantes um guia seguro para os seus estudos e pesquisas.

Natal, outubro de 1974.

Direção da TV - U

SUMÁRIO

	Pag
1 GENERALIDADES	
1.1 Noções sobre medidas	1
1.2 Noções sobre erros	1
1.2.1 Introdução	1
1.2.2 Valor numérico aproximado	1
1.2.3 Definições	1
1.2.4 Cálculo do erro	2
1.2.5 Aproximações	3
1.2.6 Classificação dos erros	3
1.2.7 Instrumentos de medição	4
2 MULTÍMETRO	
2.1 Elementos básicos	5
2.1.1 Conjugados sobre o conjunto móvel	5
2.1.2 Suspensão do conjunto móvel	6
2.1.3 Amortecimento do movimento	7
2.1.4 Equação do regime transitório	10
2.1.5 Galvanômetro de bobina móvel	12
2.1.6 Instrumento magnetoelétrico	12
2.1.7 Instrumentos elétricos e eletromagnéticos	14
2.1.8 Diodos e pontes retificadoras	19
2.1.9 Resistências adicionais	22
2.1.10 Shunts	22
2.1.11 Proteções	24
2.2 Voltímetros	25
2.2.1 Necessidade de retificador	25
2.2.2 Resistência interna CC e AC	26
2.2.3 Escolha do calibre	27
2.2.4 Precisão da leitura	27
2.2.5 Determinação do valor máximo	27
2.3 Amperímetro	27
2.3.1 Amperímetro magnetoelétrico	27
2.3.2 Amperímetro térmico	28

2.3.3	Amperímetro de pares termoelétricos	29
2.3.4	Shunts adicionais	30
2.3.5	Escolha do calibre	30
2.3.6	Erro de paralaxe	31
2.4	Ohmímetro	31
2.4.1	Constituição do ohmímetro	31
2.4.2	Escolha do calibre e precisão da leitura	31
2.5	Multímetro	32
2.5.1	Qualidades do multímetro	32
2.5.2	Utilização da escala dos decibéis	32

3 OSCILOSCÓPIO

3.1	Generalidades	37
3.2	Diagrama em blocos	37
3.3	Tubo de raios catódicos	38
3.4	Estagio vertical	43
3.5	Gerador de varredura horizontal	47
3.6	Sincronismo	52
3.7	Circuito apagador	53
3.8	Amplificador horizontal	54
3.9	Fonte de alimentação	54
3.10	Controles do TRC	55
3.11	Painel de controle	55
3.12	Ajustes prévios	58
3.13	Observação de uma forma de onda	59
3.14	Medidas com osciloscópio	60
3.14.1	Medição de tensão	60
3.14.2	Medição de corrente	64
3.14.3	Medição de frequência	65
3.14.4	Medição de fase	72
3.14.5	Medição de tempo	73
3.14.6	Medição em fonte de alimentação	74
3.14.7	Determinação da curva de resposta em frequência	75
3.14.8	Determinação da distorção harmônica	76
3.14.9	Determinação do ponto de corte ou de saturação	77
3.14.10	Resposta de uma onda quadrada	77

3.14.11 Ajustes em amplificadores de RF e FI	78
3.14.12 Ajustes de circuitos sintonizados	81
3.15 Osciloscópio de feixe duplo	83

4 GERADOR DE ÁUDIO

4.1 Generalidades	85
4.2 Oscilador	85
4.3 Gerador por batimento	87
4.4 Gerador de onda quadrada	88
4.5 Partes restantes	89
4.6 Painel de controle	89
4.7 Utilização	90
4.7.1 Pesquisa em áudio amplificadores	90
4.7.2 Modulação de geradores de RF	92

5 GERADOR DE RADIO FREQUENCIA

5.1 Generalidades	93
5.2 Funcionamento	93
5.3 Utilização do gerador de RF	96
5.4 Pesquisa de defeitos	101

1- GENERALIDADES:

1.1 NOÇÕES SOBRE MEDIDAS:

Medir é quantificar através de experimentação uma grandeza numa dada unidade em relação a um padrão adotado.

Assim poderemos dizer que uma linha tem um comprimento de 20 metros ou seja 20 unidades do padrão escolhido que é o metro; Uma corrente tem um valor de 4 amperes ou seja 4 unidades do padrão escolhido que é o ampere.

A quantificação da grandeza a medir será feita através de um instrumento, o qual geralmente será graduado nas unidades do padrão adotado; (metro, amperímetro, voltímetro, etc.)

1.2 NOÇÕES SOBRE ERROS:

1.2.1 INTRODUÇÃO:

Na impossibilidade prática de obter valores exatos de certas medidas, ou da representação decimal exata de certas medidas tomamos valores aproximados, o que em geral é obtido limitando as representações decimais dessas medidas. Procedendo assim estamos cometendo erros. Vamos procurar então a influência desses erros sobre o resultado das medidas e que se busque o processo de se efetuar as medidas com um determinado erro. Daí, a necessidade do estudo das medidas aproximadas.

1.2.2 VALOR NUMÉRICO APROXIMADO:

O objetivo da teoria dos erros é a resolução dos dois seguintes problemas:

- 1º) Averiguar o erro que se comete no resultado de uma medida quando se conhece os erros das medidas que figuram nesta operação.
- 2º) Investigar com que aproximação ou erro se deve tomar as medidas que figuram numa operação a fim de que o erro do resultado não exceda de um valor ou erro prefixado.

1.2.3 DEFINIÇÕES:

Valor exato (V_e): é o número que representa o valor inteiro ou completo de uma grandeza.

Valor aproximado (V_m): é o número não exato encontrado na medida, que se emprega para representá-lo.

Erro absoluto (ΔV): A palavra "erro" designa a diferença entre o valor exato V_e da grandeza a medir e o seu valor V_m encontrado na medida e efetuada:

$$V = V_e \pm V_m$$

Assim, a medida efetuada pode ser expressa da seguinte maneira:

$$V = V_m \pm \Delta V \text{ com a significação: } V_m - \Delta V \leq V \leq V_m + \Delta V$$

ΔV é chamado: limite superior do erro absoluto, limite máximo do erro absoluto ou simplesmente "erro absoluto".

Erro relativo (ϵ): O "erro relativo" ϵ é definido como o quociente entre o erro absoluto ΔV e o valor exato V_e sendo $\epsilon = \frac{\Delta V}{V_e}$. Entretanto, V_e sendo uma incógnita, e $V_m \approx V_e$, podemos escrever: $\epsilon \approx \frac{\Delta V}{V_m}$.

1.2.4 CALCULO DO ERRO:

De modo geral, a grandeza a medir depende de várias grandezas A, B, C, \dots e o seu valor é uma função dos valores respectivos a, b, c, \dots dessas grandezas. Assim, podemos escrever:

$$x = f(a, b, c, \dots)$$

É importante relacionar o erro cometido sobre x com os erros cometidos sobre $a, b, c,$

$$\text{sabemos que: } dx = f'_a \cdot da + f'_b \cdot db + f'_c \cdot dc$$

Sendo a, b, c os erros cometidos sobre $a, b, c,$ temos:

$$x \leq |f'_a| \cdot \Delta a + |f'_b| \cdot \Delta b + |f'_c| \cdot \Delta c$$

Aplicações:

1ª) Soma algébrica:

$$x = a + b + c$$

$$\Delta x \leq \Delta a + \Delta b + \Delta c$$

2ª) Produto:

$$x = a \cdot b \cdot c$$

$$\Delta x \leq |a \cdot b| \cdot \Delta c + |b \cdot c| \cdot \Delta a + |c \cdot a| \cdot \Delta b$$

$$\frac{\Delta x}{x} \leq \frac{\Delta a}{|a|} + \frac{\Delta b}{|b|} + \frac{\Delta c}{|c|}$$

3ª) Quociente:

$$x = \frac{a}{b}$$

$$\Delta x \leq \left| \frac{1}{b} \right| \cdot \Delta a + \left| \frac{a}{b^2} \right| \cdot \Delta b$$

$$\frac{\Delta x}{x} \leq \frac{\Delta a}{|a|} + \frac{\Delta b}{|b|}$$

Nota: nos casos de produto e quociente a expressão $\frac{\Delta x}{x}$ é determinada de modo muito mais simples a partir da derivada logarítmica de x . $\Delta \Delta$

1.2.5 APROXIMAÇÃO:

Chama-se grau de aproximação de um valor aproximado, a ordem decimal a que corresponde o limite superior do erro absoluto.

1.2.6 CLASSIFICAÇÃO DOS ERROS:

Podemos classificar os erros em dois tipos principais: os erros sistemáticos e os acidentais.

Enquanto os erros sistemáticos são persistentes, geralmente suscetíveis de localização, os erros acidentais são, pelo contrário, essencialmente variáveis em grandeza, sentido e posição.

1.2.6.1 ERROS SISTEMÁTICOS:

São ligadas às deficiências do método utilizado, do material empregado e da apreciação do experimentador.

1ª) A construção e a aferição de um aparelho de medida nunca podem ser perfeitas. Por outro lado, há sempre uma divergência, embora pequena, entre a análise teórica de um circuito e o comportamento prático deste circuito. As hipóteses de base da teoria não são inteiramente realizáveis na prática. Basta mencionar, como exemplo, o consumo de energia dos aparelhos de medida e as variações das características físicas ou elétricas dos elementos que constituem o circuito. Este conjunto de imperfeições constitui a deficiência do método.

2ª) A própria definição dos erros sistemáticos indica quais são os meios de limitação. O material empregado deve ser aferido: pilhas, resistências, capacitores, etc.

O seu controle deve ser periódico. Um modo simples de verificar a presença ou ausência de erro sistemático consiste na repetição da mesma experiência, substituindo os elementos iniciais por elementos teoricamente iguais. A identificação dos resultados dá como conclusão a ausência de erro sistemático; porém, a discordância indica que há um erro, no método ou no material, sem identificar qual dos dois é o responsável.

3ª) Há experimentadores que têm a peculiaridade de fazer a leitura maior do que a real, enquanto outros a fazem menor. Este erro pode ser limitado tomando-se como resultado a média aritmética das leituras de várias pessoas.

1.2.6.2 ERROS ACIDENTAIS:

A experiência mostra que, a mesma pessoa, realizando a mesma experiência com os mesmos elementos constitutivos do circuito, não consegue obter, cada vez, o mesmo resultado. A divergência entre estes resultados é devida à existência de um fator incontrolável, o fator "sorte". Para usar uma terminologia mais científica, diremos que os erros acidentais são a consequência do "imponderável". Como já foi dito, são essencialmente variáveis e não suscetíveis de limitação.

1.2.7 INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO:

Podemos defini-lo como sendo um instrumento que permite, sobre uma escala ou mostrador, a leitura direta ou indireta de certos valores numéricos de um circuito em teste. A esses valores, conforme o tipo de medição, podemos atribuir unidades tais: amperes, ohms, volts, etc...

A classificação desses instrumentos de medição pode ser feita segundo duas famílias distintas a ser:

- Instrumentos de medição elétrica

- Voltímetros
- Amperímetros
- Ohmímetros
- Multímetros
- Watímetros

- Instrumentos de medição eletrônicos

- Osciloscópios
- Geradores
- Multímetros digitais
- Analizadores

Os instrumentos de medida, conforme o modo de indicar o valor das grandezas medidas podem ser classificados em três tipos:

- 1º) Indicadores.
- 2º) Registradores
- 3º) Totalizadores ou cumulativos.

1.2.7.1 INSTRUMENTOS INDICADORES:

Sobre uma escala graduada, eles indicam o valor momentâneo da grandeza elétrica a que se destinam medir.

Podem ser de ponteiro para os instrumentos de "pivot" ou de "feixe luminoso" para os instrumentos de suspensão por fio. A principal vantagem de sistema a "feixe luminoso" é a eliminação do erro de paralaxe.

1.2.7.2 INSTRUMENTOS REGISTRADORES:

Sobre um rolo de papel graduado ou numa fita magnética, eles registram o valor momentâneo da grandeza elétrica a que se destinam medir. Depois, retirando-se o rolo de papel ou a fita do instrumento pode-se ter uma idéia de variação da grandeza durante um certo tempo.

1.2.7.3 INSTRUMENTOS TOTALIZADORES:

São especialmente destinados à medição de energia, levando em consideração os valores momentâneos de potência e o tempo de utilização da mesma.

2- MULTÍMETROS:

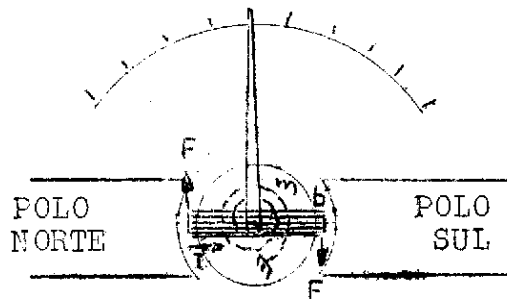
2.1 ELEMENTOS BÁSICOS:

2.1.1 CONJUGADOS SOBRE O CONJUNTO MÓVEL:

Os instrumentos usados para medir as grandezas elétricas tem sempre um conjunto móvel que é deslocado aproveitando um dos efeitos da corrente elétrica. Preso a este conjunto móvel está um ponteiro que se desloca na frente de uma escala graduada e valores da grandeza a que se destina o instrumento medidor.

Na fig. a seguir a corrente I ao percorrer a bobina b dá origem às forças F que produzem um conjugado em relação ao eixo do sistema, fazendo girar a bobina em torno deste eixo.

O conjugado originado pela corrente I é chamado "conjugado motor", e nas expressões será representada por C_m .



Ao mesmo tempo as molas m , com uma extremidade presa ao eixo da bobina e a outra à carcaça do instrumento, ficam sob tensão mecânica e se opõem ao movimento da bobina, originando um "conjugado antagonista" ou "restaurador", que será representado por C_a . Estas molas, além da oposição ao deslocamento, fazem o conjunto móvel voltar à posição zero cessado o conjugado motor.

Na posição de equilíbrio temos: $C_m = C_a$.

Para evitar oscilações de conjunto móvel em torno da posição de equilíbrio, cria-se também um "conjugado de amortecimento" por meio de artifícios externos ao sistema e que será representado por C_{am} . Este conjugado evita ainda os deslocamentos bruscos do conjunto móvel, além das oscilações.

O conjunto móvel é assim submetido a três conjugados:

- 1º) o motor C_m produzido pela grandeza a medir;
- 2º) o antagonista C_a produzido pelas molas;
- 3º) o de amortecimento C_{am} produzido por arranjos externos.

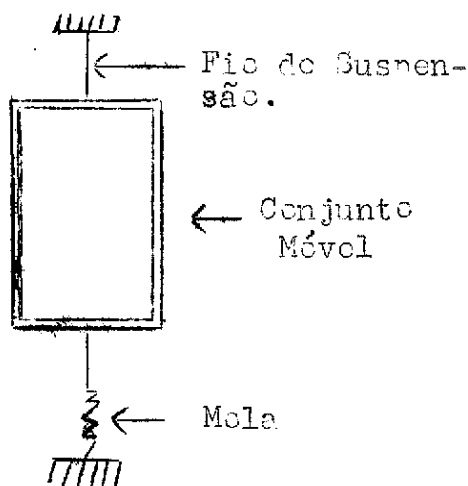
2.1.2 SUSPENSÃO DO CONJUNTO MÓVEL:

Esta é a parte mais delicada na construção dos instrumentos elétricos de medida, devendo proporcionar um movimento sem nenhum atrito.

Nos instrumentos de laboratório adota-se a suspensão por fio; nos industriais, a suspensão por eixo (instrumentos de "pivot").

2.1.2.1 SUSPENSÃO POR FIO.

Usada para instrumentos de alta sensibilidade. O fio de suspensão é, em geral, feito de uma liga fósforo-bronze e tem três finalidades:





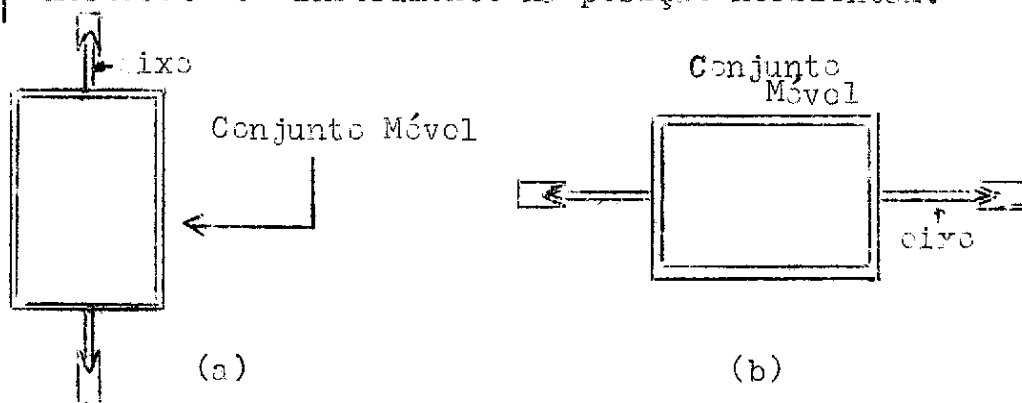
- 1º) suportar o conjunto móvel.
- 2º) fornecer, por intermédio da torção, o conjugado antagonista;
- 3º) servir como condutor para levar corrente à bobina.

A extremidade superior do fio é presa à carcaça do instrumento e a porção inferior é feita em forma de mola para permitir regular a tensão mecânica do fio e centrar o conjunto móvel.

2.1.2.2 SUSPENSÃO POR EIXO:

O eixo é feito de aço, tendo nas extremidades dois bicos pontuados de aço duro repousando sobre dois apoios de rubi ou ágata. O eixo pode ser vertical na fig.(a) ou horizontal na fig.(b). Devido a este detalhe, deve-se ter o cuidado de utilizar o instrumento na posição correta indicada pelo fabricante no mostrador por um dos símbolos seguintes:

- 1º)  mostrador do instrumento na posição vertical;
- 2º)  mostrador do instrumento na posição horizontal.



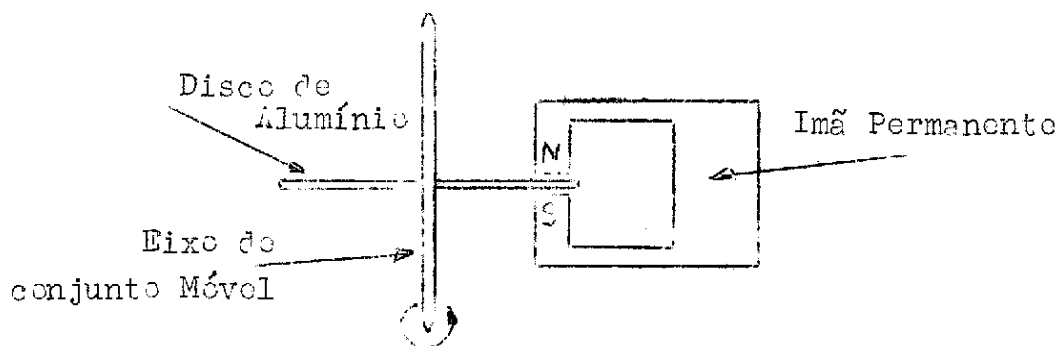
2.1.3 AMORTECIMENTO DO MOVIMENTO DO CONJUNTO MÓVEL:

Há três tipos principais de amortecimento: por correntes Foucault, por atrito sobre o ar e por atrito sobre líquido.

2.1.3.1 AMORTECIMENTO POR CORRENTES DE FOUCAULT:

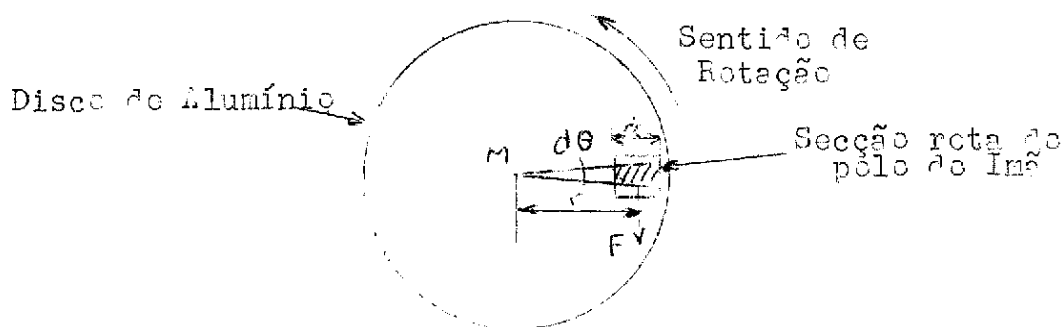
É utilizado sobretudo nos instrumentos industriais. A fig., abaixo mostra o princípio deste amortecimento.

O disco de alumínio está solidário ao eixo do conjunto móvel.



Quando este se desloca, movido pelo conjugado motor, o disco corta as linhas de fluxos do ímã permanente. No disco são então induzidas correntes de Foucault. Como elas estão na presença de um campo magnético, originar-se-á uma força cujo sentido se opõe ao movimento do disco, produzindo assim um conjugado em relação ao eixo de rotação, conjugado este ó de amortecimento, pois sua existência está condicionada ao movimento do disco.

Vamos estabelecer a expressão do conjugado C_{am} para este caso. Para melhor elucidação, podemos considerar o disco de alumínio como uma infinidade de condutores radiais justapostos.



Se o disco gira de um ângulo $d\theta$, haverá uma variação de fluxo $d\psi$ em relação à área coberta pela seção do polo. Assim:

$$|e| = \frac{d\psi}{dt} = B \cdot \frac{dA}{dt}$$

onde: B = indução magnética no entreferro

A = seção reta do polo do ímã

sendo $dA = r \cdot d\theta \cdot a$ $\therefore |e| = B \cdot r \cdot a \cdot \frac{d\theta}{dt}$

Entretanto $F = B \cdot i \cdot a$, em que i é o valor resultante das correntes de Foucault induzidas no disco e pode ser considerado como:

$i = \frac{|e|}{R}$ onde R é a resistência elétrica oferecida pelo disco à corrente i .

$$\text{Portanto: } F = B \cdot a \cdot \frac{e}{R} = \frac{B \cdot a}{R} \cdot B \cdot r \cdot c \cdot \frac{d\theta}{dt}$$

$$F = \frac{B^2 a^2 r}{R} \cdot \frac{d\theta}{dt}$$

O conjunto de F em relação a M será:

$$C_{am} = F \cdot r \dots C_{am} = \frac{B \cdot a \cdot r}{R} \cdot \frac{d\theta}{dt} \text{ ou seja:}$$

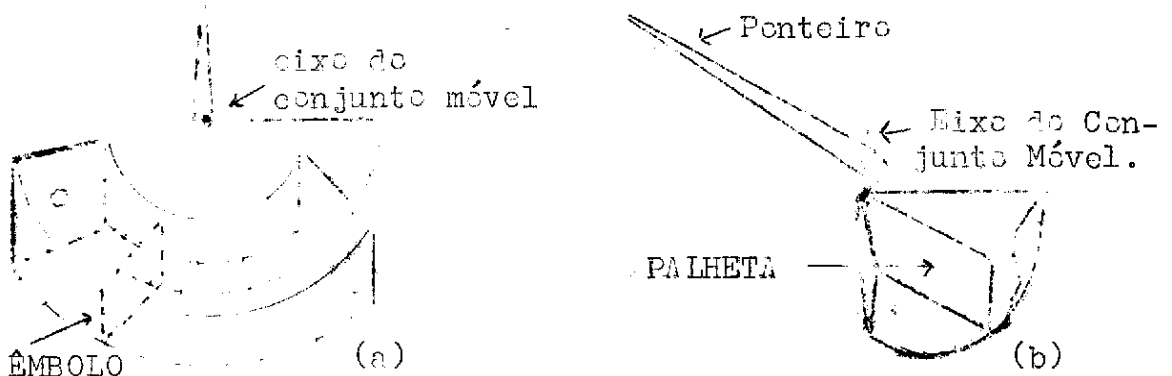
$$C_{am} = K \cdot \frac{d\theta}{dt}$$

onde $K = \frac{B^2 a^2 r^2}{R}$ é a constante de amortecimento. Da expressão acima concluímos que o conjugado de amortecimento C_{am} é diretamente proporcional à velocidade angular do disco.

Verificou-se praticamente que o máximo deste conjugado C_{am} ocorre quando r é cerca de 83% do raio do disco.

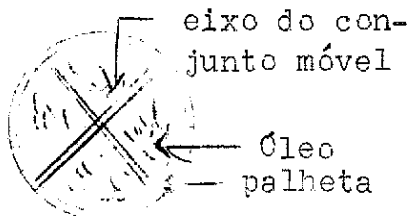
2.1.3.2 AMORTECIMENTO POR ATRITO SOBRE O AR:

É provocado pela reação do ar sobre uma fina palheta metálica presa ao eixo do conjunto móvel. As figuras abaixo; (a) e (b),



mostram dois artifícios usados para este tipo de amortecimento. Em ambos os casos C_{am} é proporcional à velocidade angular do conjunto móvel.

2.1.3.3 AMORTECIMENTO POR ATRITO SOBRE LÍQUIDO:



O líquido mais usado é o óleo por causa de suas características como isolante. Embora de mesmo princípio que o amortecimento anterior, é muito pouco usado nos dias atuais.

2.1.4 EQUAÇÃO DO REGIME TRANSITÓRIO DO CONJUNTO MÓVEL:

O conjunto móvel submetido ao conjunto motor gira em torno do eixo até que seja equilibrado pelo conjugado antagonista. Este trânsito entre a posição de repouso e a posição de equilíbrio é chamado "regime transitório".

Podemos estabelecer a equação do regime transitório considerando que: "no movimento de rotação de um sólido em torno de um eixo, a soma dos momentos das forças exteriores, aplicadas ao sólido, em relação ao eixo de rotação, é igual ao produto do momento de inércia do sólido, em relação a este eixo, pela aceleração angular do movimento".

Chamando J o momento de inércia do conjunto móvel em relação ao eixo de rotação e sendo $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ a aceleração angular, podemos escrever:

$$(a) \quad J \frac{d^2\theta}{dt^2} = C_m - C_a - C_{am}$$

Foi mostrado no 2.1.3.1 que $C_{am} = K \frac{d\theta}{dt}$ e é conhecido da mecânica que $C_a = S\theta$, onde S é a constante de torção da mola e θ o ângulo de desvio do conjunto móvel. Assim, a equação acima ficará:

$$(a) \quad J \frac{d^2\theta}{dt^2} + K \frac{d\theta}{dt} + S\theta = C_m$$

A respeito da solução da equação acima sabemos que existe um termo independente $\theta_p = \frac{C_m}{S}$ chamado "termo permanente", que corresponde ao desvio dado pelo conjunto móvel ao atingir a posição de equilíbrio.

Conforme o valor de $K^2 - 4JS$ em relação a zero temos três soluções $\theta(t)$, isto significa três tipos possíveis de movimento para o conjunto móvel:

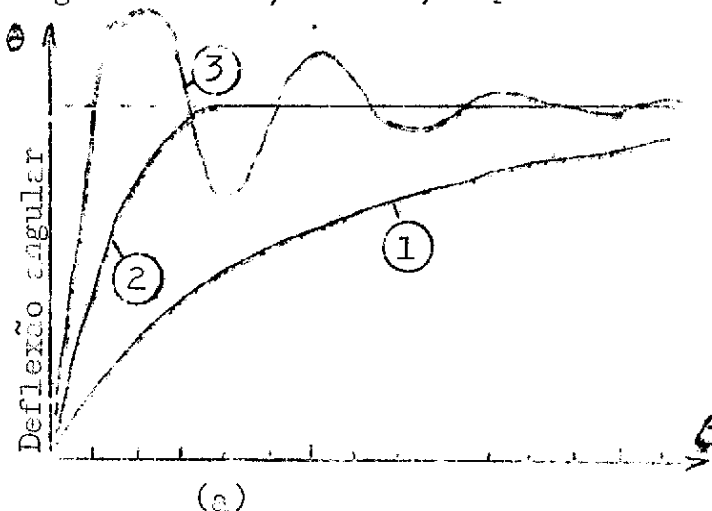
$$1^a) K^2 - 4JS > 0$$

$$\text{Solução: } \theta = \theta_p + Ae^{\alpha t} + Be^{\beta t}$$

$$\text{onde: } \begin{cases} \alpha = -\frac{K}{2J} + \frac{\sqrt{K^2 - 4JS}}{2J} ; \beta = -\frac{K}{2J} - \frac{\sqrt{K^2 - 4JS}}{2J} \\ A = \frac{\beta \theta_p}{\alpha - \beta} ; B = \frac{\alpha \theta_p}{\beta - \alpha} \end{cases}$$

A curva (1) de fig. abaixo representa a função $\theta(t)$. Ela se aproxima exponencialmente da horizontal $\theta = \theta_p$.

Este tipo de movimento do conjunto móvel, correspondendo a um K elevado, é chamado "movimento sobre-amortecido". Sua interpretação é que o conjunto móvel vai atingir a posição de equilíbrio θ_p muito vagarosamente, isto é, depois de um tempo muito longo.



$$2^a) K^2 - 4JS = 0$$

$$\text{Solução: } \theta = \theta_p [1 - e^{-\alpha t} (1 + \alpha t)]$$

$$\text{onde: } \alpha = \frac{K}{2J} = \sqrt{\frac{S}{J}}$$

A curva (2) da fig., acima representa a função $\theta(t)$. Ela se aproxima da horizontal $\theta = \theta_p$ muito mais rapidamente que a curva (1) da solução anterior.

Este tipo de movimento do conjunto móvel, correspondendo a um $K = 2\sqrt{JS}$, é chamado "movimento crítico", sendo K neste caso chamado "constante de amortecimento crítico". Sua interpretação é que o conjunto móvel vai atingir a posição de equilíbrio θ_r num tempo muito mais curto do que no caso de movimento sobre-amortecido.

$$3) K^2 - 4JS < 0$$

Solução: $\theta = \theta_p + A e^{-\alpha t}$, sendo $(\beta t + \phi)$

$$\text{onde: } \alpha = \frac{K}{2J} ; \beta = \frac{\sqrt{4JS - K^2}}{2J} ; A = \frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{\beta} \cdot \theta_p$$

A curva (3) da anterior (a), representa a função semiperiódica $\theta(t)$ de período $T = \frac{2\pi}{\beta}$. A amplitude das oscilações vai decrescendo exponencialmente em torno da posição de equilíbrio $\theta = \theta_p$.

Este tipo de movimento do conjunto móvel, correspondendo a um K pequeno, é chamado "movimento sob-amortecido".

2.1.5 GALVANÔMETRO DE BOBINA MÓVEL:

O galvanômetro de bobina móvel é um instrumento magnetoelétrico em que não há o quadro de alumínio, reduzindo-se assim o amortecimento. É largamente usado como indicador da presença ou ausência de corrente num circuito, sem contudo indicar o seu valor (a ponte de Wheatstone é um exemplo da aplicação de galvanômetro). Para os mais sensíveis a suspensão é por meio de fio (tipo d'Arsonval) e para os outros por meio de eixo (tipo Weston).

2.1.6 O INSTRUMENTO MAGNETOELÉTRICO:

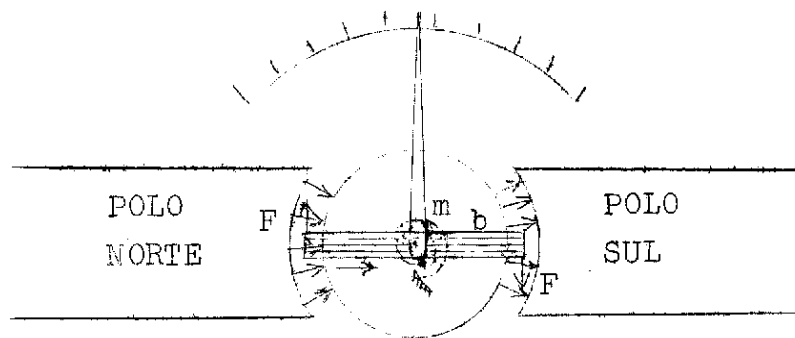
Conhecidos também como o nome de "instrumentos de bobina móvel e imã fixo", os instrumentos magnetoelétricos são constituídos, essencialmente, de:

- Um imã permanente de peças polares cilíndricas, fornecendo no entreferro uma indução magnética B de cerca de $0,125 \text{ wb/m}^2$.
- Um núcleo cilíndrico de ferro doce, com a finalidade de tornar radiais as linhas de indução.

- Um quadro retangular de metal condutor (em geral alumínio) com a finalidade de servir de suporte à bobina e produzir amortecimento por correntes de Foucault.
- Uma bobina de fio de cobre, enrolado sobre o quadro de alumínio, por onde circulará a corrente a medir.

2.1.6.1 PRINCÍPIO FÍSICO DE FUNCIONAMENTO:

A corrente i , a medir, ao percorrer a bobina b vai dar origem às forças \vec{F} , cujos sentidos respectivos são dados pela regra da mão direita.



Logo ser imediatamente concluído, se i muda de sentido \vec{F} também mudará. Assim, a bobina pode-se deslocar nos dois sentidos. Se i muda muito rapidamente de sentido, as forças \vec{F} acompanharão esta mudança, mas o conjunto móvel não se deslocará em virtude de sua inércia. Isto nos leva a compreender que este instrumento não desvia de sua posição de repouso quando a corrente i é alternada.

2.1.6.2 CÁLCULO DO CONJUGADO MOTOR:

As linhas de indução sendo radiais no entreferro, as forças \vec{F} são tangenciais para qualquer posição da bobina da fig. anterior (c) de modo que o conjugado motor é independente do ângulo de desvio da bobina.

- Sejam:
- n = número de espiras da bobina;
 - A = área de cada espira em m^2 ;
 - i = corrente constante em ampéres;
 - B = indução magnética no entreferro em Wb/m^2 ;
 - h = largura da bobina;
 - L = comprimento da bobina

A partir da lei $\vec{d}\vec{f} = \vec{B} \wedge i d\vec{\ell}$ deduzimos o valor do conjugado motor C_m , pois $F' = BiL$ para cada condutor. Para n condutores $F = nF'$ ou seja : $F = nBiL$.

Da fig. anterior (a) conclui-se $C_m = Fh \therefore C_m = nBLhi = nBAi$
 Mas, nBA é o fluxo máximo abraçado pela bobina b , e será representado por Φ . Assim : $C = \Phi \cdot i$

O equilíbrio da bobina será obtido quando $C_m = C_a$ ou:

$$S \theta = \Phi \cdot i$$

2.1.7 INSTRUMENTOS ELETRÓSTÁTICOS E ELETROMAGNÉTICOS:

São chamados por alguns autores de "instrumentos de lei quadrática" porque, como veremos, em cada um deles o desvio é proporcional ao quadrado do valor eficaz da tensão ou da corrente.

A complexidade do conjunto móvel torna quase impossível o cálculo do conjugado motor C_m pelo método direto utilizado nos instrumentos magnetoelétricos. Entretanto, o método da variação da energia armazenada no sistema permite a determinação de C_m .

2.1.7.1 VALOR MEDIO DO DESVIO NOS INSTRUMENTOS ELETRÓSTÁTICOS E ELETROMAGNÉTICOS:

A equação de movimento do conjunto móvel é a mesma já estudada no § 2.1.4 . Apenas faremos a ressalva de que C_m pode ser função do tempo desde que a grandeza a medir a seja. Assim, a solução θ da equação (a) de § 2.1.4 é a soma de um termo permanente $\theta_p(t)$ e de um termo transitório $\theta_t(t)$, ambas funções do tempo t .

Pelo próprio princípio de construção destes instrumentos, eles têm um período próprio T_D bem maior do que o maior período de tensão ou da corrente a que se destinam medir, de modo que o ponteiro indica o valor médio de $\theta_p(t)$ e teremos:

$$S \cdot \frac{1}{T} \int_0^T \theta_p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T C_m(t) dt$$

Chamando θ_p o valor médio de $\theta_p(t)$ e C_m' o valor médio de C_m , podemos escrever:

$$\theta_p = \frac{C_m'}{S}$$

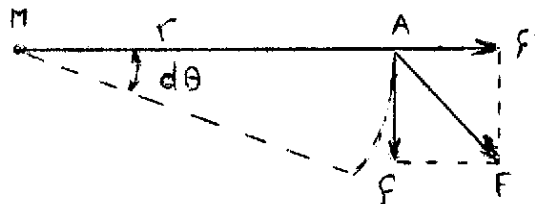
2.1.7.2 CONJUGADO MOTOR:

Suponhamos que \vec{F} seja a força originada pela corrente a medir. Esta força fará o conjunto móvel a girar, em torno do eixo M de rotação, de um ângulo $d\theta$.

O trabalho $d\mathcal{E}$ de \vec{F} será igual à variação de energia do sistema:

$$d\mathcal{E} = dW = f \cdot r d\theta$$

Como $f \cdot r = C_m$, temos: $C_m = \frac{dW}{d\theta}$ que é a expressão do conjugado motor instantâneo aplicado ao conjunto móvel.



2.1.7.3 OS INSTRUMENTOS ELETROSTÁTICOS:

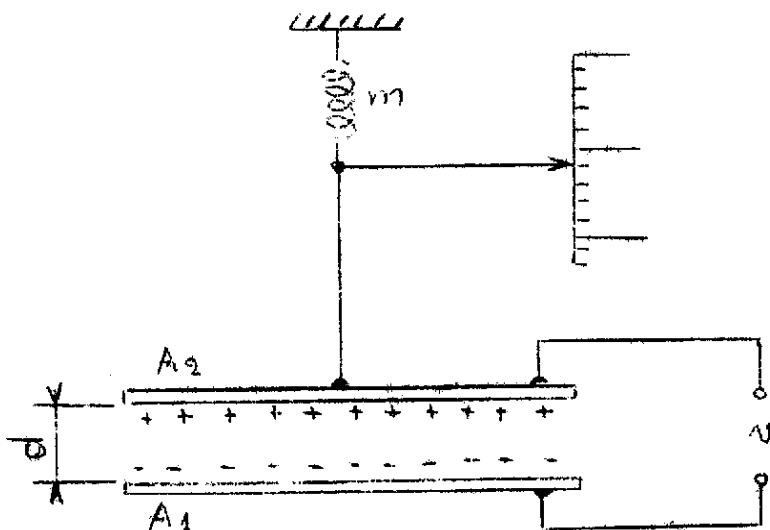
Nestes instrumentos o conjugado motor resulta da ação de um campo elétrico, criado pela tensão a medir, entre duas armaduras planas condutoras. Uma das armaduras é fixa e a outra móvel, e a ação entre as duas tenderá a aumentar a capacidade do capacitor variável assim constituído. O dielétrico é o próprio ar.

Há dois tipos principais de instrumentos eletrostáticos:

- 1º) instrumentos de "atração";
- 2º) instrumentos de "quadrante".

2.1.7.3.1 Instrumentos de atração:

A fig. abaixo (a) dá uma idéia do comportamento destes instrumentos. A armadura A_1 é fixa e A_2 móvel, sendo o conjugado antagonista fornecido pela mola m de suspensão da armadura A_2 .

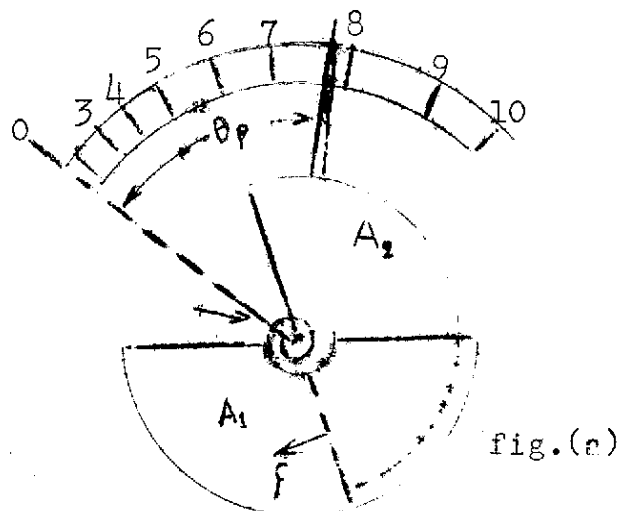


(a)

A tensão v , contínua ou alternada, aplicada entre A_1 e A_2 , origina nas duas armaduras cargas de sinais contrários e conseqüentemente uma força de atração fazendo aumentar a capacidade pela diminuição da distância d . É claro que esta diminuição de d dependerá do valor da tensão V .

2.1.7.3.2 Instrumentos do quadrante:

A armadura A_1 é fixa e A_2 móvel. Da mesma forma que anteriormente, uma tensão aplicada entre A_1 e A_2 origina uma força f de atração.



Sendo a rotação o único grau de liberdade de A_2 , esta armadura girará fazendo aumentar a capacidade pelo aumento de área comum às duas armaduras.

O conjugado motor pode ser calculado levando em consideração o que foi dito no §2.1.7.2. Temos neste caso:

$$dW = \frac{1}{2} v^2 dC \text{ e } C_m = \frac{1}{2} v^2 \cdot \frac{dC}{d\theta} ; C'_m = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} v^2 \cdot \frac{dC}{d\theta} \cdot dt$$

Disto concluímos o valor de θ_p :

$$\theta_p = \frac{1}{2S} \cdot \frac{dC}{d\theta} \cdot v^2 e f$$

A sua sensibilidade pode ser aumentada colocando-se várias armaduras fixas e móveis. A força ficará multiplicada pelo número n de condensadores para uma mesma tensão v aplicada entre A_1 e A_2 .

2.1.7.4 CONCLUSÕES SOBRE OS INSTRUMENTOS ELETROSTÁTICOS:

Embora tenhamos calculado o conjugado motor somente para os instrumentos de quadrante, pode-se mostrar que nos dois tipos o C_m é de mesma forma, isto é, proporcional ao quadrado do valor eficaz da tensão.

Os instrumentos eletrostáticos são empregados essencialmente como voltímetros, podendo em alguns casos, por meio de artifícios especiais, serem empregados como amperímetros e até como wattímetros. Características destes instrumentos:

- a) a maior vantagem destes instrumentos é o pequeno consumo de energia;
- b) os de quadrante podem ser usados de 20v a 20kV; enquanto que os de atração podem ser usados para tensões acima de 20kV;
- c) as indicações são independentes da frequência, podendo o seu emprego ser fácil até cerca de 10^6 Hz;
- d) o pequeno consumo e a independência da frequência os tornam instrumentos de precisão, utilizados quase que exclusivamente nos laboratórios.

2.1.7.5 INSTRUMENTOS ELETROMAGNÉTICOS:

São também conhecidos como "ferromagnéticos" ou instrumentos de "ferro móvel".

O seu princípio físico de funcionamento é baseado na ação do campo eletromagnético, criada pela corrente a medir percorrendo uma bobina fixa, sobre uma peça de ferro doce móvel.

Estudaremos dois tipos principais destes instrumentos, embora outros existam baseados no mesmo princípio:

- 1º) instrumentos de "atração" ou de "núcleo mergulhador";
- 2º) instrumentos de "repulsão" ou de "palheta móvel".

2.1.7.5.1 Instrumento de núcleo mergulhador:

A corrente i , qualquer que seja a sua natureza e sentido, origina na bobina fixa uma polaridade que atrai o núcleo de ferro doce.

Se L o coeficiente de auto-indução da bobina, seu conjugado motor pode ser calculado considerando que:

$$W = \frac{1}{2} L i^2 \quad \text{ou} \quad \frac{dW}{d\theta} = \frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{d\theta}$$

No § 2.1.7.2 foi visto que $C_m = \frac{dW}{d\theta}$ e assim temos:

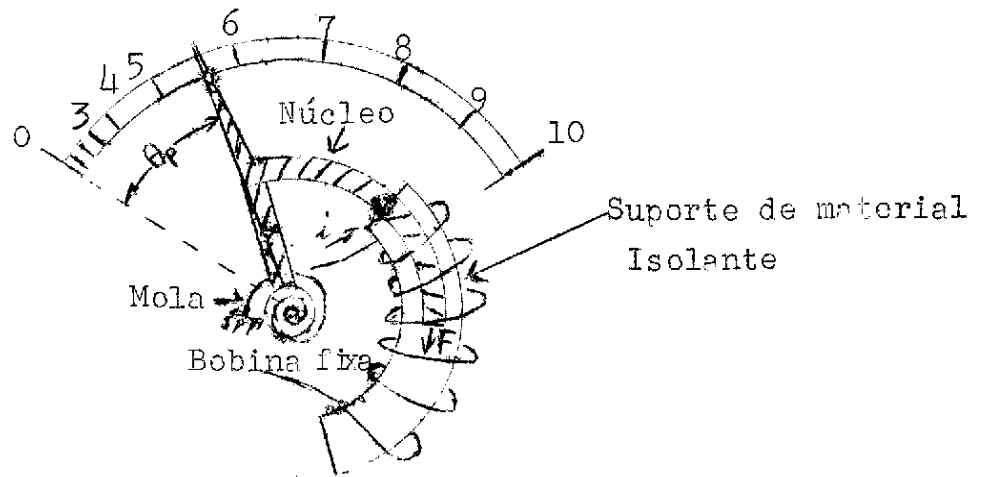
$$C_m = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \quad \text{e} \quad C'_m = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \cdot dt$$

Mas, somente i é função de tempo, e então:

$$C'_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{dL}{d\theta} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt$$

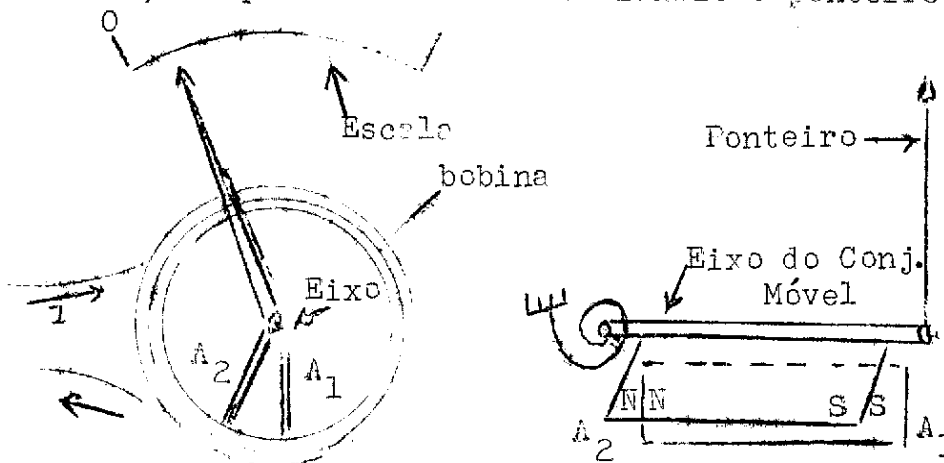
e portanto:
$$\theta = \frac{1}{2S} \cdot \frac{dL}{d\theta} \cdot I_{ef}^2$$

A fig. a seguir ilustra as partes essenciais destes instrumentos.



2.1.7.5.2 Instrumentos de repulsão:

A corrente i , ao percorrer a bobina fixa, imanta as duas lâminas de ferro doce A_1 e A_2 no mesmo sentido, criando assim uma força de repulsão entre elas. A_1 é fixa à bobina e A_2 é móvel e solidária ao eixo, no qual está também solidário o ponteiro.



2.1.7.6 CONCLUSÕES SOBRE OS INSTRUMENTOS ELETROMAGNÉTICOS:

- a) Podem ser usados como amperímetro e como voltímetro. Para o segundo caso faz-se mister a colocação de uma resistência adicional em série com a bobina fixa;
- b) um grande inconveniente destes instrumentos é o consumo relativamente elevado. Em compensação, eles são robustos e pouco dispendiosos, constituindo a categoria indicada de instrumentos de painel. Sua classe de precisão está entre 1 e 3%;
- c) as indicações em corrente alternada são inferiores aquelas em corrente contínua, pois a magnetização fica mais fraca. Eles comportam então duas graduações diferentes;
- d) em virtude da variação da indutância e das perdas por historese e por correntes de Foucault em função da frequência, o seu domínio de utilização é limitado para frequências até 200Hz.

2.1.8 DIODOS E FONTES RETIFICADORAS:

2.1.8.1 UTILIZAÇÃO DOS INSTRUMENTOS MAGNETOELÉTRICOS EM CORRENTE ALTERNADA:

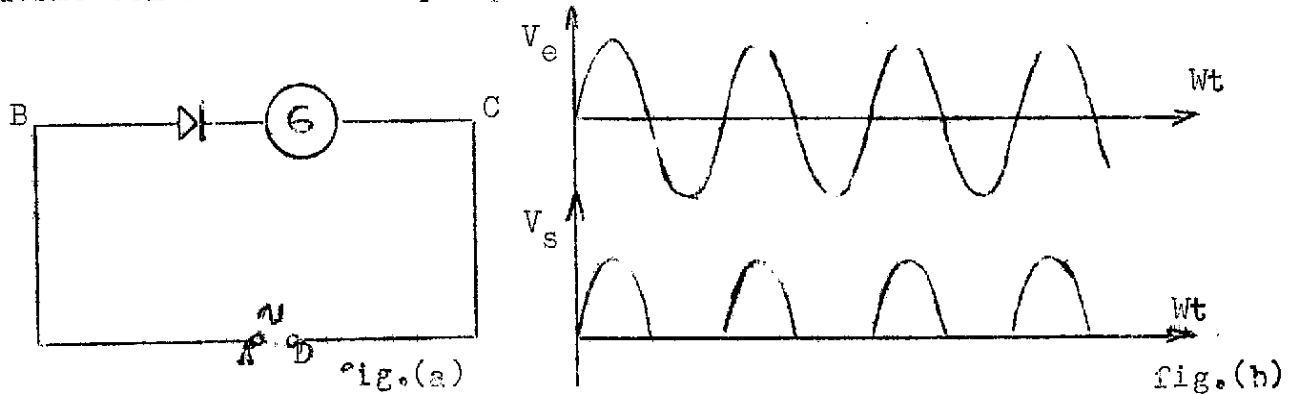
Embora não sejam diretamente utilizáveis em corrente alternada, em vista do próprio princípio físico de funcionamento, os instrumentos magnetoelétricos podem ser alimentados através de retificadores e serem utilizados como amperímetros e voltímetros de corrente alternada.

Indicamos a seguir as montagens de retificadores mais usuais, com a finalidade de tornar a corrente unidirecional através do instrumento.

2.1.8.2 RETIFICAÇÃO DE MEIA ONDA:

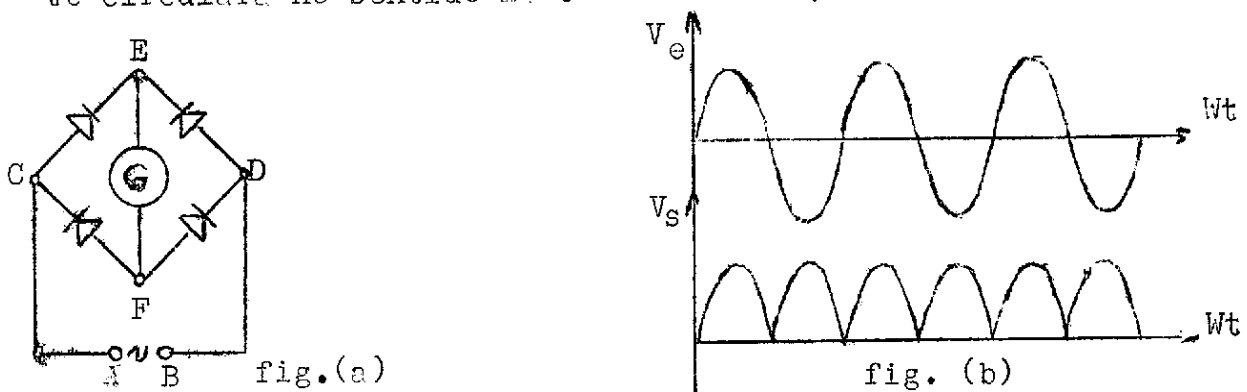
A fig. a seguir (a) representa a montagem usada com apenas um retificador. Circulará corrente em G quando A for positivo em relação a B, isto é semi-ciclo positivo, sentido $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$. Não circulará corrente quando B for positivo em relação a A, isto é semi-ciclo negativo, sentido $D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$, pois a corrente terá o sentido contrário ao retificador.

Como se vê, a corrente é pulsante mas circulará em G sempre no mesmo sentido B → C e que produzirá desvio na bobina de G.



2.1.8.3 RETIFICAÇÃO DE ONDA COMPLETA PONTE DE RETIFICADORA:

A fig. a seguir (a) representa a montagem usada em "ponte" com quatro retificadores. Quando A for positivo em relação a B, a corrente circulará no sentido A → C → E → F → D → B.



Quando B for positivo em relação a A, o sentido da corrente será B → D → E → F → C → A.

Como no caso anterior, a corrente é ainda pulsante, mas circula em G sempre no mesmo sentido E → F e que produzirá desvio na bobina do instrumento.

É chamada retificação de onda completa porque haverá corrente através de G em ambas os semi-ciclos, positivos e negativos.

2.1.8.4 VALOR DO DESVIO COM RETIFICADORES:

Foi visto no § 2.1.6.2 que o desvio dos instrumentos magnetoelétricos é proporcional à corrente constante que circula em sua bobina:

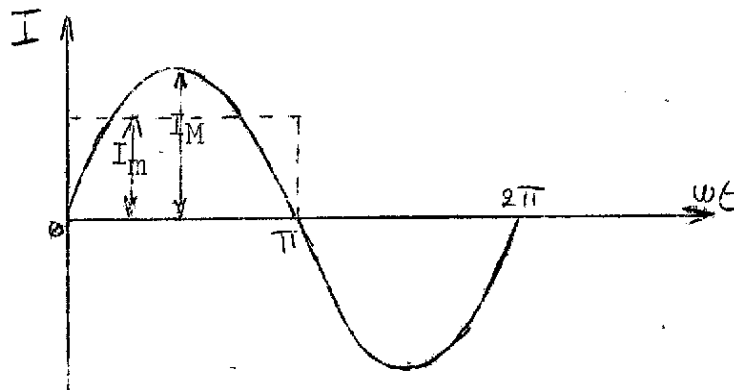
$$\theta = \frac{\Phi}{S} \cdot i$$

Estes instrumentos usados com retificadores, em virtude da inércia do seu conjunto móvel, apresentam um desvio proporcional ao valor médio da corrente retificada:

$$\theta = \frac{\phi}{S} \cdot I_L$$

2.1.8.5 VALOR MÉDIO DE UMA CORRENTE ALTERNADA:

Sabemos que o valor médio de uma grandeza senoidal quando considerado num período é nullo: pois a soma dos valores instantâneos do semi-ciclo positivo é igual a do semi-ciclo negativo sendo a sua resultante constantemente nula. Por essa razão o valor médio de uma grandeza alternada senoidal só poderá ser considerada como sendo a média aritmética dos valores instantâneos num semi-ciclo.



Este valor médio da corrente é representado pela ordenada média do semi-ciclo. A área do semi-ciclo é: $S = \sum_0^{\pi} I_M \text{ Sen } \alpha \cdot \Delta \alpha$, esta área será também a do retângulo, com a sua altura dada por:

$$I_m = \frac{S}{\pi} = \frac{\sum_0^{\pi} I_M \cdot \text{Sen} \alpha \cdot \Delta \alpha}{\pi}$$

Como o integral $\int_0^{\pi} \text{Sen} \alpha \cdot \Delta \alpha = \text{Cos } 0 - \text{Cos } \pi$ teremos:

$$1 - (-1) = 1 + 1 = 2 \text{ donde,}$$

$$I_m = \frac{2 \cdot I_M}{\pi}$$

Como em corrente alternada o que interessa é o valor eficaz da corrente, para a retificação de onda completa temos:

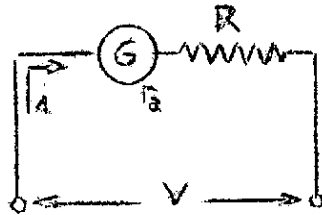
$$I_m = \frac{2I_M}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_{ef} \text{ ou } I_{ef} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \cdot I_m \therefore I_{ef} \approx 1,11 I_m$$

O resultado $I_{ef} \neq 1,11 \cdot I_m$ significa que o desvio θ correspondente a uma corrente I é cerca de 11% maior que o desvio θ' correspondente a uma corrente alternada de valor eficaz igual a I :

$$I_{ef} = I$$

2.1.9 RESISTÊNCIAS ADICIONAIS:

Os voltímetros podem também derivar dos instrumentos magnetoelétricos pela adição de resistência externas em série com eles. Estas resistências são chamadas "resistências adicionais" e a fig. abaixo mostra como colocá-las.



2.1.9.1 Cálculo da resistência adicional:

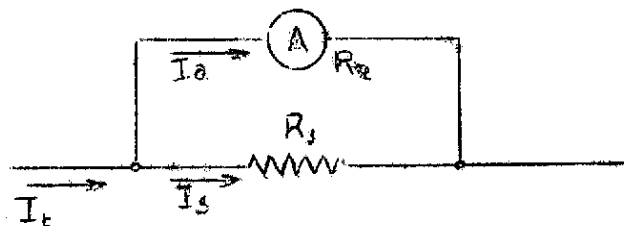
Suponhamos que a bobina de G da fig. acima suporta no máximo a corrente i e que se deseja medir a tensão V .

Então: $V = (R + r_a)i \therefore R = \frac{V}{i} - r_a$

Observemos que tanto os shunts como as resistências adicionais somente podem ser usadas em corrente contínua. O calibre dos instrumentos de corrente alternada será aumentado por meio de outros artifícios.

2.1.10 SHUNTS:

Quando um amperímetro tem uma capacidade inferior á corrente que se deseja medir, é necessário derivar parte desta corrente. Chamaremos a "Shunt" a resistência colocada em paralelo com o amperímetro para derivar parte da corrente total.



Como o amperímetro e o shunt estão ligados em paralelo, a diferença potencial é a mesma para os dois:

V amperímetro = V Shunt, pela lei de Ohm

$$R_a \cdot I_a = R_s \cdot I_s \quad R_s = \frac{R_a \cdot I_a}{I_s}$$

Como $I_s = I - I_a$ podemos escrever que:

$$R_s = \frac{R_a \cdot I_a}{I - I_a} \quad \text{dividindo por } I_a \text{ teremos,}$$

$$R_s = \frac{R_a}{\frac{I - I_a}{I_a}} = \frac{R_a}{\frac{I}{I_a} - 1} \quad \text{se chamamos } \frac{I}{I_a} = m = \text{fator multiplicador,}$$

podemos escrever que:

$$R_s = \frac{R_a}{m - 1}$$

2.1.10.1 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA:

Como sabemos, a resistência varia com a temperatura segundo a relação: $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$

Os shunts e as resistências adicionais são de MANGANINA ou CONSTANTAN, ligas cuja resistência é quase que independente da temperatura como pode ser visto no quadro:

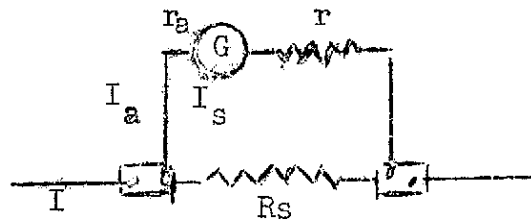
Metal ou liga	α a 20°C	resistividade ρ em ohm.m a 20°C
Manganina 84% Cu; 12% Mn; 4% Ni	0,000 003	$44 \cdot 10^{-8}$
Constantan 60% Cu; 40% Ni	0,000 002	$49 \cdot 10^{-8}$
Cobre	0,00393	$1,72 \cdot 10^{-8}$

No caso do voltímetro, a resistência adicional R sendo muito maior do que a resistência própria da bobina, a influência da temperatura fica desprezível na indicação do instrumento.

No caso do amperímetro, a resistência r_a varia com a temperatura, enquanto R_s e r_a é função da temperatura. Para compensar este efeito nefasto da temperatura sobre a aferição do amperímetro, coloca-se em série com a bobina uma resistência r de constantan ou manganina, da ordem de grandeza de 4 a 5 vezes o valor de r_a .

Esta resistência r é chamada "resistência estabilizadora". O shunt R_s é então calculado para ser posto em paralelo com o conjunto $r+f$.

Este artifício resolve um inconveniente, mas trás um outro: faz aumentar o consumo do instrumento, pois a resistência do conjunto aumenta.



2.1.11 PROTEÇÕES

Para evitar danificação do instrumento no processamento errado de uma medida, geralmente é colocado sobre o círculo do galvanômetro um sistema de proteção. Este sistema de proteção poderá ser simplesmente constituído por um fusível de alta precisão colocado em série com o galvanômetro (fig.a) ou ainda ser de semicondutor (fig.b)

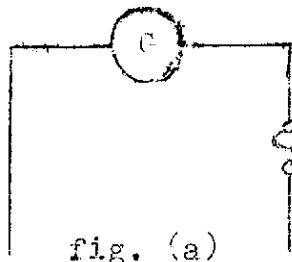


fig. (a)

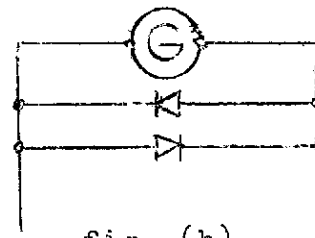


fig. (b)

De fato sabemos que um diodo semi condutor, mesmo polarizado no sentido direto começa a entrar em condução quando a tensão aplicada é capaz de superar o efeito da barreira de potencial da junção. Aproveitando esta propriedade, são colocados dois diodos em paralelo sobre o galvanômetro, sendo um invertido em relação ao outro. Em utilização normal, a tensão desenvolvida nos terminais do galvanômetro é inferior a barreira de potencial, fazendo com que os diodos não interfiram no funcionamento do galvanômetro.

Se, por ventura, o instrumento de medição fôr utilizado num calibre errado a que, decorrente deste erro a corrente circulando na bobina móvel do galvanômetro determina uma tensão superior ao valor da barreira potencial, o diodo entrará em condução, conectando sua resistência interna, (muito baixa) sobre o galvanômetro.

O excesso de corrente passará então através do diodo e asseguraria a proteção do galvanômetro.

2.2 VOLTÍMETROS:

A construção de um voltímetro, materialmente, não difere da do amperímetro quanto ao seu dispositivo de movimento.

A bobina móvel do voltímetro, em geral, é enrolada com um maior número de espiras de um fio mais fino que o usado no amperímetro e, portanto, de mais elevada resistência. A diferença principal, por isto, está no modo de se conjugar o aparelho ao circuito. Como o voltímetro é ligado diretamente através da linha para a medição de sua voltagem, convém que só absorva o mínimo possível de corrente.

A resistência da bobina móvel do voltímetro sendo relativamente baixa, não se pode pô-la em conexão direta com a linha, pois que tomaria uma corrente excessiva e se queimaria. É imprescindível, portanto, pôr em série com a bobina móvel, uma resistência elevada,

Pela lei de Ohm, a corrente que atravessa o aparelho é proporcional à voltagem aplicada aos seus terminais, o que permite seja sua graduação feita em volts.

A resistência necessária para este fim é de fácil determinação.

2.2.1 NECESSIDADE DE RETIFICADOR PARA OS VOLTÍMETROS ELETROMAGNÉTICOS:

A medida de uma tensão alternada é a medida de uma quantidade constantemente variável. Variação esta que alteraria constantemente, na razão da frequência, o sentido de deslocamento do ponteiro, caso este pudesse responder a esta variação, isto é, a própria inércia do ponteiro impede a indicação de medidas de correntes ou tensões alternadas com o mecanismo medidor. Há necessidade portanto de uma adaptação.

Esta adaptação consiste em um dispositivo que transforme a forma de onda alternada em uma forma de onda em que não seja alterado o sentido da corrente ou tensão, isto é, necessitamos para a medida ou tensões alternadas com o movimento de imã permanente - bobina móvel de um dispositivo retificador. Desta forma não teremos a inversão da corrente e o mecanismo medidor reponderá ao valor médio da nova forma de onda, pulsada.

Neste caso, um cuidado especial deverá ser observado. Em se tratando de tensões alternadas, na maioria das vezes, estamos interessados no seu valor eficaz, logo ao invés de calibrarmos a escala segundo o valor médio, o fazemos diretamente em valores eficazes, pois para cada forma de onda sabe-se a relação entre os dois valores.

Disto, então, resulta o cuidado que será a confiança na medida, apenas para formas de ondas iguais aquela usada na calibração, pois foi ela que determinou a relação valor eficaz - valor médio.

2.2.2 RESISTÊNCIA INTERNA CC E AC:

A resistência interna de um voltímetro, geralmente é exprimida em ohms por volt. Conseqüentemente, a resistência interna apresentada por um determinado calibre.

Será o produto desse calibre pela sensibilidade em volts do instrumento. Sabemos, por outro lado, que os voltímetros são graduados em volts eficazes nas escalas AC mas que o ângulo de desvio θ , do conjunto móvel, é proporcional ao valor médio da corrente. Haverá então necessidade de conversão entre esses valores eficazes e médios a fim de utilizar a mesma graduação das escalas. As conversões entre os valores serão conseguidos pelo emprego de resistências adicionais de valores inferiores para as escalas AC.

Sabemos também, que na medida de valores AC com um instrumento magnetoclétrico, é necessária a utilização de retificadores para tornar unidirecional o sentido da corrente no galvanômetro. A junção desses retificadores apresentando uma certa capacitância, e conseqüentemente reatância em AC, o valor da resistência interna AC será ainda diminuída.

Em conclusão podemos dizer que a resistência interna AC de um voltímetro magnetoclétrico será sempre inferior ao seu valor CC e isso numa proporção variando geralmente de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$.

Outra limitação na utilização do voltímetro em medidas de tensões AC é a frequência. De fato o voltímetro apresentando uma impedância em AC e não mais uma resistência, as leituras serão limitadas a tensões cuja frequência é baixa, geralmente inferior a 1000 hertz.

2.2.3 ESCOLHA DO CALIBRE:

A fim de minimizar o valor do erro, devera-se escolher uma escala de medição cuja leitura situa-se, sempre que possível, na metade superior do mostrador do instrumento. Desconhecendo o valor aproximado da tensão a medir por precaução, colocará-se o instrumento no seu maior calibre de tensão de maneira a evitar quaisquer danos no mesmo.

2.2.4 PRECISÃO DA LEITURA:

Conforme a posição do observador, a leitura de uma medida poderá ser tomada por excesso ou por falta. A precisão dessa leitura será aumentada pelo uso do espelho de paralaxe. De fato, certos instrumentos são equipados de um espelho de correção, o qual é situado atrás do mostrador.

Para utilizá-lo, bastará fazer coincidir o ponteiro e sua projeção no espelho de correção de paralaxe. A leitura assim efetuada, minimizará o valor de seu erro.

2.2.4 DETERMINAÇÃO DO VALOR V_m :

Poderemos determinar através de operações simples, os diferentes valores de uma tensão alternada senoidal, sabendo que o valor da leitura é exprimido em volts eficazes.

Assim o valor máximo de uma tensão será

$$V_M = V_{ef} \cdot \sqrt{2}$$

2.3 AMPERÍMETROS:

2.3.1 AMPERÍMETRO MAGNETOELÉTRICO (tipo Weston):

Os instrumentos portáteis Weston, de bobinas móveis, acusam deflexões máximas para correntes, na bobina de intensidade entre 0,01 e 0,005 ampére, conforme seja seu emprego.

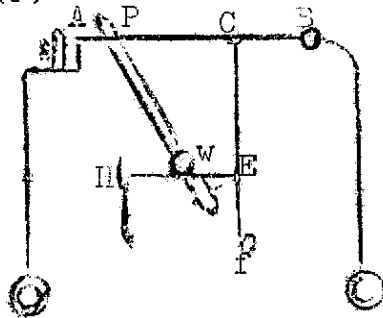
Quando o movimento do aparelho é estudado para um amperímetro, o enrolamento da bobina é de baixa resistência, para que a queda de tensão que aí ocorra seja pequena. O amperímetro, portanto, não introduzirá uma resistência apreciável no circuito em que fôr inserido.

Decorre daí, que a seção transversal do fio que constitui o enrolamento da bobina móvel, deve ser tão grande quanto possível, com um número de espiras, consoquentemente, pequeno.

Quando feitos com um enrolamento deste tipo, a deflexão de plena escala é conseguida com intensidades de corrente, entre 0,02 e 0,05 ampere.

2.3.2 AMPERÍMETRO TÉRMICO:

fig.(a)



A fig. ao lado (a) representa, em diagrama esquemático, os princípios de funcionamento de um amperímetro térmico.

AB é um fio de prata platinada pelo qual a corrente circula. No ponto C do fio AB está preso um outro fio CF. Sobre este fio CF, por sua vez, em E fixa-se um retrós de seda EH, o qual abraça a polia W, dando-lhe uma volta em torno do tambor e aprendendo-se, pela sua outra extremidade, a uma mola tensora H.

Quando uma corrente circula pelo fio AB, este, pela ação do calor, distende-se, relaxando a tensão do fio CF e deixando a mola tensora H puxar para a esquerda o fio de seda EH. Ao se deslocar, o retrós EH imprime um movimento de rotação à polia W que, por sua vez, arrasta um ponteiro P, rigidamente fixado a W e o faz mover-se ao longo de uma escala graduada.

Para ser utilizado como amperímetro, torna-se indispensável adaptar o instrumento de uma ponte de derivação, salvo o caso da intensidade da corrente ser muito pequena.

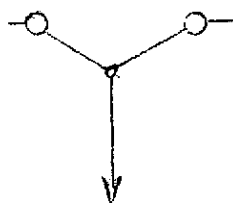
Como voltímetro, o aparelho precisa ter uma forte resistência, posta em série com circuito do fio AB.

Trata-se de um modelo de instrumento em que a agulha não sofre oscilações para se acomodar a novos valores; é, de construção, muito moroso no seu modo de funcionar e atua lentamente até alcançar a marcação definitiva.

Esta sua última característica não deixa de ser uma vantagem nas medições de correntes com intensidade variável, pois, a agulha que acompanha muito lentamente as flutuações de valores, permite leituras bastantes exatas.

Outra vantagem apresentada pelo instrumento de fio aquecido advém de seu emprego indiscriminado, tanto em correntes alternadas como contínuas. Utiliza-se, com frequência, este instrumento como transferidor, para a medida de correntes alternadas em comparação com correntes contínuas.

Este modelo de aparelho é, também, particularmente valioso na medição de correntes alternadas de alta frequência, pois que suas indicações independem das ciclagens, contanto que não haja uma ponte de derivação no seu circuito.



Símbolo do amperímetro térmico.

Ainda, pelo mesmo motivo, é que se lhe dá preferência para determinar a intensidade de correntes nos circuitos dos aparelhos de rádio.

Infelizmente, tais instrumentos se deixam influenciar pelas variações de temperatura ambiente e não conservam sua calibragem por muito tempo.

Em trabalhos precisos, onde se requerem leituras exatas, convém, por conseguinte, aferi-los de novo, cada vez que esteja para ser empregado.

2.3.3 AMPERÍMETRO DE PARES TERMOELÉTRICOS:

O binário térmico, a vácuo, conjugado a um galvanômetro ou outro aparelho defletor sensível, é um dispositivo de medição de intensidade da amperagem, baseado no efeito térmico da corrente.

Um par térmico, de reduzido tamanho, está em contacto com uma pequena resistência de calefação, pela qual passa a corrente cuja intensidade se quer medir.

O par termoelétrico e os seus curtos fios ligadores curvam-se, de fábrica, herméticamente cerrados em um bulbo de vidro, no qual se fez o vácuo, para reduzir a dissipação do calor gerado na junta. Os terminais da junção térmica ligam-se a um galvanômetro ou outro qualquer instrumento com suficiente sensibilidade, do tipo do aparelho de d'Arsonval. A corrente no circuito calefator eleva a temperatura do binário térmico, gerando-se aí uma força termoeletromotriz que provoca a deflexão do instrumento indicador.

As deflexões, praticamente, são proporcionais ao quadro da intensidade da corrente.

Como no circuito aquecido não há efeitos ponderáveis, capacitivos ou indutivos, estes aparelhos recomendam-se para emprego nos circuitos de radiofrequência.

O dispositivo calefator é de construção delicada e sua capacidade limita-se a correntes de fraca amperagem. Com grandes intensidades de corrente torna-se indispensável a adição de um "shunt".

Este tipo de medidor, de par termoeletrico, dá leituras bem mais precisas e sensíveis que os de fio aquecido, descritos no item 2.3.2.

2.3.4 SHUNTS ADICIONAIS:

Quando se deseja efetuar medições de corrente superiores à sensibilidade do instrumento, a maior parte da corrente do circuito deve ser desviada da bobina móvel por meio de um shunt.

Esta ponte é simplesmente uma peça de baixa resistência ôhmica, fabricada, geralmente, de lâminas de manganina soldadas a blocos reforçados de cobre.

Dois jogos de botões de ligação estão fixados aos blocos de cobre. Os botões extremos, são destinados a suportar a parte "principal" da corrente da linha que se desvia pela ponte.

Os botões menores são destinados à ligação dos fios do amperímetro.

Os blocos de cobre tem duas finalidades: são excelentes condutores térmicos e se prestam para dissipar o calor formado na lâmina de manganina e, por outro lado, sua baixa resistência elétrica mantém iguais as partes do bloco de cobre, aproximadamente, à mesma diferença de potencial.

No parágrafo 2.1.10, foi detalhada a demonstração de cálculo de shunts, sendo:

$$R_s = \frac{I_a \cdot R_a}{I_t - I_a}$$

2.3.5 ESCOLHA DO CALIBRE:

A escolha do calibre de medição será feita segundo os mesmos critérios do parágrafo (2.2.3) começando pelo maior calibre para evitar danos ao instrumento, no caso ser ignorado o valor aproximado da corrente a medir.

2.3.6 ERRO DE PARALAXE:

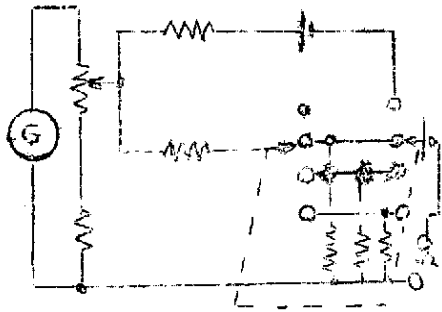
O erro de paralaxe poderá ser minimizado pelo uso do aparelho de correção. O procedimento da utilização do mesmo já tendo sido explicado, sugerimos ao leitor se repôr no § 2.2.4.

2.4 O OHMÍMETRO:

Vários métodos de medição da resistência elétrica de um circuito existem, contudo nos limitaremos apenas a estudar o ohmímetro de bateria interna.

2.4.1 CONSTITUIÇÃO DO OHMÍMETRO:

Basicamente, o ohmímetro de bateria interna é constituído por uma fonte de corrente (pilhas), a qual será utilizada para fazer circular uma corrente na resistência a medir. Em série com esta resistência, é inserido um galvanômetro cuja escala é diretamente graduada em valores ohmicos. A fim de conseguir uma boa precisão na medida dos elementos resistivos, numa faixa de valores estendida, os ohmímetros geralmente comportam vários calibres, múltiplos entre si. Esses calibres são conseguidos através da inserção de resistências adicionais e pela troca do elemento gerador (pilhas). Usualmente são utilizados uma pilha de 1,5v e outra de 22,5v para os calibres baixos e altos. Como a tensão da pilha diminui com o uso, torna-se necessário a inversão de uma resistência variável de maneira a realizar a aferição do instrumento antes a medida.



2.4.2 ESCOLHA DO CALIBRE E PRECISÃO DA LEITURA:

O ohmímetro comportando vários calibres, procuramos na medição de uma resistência R_x , sempre que possível, efetuar essa leitura na metade de direita do mostrador, de maneira a aumentar a precisão da leitura. Esta condição de leitura será realizada pela seleção correta do calibre multiplicador.

Convém lembrar que nunca se utiliza o ohmímetro para fazer medidas em circuitos onde haja uma diferença de potencial, sob perigo de danificar o instrumento.

2.5 O MULTÍMETRO:

O multímetro é um instrumento agrupando as três funções básicas sendo voltímetro, amperímetro e ohmímetro. Desse agrupamento, resultou uma compactização e uma maior versabilidade do instrumento, já que o mesmo poderá ser utilizado indiferentemente em qualquer uma dessas três medidas. A fim de simplificar sua utilização, geralmente as escalas são comuns aos calibres de tensão e corrente, bastando aplicar um fator multiplicador. A escala do ohmímetro contudo terá sua graduação fora a parte, pois a mesma segue uma variação não linear e os multímetros mais recentes serão providos de uma escala graduada em decibéis cujo veremos a utilização mais adiante. Os critérios de utilização, serão os mesmos que os descritos para cada uma das funções.

2.5.1 QUALIDADES DO MULTÍMETRO:

No processo de uma medida, o multímetro sendo inscrito no circuito, o instrumento não deveria modificar as características do mesmo, a fim não introduzir erro apreciável na medida. Por isso, a resistência interna apresentada na posição de voltímetro CA ou CC deverá ser elevado de maneira a juxtapor em paralelo uma carga que possa ser desprezada. Na função amperímetro, uma baixa resistência interna é desejável para não aumentar a resistência do circuito, o que traria uma diminuição de corrente no processo de medida.

2.5.2 UTILIZAÇÃO DA ESCALA DOS DECÍBEIS:

O decibel provém da unidade Bel (B) valendo 1/10 do Bel, isto é, 10 dB valem 1 B. Normalmente usa-se apenas o decibel.

O decibel serve para a medida de relação de potência, dando uma notação mais curta e conveniente. Porém esta relação é referida em uma escala logarítmica devido o ouvido humano seguir esta curva.

Para termos idéia de como reage o ouvido humano diante de potências sonoras, vejamos o seguinte exemplo.

Liguemos um aparelho que nos dê uma potência de 10w e observemos o nível sonoro que nosso ouvido sente. Vamos aumentando a potência sonora até que nosso ouvido sinta o dobro do nível sonoro. Neste instante medimos a potência e verificamos que trata-se de 100w e não de 20w como era de se esperar.

Se aumentarmos mais até que a sensação seja o triplo, teremos 1000w e se formos ao quadruplo teremos 10.000w.

Notemos que os logaritmos decimais das potências acima são:

$$\log 10 = 1, \quad \log 100 = 2, \quad \log 1000 = 3, \quad \log 10000 = 4$$

(Nota: os logaritmos de qualquer número são encontrados em tabelas denominadas Tábuas de Logaritmos).

Percebemos que ao se passar de 10 para 100 o log passa de 1 para 2, exatamente como no exemplo do ouvido humano.

Desta forma observamos que o nosso ouvido fornece ao cérebro uma informação que não segue uma variação linear como a potência, mas sim uma variação logarítmica. Se caso isto não acontecesse, como o nosso ouvido que tem sensibilidade capaz de ouvir um zumbido de um mosquito, suportar um nível sonoro como o de uma turbina de avião a jato. Se a variação fosse linear, ou o nosso ouvido não seria tão sensível ou estouraria na presença de uma turbina em funcionamento.

É por esse motivo também que normalmente usamos em controle de volume sonoro em rádio e TV, potenciômetros logarítmicos, enquanto que para o tom utilizamos linear.

Convém notar que a curva de resposta em função da potência do ouvido humano não segue exatamente a curva logarítmica como mostramos até agora, porém esta aproximação matemática é muito boa.

O decibel que em princípio teve-se a idéia de aplicar em áudio é aplicado em potência desde áudio até altas frequências, servindo para antenas, amplificadores, linha de transmissão, etc.

O decibel para relação de potência elétrica é definido como o vezes o logaritmo decimal da relação de potência.

$$G_p = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \text{ dB} \quad G_p \text{ Ganho de potência em dB } P_1 \text{ e } P_2 \text{ potências.}$$

Suponhamos que na entrada de um amplificador seja aplicada uma potência de 2w e na saída tenhamos uma potência de 8w, então o ganho de potência em dB será:

$$G_p = 10 \log \frac{8}{2} = \log 4 = 10 \cdot 0,602 = 6,02 \text{ dB}$$

Suponhamos agora que um transmissor entregue uma potência de 500w e na antena chegue uma potência de 455w, então o ganho de potência em dB será:

$$G_p = 10 \log \frac{455}{500} = 10 \log 0,91 = 10 (-0,041) = -0,41 \text{ dB}$$

O sinal de menos que apareceu, significa que em vez de ampliação de sinal, tivemos atenuação de sinal, o que é evidente pois na linha de transmissão entraram 500w e saíram 455.

Se quisermos evitar o sinal negativo bastaria calcular de modo inverso, porém tendo já em mente que se trata de atenuação. Ou seja:

$$G_p = 10 \log \frac{500}{455} = 10 \log 1,1 = 10 \cdot 0,041 = 0,41 \text{ dB}$$

Apartir da definição de ganho da potência em dB e do conhecimento que $P = E \cdot I = I^2 \cdot R = E^2 / R$ podemos deduzir ganho de tensão e ganho de corrente em dB porém para resistências iguais.

$$G_p = 10 \log P_1/P_2$$

$$\text{Mas } P_1 = I_1^2 \cdot R_1 \text{ e } P_2 = I_2^2 \cdot R_2$$

Supondo então $R_1 = R_2$ teremos:

$$G_I = 10 \log \frac{I_1^2 \cdot R_1}{I_2^2 \cdot R_2} \hat{=} 10 \log (I_1 / I_2)^2 = 20 \log \frac{I_1}{I_2}$$

Da mesma forma podemos deduzir para o ganho de tensão. Em resumo:

$$G_p = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad G_I = 20 \log \frac{I_1}{I_2} \quad G_T = 20 \log \frac{E_1}{E_2}$$

É bom frisar que para o ganho de potência não interessa a resistência ou impedância dos circuitos onde são medidas as potências. Porém para o ganho de tensão ou de corrente em dB é necessário que os valores de tensão ou corrente sejam referidos a mesma resistência ou impedância.

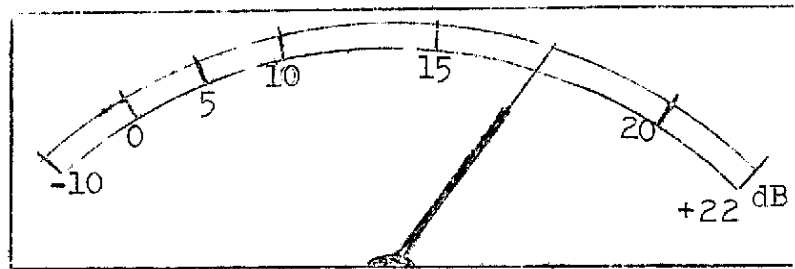
Normalmente a impedância padronizada é de 600 Ω , para instrumentos de medida de decibéis, embora o ganho de tensão ou corrente independa do valor da impedância, exigindo-se apenas que sejam iguais.

Dada a necessidade de termos um nível de potência de referência para instrumentos de medida, criou-se o dBm que é o decíbel relativo a 1 miliwatt. Assim tem-se que zero dBm corresponde a uma potência de 1 mW; logo aplicando a relação de decibéis em potência teremos que 1 corresponde a 30 dBm. Como para instrumentos fixou-se a impedância de 600 Ω então uma tensão de 0,77460 v ou uma corrente de 0,00129 A. Assim temos que o dBm corresponde a uma tensão de 0,77460 V ou a uma corrente de 0,00129 A, em uma carga de 600 Ω .

É por este motivo que nos multitestes a escala de decibel, normalmente coincide com uma escala de tensão alternada, na maioria dos casos na de 10 VAC. Se o aluno observar num multitestes, quando o ponteiro está sobre o 0 dB (o correto é 0 dBm) ao mesmo tempo ele está sobre a escala de tensão correspondente, indicando um valor de 0,77460 V.

Em vista disto o multitestes só lê corretamente o valor de decibel, se estivermos trabalhando em cargas iguais a 600Ω .

Na figura a baixo temos uma escala para leitura de decibéis.



Como podemos notar, à esquerda de zero dB os valores são negativos, indicando atenuações do sinal e para a direita os valores, são positivos; correspondendo a ampliações de sinais.

Vejamos agora como utilizar tal instrumento, lembrando novamente que os pontos de entrada e de saída onde forem feitas as medidas devem ter obrigatoriamente a mesma impedância, sendo esta normalmente fixada em 600Ω . Observando este fato de grande importância, devemos conectar o instrumento em paralelo com a entrada do circuito e ajustar o sinal de entrada até que o instrumento indique zero dB. Feito isto, passamos o instrumento para a saída do circuito, conectando-o também em paralelo, e lemos o valor indicado. Se o instrumento indicar zero dB é sinal de que o circuito nem amplificou nem atenuou o sinal. Se o ponteiro defletir para a esquerda indicando uma leitura negativa, isto significará que o circuito atenuou o sinal e, em caso contrário, amplificou o sinal. Pelo simples fato de termos ajustado zero dB para a entrada, o valor encontrado na saída já é o valor numérico do ganho ou atenuação em dB.

Como normalmente a posição utilizada para a medida de dB é 10VAC, devemos observar se as tensões que vamos medir não superam 10V e se não há tensão contínua superposta. Caso houver, devemos bloqueá-la por meio de um capacitor.

Se desejarmos medir valores superiores ao calibre de instrumento graduado em dB, devemos introduzir um fator de correção. Certos multímetros apresentam esta tabela diretamente no mostrador, mas na ausência da mesma será extremamente fácil elaborá-la da maneira seguinte antes de tudo, vamos admitir que um dado instrumento comporta os calibres 10v, 50v, 250v, 500v.

A escala de 10 volts sendo graduada diretamente em dB, a leitura no fim da escala será:

$$\text{Escala 10v. ; } G = 20 \log \frac{10}{0,77} = 20 \log 13 = 22 \text{dB}$$

Como o instrumento comporta graduações somente na primeira escala, para as demais bastará aplicar um fator de correção, o qual será somado á leitura encontrada, sendo:

$$\text{Escala 50v : } G = 20 \log \frac{50}{10} = 20 \log 5 = 14 \text{dB}$$

$$\text{Escala 250v: } G = 20 \log \frac{250}{10} = 20 \log 25 = 28 \text{dB}$$

$$\text{Escala 500v: } G = 20 \log \frac{500}{10} = 20 \log 50 = 34 \text{dB}$$

Calibre	Fator de Correção
10v	+0dB
50v	+14dB
250v	+28dB
500v	+34dB

Exemplo:

A medição do ganho de filtro deu uma leitura de 15dB, no calibre 250 volts.

O ganho do filtro será:

$$15 \text{dB} + \text{fator de correção}$$

$$15 \text{dB} + 28 \text{dB} = 43 \text{dB}$$

$$G = 43 \text{dB}$$

OSCILOSCÓPIO:

3.1 GENERALIDADES:

Vamos tratar de um instrumento muito versátil, que nos permitirá através de visualização direta, verificar as formas de onda ao longo de um circuito eletrônico ou elétrico. A impedância de entrada deste instrumento sendo geralmente muito elevada, o mesmo trará pouca modificação no circuito sob medição.

Observando-se tipos de osciloscópios encontram-se os mais diversos. Uns poucos elaborados outros com perfeição extrema.

3.2 DIAGRAMA EM BLOCOS DE UM OSCILOSCÓPIO:

O diagrama em bloco abaixo, representa a grande maioria dos osciloscópios destinados a reparação e calibração em receptores, de rádio e TV, transmissores ou amplificadores.

O aluno deverá ter sempre em mente tal diagrama de bloco, para que durante as explanações sobre os blocos, possa ir percebendo o mecanismo de funcionamento do osciloscópio.

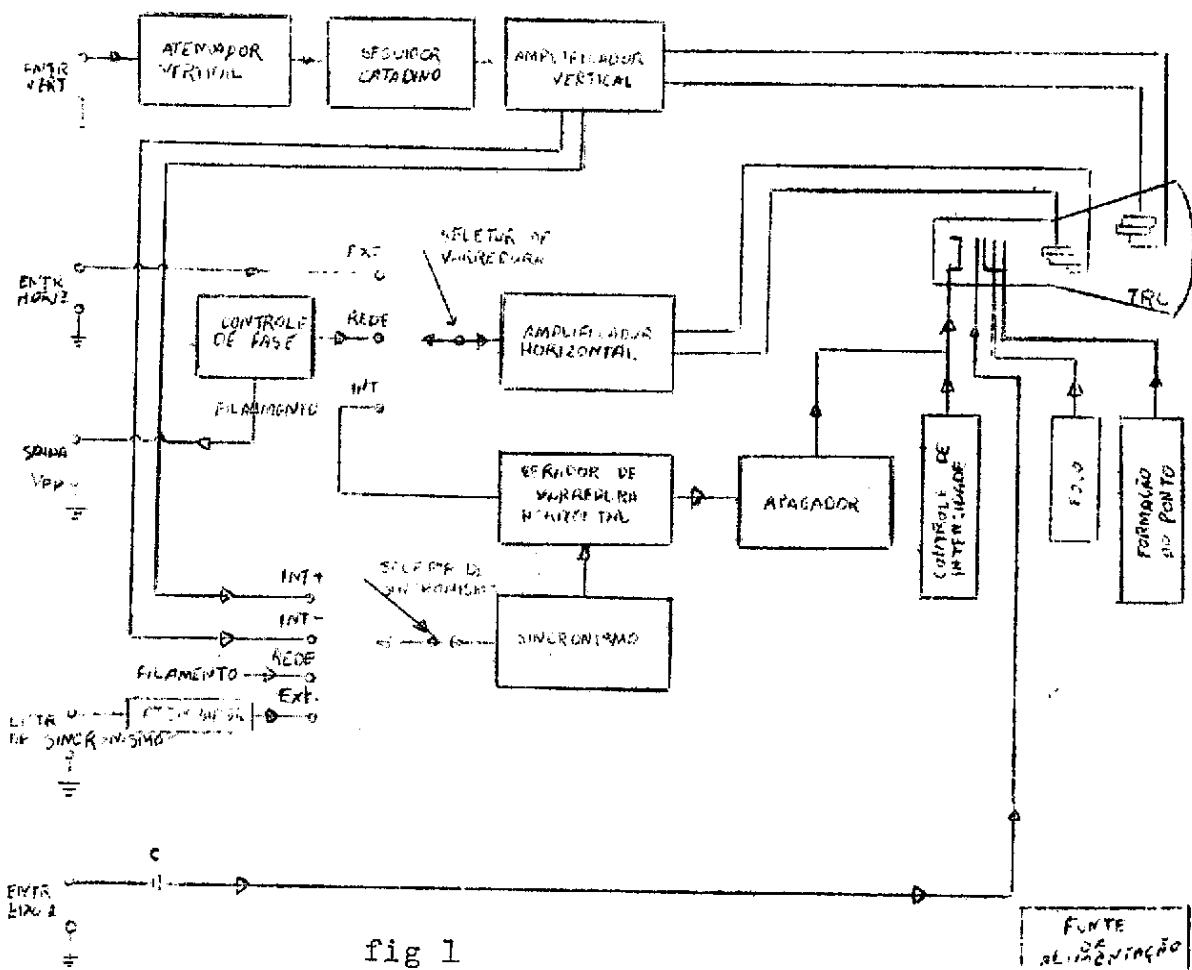


fig 1

3.3 O TUBO DE RAIOS CATÓDICOS:

O tubo de Raios Catódicos (TRC) é um bulbo de vidro, que possui uma tela recoberta de um material semelhante ao usado em tela de cinescópio para TV, que tem a propriedade de emitir luz quando atingido por um feixe de elétrons. A representação de um desses tubos se encontra na figura 2.

Para conseguirmos o feixe de elétrons, necessitamos de um cátodo e um filamento que o aqueça. Além disso temos a necessidade de controlar esse feixe de elétrons, sendo por isso necessário uma grade de controle.

Para atirar o feixe contra a tela, necessitamos de grade aceleradoras ou grades anodo. Essas grades além de acelerar o feixe, o focalizam na tela. Vejamos no que consiste esta focalização.

Para a obtenção de uma imagem nítida é necessário que os elementos que constituam tal imagem (no TV são linhas e no osciloscópio, pontos) sejam bem estreitos, isto é, estejam bem focalizados sobre a tela. Pensemos primeiramente no caso do cinema, tal como ilustra a figura nº 3.

Na fig.3a temos uma lâmpada projetando luz através de um orifício até uma tela. Deveria-se ter na tela a reprodução fiel de tal orifício, isto é, deveria-se ter um ponto luminoso. Porém o feixe de luz é divergente, isto é, os seus raios luminosos vão "abrindo" em direção à tela.

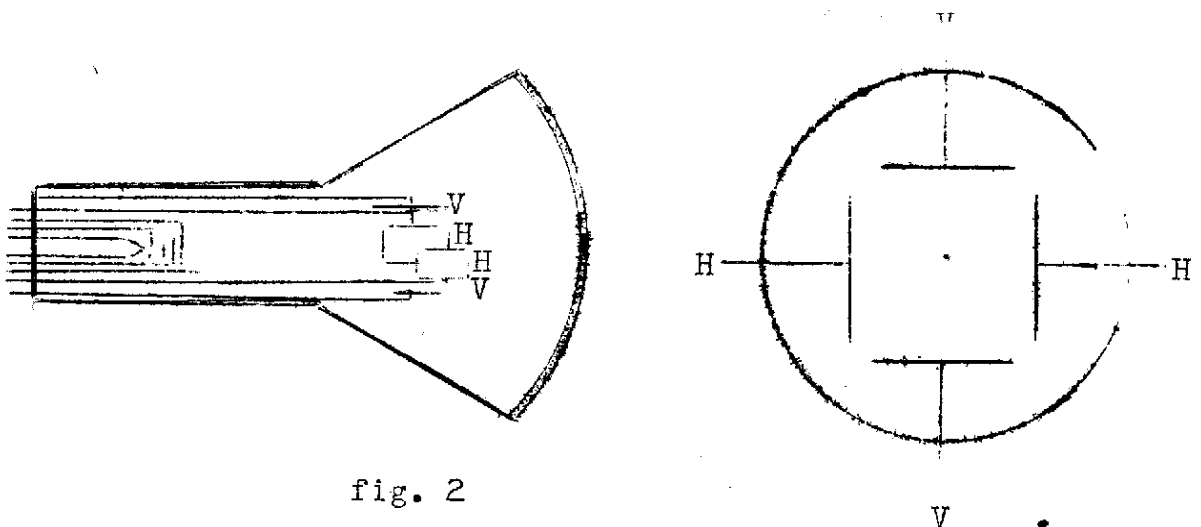


fig. 2

No cinema lança-se mão de lentes, para tornar o feixe convergente. Assim, o feixe se dirige para a tela com os raios luminosos "fechando". Existe então um ponto H (fig 3b) muito fino que é a reprodução do orifício, logicamente "de cabeça para baixo", pois o raio luminoso superior, isto é, chegam ao ponto H invertidos. O mesmo acontece com o lado esquerdo da cena, que torna-se direito no ponto H.

Isto é compensado no cinema, colocando-se a cena a ser projetada invertida.

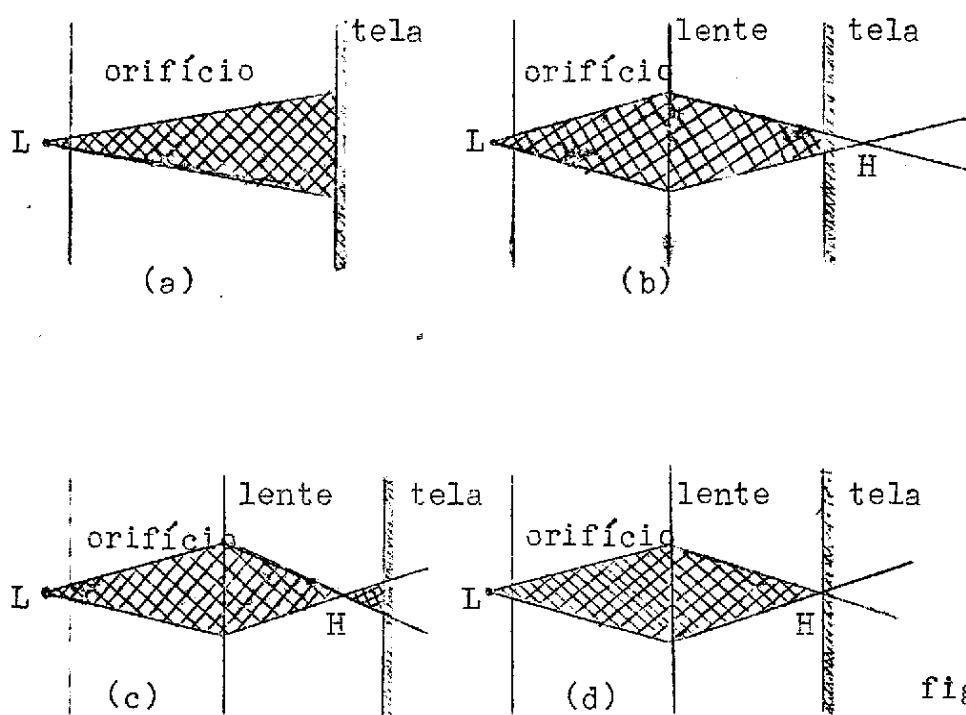


fig 3

Vejamos agora a relação entre o ponto H e a tela. Se a tela estiver antes do ponto H como em 3b ou depois do ponto H em 3c, teremos um borrão na tela e não um ponto.

Porém, se o sistema for corretamente FOCALIZADO a tela estará exatamente no ponto H como em 3d e assim teremos um ponto luminoso que representa exatamente o orifício de onde provém a luz.

Dada a dificuldade de se movimentar a tela, no cinema desloca-se a lente, o que dá na mesma.

No FRC ocorre o mesmo. O feixe de eletrons emitidos pelo catodo é divergente, sendo necessário torná-lo convergente o que se consegue por meio das grades anodo, que além de acelerar o feixe, o focalizam.

Normalmente a focalização é conseguida, variando o potencial de grade por meio de um potenciômetro denominado Controle de Foco.

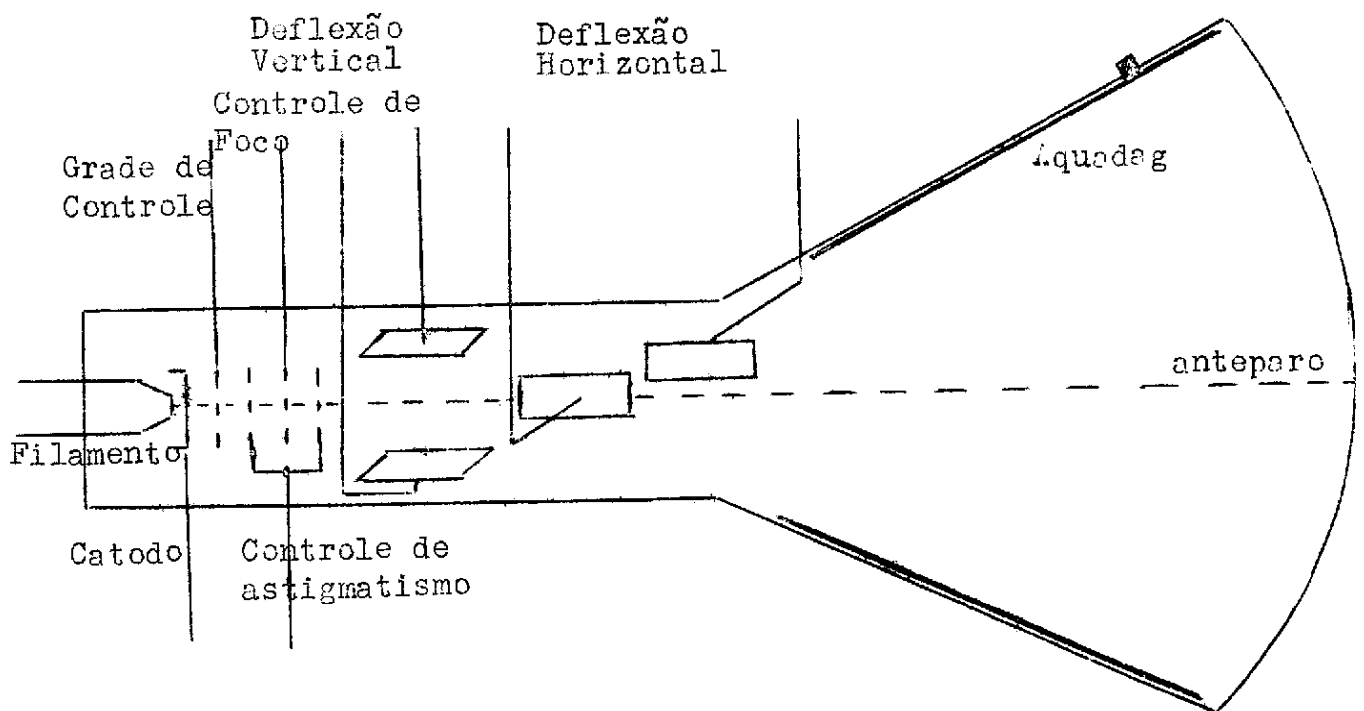
Pelo ajuste desta tensão fazemos com que o feixe eletrônico se torne mais ou menos convergente, o que implica em fazer com que o ponto H se forme antes ou depois da tela, podendo por meio de tal ajuste conseguir-se com que o ponto H "caia" exatamente a tela.

Com os elementos estudados até agora conseguimos com que um feixe de elétrons atinja a tela formando um ponto luminoso so provavelmente em seu centro se tudo estiver bem simétrico.

Mas além disto desejamos conseguir mover o feixe em todas as direções do plano da tela.

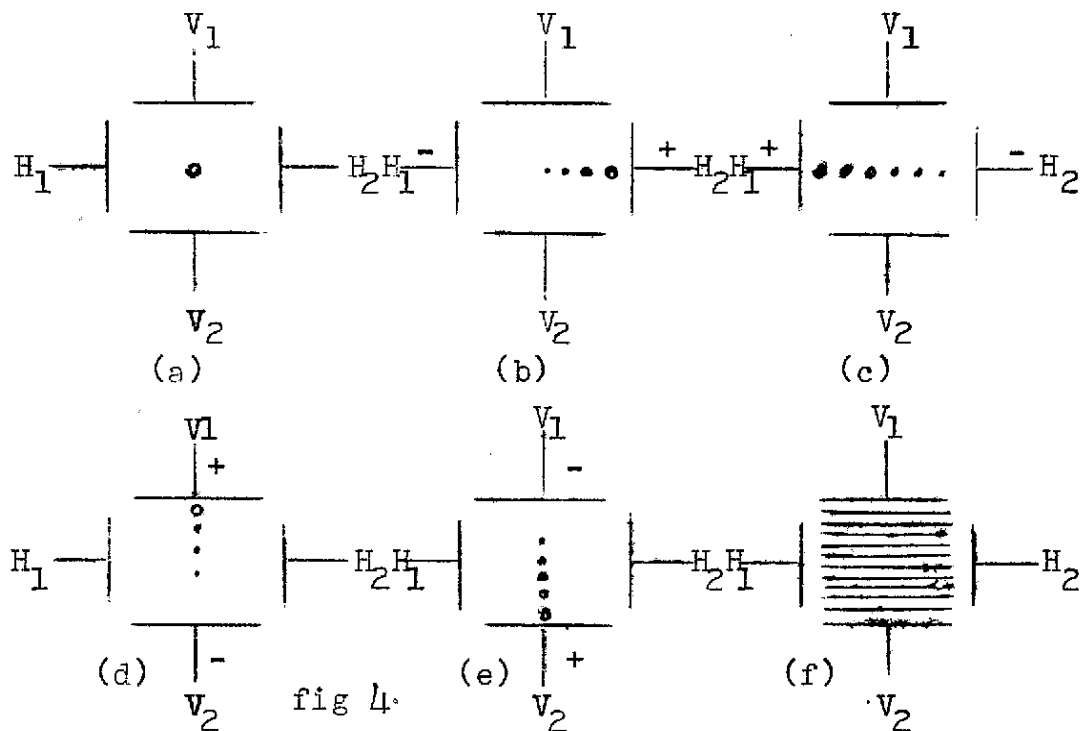
A este movimento é o que chamamos de deflexão do feixe e que veremos a seguir como se consegue.

Um feixe de elétrons é desviado por campos alétricos ou campos magnéticos. Para se constatar tal fato, tomemos um imã e um indicador de sintonia (ôlho mágico). Com o indicador de sintonia ligado notamos uma coloração verde em sua tela; movendo-se agora o imã ao redor desse indicador, veremos que esta luminiscência verde varia.



Isto se dá devido ao fato de que o campo magnético do imã desvia o feixe de elétrons proveniente do cátodo, que irá atingir a tela. Vis to isto concluímos que um campo magnético desvia um feixe de elétrons. O mesmo ocorre com o campo elétrico, sendo porém difícil uma experiência caseira para sua confirmação.

A deflexão por meio de um campo elétrico denomina-se deflexão eletrostática. Na figura 2 podemos ver as placas de deflexão horizontal e vertical. As placas marcadas com a letra H são responsáveis pela deflexão horizontal e as com a letra V pela deflexão vertical. Na figura 4 encontramos uma sequência de funcionamento dessas placas.



O princípio de funcionamento baseia-se no fato de que uma placa polarizada negativamente repele elétrons e uma polarizada positivamente atrai elétrons. Assim, na figura 4a todas as placas estão sem polarização; então o feixe ilumina apenas o centro da tela. Na figura 4b temos a placa H₁ negativa e H₂ positiva; conseqüentemente o feixe se desloca da esquerda para a direita. Se agora invertermos como na figura 4c, isto é, placa H₁ positiva, e placa H₂ negativa, o feixe se deslocará da direita para a esquerda. Desta forma teremos, que se ficarmos invertendo constantemente a polaridade das placas H₁ e H₂ conseguiremos traçar linhas horizontais.

Vejamos agora a situação da figura 4d, onde temos as placas H desligadas, e V1 positiva e V2 negativa, nesta situação o feixe se desloca de baixo para cima. Na figura 4e temos a situação inversa, isto é, V1 negativa e V2 positiva, e daí resultando que o feixe se desloca de cima para baixo. Se conjugarmos convenientemente os tempos de polarização das placas, conseguiremos por exemplo traçar linhas como na figura 4f. É fácil perceber que para traçarmos as linhas como na figura 4f é necessário que a velocidade de inversão das placas H seja muito maior que das placas V, isto é, que a frequência de varredura aplicada em H seja bem maior do que a aplicada em V. Se a situação for inversa teremos linhas verticais. Assim a figura formada na tela do TRC depende da forma de onda (senoidal, quadrada, dente de serra, etc); frequência e tensão dos sinais que são aplicados nas placas V e H. Se por exemplo aplicarmos as placas H e V tensões senoidais iguais e de mesma frequência, defasadas de 90 graus conseguiremos um desenho na tela igual a uma circunferência. A obtenção e significado dessas figuras iremos tratar mais adiante, com detalhes.

A deflexão do feixe feita por campos magnéticos é denominada (deflexão eletromagnética). Tal sistema necessita de um jogo de bobinas verticais e horizontais para a produção de um campo magnético variável. Porém tal sistema de bobinas cria problemas no que diz respeito à forma de onda e frequências aplicadas à elas, já que em osciloscópios tais sinais aplicados são os mais diversos. Em face disto não se utiliza deflexão eletromagnética, para osciloscópios como em TV a forma de onda e frequências de deflexão são constantes, pode-se utilizar o sistema de deflexão eletromagnética, como é feito na realidade.

Dissemos acima que podemos traçar linhas diversas com o feixe em movimento. Mas se o feixe cria na tela um ponto, porque não vemos o ponto se deslocando e sim uma linha? Isto é explicado pelo conhecimento da persistência visual.

Persistência visual consiste no fato de que ao vermos uma imagem esta fica retida (gravada) durante um certo tempo na vista. Este tempo é de cerca de um décimo de segundo.

Um fato que evidencia a persistência da visão é o funcionamento de um ventilador.

Quando ligamos o ventilador e as hélices estão a baixa velocidade, conseguimos vê-las, distintamente porém, quando a velocidade aumenta, começamos a não distinguir as hélices, vendo na realidade a superposição da imagem das hélices e o espaço entre elas. Graças a este fato é que temos o cinema e a televisão.

Tanto no cinema como na televisão as imagens são fixas, paradas. Porém, tais imagens são apresentadas à nossa nossa vista num tempo menor que o da persistência visual, assim dando uma sensação de movimento. Se o tempo de exposição for muito grande, teremos uma cintilação da cena, fato que se nota nos filmes antigos.

Outro caso é a iluminação residencial com tubos fluorescentes ligados a uma rede de 60Hz. A luminosidade desses tubos passa por um valor praticamente nulo 120 vezes por segundo pois em 60Hz temos 120 instantes em que a tensão aplicada é zero. Não percebemos então a variação do nível de luz graças a persistência visual. Se a frequência da rede fosse muito baixa (abaixo da persistência) veríamos a luz acendendo e apagando, efeito este usado nas luzes estroboscópicas.

No caso do osciloscópio, se o feixe se movimenta muito lento poderemos ver um ponto se deslocando, porém se a velocidade for grande veremos na realidade uma linha.

Até o momento tratamos do TRC, passando agora a estudarmos os blocos que unem as entradas do osciloscópios ao TRC.

3.4 O ESTÁGIO VERTICAL:

O estágio vertical é normalmente composto por um atenuador um seguidor catódino e um amplificador vertical, cujo diagrama típico encontra-se na figura 5.

O amplificador vertical deve ter uma resposta de frequência plana desde 0Hz até as mais elevadas frequências. Porém, isto é de grande dificuldade, e normalmente a resposta de frequência plana acha-se na faixa de 5Hz até 5MHz num nível de 3dB. Mesmo assim inúmeras são as dificuldades como veremos a seguir. Quando deseja-se um osciloscópio que trabalhe com 0Hz isto é com corrente contínua na entrada vertical, os acoplamentos entre estágios deve ser do tipo direto e não o usado no diagrama da fig. 5.

Logo na entrada do referido diagrama encontramos o estágio atenuador, que na realidade é um divisor de tensão selecionado por meio de uma chave.

Porém a cada posição da chave, ela introduz no circuito uma pequena capacidade parasita, diferente a cada posição. Isto faz com que em altas frequências o divisor não seja apenas resistivo e sim capacitivo, desequilibrando o divisor, já que a cada posição a capacidade se torna diferente. Para compensar tal fato temos os capacitores C_1 , C_2 e C_3 que servem para equilibrar tais capacidades parasitas.

Além deste atenuador por degraus, é necessário um atenuador de ajuste fino.

Normalmente um controle deste tipo é feito por meio de um potenciômetro. Porém a cada posição do potenciômetro teremos uma capacidade parasita diferente, a não ser que o potenciômetro possua uma resistência muito baixa para que a reatância das capacidades parasitas nas altas frequências não interfira no circuito. Porém a entrada de um osciloscópio deve possuir uma impedância de entrada bastante elevada e o potenciômetro deve possuir uma resistência bem baixa. Para ultrapassarmos esta incompatibilidade, utilizamos um estágio seguidor catódico, que possui uma impedância de entrada muito elevada e uma impedância de saída em cátodo bem baixa. A este cátodo ligamos o potenciômetro R7 denominado Controle de Ganho Vertical, o qual ajusta a amplitude do sinal vertical num valor que desejamos.

As válvulas V2, V3, V4 e V5 constituem o amplificador vertical propriamente dito. Para evitar-se perdas em baixa frequência os capacitores de acoplamento devem possuir capacidades suficientes para que suas reatâncias nas frequências mais baixas não produzam perdas apreciáveis.

Conforme a frequência vai subindo os capacitores de acoplamento interferem menos, pois as suas reatâncias vão diminuindo, porém as capacidades intereletródicas das válvulas e outras capacidades parasitas do circuito vão introduzindo uma forte atenuação nas altas frequências. Para evitar tais inconvenientes, que limitariam a qualidade do osciloscópio, utilizam-se compensações em altas frequências.

As compensações em altas frequências é conseguido por meio de bobinas introduzidas no estágio amplificador. Tais bobinas são calculadas para que em conjunto com as capacidades parasíticas do circuito tenham uma frequência de ressonância nas frequências mais altas em que o circuito deve trabalhar, desta forma aumentando o ganho na alta frequência, de modo a compensar as perdas acima citadas.

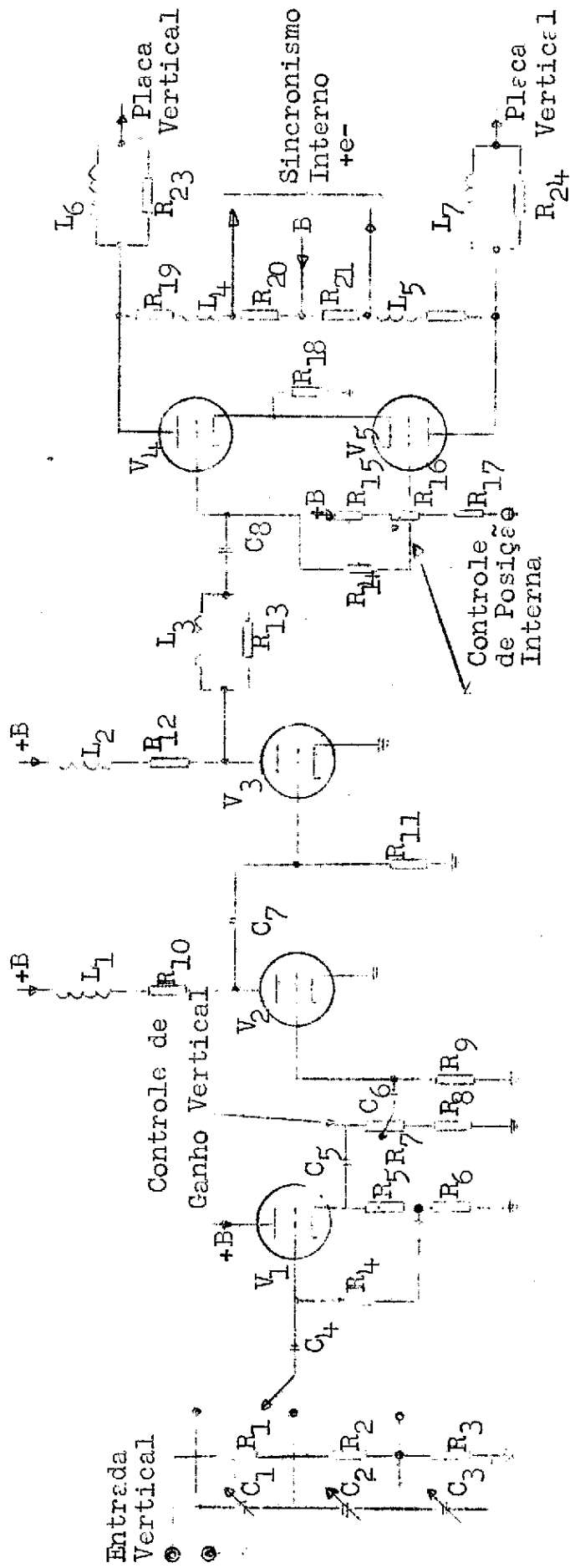
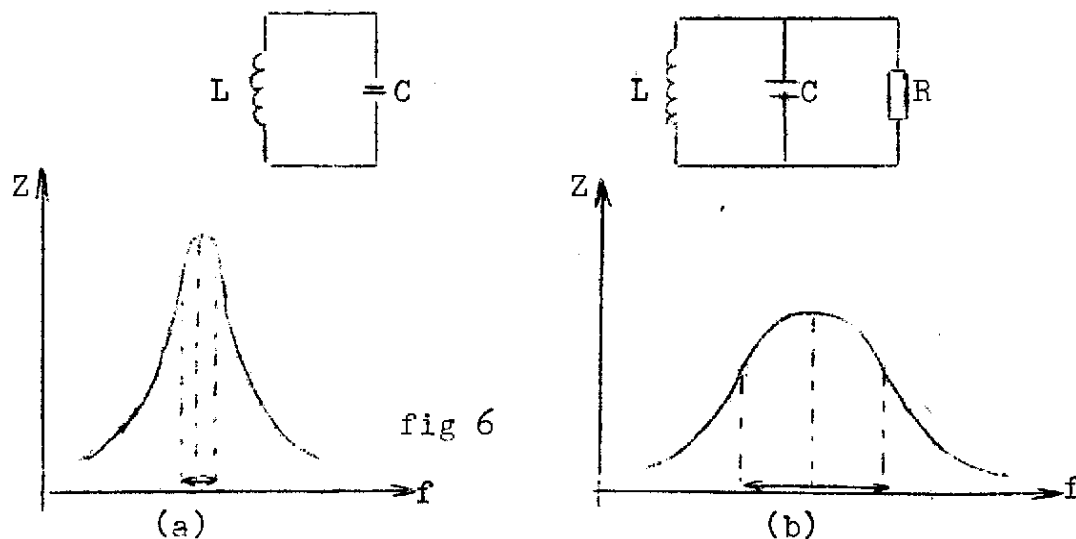


fig 5

Muitas vezes estas bobinas possuem um resistor em paralelo, para que possuam uma faixa mais larga de atuação isto é, redução do fator Q do circuito. Para esclarecer melhor vejamos na figura 6 o que ocorre com a faixa de passagem de um circuito sintonizado, quando a ele associamos um resistor em paralelo.



Na figura 6a, encontramos a curva do circuito LC paralelo sem o resistor. Como notamos, a faixa de passagem é estreita no ponto de ressonância onde se tem a mais alta impedância.

Lembrando que quando associamos resistores em paralelo, o valor da associação é menor que o menor resistor do circuito, concluímos que ao associarmos um resistor em paralelo com o circuito LC, o valor da associação, isto é, a impedância equivalente, irá diminuir. Desta maneira teremos a forma de passagem dada pela figura 6b, onde se nota o alargamento da faixa e uma redução na impedância.

Além de tal alargamento de faixa esses resistores em paralelo com a bobina tem uma outra serventia. Tais bobinas, quando há uma variação brusca no sinal do amplificador vertical, uma onda quadrada por exemplo, introduzem uma oscilação expúrea no circuito. Colocando se esse resistor em paralelo consegue-se amortecer fortemente, por vezes evitando tais oscilações.

O potenciômetro R16, ajusta o nível de tensão aplicado em cada placa vertical, de forma que possamos sem sinal vertical centralizar o feixe eletrônico do TRC. Tal potenciômetro denomina-se Controle de Posição Vertical. Atuando-se sobre ele pode se fazer com que a imagem se forme mais acima ou mais abaixo no TRC.

Da junção L4 R20 e L5 R21 temos duas retiradas de pulsos, que vão servir para sincronizar o estágio oscilador horizontal. Estes pulsos podem ser retirados de outras etapas do amplificador vertical. Porém dá-se preferência a estes pontos pois já conseguimos aí dois sinais em posição de fase, servindo desta maneira para sincronismo negativo como veremos mais adiante.

Até o momento vimos o amplificador vertical e se a ele aplicarmos um sinal, observaremos apenas um traço vertical na tela, qualquer que seja o sinal aplicado. Para podermos observar o sinal é necessário que o feixe se movimente horizontalmente, o que é conseguido pelo chamado gerador de varredura horizontal.

3.5 O GERADOR DE VARREDURA HORIZONTAL:

O gerador de varredura horizontal, trata-se de um oscilador, que através do amplificador horizontal, irá aplicar um sinal nas placas de deflexão horizontal, para que haja um movimento do feixe na horizontal.

Suponhamos que na entrada vertical esteja sendo aplicada uma tensão tal como a da figura 7a.

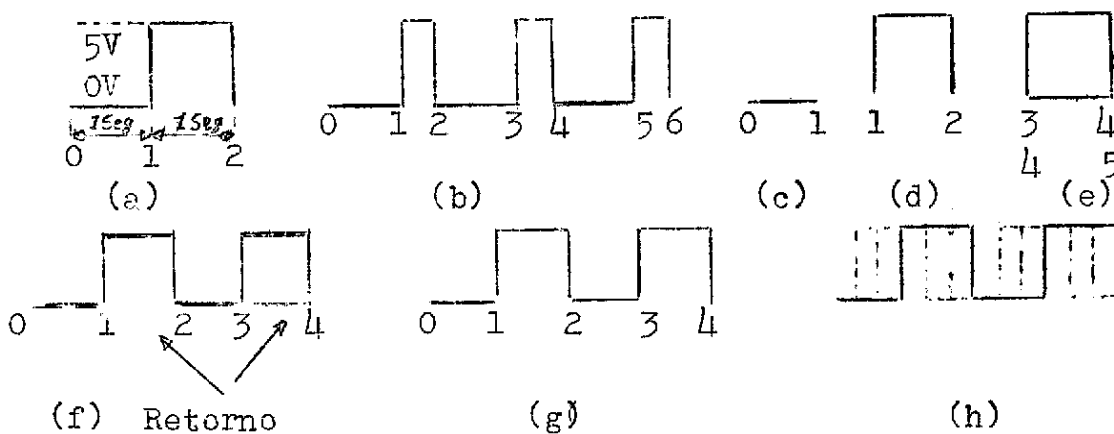


fig 7

No horizontal o feixe percorre a horizontal num tempo de 6 segundos porém a sua velocidade de percurso não é uniforme, digamos no 1º segundo ele percorre lento, no 2º segundo ele percorre rápido, no 3º lento e assim por diante. A forma de onda que teremos na tela será a representada na figura 7b, isto porque a velocidade de varredura não é uniforme, deformando assim a realidade. Desta forma concluímos que o feixe deve se mover com velocidade uniforme.

Por outro lado percebemos que pelo fato de o feixe levar 6 segundos e o sinal de entrada ter um período de 2 segundos, apareceu na tela 3 ciclos, isto porque o tempo de varredura (6 segundos) vale 3 vezes o período do sinal (2 segundos). Ora se o tempo de varredura for 50 vezes o período do sinal, iremos ter 50 ciclos representados, o que na realidade fará um borrão ininteligível na tela. Normalmente não se deve passar dos 5 a 10 ciclos na tela, para uma boa observação.

Se o tempo de varredura fosse 1 segundo então teríamos a figura 7a na primeira varrida, 7b na segunda varrida e finalmente 7c. Desta forma também não poderíamos observar a figura.

Um outro ponto a discutir é o tempo que o feixe leva para voltar. Este tempo deve ser o mínimo possível para evitarmos perdas de imagem e problemas de sincronismo. Além disso quando o feixe retorna, deve estar apagado para o caso da figura 7f onde a velocidade do feixe é uniforme e o tempo de varredura é de 1/2 segundos porém o retorno não foi apagado. O correto para um osciloscópio é o da figura 7g onde o retorno é apagado.

O aluno ainda deve estar pensando de como é que a figura sempre se inicia no mesmo lugar, já que um certo tempo é perdido na volta do feixe. Isto é conseguido por meio de impulsos de sincronismo que veremos mais adiante. Podemos adiantar que sem sincronismo teríamos a figura 7h, onde mostramos em linha cheia, a primeira varredura, em tracejado a segunda e em pontilhado a terceira. Depois de muitas varreduras a imagem seria impossível de se entender.

Em resumo temos que a forma de onda de tensão fornecida pelo sistema horizontal às placas defletoras deve ter um período ou frequência (Frequência é o inverso do período $F = 1/P$) próximo e múltiplo inteiro do período da tensão aplicada ao vertical, deve ter uma velocidade uniforme isto é sua tensão crescer linearmente com o tempo e no final voltar bruscamente ao estado anterior. Estas necessidades são conseguidas fazendo com que a tensão aplicada as placas defletoras horizontais tenha um formato dente de serra e um período múltiplo inteiro do período aplicado a entrada vertical como a figura 8.

Normalmente uma onda dente de serra é obtida a partir de uma onda quadrada, a qual tratada por circuito RC cria a dente de serra.

Para a obtenção de onda quadrada o melhor é se recorrer ao circuito denominado multivibrador e que se acha representado na fig. 9.

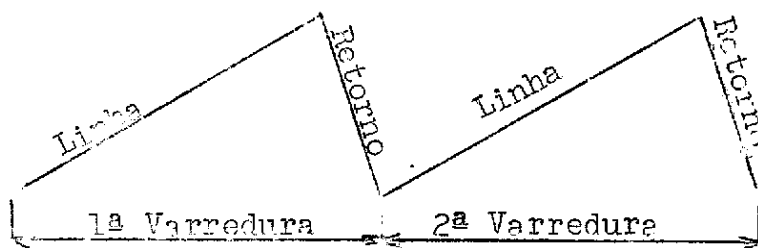


fig. 8

Tal circuito nada mais é do que dois amplificadores acoplados em RC e realimentados como vemos na figura.

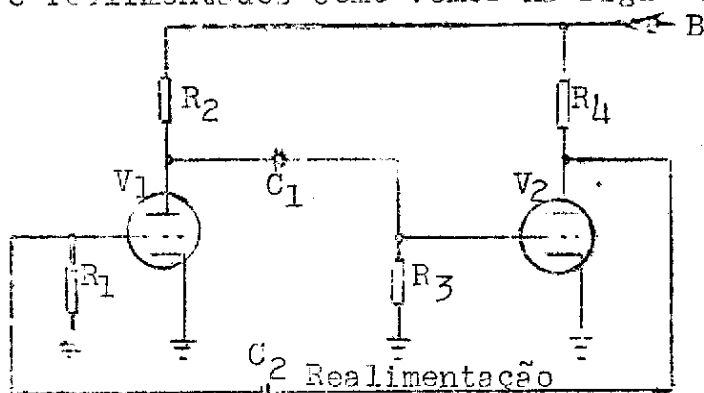


fig 9

Suponhamos que no momento que ligamos o circuito, se crie um pulso positivo na grade de V1. Isto implica em um aumento de corrente na válvula, aumento da queda de tensão em R2, diminuição da tensão de placa de V1, diminuição da tensão da grade de V2, diminuição da placa de V2, novo aumento da tensão de grade V1 e tudo se repete novamente, até que a válvula V2 entre em corrente devido à tensão negativa de grade. Neste instante o circuito para e fica em descanso. Porém, C1, que está carregado, começa a se descarregar através do resistor R3, fazendo com que a válvula V2 saia do corte, o que implica a diminuição da tensão de placa V2, diminuindo a tensão de grade V1 e assim por diante até que V1 entre em corte.

Outra vez o circuito para em descanso e agora C2 que se descarrega através de R1 até tirar do corte e todo o ciclo se repetir novamente.

• Daí concluímos que este circuito multivibrador (astável) nada mais é do que um oscilador.

No verdade é um oscilador que fornece uma forma de onda característica.

Na figura 10 temos a forma de onda obtida em uma das placas do multivibrador, e como se vê trata-se de uma onda quadrada.

A frequência desta onda pode ser variada, mudando-se a constante de tempo do circuito, imposta pelos valores de $C1R3$, $C2R1$. Assim, se reduzimos os valores dos componentes, reduziremos a constante de tempo e logicamente aumentamos a frequência de oscilação.

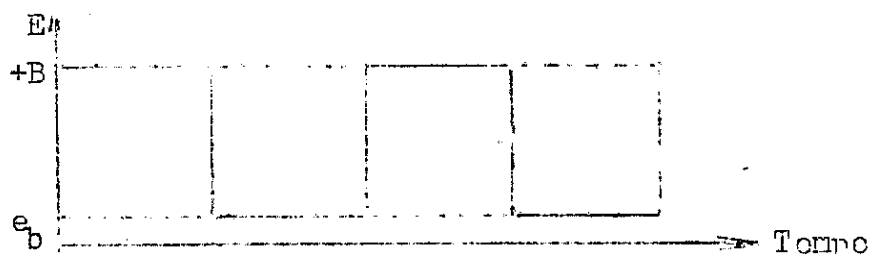


fig 10

No circuito da figura 9 o elo de realimentação foi estabelecida pelo condensador $C2$; pode-se entretanto estabelecer o elo por meio dos catodos das válvulas, utilizando um resistor único para os dois catodos, sendo este circuito denominado multivibrador estável acoplado pelo catodo.

Quando iniciamos a explicação do multivibrador, supusemos um pulso positivo em uma das grades. Isto normalmente ocorre pois durante o aquecimento das válvulas sempre haverá uma variação brusca, porém aleatória. Desta forma também será aleatório o início do funcionamento do multivibrador. Porém se nós por meio externo aplicarmos o pulso na grade podemos dar início no momento em que desejarmos. Este pulso de gatilhamento, é o que consiste o impulso de sincronismo.

Assim temos que o impulso de sincronismo vem no momento de iniciar a varredura, gatilha o multivibrador e este dá início á varredura, sendo porém o período de varredura comandado pelo multivibrador e não pelo impulso de sincronismo. Desta forma, deve haver um sistema para que possamos modificar a frequência do multivibrador de acordo com a frequência que está entrando no vertical. Tal sistema normalmente consiste de uma chave seletora denominada Seletora de Varredura Horizontal e que varia a faixa de frequência em que a varredura irá trabalhar e um potenciômetro denominado Ajuste Fino de Frequência Horizontal, que ajusta o valor correto da frequência dentro da faixa escolhida.

Vejamos agora na figura 11 como o circuito RC modifica de onda quadrada para dente de serra.

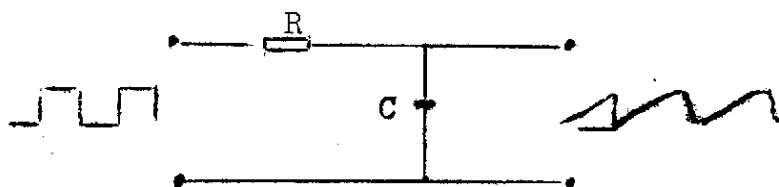
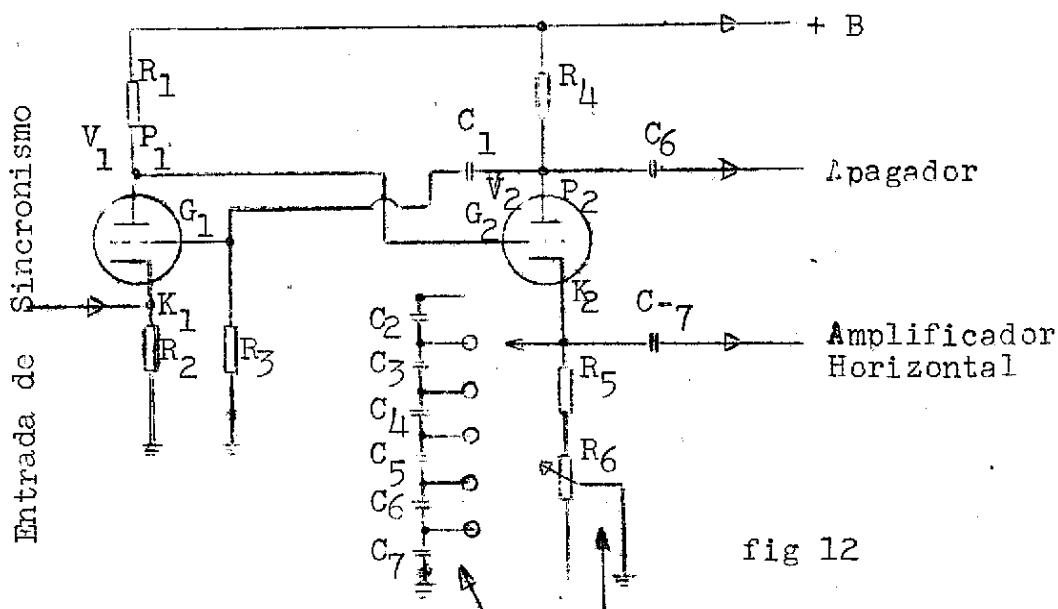


fig. 110

No instante inicial a tensão aplicada é 0V e a de saída também. Porém ao ser aplicada a onda quadrada, o condensador irá iniciar sua carga segundo uma curva de carga. Porém se fizermos com que ele trabalhe somente na parte quase reta de sua curva (início da curva de carga), teremos praticamente uma reta. Quando a onda quadrada retorna a zero, o capacitor se descarrega através de R segundo outra curva que pode ser adaptada a uma reta como vimos acima. Desta forma conseguimos passar de onda quadrada, para dente de serra.

Um outro circuito muito utilizado é o apresentado na figura 12.



Seletor de Varredura Ajuste Fino

Suponhamos que um impulso positivo de sincronismo seja aplicado a K1 (catodo de V1).

A corrente de V1 diminuirá até o corte, a tensão de P1 subirá, a tensão em G2 subirá igualmente (acoplamento direto), a tensão em K2 tentará acompanhar G2 porém segundo uma curva de carga, devido a capacidade aplicada ao catodo, assim G2 fica em potencial superior a K2, a tensão em P2 cai (válvula V2 saturada). Mas após algum tempo a tensão em K2 já atingiu a G2 e a tensão em P2 subiu. Em virtude disto V1 sai do corte, a tensão em P1 cai bruscamente, G2 acompanha P1, levando V2 ao corte, o que implica na tensão de P2 subir bastante. Note que neste instante é que se inicia o retorno do feixe. Por esse motivo, é que aproveitamos a subida de tensão em P2 para acionar o sistema de apagamento do feixe durante o retorno deste.

Como a tensão de G2 caiu bruscamente, a tensão de K2 tenta acompanhar segundo uma curva de descarga, devido a capacidade aplicada ao catodo. Desta forma notamos que em K2 temos uma curva de carga e uma de descarga de capacitor. Poderemos fazer com que se utilize as regiões quase retas da curva de carga e descarga, obtendo desta forma em K2 uma tensão dente de serra.

Em K2 encontramos uma chave que seleciona as capacidades aplicadas ao catodo. É a chave seletora de faixas de frequência de varredura horizontal. Além desta encontramos o potenciômetro R6 que dará o ajuste fino da frequência de varredura horizontal dentro da faixa pré-estabelecida pela chave seletora. Estes dois elementos atuam sobre a frequência de tal oscilador, pois pois eles variam as constantes do circuito.

Muitas vezes é interessante utilizar-se como varredura a própria frequência da rede ou uma varredura externa. Neste caso o gerador de varredura perde a sua função.

3.6 SINCRONISMO:

O estágio de sincronismo normalmente é um seguidor catodino como o mostrado na figura 13.

Na sua entrada em grade, é aplicado os impulsos negativos ou positivos, provenientes do sistema vertical, quando se deseja um sincronismo interno. Poderá aplicar-se um sinal proveniente da rede, normalmente do circuito de filamento, para que tenhamos um sincronismo com a rede. Um outro sincronismo é o externo, o qual possui uma entrada com atenuador (potenciômetro R1) para que possamos introduzir impulsos de sincronismo.

A chave que seleciona tais funções denomina-se Seletora de Sincronismo. C1 e R2 servem para isolar o circuito de grade dos demais estágios. Desta forma pode-se aplicar diretamente ao sincronismo externo um sinal proveniente de grade ou de placa sem menor problema.

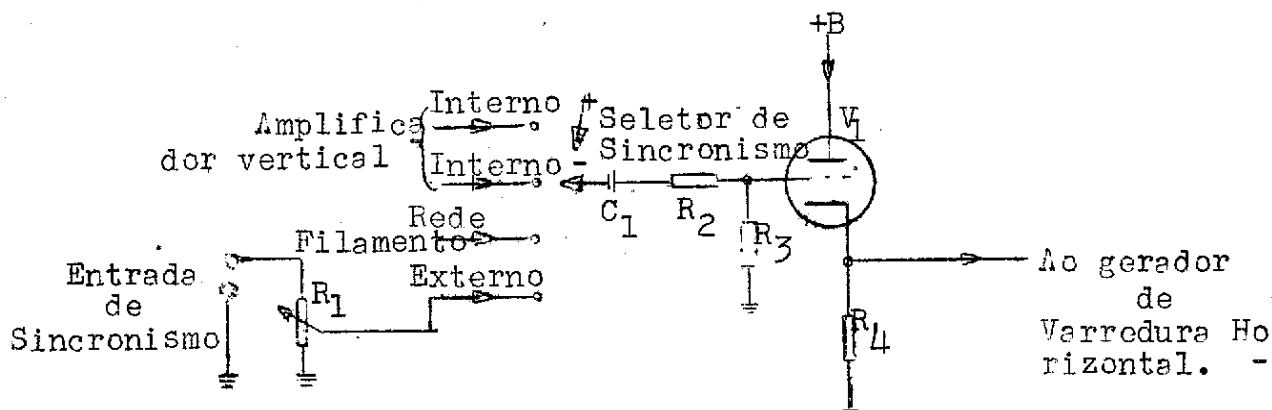


fig 13

Em catodo retiramos o sinal de sincronismo que será aplicado ao gerador de varredura horizontal. Normalmente o resistor R4 da figura 13 é o mesmo que R2 da figura 12. Muitas vezes outros elementos são aplicados ao circuito para melhorar a forma do impulso que se obtém em catodo.

3.7 O CIRCUITO APAGADOR:

O estágio apagador é aquele que liga a saída do pulso de apagamento do gerador de varredura horizontal ao catodo do TRC. Quando o pulso tiver polaridade e intensidade suficiente, ele é acoplado diretamente ou através de um capacitor. Caso isto não ocorra poderá haver um ou mais estágios amplificadores entre o gerador de varredura e o catodo do TRC.

Vimos que no momento do início do retorno do feixe o gerador de varredura entrega um pulso de tensão. Se este pulso for positivo e de valor suficiente, ao ser aplicado ao catodo do TRC, fará com que este entre em corte, e em consequência a tela ficará apagada durante o retorno que apareceria se tal estágio não existisse. Note o aluno de que ao usarmos a varredura externa, não mais existirá o pulso de apagamento, o mesmo acontecendo com a varredura em rede em alguns osciloscópios. Neste caso veremos a linha de retorno do feixe.

Em vez de aplicar um pulso positivo em catodo, poderíamos aplicar um pulso negativo na grade de controle do TRC. Porém tal grade é normalmente utilizada em casos que desejamos introduzir um terceiro sinal no osciloscópio. Tal entrada em grade é o que denominamos de eixo Z.

3.8 O AMPLIFICADOR HORIZONTAL:

O amplificador horizontal tem normalmente um circuito semelhante, quando não identico, ao utilizado no circuito de amplificação vertical. Em vista disto não iremos explicar tal circuito visto que já foi feito na explanação do amplificador vertical.

O controle que lá ajustava o ganho vertical, aqui ajusta o ganho horizontal, alargando ou estreitando a imagem. Tal controle se denomina Controle de Ganho Horizontal.

A chave atenuadora vertical normalmente não existe no circuito horizontal.

O controle de posição vertical aqui se denomina Controle de Posição Horizontal e pode mover a imagem para a esquerda, ou para a direita.

Na entrada do amplificador horizontal temos uma chave Seletora de Varredura que liga primeiro a uma varredura externa, segundo na rede através de um controle de fase que tem por finalidade ajustar em que ponto se inicia a varredura, e terceiro liga a varredura interna. Normalmente tal chave se acha conjugada com a chave que seleciona a frequência de varredura horizontal.

3.9 FONTE DE ALIMENTAÇÃO:

A fonte de alimentação deve prover tensão de alimentação aos filamentos das válvulas e tensão contínua para placas e grades auxiliares. Além disto deve poder fornecer uma alta tensão contínua para alimentar o TRC. Normalmente as placas e grades aceleradoras do TRC estão a um potencial de cerca de 300V; o mesmo que é utilizado nos estágios de amplificação vertical e horizontal. O catodo e grade de controle e grade de foco, trabalham a um potencial negativo de cerca de -1.200V. Assim consegue-se uma diferença de potencial de cerca de 1.500V entre catodo e placa. Note que no osciloscópio trabalhamos com a tensão negativa elevada enquanto em TV é o 2º anodo que trabalha com tensão positiva elevada, em relação ao chassi.

3.10 CONTROLES APLICADOS AO TRC:

O controle de intensidade, é na realidade um potenciômetro que regula a tensão aplicada do TRC. Se a tensão entre grade de controle e catodo fica pequena, temos grande luminosidade na tela, pois o feixe de eletrons é bem intenso. Caso contrário, e a grade negativa em relação ao catodo, temos um feixe de eletrons pouco intenso e em consequência pouca luminosidade na tela.

O controle de foco é também um potenciômetro que regula a tensão aplicada a grade de foco até que se forme um ponto bem estreito na tela.

O controle de formação de ponto é um outro potenciômetro porém de ajuste interno, que regula a tensão aplicada às grades aceleradoras de forma que o feixe atinja a tela, provocando um círculo.

Até o momento vimos como funcionam os circuitos básicos do osciloscópio. Porém poderá o aluno encontrar osciloscópios com circuitos mais sofisticados, sendo em princípio, de funcionamento análogo ao explicado. Passaremos a seguir ao estudo do painel de controle.

3.11 PAINEL DE CONTROLE:

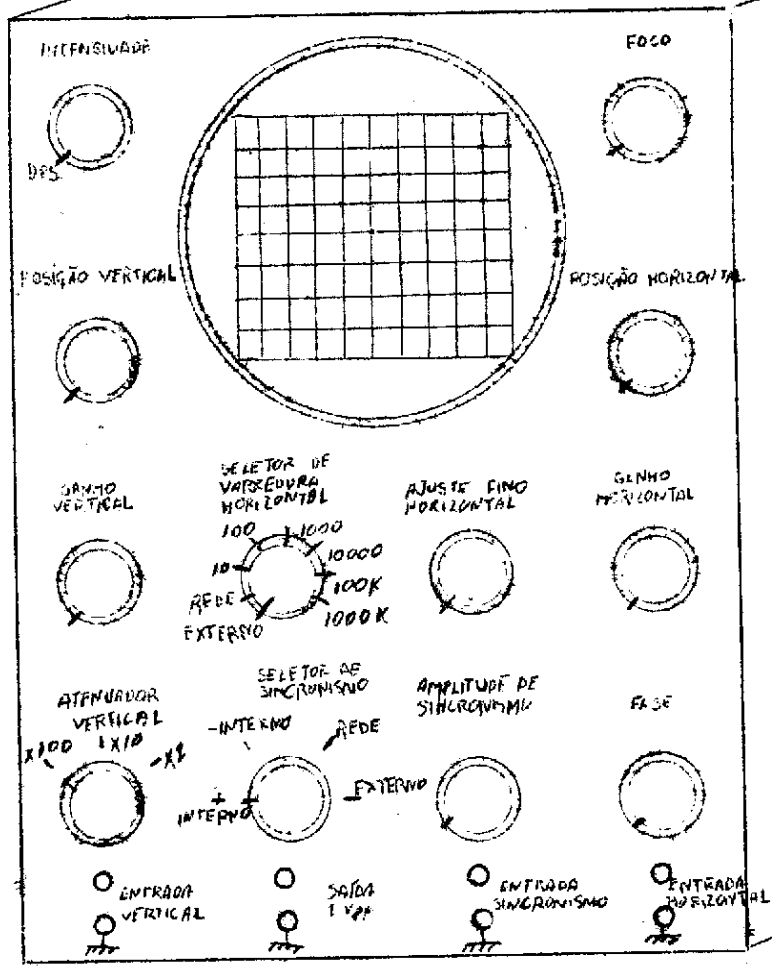
Na figura 14 encontramos um painel genérico de osciloscópio.

Basicamente um osciloscópio deve ter os controles que tabela - mos a seguir, dando o equivalente em inglês.

Desligado	Off
Ligado	On
Intensidade	Intensity
Foco	Focus
Posição Vertical	Vertical Position ou Vertical Centering
Posição Horizontal	Horizontal Position ou Horizontal Centering.
Ganho Vertical	Vertical Gain
Ganho Horizontal	Horizontal Gain
Seletor de Varredura Horizontal ou Base de Tempo	Horizontal Frequency ou Time Base
Ajuste Fino Horizontal	Horizontal Frequency Fine
Atenuador Vertical	Vertical Attenuator
Seletor de Sincronismo	Synchronism Selector

Amplitude de Sincronismo
 Fase
 Entrada Vertical
 Entrada Horizontal
 Entrada de Sincronismo
 Saída 1V pp (pico a pico)
 Rede

Synchronism Amplitude
 Fase
 Vertical Input
 Horizontal Input
 Synchronism Input
 1Vpp output
 Line



O controle de intensidade, conjugado com a chave liga desliga, serve para pôr em funcionamento o osciloscópio, e regular a luminosidade na tela. Deve-se para evitar o desgaste prematuro do TRC, usar uma luminosidade boa para a observação mas não excessiva. Isto se consegue, evitando que a luz ambiente atinja por demais a tela, se colocarmos um tubo cilíndrico enegrecido em torno da tela, a luminosidade ambiente não atingirá esta diretamente, e precisaremos então menos luminosidade no tubo. Isto significa que o controle de intensidade ficará numa posição menos intensa e em consequência o tubo se desgastará mais lentamente.

É por esse motivo que normalmente os osciloscópios trazem tal proteção. O motivo de desgaste é que se o feixe de eletrons atinge fortemente sempre um mesmo local da tela, acabará por destruir a película luminosa da tela nesse local. É por isso que não se deve deixar um ponto luminoso na tela.

O controle de foco serve para fazer com que tenhamos na tela um ponto luminoso e não um borrão. Se tal ajuste não for feito a imagem que se formar na tela não será bem delineada tornando-se impraticável a sua observação.

Os controles de posição vertical e horizontal servem para que possamos deslocar a imagem ou ponto, para cima ou para baixo e para a direita ou para a esquerda, conseguindo-se desta forma contralizar a imagem.

O controle de ganho vertical serve para variar o tamanho da imagem na direção vertical.

O atenuador vertical varia também o tamanho da imagem, na direção vertical, porém de passo em passo. No caso a variação é de 10 em 10. Assim, na posição x1 temos a imagem proporcional à tensão de entrada. Na posição x10, a imagem será 10 vezes menor que a anterior, sendo por isso que devemos multiplicar o resultado obtido por 10 (x10). Na posição x100 a imagem será 100 vezes menor que a primeira, por isso devemos multiplicá-la por 100(x100).

O controle de ganho horizontal serve para variar o tamanho da imagem na direção horizontal, alargando ou estreitando a imagem.

O seletor de varredura horizontal, vai determinar que tipo de deflexão o feixe irá descrever horizontalmente na tela. Na posição externa, poderemos então injetar uma varredura externa através da entrada horizontal. Na posição rede, a varredura será igual à frequência da rede. Nas outras posições temos varreduras em diversas frequências com forma dente de serra. A seleção da faixa de frequência será feita de acordo com a frequência que está sendo aplicada a entrada vertical.

O ajuste fino horizontal serve para melhor ajustar a frequência de varredura, dentro da faixa escolhida pelo seletor anterior. Este ajuste é manejado até se conseguir uma forma de onda simples e arredada na tela.

Quando usamos varredura pela rede, é necessário ajustar-se a fase onde se inicia tal varredura. Com este fim é que temos o controle de fase.

A chave seletora de sincronismo serve para podermos comutar o sincronismo para duas posições internas uma em rede e outra externa. Na posição interna positiva, a imagem que se formar no osciloscópio irá começar sempre pelo seu semi-ciclo positivo. Na posição interna negativa a imagem começará sempre pelo semiciclo negativo. O motivo de sublinharmos o sempre, é que se medirmos diversas tensões que estejam em fase ou não em uma posição interna, todas elas, começarão no mesmo semiciclo, e poderemos então concluir erroneamente que elas estão todas em fase. Como medirmos estas fases veremos mais adiante.

Muitas vezes o sinal que estamos medindo tem relação direta com a tensão da rede, sendo então neste caso preferível sincronizar a varredura com a rede.

Outras vezes estamos injetando um sinal todo especial e que o nosso sistema de sincronismo não é capaz de sincronizar. Neste instante é que lançamos mão de um sincronismo externo, o qual é injetado na entrada de sincronismo externo e sua amplitude é regulada pelo controle de amplitude de sincronismo.

As entradas do osciloscópio já foram vistas durante a explanação dos controles. A saída de $1V_{pp}$, trata-se de uma tensão senoidal de frequência igual à da rede e de amplitude de 1 volt tomando de pico a pico da senoide, ou 0,5V de pico ou ainda 0,354V eficaz ou simplesmente 0,354V. Tal tensão serve para calibração do osciloscópio para diversas medidas como veremos mais adiante.

3.12 AJUSTES PREVIOS:

Antes de usarmos um osciloscópio, necessitamos ajustar alguns controles.

Primeiramente com o aparelho desligado colocamos o seletor de varredura em uma posição interna e o controle de ganho horizontal no máximo. Com isto garantimos que na hora em que o osciloscópio funcionar, se forme uma linha luminosa e não um ponto que pode ser perigoso para a tela. Após isto ligamos o osciloscópio, colocando o controle de intensidade num ponto médio e aguardamos alguns minutos de aquecimento.

A seguir por meio dos controles de posição vertical e horizontal, fazemos com que o traço luminoso que apareceu fique mais ou menos no centro da tela. Reduz-se a luminosidade ao mínimo possível e fecha-se o ganho horizontal. Neste instante deveremos ter um ponto luminoso. Atuando-se sobre o controle de foco, faz-se com que este ponto fique o mais fino possível. Com os controles de posição vertical e horizontal ajusta-se para que este ponto caia no centro da tela. Feito isto abre-se o ganho horizontal e um pouco a luminosidade, até termos uma imagem comodamente visível. Daí em diante o osciloscópio está preparado para ser usado.

3.13 OBSERVAÇÃO DE UMA FORMA DE ONDA:

Para observarmos a forma de onda de uma determinada tensão alternada, devemos injetá-la na entrada vertical. Com o seletor de varredura escolhemos a faixa de frequência onde na tela, apareça uma figura mais ou menos simples. Se soubermos a frequência da tensão que estamos aplicando, então colocamos o seletor de varredura em uma faixa que inclua a frequência medida. Após isto provavelmente a imagem ainda é confusa e se movimenta. Neste instante atuamos sobre o ajuste fino de varredura até que a imagem pare e tenhamos uma figura simples, composta por alguns ciclos da tensão medida. Os valores melhores de quantidade de ciclos na tela vão de 2 a 5 ciclos. Poderá acontecer que a imagem não caiba na tela, então reduziremos o ganho horizontal ou vertical conforme seja a parte que sai fora da tela.

Como exemplo, vamos verificar a forma de onda que temos na saída de 1 Vpp. Para tal ligamos a entrada vertical com a saída de 1 Vpp. Variamos o seletor de varredura até termos a forma simples. Isto ocorre na faixa de 10Hz a 100Hz. Isto devia mesmo acontecer pois sabemos que a frequência desta 1Vpp é igual a rede, no caso 60Hz; e 60Hz está na faixa de 10Hz a 100Hz. Porém a imagem se movimenta. Para tal devemos agora atuar sobre o ajuste fino de varredura. Com tal ajuste conseguimos por exemplo colocar dois ciclos na tela de forma a ficarem estáveis. Como eles estavam muito grandes na direção vertical, reduzimos um pouco o ganho vertical. Após isto podemos observar o desenho de uma senoidal. Tal figura representa a forma de onda da tensão aplicada. Era também de se esperar que fosse uma senoidal pois esta tensão era proveniente de tensão da rede.

Quando apenas desejamos observar a forma de onda, procedemos da maneira acima; porém, não temos informação de frequência e valores de tensão. Para isto é necessário calibrar o osciloscópio como veremos a seguir.

3.14 MEDIDAS COM OSCILOSCÓPIO:

No parágrafo a seguir mostraremos o procedimento para a realização de algumas medidas com osciloscópio, tal medidas de tensão, de corrente, de frequência de rotação de fase, etc.

3.14.1 MEDIÇÃO DE TENSÕES:

Para medirmos uma determinada tensão alternada, necessitamos de uma fonte de tensão alternada, da qual conhecemos precisamente o valor de sua diferença de potencial. É da precisão deste valor que dependerá principalmente a precisão da medida. Muitas vezes utilizamos o 1Vpp como tensão de referência, e isto é o que faremos para dar um exemplo.

O primeiro passo é ligar a tensão de referência à entrada vertical e ajustar sua forma de onda. No nosso caso ligamos a entrada vertical a saída de 1Vpp e conseguimos após os ajustes dois ciclos senoidais.

Após isto colocamos o atenuador vertical na posição x1 e ajustamos o controle de ganho vertical de forma que a imagem ocupe 10 traços na tela, como vemos na figura 15a.

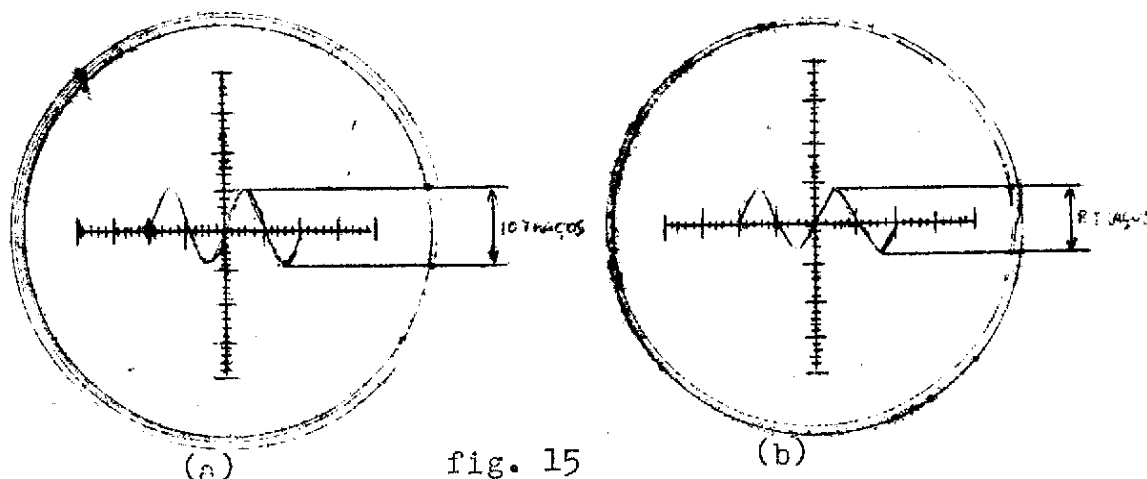


fig. 15

Assim fizemos uma correspondência de 1 Vpp para 10 traços no osciloscópio.

A seguir desligamos a tensão de referência e injetamos o sinal que desejamos medir. Ajustamos sua forma de onda até termos uma onda simples e estável. Porém nunca devemos modificar a posição do controle de ganho vertical, pois desta forma descalibramos o instrumento e não mais haverá a relação de 1 Vpp para 10 traços. Caso a imagem caia fora da tela como nos ocorreu, mudamos a posição do atenuador vertical para x10 e se ainda não conseguirmos que a imagem caia no interior da tela passamos para x100. É evidente que cada vez que mudamos o atenuador, mudamos também a calibração; todavia, neste caso sabemos qual foi o fator de alteração, se 10 ou 100 vezes. No nosso exemplo, como a imagem caiu fora da tela, passamos o atenuador para a posição x10 e conseguirmos ler na tela 8 traços tal como vemos na figura 15b. Porém 8 traços na escala de x10 correspondem a 80 traços na escala de x1. Como na tela não tem 80 traços, era por isso que não conseguimos ver a imagem na escala x1.

Para sabermos o valor da tensão basta aplicar uma regra de três como a seguir:

Se 1Vpp corresponde a 10 traços

X Vpp corresponderá a 80 traços

Assim teremos que:

$$X = \frac{1Vpp \times 80 \text{ traços}}{10 \text{ traços}} = 8Vpp$$

Suponhamos o caso de que na escala x10 não pudemos ver, passamos para a escala de x100 e conseguimos obter 14 traços. Ora, 14 traços na escala de x100 corresponde a 1400 traços na escala de x1. Aplicando a regra de três temos:

Se 1Vpp corresponde a 10 traços

X Vpp corresponderá a 1400 traços

$$\text{Logo: } X = \frac{1Vpp \times 1400 \text{ traços}}{10 \text{ traços}} = 140 \text{ Vpp}$$

Poderia também acontecer de que mesmo na escala de x100 não fosse possível ver toda a imagem, aí teríamos de voltar a escala de x1, injetar novamente o 1Vpp e reajustar 1Vpp para 2 traços. Note que com este recurso a precisão da medida diminui pois antes cada traço valia apenas 0,1V e agora cada traço vale 0,5V.

Feito tal reajuste, injetamos novamente o sinal a ser medido e na escala de $\times 100$ contamos os traços e tivemos 40 traços que é normalmente o máximo número de traços possíveis. Mas 40 traços em $\times 100$ corresponde 4000 traços em $\times 1$. Aplicando a regra de três temos:

Se 1Vpp corresponde a 2 traços
 X Vpp corresponderá a 4000 traços

$$\text{Logo } X = \frac{1 \text{ Vpp} \times 4000 \text{ traços}}{2 \text{ traços}} = 2000 \text{ Vpp}$$

Assim concluímos que o nosso osciloscópio pode medir diretamente até 2000 Vpp. Caso seja necessário medirmos valores mais elevados, poderemos fazer um divisor de tensão resistivo, do qual conhecemos a relação de divisão e medimos agora na direção com o osciloscópio tal como mostra a figura 16.

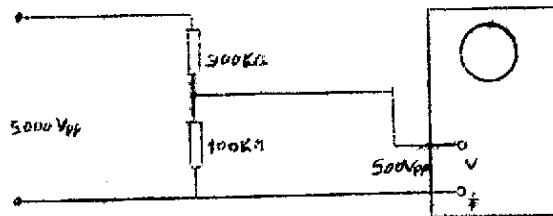


fig. 16

O divisor apresentado nesta figura, divide a tensão de entrada por 10. Se aplicarmos 5000Vpp teremos no osciloscópio 500 Vpp.

Até agora nos preocupamos com tensões superiores a 1Vpp, porém existirá a necessidade de medirmos tensões inferiores a 1Vpp.

Para tal injeta-se a tensão de 1Vpp na escala de $\times 10$ e ajusta-se 10 traços. Assim teremos que na escala de $\times 1$ esse 1 Vpp corresponderá a 100 traços. Após este ajuste injeta-se o sinal que desejamos medir e ajustamos sua forma de onda. Se conseguirmos ter a imagem completa na própria escala de $\times 10$ lemos a quantidade de traços, digamos 6 traços e aplicamos a regra de três:

Se 1Vpp corresponde a 10 traços
 X Vpp corresponderá a 6 traços

$$\text{logo } X = \frac{1 \text{ Vpp} \times 6 \text{ traços}}{10 \text{ traços}} = 0,6 \text{ Vpp}$$

Se caso na escala de x10 a imagem for muito pequena, deveremos passar para a escala de x1 e verificarmos o número de traços que por exemplo poderá ser 4 traços. Pela regra de três, lembrando que agora 1 Vpp corresponde na escala de x1 a 100 traços teremos:

$$\begin{aligned} \text{Se } 1\text{Vpp} & \text{ corresponde a } 100 \text{ traços} \\ X \text{ Vpp} & \text{ corresponderá a } 4 \text{ traços} \\ \text{Logo } X & = \frac{1\text{Vpp} \times 4 \text{ traços}}{100 \text{ traços}} = 0,04 \text{ Vpp} \end{aligned}$$

Poderá acontecer que mesmo na escala de x1 a imagem ainda seja muito pequena. Neste caso iremos recalibrar o osciloscópio, injetando o sinal de 1Vpp na escala de x100 e com o controle de ganho vertical no máximo lemos o número de traços, que normalmente é cerca de 5 traços. Assim se 1Vpp corresponde na escala de x100 a 5 traços, na de x1 corresponderá a 500 traços. Injetamos agora o sinal que desejamos medir e colocamos na escala onde seja possível se obter a imagem, que para um sinal muito pequeno será na de x1. Como exemplo tivemos 4 traços, que é um mínimo que se pode ler com alguma precisão. Aplicando a regra de três temos:

$$\begin{aligned} \text{Se } 1 \text{ Vpp} & \text{ corresponde a } 500 \text{ traços} \\ X \text{ Vpp} & \text{ corresponderá a } 2 \text{ traços} \\ \text{Logo } X & = \frac{1 \text{ Vpp} \times 2 \text{ traços}}{500 \text{ traços}} = 0,004 \text{ Vpp ou } 4 \text{ mVpp} \end{aligned}$$

Assim concluímos que o mínimo que nosso osciloscópio pode medir é 0,004 Vpp ou 4 mVpp.

Convém lembrar, agora que esse 1 Vpp tem uma frequência de 60Hz e quando ajustamos o amplificador vertical para a leitura de tensão ele é exato nesta frequência ou ainda dentro da resposta plana do amplificador.

Com isto queremos dizer que se aplicarmos como sinal a ser medido um que tenha uma frequência de 10MHz, a qual está fora da resposta plana do amplificador vertical, este irá amplificar menos o sinal de 10MHz do que o sinal de 60Hz, e em consequência a deflexão na tela para 10MHz será menor que para 60Hz, desta forma dando-nos um valor de tensão totalmente errado. Neste caso o melhor será conseguirmos um gerador que fornece uma frequência de 10MHz e do qual conheçamos o valor de tensão, ajustamos o osciloscópio para este valor e depois compararmos com o sinal que desejamos medir.

Desta forma evitamos o problema da variação da curva de reposta do amplificador vertical em função da frequência.

Normalmente ajustamos o osciloscópio em tensões pico a pico senoidais. Porém se o sinal medido não for senoidal, não haverá problema pois podemos falar em tensões pico a pico em onda quadrada, dente de serra, etc. Embora o ajuste tenha sido feito com uma senoide.

3.14.2 MEDIÇÃO DE CORRENTE:

Para a medição de corrente com osciloscópio, usa-se o mesmo artifício que o utilizado para medição de corrente com o voltímetro eletrônico. Tal artifício acha-se representado na figura 17.

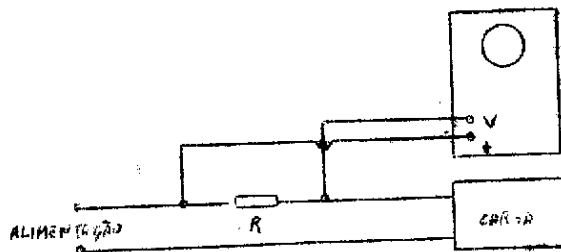


fig. 17

Trata-se na realidade de um resistor R que é colocado em série com o circuito do qual se deseja medir a corrente. Se por ele (R) passar uma corrente elétrica, se desenvolverá em seus terminais uma tensão elétrica de igual forma de onda, frequência e fase da corrente. Basta pesquisarmos com o osciloscópio o valor da tensão e a corrente será Lei de Ohm ; $I = E/R$ onde I é a intensidade de corrente em App. (amperepico a pico) se a tensão E for lida em Vpp e a resistência R conhecida em Ohms.

Um cuidado deve se ter na escolha do resistor R. Primeiro ele deve ter baixo valor para não interferir no circuito, porém o seu valor deve ser suficiente para que possamos medir a tensão sobre ele no osciloscópio. Assim o aluno escolherá o resistor de acordo com o circuito onde irá fazer a medida, tendo em vista o melhor compromisso entre as imposições vistas acima.

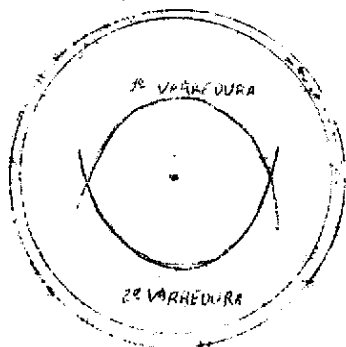
Em segundo lugar deve se observar se o resitor não apresenta uma reatância que possa modificar o valor da resistência equivalente na frequência em que estamos medindo. Lembre-se que existem resistores de fio e de grafite enrolado, em forma de bobina. Isto é uma indutância que em alta frequência poderá causar transtornos.

3.14.3 MEDIÇÃO DE FREQUÊNCIA:

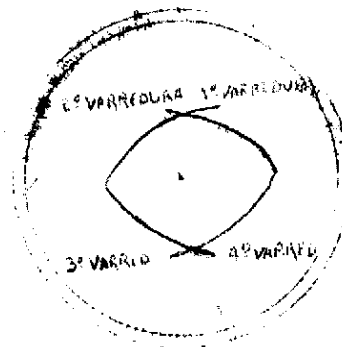
Um primeiro método de medida de frequência é aquele que se baseia no tempo de varredura. Vejamos um exemplo:

Liguemos a entrada vertical do osciloscópio a saída de 1Vpp. Ajustemos a forma de onda até que tenhamos um ciclo na tela. Como sabemos a frequência desta saída é igual à da rede igual a 60Hz. Se um ciclo aparece na tela, isto significa que o tempo de varredura horizontal é igual a $1/60$ seg. ou que sua frequência é de 60Hz. Assim calibramos a varredura para uma frequência de 60Hz. Se agora desligamos a entrada vertical do 1Vpp e nesta entrada injetamos o sinal do qual desejamos saber a frequência, teremos que se aparecer 1 ciclo, a frequência é de 60Hz. Se aparecerem 2 ciclos significa que em um tempo de $1/60$ seg consegue-se formar 2 ciclos, logo cada ciclo leva a metade do tempo ou seja $1/120$ seg. daí temos a frequência será de 120Hz ou seja o dobro de 60 Hz. Analogamente se aparecerem 5 ciclos teremos que a frequência é 5×60 ou seja 300 Hz.

Caso apareça uma figura semelhante à mostrada na figura 18a teremos que em $1/60$ seg. consegue aparecer somente meio ciclo, logo um ciclo completo leva $1/30$ seg. e sua frequência é de 30 Hz. Na figura 18b temos que $1/4$ do ciclo leva $1/60$ seg. logo o ciclo interno leva $1/15$ seg. e a frequência é de 15 Hz.



(a)



(b)

fig. 18

Da maneira que apresentamos até agora, é possível medir-se frequências que sejam múltiplos ou submúltiplos inteiros da frequência da rede. Por outro lado pode ser que a frequência da rede não seja exatamente 60 Hz, além de ser impossível medir altas frequências.

Quando isto ocorre, precisamos lançar mão de um outro gerador de frequências variáveis, desde a faixa de áudio até RF.

Suponhamos ter um sinal para medir sua frequência, o qual devemos injetá-lo primeiramente à entrada vertical, e ajustar o osciloscópio até obtermos uma figura simples na tela. Marcemos em um papel o desenho obtido na tela ou quando tivermos muita prática, memorizemos a figura. Feito isso retira-se o sinal aplicado na entrada vertical e observa-se qual a faixa de varredura horizontal foi usada. Se a faixa for de frequências de áudio, usaremos agora um gerador de áudio, caso seja RF usaremos um gerador de RF. Digamos que a faixa era de 100 kHz a 1.000 kHz. É evidente que a faixa é de RF, logo deveremos injetar agora um gerador de RF na entrada vertical do osciloscópio. Sem modificar os controles do osciloscópio, devemos ir variando a frequência do gerador de RF até obter os mesmos números de ciclos que os obtidos na figura anterior (18).

Quando isto ocorrer, a frequência que o gerador de RF aplica ao osciloscópio é igual a frequência do sinal que estamos medindo. Desta forma basta lermos na escala do gerador de RF a frequência que está sendo injetada e teremos o valor da frequência que desejávamos medir. A precisão da medida depende muito do ajuste que fazemos até obter os mesmos ciclos e da precisão do gerador.

Se a frequência pertencesse a faixa de áudio, usaríamos um gerador de áudio e procederíamos da mesma maneira.

O que foi explicado anteriormente para 60Hz continua valendo agora. Por exemplo, se o sinal injetado apresentar na tela 8 ciclos e quando injetamos o gerador de medidas aparecem 2 ciclos, isto significa que a frequência que queremos medir é 4 vezes a do gerador. Logo se no gerador tivermos 3 kHz, a frequência do sinal que estamos injetando será de 12 kHz.

Um outro método para a medida de frequência, consiste se provocar o batimento das duas frequências. No batimento de frequências, o que vai nos interessar é a sua diferença. Para tal devemos utilizar a ligação conforme mostra a figura 19.

O gerador será de áudio ou RF conforme a frequência que desejamos medir. O diodo pode ser de qualquer tipo de preferência germânico.

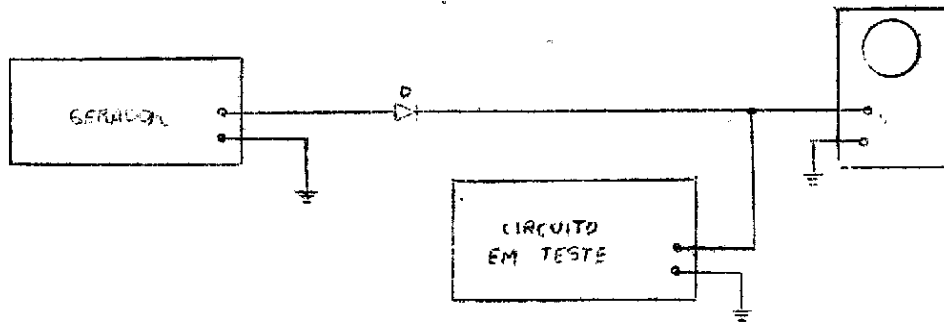


fig. 19

Sua função é que exista um elemento não linear no circuito, para que possa haver batimento de frequências.

Antes de ligarmos o circuito, devemos por meio de saída de 1Vpp ajustarmos a varredura do osciloscópio para que dê 2 ciclos em 60 Hz.

Feito isto ligamos o circuito em teste e o gerador de frequências. Na tela aparecerá um berrão; porém se formos variando a frequência do gerador acontecerá o caso como mostra a figura 20.

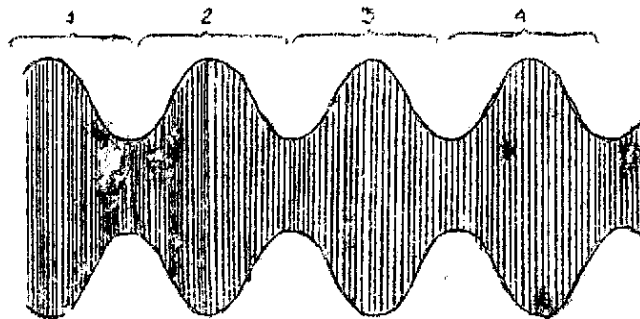


fig. 20

Nela aparecem 4 ciclos de baixa frequência que são resultantes do batimento. Como 2 ciclos correspondia a 60 Hz, 4 ciclos corresponde a 120 Hz. Isto quer dizer que o nosso gerador está a 120 Hz a mais ou a menos da frequência que desejamos medir. Se formos variando mais a frequência do gerador, encontraremos novamente esta situação. Desta forma o valor real será o valor intermediário.

Por exemplo: Suponhamos que na primeira medida o gerador estava em 1.000.000 Hz. Logo a frequência do sinal em teste pode ser 999.880 Hz, ou 1.000.120 Hz. Na segunda medida obtivemos 1.000.240 Hz. Logo a frequência do sinal em teste pode ser 1.000.120 Hz ou 1.000.360 Hz. É fácil perceber que o valor real da frequência em teste é 1.000.120 Hz.

Se tivermos bastante paciência e o gerador tiver uma escala ampla, poderemos conseguir o batimento 0 Hz e aí a frequência do gerador será a mesma da em teste. Todavia devido a grande dificuldade, é melhor utilizarmos o método das duas medidas.

É lógico ainda que se o aluno em vez de encontrar 4 ciclos, em - contra 8 por exemplo, isto significa que a diferença das frequências é de 240 Hz.

Convém observar que para este método os níveis de tensões do gerador e do circuito em teste devem ser próximos para que possamos perceber o batimento na tela do osciloscópio.

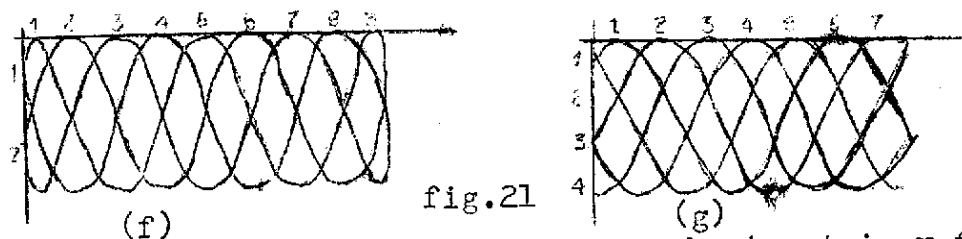
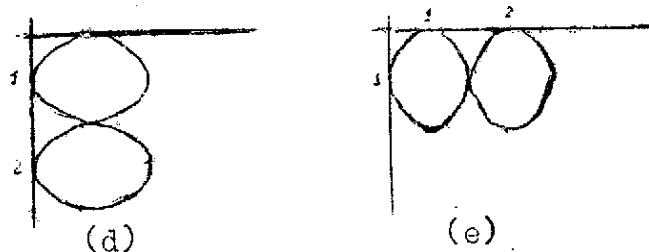
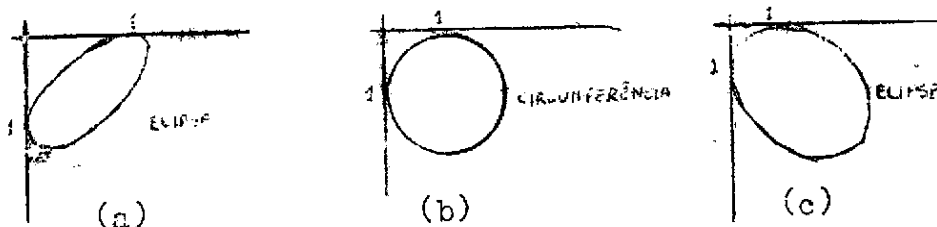
Um método bastante preciso é o que utiliza as figuras de Lissajous.

De um modo geral procede-se da seguinte maneira. Passa-se o selector de varredura para varredura externa; injeta-se na entrada vertical o sinal cuja frequência desejamos medir e na entrada horizontal um gerador de sinais capaz de produzir a mesma frequência. Ambos os sinais devem ser senoidais. Ajustamos os controles de ganho horizontal e vertical de maneira a termos uma figura ou borrão, em forma aproximada a um quadrado dentro da tela. Depois vamos variando a frequência do gerador até obtermos uma figura semelhante as apresentadas na figura 21.

Em 21a, b ou c temos que a frequência no vertical é igual à horizontal, variando apenas a fase entre as mesmas. Como medir a fase trataremos mais adiante. Surge agora uma dúvida; a de que antes a varredura interna igual à frequência do vertical, tínhamos um ciclo senoidal. e agora temos uma circunferência ou elipse. Tal fato se explica antes na varredura interna, a deflexão era uniforme, provocada por uma onda dente de serra e agora a varredura não é mais uniforme pois é provocada por uma onda senoidal. E temos da Física Ondulatória que na composição ortogonal de dois movimentos ondulatórios senoidais em fase a resultante é uma circunferência.

Em 21 d, a frequência aplicada ao vertical é o dobro da aplicada ao horizontal.

Em 21e da-se o contrário onde a frequência aplicada ao vertical é metade da horizontal. Daí podemos concluir uma fórmula que se baseia nos pontos onde a figura tangencia duas retas imaginárias uma horizontal e outra vertical.



$$\text{Frequência Vertical} = \frac{\text{Número de tangentes horizontais} \times \text{frequência horizontal}}{\text{Número de tangentes verticais}}$$

Aplicando a fórmula 21a, b, c teremos:

$$\text{Freq. Vert.} = \frac{1 \times \text{Freq. Hor.}}{1}$$

Daí concluímos que as frequências são iguais.

Aplicando a 21d temos:

$$\text{Freq. Vert.} = \frac{2 \times \text{Freq. Hor.}}{1}$$

Daí concluímos que a frequência vertical é o dobro da horizontal.

Aplicando a 21e temos:

$$\text{Freq. Vert.} = \frac{1 \times \text{Freq. Hor.}}{2}$$

Daí concluímos que a frequência vertical é metade da horizontal.
Aplicando a 21f temos:

$$\text{Freq. Vert.} = \frac{9 \times \text{frequência horizontal}}{2}$$

Daí concluímos que a frequência vertical é 4,5 vezes a frequência horizontal.

Se caso acontecer como mostra a figura 21g, em vez de contarmos as tangentes, contamos os cruzamentos e ao valor dos cruzamentos acrescentamos uma unidade.

$$\text{Freq. Vert.} = \frac{7 \times \text{frequência horizontal}}{4 + 1}$$

Daí concluímos que a frequência vertical é 7/5 vezes a frequência horizontal.

Como vimos o método pelas figuras de Lissajous nos dá uma relação entre as frequências. Assim se temos um gerador aplicado ao horizontal, variamos sua frequência e obtemos uma figura de Lissajous, verificamos em que valor de frequência ela ocorreu, bastando para isso proceder a leitura na escala do gerador, aplicamos a fórmula acima e teremos como resultado a frequência que aplicamos no vertical e da qual desejávamos conhecer o valor.

Neste método a precisão somente depende do gerador que aplicamos à entrada horizontal.

É evidente que poderemos aplicar o sinal a ser medido na entrada horizontal e o gerador de medida na entrada vertical, valendo toda a explicação anterior. Este recurso de inverter as entradas é algumas vezes utilizada quando um dos amplificadores do osciloscópio não responde tão bem quanto ao outro em uma determinada frequência.

Um outro método bastante preciso mas mais dificultoso, é o que utiliza o eixo Z. Tal método consiste em aplicarmos o sinal medido na entrada vertical e ajustamos o osciloscópio de forma a termos dois ciclos na tela (novamente utilizamos varredura interna).

Na entrada do eixo Z que normalmente se encontra na parte posterior do osciloscópio, injetamos um gerador capaz de produzir uma frequência igual a que está sendo aplicada na entrada vertical.

Devido ao fato de tal entrada não possuir amplificador normalmente, necessitamos de um gerador que seja capaz de fornecer uma tensão de saída de cerca de 30 Vpp, o que muitas vezes causa problemas.

Com esse sinal aplicado à grade de controle do tubo (entrada do eixo Z) temos que a cada pico negativo, levará o tubo ao corte aparecendo uma falha nos ciclos desenhados.

Devoremos variar a frequência do gerador até que tais falhas sejam bem visíveis e estejam bem paradas. Após isto contamos o número de falhas e dividimos pelo número de ciclos, para sabermos quantas falhas por ciclos temos. O número de falhas por ciclo, dá o valor de quantas vezes a frequência aplicada em Z é maior do que a aplicada no vertical. Por exemplo: (figura 22) Aplicamos um sinal na entrada vertical, ajustamos 2 ciclos na tela, introduzimos o gerador no eixo Z e conseguimos 12 falhas. Logo cada ciclo possui 6 falhas.

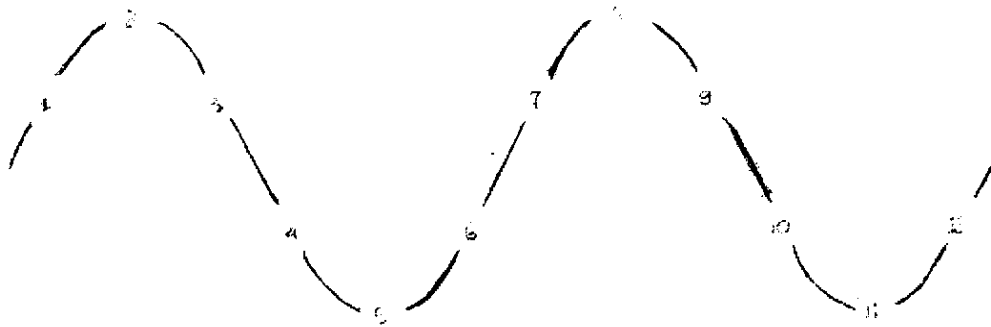


fig. 22

Como a frequência indicada no gerador era de 1200 Hz temos a frequência aplicada ao vertical é 1200 dividido por 6 ou seja 200Hz. Se caso tivéssemos lido 13 falhas deveríamos considerar como 14 falhas, pois 14 dividido por 2 dá 7 falhas por ciclo, pois é impossível termos 7 falhas em um ciclo e 6 no outro. O que às vezes acontece, é que uma das falhas cai durante o retorno e não se vê. Esse é o motivo de insistirmos para que se tenha 2 ciclos na tela, pois, se tivéssemos apenas um ciclo não perceberíamos tal erro.

Outro cuidado a observar é que as falhas devem cair igualmente em ambos os ciclos tal como mostra a figura 22.

Também neste método a precisão só depende da precisão do gerador. A vantagem desse método sobre o Lissajous é que este se aplica a qualquer forma de onda, enquanto o de Lissajous não. A desvantagem é a grande dificuldade de ajuste, que requer muita paciência.

Vimos assim diversos métodos para medidas de frequência.

A utilização de um ou de outro depende do equipamento que dispomos, do tempo, que temos para fazer a medida, do tipo de forma de onda, da precisão que desejarmos, etc. Por isso é no momento que vamos fazer a medida que devemos optar por um ou por outro. A vantagem de termos vários métodos, consiste em podermos confrontar os resultados para vermos eventuais erros.

3.14.4. MEDIÇÃO DE FASE:

Para medirmos a fase, utilizamos-nos das figuras de Lissajous.

Para tal utilizamos o osciloscópio com varredura externa. Na entrada vertical injetamos um sinal e na entrada horizontal injetamos o outro dos quais se deseja medir a relação de fase.

Na figura 23 apresentamos as diversas figuras que poderão aparecer e suas fases.

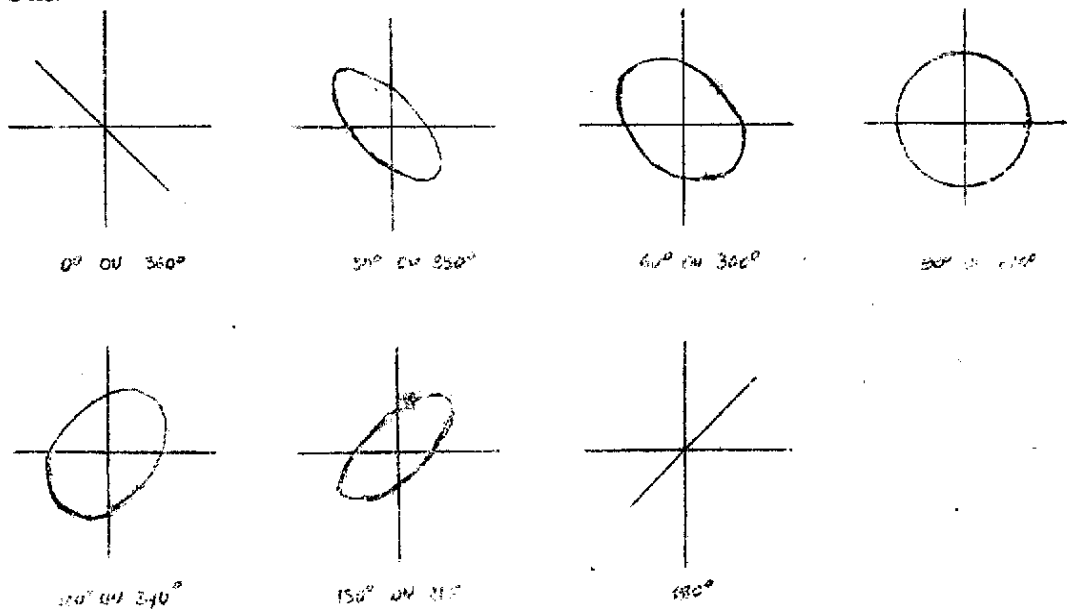


fig. 23

Na figura 24 mostramos um método geral para a medida de fase.

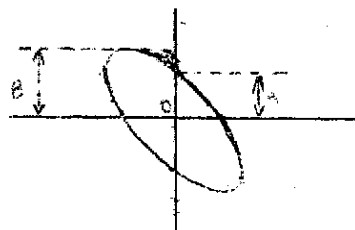


fig. 24

Primeiramente faz-se com que o centro da elipse caia exatamente na intersecção dos eixos, ponto O. Depois mede-se (em cm ou traços) a distância A que consiste na distância do eixo horizontal até a intersecção da figura com o eixo vertical: mede-se também a distância B que consiste na distância do ponto mais alto da figura até o eixo horizontal. Aplicando a fórmula seguinte temos a fase:

$$\text{Sen} \theta \text{ (ângulo da fase)} = A/B$$

Suponhamos que em uma medida A valeu 3 traços e B 5 traços. Então $\text{sen} \theta$ (ângulo da fase) vale $3/5$ ou seja 0,6. Entretanto com o valor 0,6 numa tabela de senos teremos um ângulo de 36° e $55'$. Assim teremos que um sinal esta defasado do outro de cerca de 37° .

3.14.5 MEDIÇÃO DE TEMPO:

Suponhamos ter a figura 25 na tela de um osciloscópio e desejamos saber quanto tempo temos para a onda subir ou descer, ou o tempo do patamar.

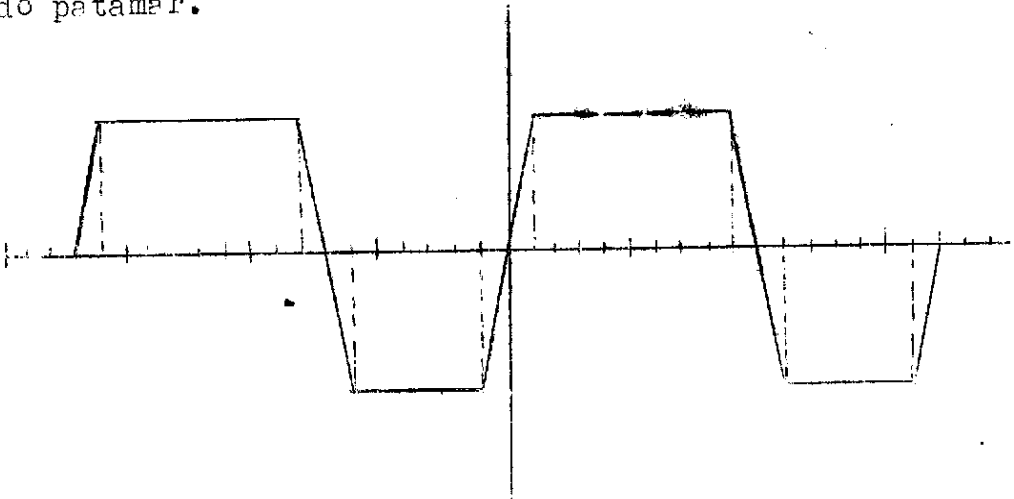


fig. 25

Para tal ajusta-se a forma de onda e mede-se a frequência determinando o tempo de varredura. Suponhamos que a frequência foi de 10 Hz logo o tempo de varredura será $1/10$ vezes 2, pois temos 2 ciclos na tela e assim temos $1/5$ seg. para tempo de varredura. Após isto verifica-se o número total de traços que a imagem ocupa na horizontal. No nosso caso tivemos 34 traços. Ora, se 34 traços levam $1/5$ de segundo, 1 traço levará $1/5$ dividido por 34 e teremos $1/70$ seg.

Agora que sabemos que cada traço vale $1/170$ seg. bastará ver o número de traços que a imagem ocupa na parte que desejamos saber o tempo e multiplicar pelo tempo de 1 traço.

No primeiro patamar temos 8 traços, logo sua duração é de $8/170$ seg. aproximadamente 47 mseg.

Na descida ou na subida temos 2 traços, logo sua duração é de $2/170$ seg. aproximadamente 11,8 mseg.

O patamar inferior possui 5 traços, logo sua duração é de $5/170$ seg. ou aproximadamente 29,4 mseg.

3.14.6 MEDIÇÃO EM FONTE DE ALIMENTAÇÃO:

O osciloscópio para a determinação de nível de zumbido, tem isto como principal função em uma fonte. Para tal liga-se a entrada vertical do osciloscópio à saída da fonte de alimentação. Ajustado previamente para a medição de tensão, lê-se qual a amplitude dessa tensão de zumbido ou "ripple". Normalmente não devemos exceder aos 2 Vpp. Logicamente quanto menor for esta tensão melhor será a condição da fonte. Se caso esta tensão for muito grande o defeito provavelmente estará nos capacitores ou choque de filtro da fonte.

Para comprovarmos o funcionamento da válvula retificadora, retiramos os capacitores do filtro e medimos a tensão de pico na placa e no cátodo da referida válvula. Se caso a tensão de cátodo for menor que a placa a válvula está esgotada.

Se o retificador for de meia onda teremos em cátodo sem os capacitores de filtro a forma de onda como mostra a figura 40a.

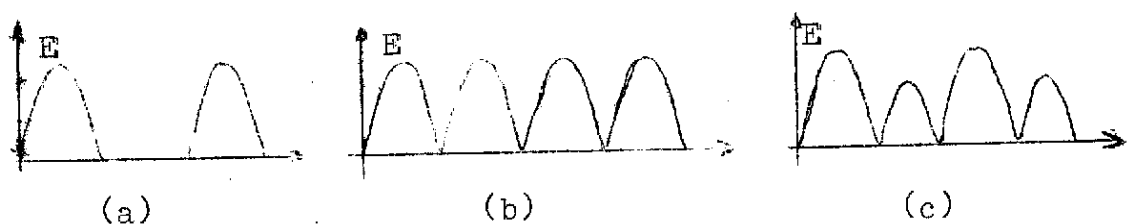


fig. 40

Caso seja de onda completa teremos como em 40b. Se por ventura obtivermos a figura 40c isto é indício de que um dos diodos retificadores está defeituoso. Este defeito deve ser sanado, pois uma fonte em tais condições estará funcionando como uma de meia onda, que possui qualidade inferior à de onda completa.

Muitas vêzes ocorre um defeito denominado "motor de lancha" ou "motor Boat" que produz um "pop, pop, pop ..." no alto falante. Tal defeito normalmente é devido a falta de desacoplamento em algum estágio de alimentação. Para identificar o estágio basta irmos acompanhando a linha de +B com o osciloscópio e encontrar o ponto onde aparece na tela tal oscilação e desta forma encontrando o estágio defeituoso.

3.14.7 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA:

Para tal injeta-se na entrada do amplificador em teste um gerador de áudio, cuja tensão deverá ser mantido constante durante toda a experiência. Na saída do amplificador, liga-se um osciloscópio ajustado para medir tensões alternadas. Com o gerador de áudio aplicam-se frequências desde 1 Hz até normalmente 30 KHz. A cada valor de frequência aplicado vai-se lendo no osciloscópio o valor de tensão de saída. Colocamos os pares de valores em um sistema de eixos e obteremos um gráfico semelhante ao da figura 41.

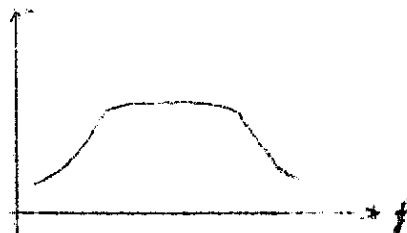


fig. 41

Quanto mais larga fôr a faixa de frequência onde a resposta é plana, melhor fidelidade de som terá o amplificador. Normalmente podemos levantar diversas curvas de respostas, de acordo com a posição dos controles de grave e agudo. Porém, normalmente o controle de volume está no máximo e os de grave e agudo, em uma posição média. Esta mesma curva já foi explicada anteriormente com o gerador de áudio e voltímetro. O osciloscópio tem uma vantagem sobre o voltímetro devido ao fato de que podemos observar a forma de onda na saída. Assim pelo fato de estarmos injetando um sinal senoidal na entrada, veremos ter durante toda a experiência um sinal senoidal na saída.

Caso isto não ocorra, deveremos diminuir um pouco a amplitude de sinal do gerador de áudio e repetir toda a experiência com esta nova amplitude.

3.14.8 DETERMINAÇÃO DA DISTORÇÃO HARMÔNICA:

Frequências harmônicas são frequências múltiplas de uma que é tomada como fundamental. Por exemplo: se tivermos como frequência fundamental 200 Hz, a primeira harmônica será 200 Hz, a 2a. harmônica 400 Hz, a 3a. harmônica 600 Hz e assim por diante. Vejamos agora o que acontece quando se soma uma fundamental com uma harmônica.

Na figura 42 temos uma senoide em pontilhado que é a fundamental e uma 4a. harmônica de menor amplitude.

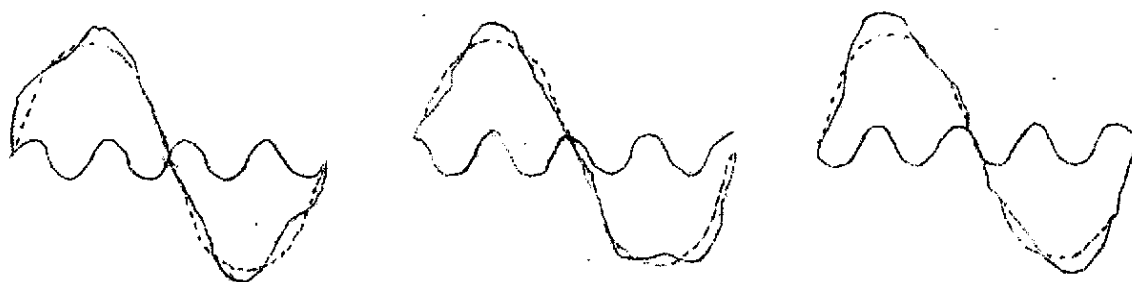


fig. 42

Quando as duas se somam temos como resultado as figuras 42a quando fundamental e harmônica estão em fase; 42b quando estão defasadas de 180° .

Se por exemplo injetamos em um amplificador uma senoide e ela sai deformada, isto é uma indicação de que estamos tendo aparecimento de harmônicas no amplificador. Quanto maior a porcentagem desses harmônicos mais deformada será a onda resultante e conseqüentemente pior a qualidade do amplificador. É necessário muito muito cuidado na observação, para não confundir a distorção harmônica com outras deformações como as que ocorrem por corte ou saturação. Normalmente estas últimas provocam linhas quase retas nos topos da senoide, como se tivéssemos cortando a senoide, enquanto que a distorção harmônica provoca saliências ou pressões na forma de onda fundamental.

3.14.9 DETERMINAÇÃO DO PONTO DE CORTE OU DE SATURAÇÃO:

Para tal injeta-se uma tensão senoidal de áudio em cerca de 100 Hz. Com o osciloscópio, observa-se na saída do amplificador a forma de onda. Quando ocorrer uma figura como mostra a figura 43 estaremos tendo corte e saturação.

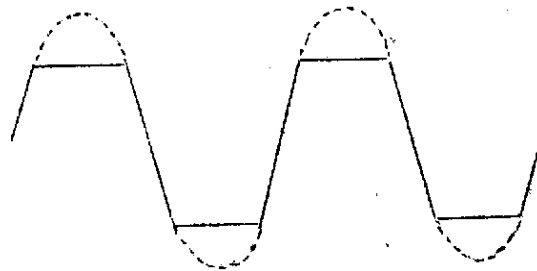


fig.43

Se tal deformação ocorrer em apenas um dos lados dos picos (nos superiores ou inferiores) teremos um corte ou saturação. Poderemos então passando o osciloscópio pelas diversas etapas do amplificador, determinar o estágio responsável por tais deformações.

3.14.10 VERIFICAÇÃO DA REPOSTA DE UMA ONDA QUADRADA:

O uso da onda quadrada para diversas verificações torna-se muitas vezes mais interessante do que a senoide, devido ao fato de ser muito mais fácil se observar deformações em linhas retas do que em curvas. Além do mais uma onda quadrada é composta de infinitas harmônicas. Fourier demonstrou matematicamente que se somarmos todas as harmônicas ímpar de uma frequência fundamental senoidal, com amplitudes segundo uma progressão decrescente até o infinito, teremos uma onda quadrada. Ora se na onda quadrada temos tantas frequências, a simples aplicação dela a um amplificador de áudio nos dará indicação da sua resposta em frequência.

Para fazermos tal teste, injetamos um gerador de áudio de onda quadrada na entrada de um amplificador. Com o osciloscópio medimos a forma de onda na saída. Convém lembrar que por se tratar de onda quadrada, é necessário usar-se a ponteira apropriada como vimos anteriormente.

Na figura 44a vemos a forma de onda ideal. Em 44b tomamos indicação de baixa resposta em agudos e em 44c baixa resposta em graves.



fig.44

Para melhor verificação deveremos ir variando a frequência de áudio dentro da faixa de áudio.

Se quando aplicarmos a onda quadrada aparecer algo semelhante à figura 45a, isto é indicação de que está havendo oscilação amortecida, pois o correto seria como vemos em 45b.



(a)



(b)

fig.45

Normalmente estas oscilações ocorrem devido rotações de fase na rede de realimentação negativa. Conseguê-se geralmente atenuar estas oscilações, reduzindo-se a taxa de realimentação.

3.14.11 AJUSTES EM AMPLIFICADORES DE RF, FI:

Usaremos a figura 46 como base para as nossas medidas. A entrada em uso do osciloscópio será a vertical como normalmente fizemos até agora e usaremos varredura interna de acordo com a frequência que estivermos observando. No nosso caso, como trata-se de altas frequências deveremos utilizar uma varredura elevada.

Coloca-se o osciloscópio no ponto 1 deveremos observar uma figura muito berrada isto devido a grande mistura de estações que temos na antena.

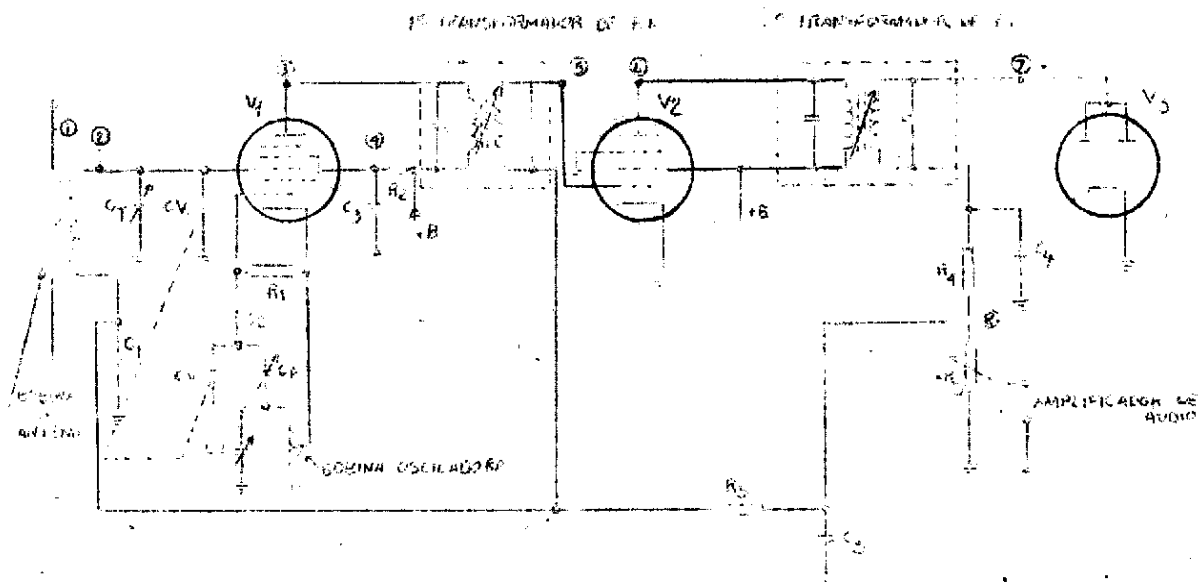


fig. 46

Devido ao problema de termos diversas estações na antena o melhor então será ao invés de utilizar as próprias transmissões, utilizaremos um gerador de RF modulado para a produção de sinal. Desta forma aplicaremos um gerador de RF ligado a antena e em uma frequência de alguma estação de ondas médias. Além do mais o gerador de RF deverá estar em amplitude modulada.

Se agora ligarmos o osciloscópio no ponto 1 deveremos observar uma figura tal como nos mostra a figura 47.

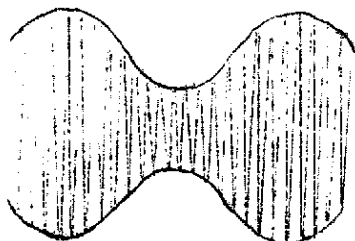


fig. 47

Para a observação da figura 47, devemos colocar o osciloscópio numa varredura lenta e assim teremos que, o miolo borrado que vemos ao centro trata-se de alta frequência ou onda portadora e a linha que delimita a figura trata-se do sinal de áudio ou modulação. Se caso não conseguirmos ver sinal algum no ponto 1 deverá haver algum curto circuito entre antena e chassis.

No ponto 2 deveremos conseguir observar a mesma figura 47 ajustando-se porém o capacitor variável para que se sintonize a frequência introduzida pelo gerador de RF na antena.

Caso isto não se consiga provavelmente a bobina de antena deverá estar interrompida ou capacitor variável em curto.

No ponto 3 deveremos ainda observar uma figura tal como a 47 porém de amplitude maior, mesma modulação e frequência da portadora diferente isto por que sabemos que a nova frequência é o valor da subtração entre a onda aplicada na antena e a frequência aplicada pelo circuito oscilador. Caso não se tenha sinal do ponto 3 poderá estar ocorrendo o fato de não haver alimentação de tensão contínua em place ou oscilador inoperante ou ainda a válvula defeituosa. Para sabermos se o oscilador está operando poderemos ligar o osciloscópio à grade osciladora da válvula e deveremos observar uma figura tal como em 48.

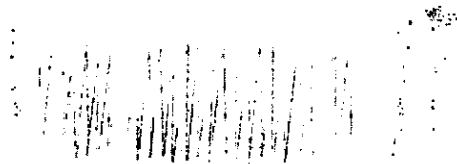


fig. 48

Nesta figura observamos uma frequência portadora isto é uma alta frequência mas de amplitude constante. Se agora movimentarmos o capacitor variável poderemos observar que a frequência deste oscilador varia. Para fazermos esta observação devemos estar trabalhando com varredura alta no osciloscópio isto porque devemos ter na tela e não um borrão como era no caso anterior.

No ponto 4 deveremos ter indicação de uma tensão contínua. Caso apareça algum sinal provavelmente o capacitor C_3 deverá estar sem capacitância ou melhor interrompido.

No ponto 5 deveremos observar ainda a figura 47. Caso isto não aconteça a peça mais provável é o transformador de FI que poderá estar danificado ou apenas descalibrado. É lógico que um defeito no estágio de antena o oscilador poderia provocar o mesmo efeito, porém já verificamos o funcionamento desses estágios no teste do ponto 3.

No ponto 6 deveremos ter os mesmos resultados que o anterior porém com um ganho muito maior isto devido a amplificação de válvula. Caso isto não ocorra a válvula poderá estar esgotada ou o 2º transformador de FI estará interrompido ou em curto.

No ponto 7 deveremos agora ter apenas o sinal de áudio tal como mostra a figura 49.



fig. 49

Os mesmos resultados deverão ser obtidos no ponto 8.

Daí em diante a etapa passa ser o estágio de amplificador de áudio que já vimos anteriormente. Como pode-se observar utilizamos o osciloscópio de uma maneira análoga ao pesquisador de áudio já anteriormente explicado. A vantagem do osciloscópio é que além de observarmos as figuras teremos a chance de observar valores de amplitude e frequência em cada uma delas.

3.14.12 AJUSTES DE CIRCUITOS SINTONIZADOS:

Um circuito sintonizado trata-se normalmente de uma bobina e um capacitor ligado em série ou em paralelo. Suponhamos para fixar idéias, um circuito do tipo mostrado na figura 50, que trata-se na realidade de um transformador de FI o qual pode ser sintonizado por meio de seus capacitores ajustáveis.

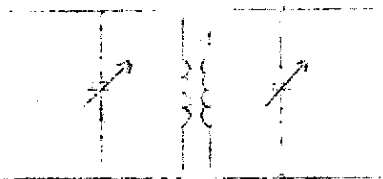


fig. 50

Para procedermos o ajuste utilizaremos de um aparelho anteriormente explicado que é o gerador de varredura.

Para proceder o ajuste deveremos ligar os instrumentos e o circuito conforme mostra a figura 51.

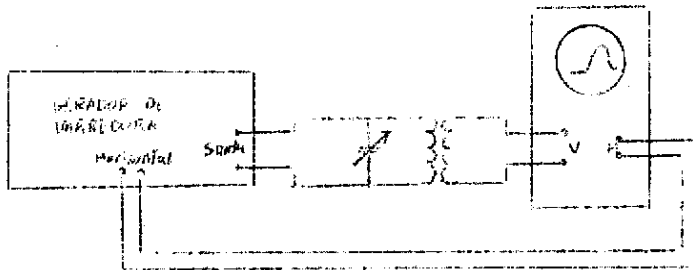


fig. 51

O circuito a ser sintonizado deverá ser ligado entre gerador de varredura e entrada vertical do osciloscópio. Porém estas ligações devem ser as mais curtas possíveis para evitarmos capacidades e indutâncias parasíticas as quais irão interferir no ajuste. A saída horizontal do gerador de varredura deverá ser ligada à entrada horizontal do osciloscópio. O osciloscópio deverá ser posto em posição de varredura externa.

Assim observamos que será a frequência de saída horizontal do gerador de varredura que irá promover a deflexão horizontal do osciloscópio. Convém lembrar que esta frequência de saída horizontal do gerador de varredura é a mesma que produz a varredura de frequência no referido gerador. Desta forma teremos que no mesmo ritmo em que a frequência varia o feixe do osciloscópio se movimentará. Aconselhamos ao aluno retomar as explicações do gerador de varredura para o melhor entendimento deste tópico. Deveremos agora ajustar a frequência do gerador de varredura de acordo com a frequência a qual o circuito sintonizado vai ser ajustado.

Assim que a frequência varia a tensão entregue pelo circuito, à entrada vertical está sintonizada com o gerador de varredura teremos que a cada frequência existirá uma tensão no osciloscópio e consequentemente um ponto na tela. Depois de uma varredura completa teremos na tela do osciloscópio desenhada a curva de sintonia do circuito em teste. Por meio do gerador de marcação poderemos conseguir marcar as frequências ponto a ponto na curva desenhada na tela do osciloscópio.

Assim poderemos ir ajustando os capacitores do circuito em teste até obtermos uma figura como vemos em 52 a qual representa a curva de um transformador de FI para 4,5 MHz.

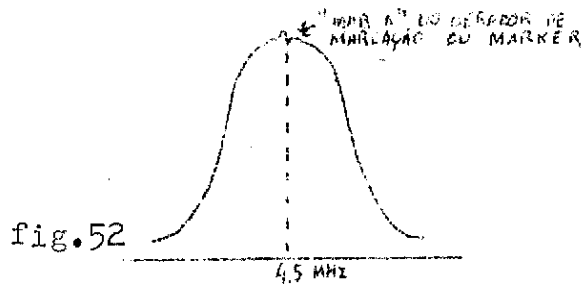


fig.52

Com o gerador de marcação conseguimos fazer que por meio do ajuste do circuito se tenha 4,5 MHz exatamente no ponto exato da curva. Este procedimento poderá ser utilizado para sintonizar qualquer circuito deste tipo tais como: seletores de canais, FI em rádios e televisores, etc. Bastará para tanto que se possua um gerador de varredura capaz de fornecer estas frequências, tal método serve também para levantar curvas até em amplificadores de áudio surgindo porém um problema de que normalmente não possuímos geradores de varredura que trabalhem na faixa de áudio. É por este motivo que explicamos anteriormente, um método de levantamento de tal curva ponto por ponto, com o gerador de áudio.

3.15 OSCILOSCÓPIO DE FEIXE DUPLO:

Muitas vezes necessitamos de ter 2 sinais na tela do osciloscópio. Para tal existem osciloscópios com 2 feixes eletrônicos. Porém os osciloscópios normais não possuem tal requisito e desta forma temos de encontrar outra solução para o mesmo problema. Esta solução trata-se da chave eletrônica. Na figura 39 encontramos um diagrama básico de uma chave eletrônica.

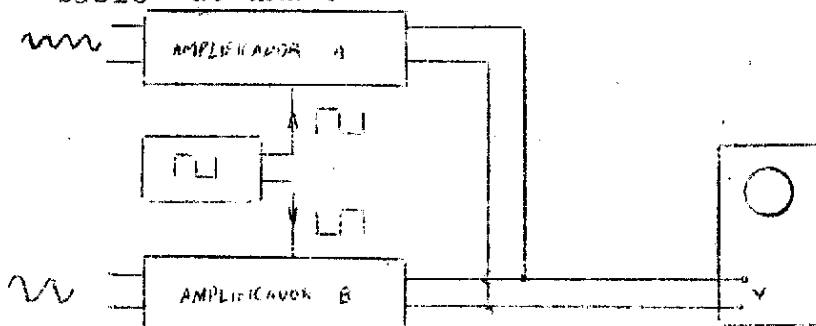


fig. 53

Trata-se na realidade de 2 amplificadores que podem receber 2 sinais, sendo que cada amplificador recebe uma onda quadrada proveniente de um gerador de onda quadrada.

O amplificador A recebe uma onda quadrada que está 180° defasada da onda quadrada que recebe o amplificador B. Desta forma quando B funciona o A é que fica parado. Assim teremos que num determinado instante o sinal aplicado em A é que vai para o osciloscópio. Desta forma conseguimos ter na tela do osciloscópio os 2 sinais o aplicado em A e o aplicado em B simulando desta maneira um osciloscópio com duplo feixe.

Uma utilidade para a chave eletrônica é na medida de frequências. Para tal aplica-se em A um gerador de frequência conhecida e em B o sinal que desejamos medir. Pelo fato de se conhecer a frequência de A, tem-se o tempo de varredura do osciloscópio. Observando-se o sinal B, podemos concluir sua frequência. Como exemplo, suponhamos que A tenha uma frequência de 100 KHz e que no osciloscópio se tenha 4 figuras. Se para o sinal B ocorre 2 figuras, teremos que a frequência de B é de 50 KHz.

Tem-se de uma maneira geral, que a chave eletrônica é utilizada para quando se deseja observar dois sinais ao mesmo tempo.

4. GERADOR DE ÁUDIO:

4.1 GENERALIDADES:

Um dos instrumentos de imprescindível presença numa bancada é o gerador de áudio. O próprio nome esclarece: é aparelho que gera e que entrega na saída sinais senoidais de baixa frequência. Na verdade, nem todos os seus sinais são audíveis, pois que geralmente os "geradores de áudio" fornecem sinais cujas frequências cobrem a faixa inaudível do ultrassom (30KHz a 200 KHz). E por outro lado também a faixa inaudível do infrassom (aproximadamente 1 Hz até 20 Hz). Assim sendo, normalmente os geradores de áudio cobrem a faixa do espectro de frequências que vai desde cerca de 1Hz até 100K ou 200KHz, o que imprópria a denominação "gerador de áudio".

Cabe-nos ainda ressaltar que o modo de variar a frequência pode ser contínuo ou discreto. No processo contínuo pode-se obter qualquer valor de frequência dentro do intervalo mencionado, isto é, a frequência é variada continuamente, sem saltos. No mundo discreto a variação é descontinuada, ou seja, é por degraus e só pode obter um número finito de frequências. Explicando melhor: de um modo geral os geradores de áudio de variação discreta apresentam como menor salto 1 Hz (que é também a menor frequência obtível); assim, nesse tipo de aparelho, supondo que estamos com 347 Hz na saída e queremos elevar suavemente a frequência, temos que obrigatoriamente passar por 348Hz, 349Hz, 350Hz, 351Hz, etc., sempre de um em um Hertz. Já jamais seria possível reproduzir os valores intermediários entre, por exemplo, 349 e 350 Hz, o que não aconteceria com o tipo contínuo.

Veremos também que muitas vezes o gerador de áudio pode oferecer na saída não só ondas senoidais como também ondas quadradas cujas frequências poderão variar como visto anteriormente, ou seja, de aproximadamente 1 Hz a 100 K ou 200 KHz, continuamente ou por degraus.

4.2 O OSCILADOR:

A figura 1 nos apresenta o circuito genérico de um oscilador de áudio.

São vistos dois pentodos V_1 e V_2 , sendo este último ligado como triodo na configuração seguidor de catodo.

Através de R_5 e C_2 é aplicada uma realimentação positiva entre V_2 e catodo de V_1 ; R_5 é uma lâmpada incandescente. Concomitantemente é aplicada uma realimentação negativa proveniente da V_2 para a grade de controle de V_1 , por meio de uma rede RC (filtro T em ponte) que determina a frequência de operação. Supondo-se que C_2 tem valor suficientemente grande, e ele R_5 C_2 -de realimentação positiva apresenta impedância praticamente não dependente da frequência.

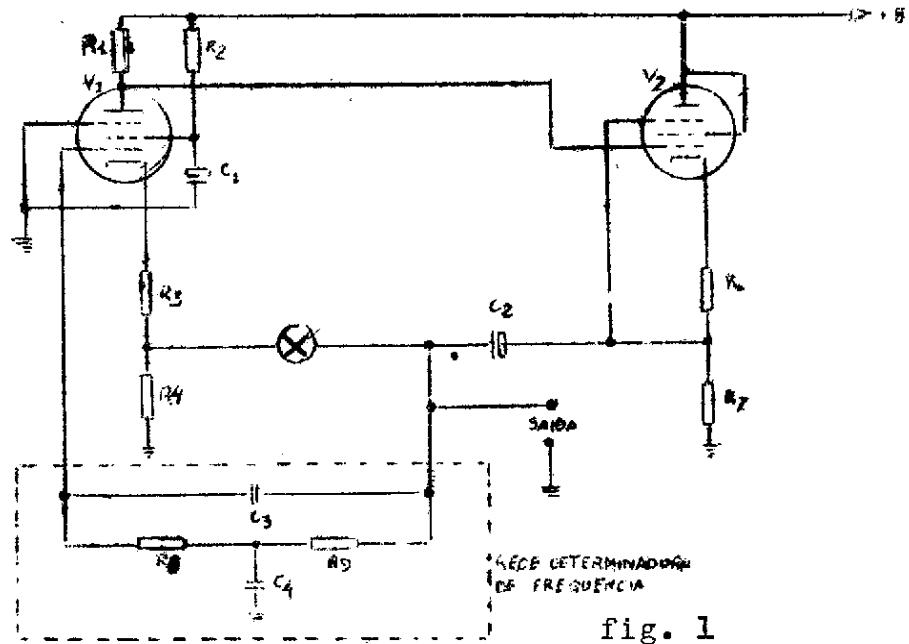


fig. 1

No entanto, a rede RC (R_8 , R_9 , R_3 e C_4) impõe uma realimentação (negativa) essencialmente dependente da frequência. Ora, fica fácil de visualizar como o sistema entra em oscilação observando-se os gráficos da figura 2.

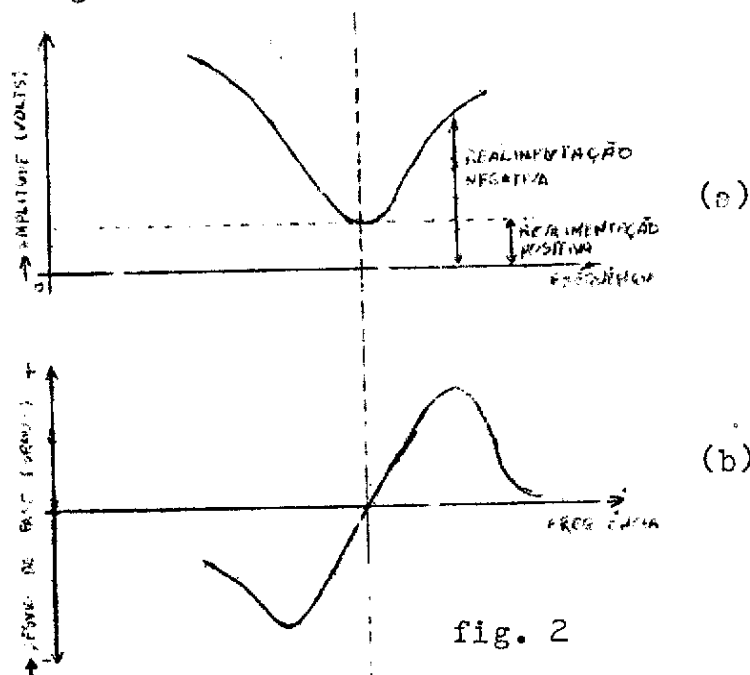


fig. 2

Pela figura 2a vemos que quando a realimentação negativa passa por um mínimo, a realimentação positiva anula o efeito daquela, o sistema se torna instável e começa a oscilar numa frequência ditada pelo filtro RC. Na figura 2b temos o gráfico de desvio de fase correspondente, e é no ponto onde a rotação de fase é nula (zero grau) que a oscilação tem lugar.

Variando-se o valor de qualquer um dos componentes da rede RC, seja R_8 , R_9 , C_3 ou C_4 , variaremos a frequência. Aqui é onde se determina a maneira de variar a frequência por degraus ou continuamente conforme se estabeleça a variação dos capacitores e/ou dos resistores. Por exemplo, no modo discreto é comum adotar-se décadas de capacitores que vão sendo colocados em paralelo à medida que se seleciona a frequência desejada através de uma chave seletora.

A lâmpada R_5 tem a finalidade de manter constante o nível do sinal na saída. Dessa forma, se este sinal por qualquer razão sofrer um aumento de amplitude, ocorrerá um aumento de corrente por R_5 e conseqüentemente sua resistência crescerá tendo em vista que a temperatura do filamento vai variar. Ora, se R_5 aumentar, então a realimentação positiva será diminuída e a conseqüência direta será a diminuição do sinal de saída. Note-se que a frequência é mantida constante pois ela é determinada por outro elo de realimentação. Analogamente, se a tensão de saída sofresse uma diminuição, a lâmpada atuaria no sentido de restabelecer o equilíbrio.

4.3 GERADOR POR BATIMENTO:

Outro modo de se gerar áudio frequências é por meio do batimento de duas frequências, por exemplo, de RF. A idéia é a mesma daquela empregada no receptor superheterodino onde a FI (frequência interna) é o resultado da mistura da frequência do oscilador local com a frequência da estação sintonizada. Só, que no rádio, a FI é constante e as outras duas frequências variam conforme a estação que se deseja receber; enquanto que em nosso gerador de áudio estabelecemos um oscilador de RF fixo (frequência f_0) e um oscilador de RF variável (frequência f_v). A figura 3 apresenta o diagrama em blocos onde se destaca o misturador em cuja saída se obtém as frequências de áudio $f_a = f_0 - f_v$.

Nessas circunstâncias, se o oscilador fixo estiver em 500.000Hz e o variável em 500.200Hz então na saída teremos um sinal de 200Hz.

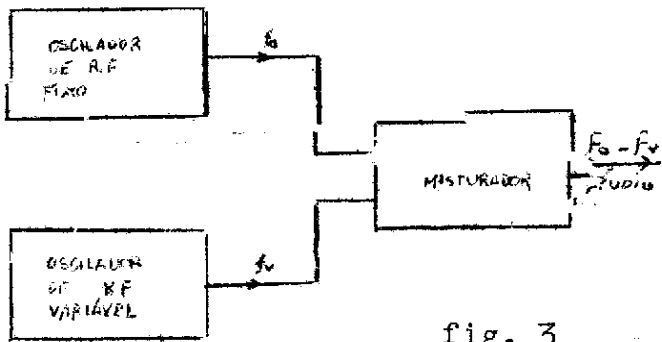


fig. 3

Se esta frequência \$f_0\$ for fixa e variarmos a frequência \$f_v\$ do oscilador de RF variável, teremos várias frequências de saída.

4.4 GERADOR DE ONDA QUADRADA:

Como já dispomos de todo um sistema completo de ondas senoidais, a solução fácil é usar a própria senóide para disparar um multivibrador (figura 4).

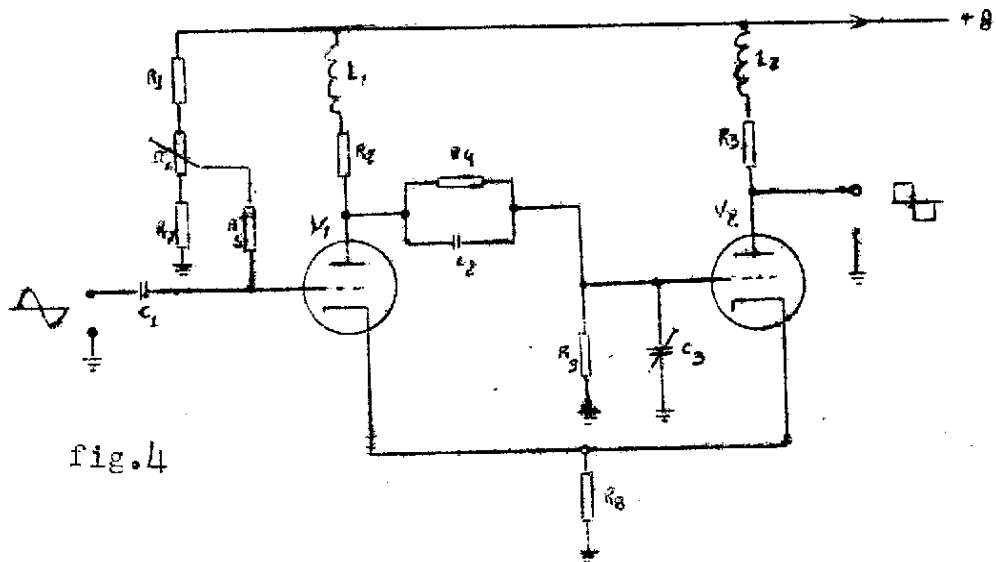


fig.4

Tal circuito entrega na placa de \$V_2\$ uma onda quadrada de igual frequência da onda senoidal que entrou em \$V_1\$.

Desse modo não precisamos mais nos incomodar com o problema da faixa de frequência a ser coberta e nem com o modo de variar a frequência.

Com o potenciômetro \$R_6\$ ajustamos a simetria da onda quadrada e com \$C_3\$ burilamos a forma da onda na saída, tornando-a mais perfeita possível.

4.5 PARTES RESTANTES:

Entre os terminais de saída propriamente dita do aparelho e os pontos de saída indicados na figura 1 existe sempre um amplificador, que além de amplificar o sinal proveniente do oscilador também desempenha o papel de isolador entre a carga na saída e o oscilador. Dessa maneira impossibilita-se a interferência dos vários tipos de carga na amplitude e na frequência do sinal entregue pelo gerador. Obviamente tal amplificador deve exibir resposta de frequência plana a faixa de operação do gerador.

Fonte de alimentação é essencialmente a convencional. Poderia ser estabilizada (nos aparelhos mais caros) para se ganhar estabilidade dos sinais fornecidos tanto em frequência como em amplitude.

Os atenuadores na saída possibilitam ao usuário a escolha da tensão mais apropriada em cada caso. Basicamente são atenuadores resistivos selecionados por meio de uma chave, atenuando por degraus; consta ainda um potenciômetro para ajuste fino.

Alguns geradores dispõem de um medidor do nível de saída, indicando diretamente quantos volts ou milivolts são aplicados na carga (que pode ser a entrada de um amplificador ou de qualquer circuito).

4.6 PAINEL DE CONTROLES:

Na figura 5 encontramos um tipo de painel de gerador de áudio.

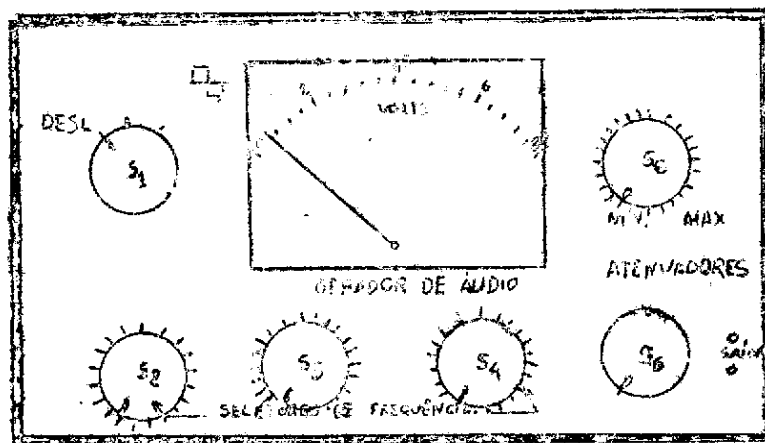


fig. 5

A chave S1 serve para ligar e desligar bem como escolher entre onda senoidal a ser gerada. Na posição senoidal o instrumento acha-se ligado para fornecer uma tensão senoidal de saída.

Na posição quadrada, se existir, o instrumento acha-se ligado para fornecer uma onda quadrada na saída.

As chaves S_2 , S_3 , S_4 , servem para selecionar as frequências. Nos geradores cujas frequências variam por degraus temos que S_2 é uma multiplicadora com as posições x_1, x_{10}, x_{1000} , a qual multiplica os valores marcados por S_3 e S_4 . S_3 normalmente possui os seguintes valores: 0, 10, 20, ..., 90 e S_4 os valores 1, 2, ..., 9. Assim, se quisermos uma frequência de 230 Hz colocaremos S_3 na posição 20, S_4 em 3 e S_2 em x_{10} .

Nos geradores onde as frequências variam de maneira uniforme, S_2 serve para selecionar a faixa de frequência desejada. S_3 determina a frequência e S_4 os décimos desta frequência. A chave S_5 é um atenuador por degraus e S_6 é um atenuador de ajuste contínuo. No instrumento temos um medidor de nível de saída.

4.7 UTILIZAÇÃO:

4.7.1 PESQUISA EM AUDIOAMPLIFICADORES:

Para pesquisarmos um defeito em amplificador de áudio, nem sempre necessitamos de um gerador com diversas frequências; basta uma única frequência. Porém vamos explicar como se procede no caso geral.

Suponhamos que o nosso amplificador esteja completamente sem som (mudo) e que a parte de alimentação esteja perfeita. O primeiro procedimento é ligar o gerador em uma frequência de aproximadamente 1000Hz e injetá-la no altofalante. Se este reproduzir o sinal aplicado estará em ordem; caso contrário, será o elemento causador do defeito.

Se o altofalante estiver perfeito, liga-se o gerador (mesma frequência) no primário do transformador de saída. Se ouvirmos o sinal no altofalante tudo perfeito até aí, caso contrário estaremos com o transformador de saída defeituoso.

Os dois testes feitos até o momento devem ser executados com o amplificador desligado. A partir daí e com o gerador em 1000Hz entramos na grade de controle da válvula de saída ou na base do transistor de saída. Se não houver sinal no altofalante teremos válvulas ou transistor de saída danificado. Caso contrário, iremos testar a pré-amplificação.

Ligamos o gerador à grade de controle da pré-amplificadora ou à base do transistor pré-amplificador. Se não houver sinal no altofalante teremos a válvula ou transistor pré-amplificador danificado. Ainda no caso da válvula poderá estar defeituoso o resistor de placa ou condensador de acoplamento, e no caso do transistor o transformador excitador (driver) com defeito.

Caso existam estágios pré-amplificadores, proceder-se-á da mesma forma até que falhe o sinal no altofalante; neste instante teremos localizado a etapa defeituosa. Deveremos sempre limitar o controle de volume do amplificador, de forma que a potência de saída não exceda cerca de 6% da máxima potência permissível pelo altofalante. Isto porque a máxima potência que vem marcada no altofalante vale para música, onde a potência máxima do amplificador é atingida só em pequenos e rápidos instantes; de tal modo que em média a potência é baixa. Porém quando ligamos um gerador de áudio a potência aplicada é constante. Se colocarmos uma potência constante e máxima no altofalante sua bobina móvel será aquecida e certamente danificada, quando não o cone. Quando quisermos fazer o levantamento da curva de resposta em alta potência deveremos substituir o altofalante por um resistor de resistência igual à impedância do altofalante e potência de dissipação adequada ou usar altofalante mais potente.

A aplicação mais usual do gerador de áudio para o levantamento da curva de resposta de amplificadores. Aplicamos a entrada do amplificador um sinal com uma amplitude constante e da ordem de milivolts. É obrigatório que a amplitude do sinal de entrada seja mantida constante durante todo o teste. Colocamos um voltímetro CA em paralelo com o resistor que substitui o altofalante. Mantemos o controle do amplificador em uma posição fixa na qual queremos levantar a curva. Agora aplicamos sinais de frequências desde poucos Hz até cerca de 25 KHz, e para cada frequência aplicada anotamos a tensão de saída. Com estes dados poderemos constituir um gráfico como o mostrado na figura 6.

A escala de tensões é linear e a escala de frequências é logarítmica. Com a indicação dada pela curva de resposta poderemos corrigir as deficiências do amplificador, após uma análise detalhada da curva de resposta.

A curva obtida se refere aos controles de tonalidade na posição plano.

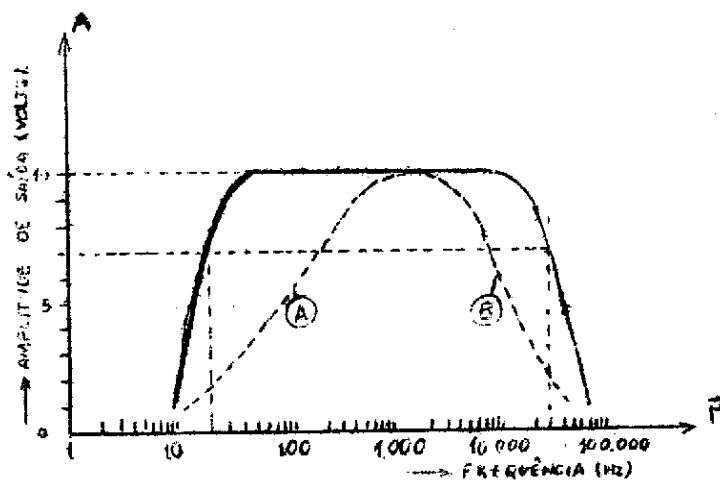


fig. 6

Para se saber como os graves e os agudos atuam, basta levantar outras curvas, uma para cada posição dos controles.

4.7.2 MODULAÇÃO DE GERADORES DE RF:

No capítulo sobre geradores de RF, veremos que eles possuem uma entrada especial para a modulação externa. Quando necessitamos de modulação diferentes de 400Hz (interna fixa), por exemplo, quando queremos saber a faixa de passagem de um circuito LC, usamos o gerador de áudio. Assim precisamos de um sinal de RF modulado em diversas frequências diferentes. Para tal ligamos o nosso gerador de áudio na entrada de modulação externa do gerador de RF. Na saída do gerador de RF teremos uma onda de RF modulada na frequência que o nosso gerador de áudio está produzindo.

5. GERADOR DE RADIO FREQUÊNCIA:

5.1 GENERALIDADES:

Inúmeras vezes nos deparamos com um receptor defeituoso, por exemplo, estágio de RF descalibrado. Uma solução precária é a calibração de ouvido. Se dispusermos de um gerador de RF a reparação torna-se muito mais fácil e correta. Para tal vejamos, primeiramente, como funciona um gerador de RF, para depois vermos suas utilidades.

Na figura 1 encontramos o diagrama em blocos do gerador em frequência: oscilador de áudio, oscilador de RF, misturador e fonte de alimentação.

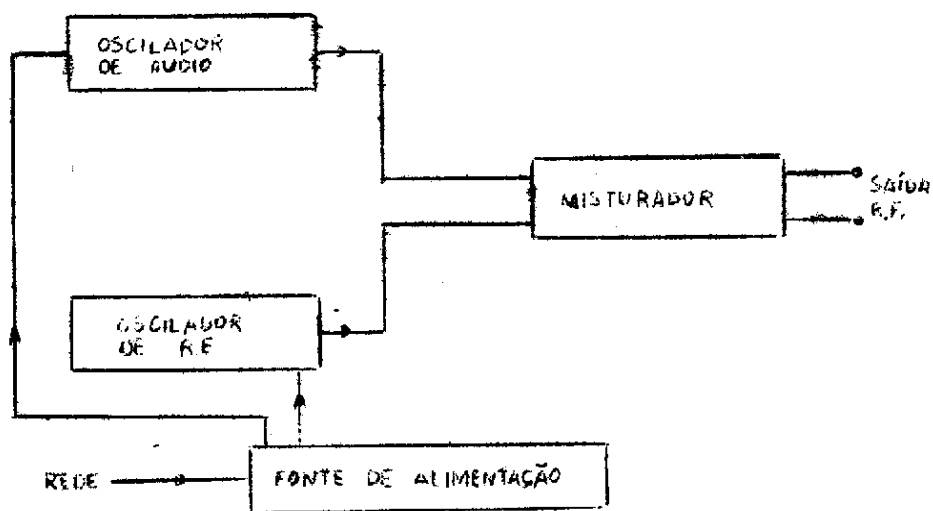


fig. 1

5.2 FUNCIONAMENTO:

O oscilador de RF tem por finalidade gerar sinais de frequências desde aproximadamente 200KHz até, na maioria das vezes, 60MHz. O oscilador de áudio ou modulador deve gerar sinais de áudio geralmente em 400 Hz. Há geradores que além desta frequência possuem outras, tais como: 1.500Hz, 2.500Hz, etc. O misturador é o estágio destinado a receber as altas frequências do oscilador de RF e as baixas frequências do oscilador de áudio, misturando-as e entregando na saída um sinal de rádio-frequência modulado em amplitude. A fonte de alimentação é normalmente do tipo convencional e serve para a alimentação de filamento e demais eletrodos das válvulas.

Na figura 2 temos o diagrama típico de um gerador de RF. Logicamente existem muitas alternativas no circuito, porém neste artigo tentamos apresentar um circuito genérico.

O transformador L_1 , os diodos D_1 e D_2 , o choque L_2 , e os capacitores C_3 e C_4 formam a fonte do tipo convencional. A válvula V_1 e seus componentes formam o circuito modulador. L_3 e C_5 determinam a frequência desse oscilador. Os pontos C e D são destinados à interligação de outros pares L e C determinantes de novas frequências de áudio. Esta conexão é feita por meio de chave seletora que só existe no caso dos geradores que possuem mais de uma frequência de áudio para a modulação.

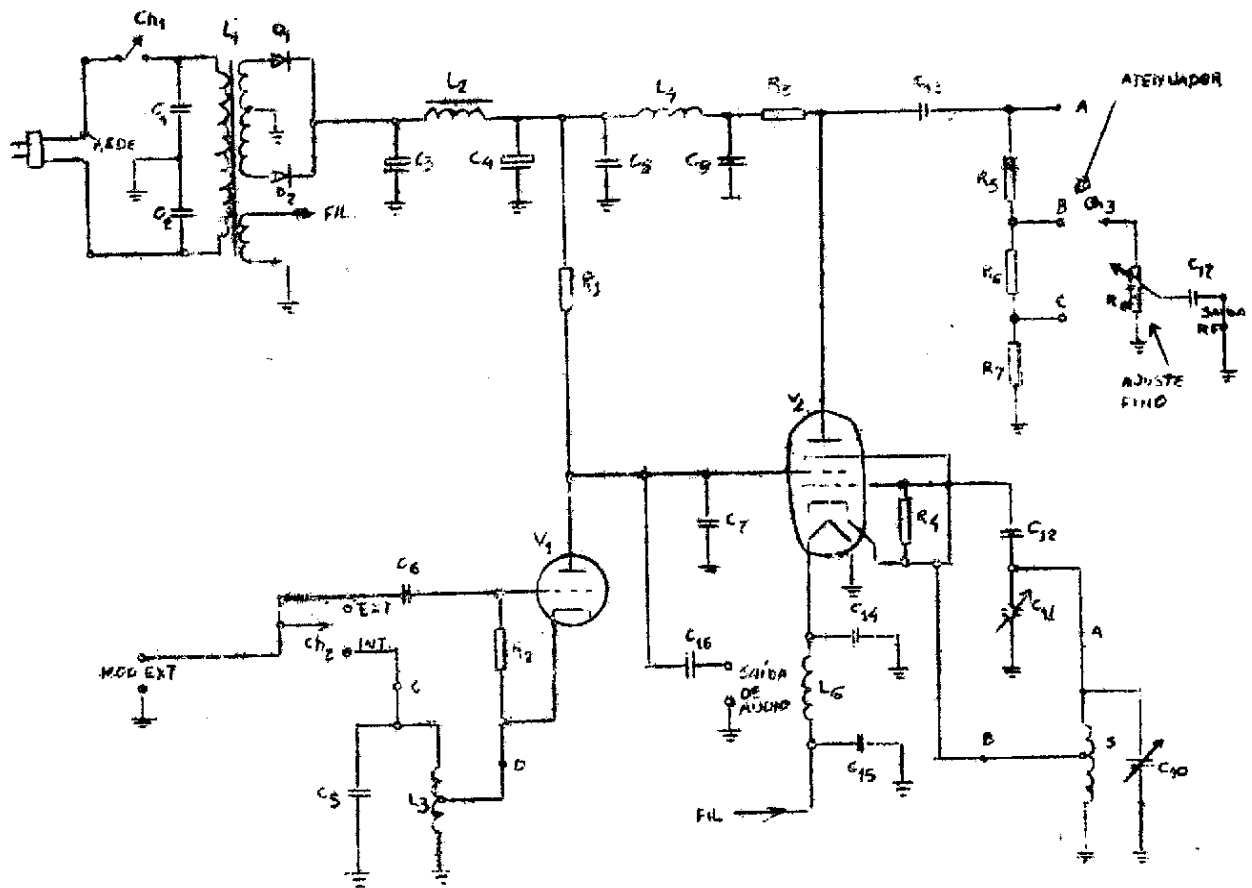


fig. 2

A chave Ch2 seleciona modulação interna ou externa da seguinte forma: quando a chave está na posição externa podemos, mediante os terminais externos, injetar um sinal externo na grade de V_1 que funciona como amplificador, já que o circuito sintonizado L_3 e C_5 não se encontra ligado à grade.

Quando a chave Ch2 estiver na posição int. o circuito L3 C5 fica acoplado à grade de V₁ e o circuito entra em oscilação. Na placa de V₁ teremos um sinal de áudio que, por meio do capacitor C16, é levado para os terminais de saída de áudio. Ainda da placa da V₁ retiramos um sinal de áudio para modular o sinal de RF como veremos mais adiante.

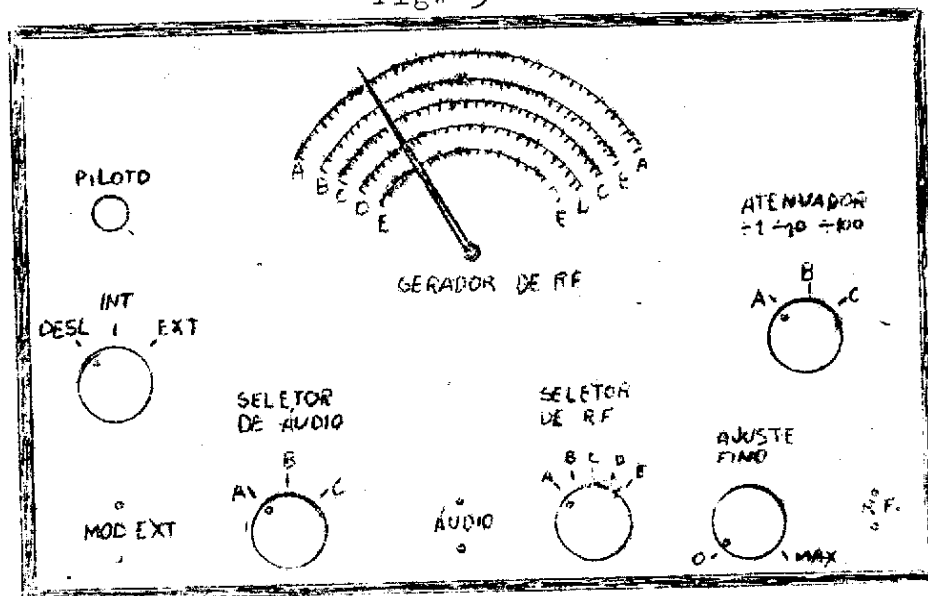
A válvula V₂ é o elemento ativo do osciloscópio de RF e misturador. O conjunto catodo, grade de controle e grade auxiliar de V₂ formam um triodo oscilador de RF, sendo L₅ e C10 o circuito sintonizado que determina a frequência de oscilação. Por meio do capacitor variável C11 podemos variar a frequência dentro de certos limites. Nos pontos A e B pode-se fazer a comutação dos circuitos L₅ C10, para que possamos ter as diversas faixas de RF. A grade auxiliar de V₂ recebe o sinal de RF modulado em amplitude por um sinal de áudio.

C₈, C₉ e L₄ desacoplam do estágio de +B a parte de RF existente na placa de V₂. C14, C15 e L₆ servem para desacoplar o sinal de RF que porventura exista no filamento da V₂. Quando a chave Ch2 está ligada na posição int. temos modulação interna e assim teremos na placa de V₂ um sinal de RF modulado na frequência de áudio do gerador. Porém quando Ch2 está aberta, a válvula V₁ não oscila e na placa V₂ teremos um sinal de RF sem modulação, chamado geralmente de CW ("Continuous Wave"). R₅, R₆ e R₇ formam um divisor de tensão denominado ATENUADOR. R₈ é um potenciômetro de ajuste fino para a tensão de saída, ajustando-a desde zero até a tensão máxima limitada pelo atenuador. Suponhamos, para fixar idéias, que o nosso gerador entregue uma tensão máxima de 10V, na posição A do atenuador. Na posição B suponhamos ter 1V, isto é, dividimos por 10, e na posição C 0,1 V; desta maneira, dividimos a posição anterior por 10 e a primitiva por 100. Se desejássemos na saída uma tensão de 0,4 V, seria muito difícil por meio apenas do potenciômetro R₈ ajustarmos tal tensão num total de 10 V. Porém, com a chave atenuadora poderemos colocá-la na posição B de 1V e assim por meio de R₈ ajustaremos 0,4V, só que agora em uma faixa de 0 V a 1 V. Como vemos, o atenuador amplia o número de ajustes do potenciômetro R₈.

O capacitor C17 bloqueia a componente contínua do circuito onde vai ser ligado, o gerador, isto é, se ligarmos o gerador à placa de uma válvula, com o C17 evitaremos que uma corrente de +B flua por R₈ o que poderia ocasionar a queima deste e talvez de algum elemento da fonte de alimentação do aparelho em teste.

Na figura 3 vemos um pannel típico de gerador de RF.

fig. 3



A lâmpada piloto indica se o instrumento está ligado ou não. Abaixo desta encontramos a chave liga-desliga e seletora da posição de modulação interna ou externa, e a seguir os terminais de modulação externa. Ao lado temos o seletor de áudio; no caso de termos apenas uma única frequência de áudio não existirá tal chave, porém se existir mais de uma, esta chave terá tantas posições quantas forem as frequências de áudio de modulação. Ao lado encontramos os terminais de saída de áudio. Temos ainda o seletor de RF, cuja finalidade é a de selecionar as diversas faixas de RF como veremos mais adiante. As chaves do atenuador e ajuste fino acham-se a direita do painel junto da saída de RF. No centro do painel temos uma escala com um ponteiro a qual indica as diversas frequências de operação do gerador.

5.3 UTILIZAÇÃO DO GERADOR DE RF:

Quando vamos utilizar um instrumento eletrônico composto de válvulas, é norma ligá-lo e deixá-lo aquecer por cerca de 10 a 15 minutos. Assim também o gerador de RF. Acionamos o interruptor liga-desliga, e esperamos o tempo necessário para que ele se aqueça, até que suas válvulas entrem numa temperatura de equilíbrio, evitando assim que oscilação da temperatura (variação das características das válvulas), acarrete frequências de valores errados, o que seria altamente indesejável.

Após tomada a precaução do aquecimento, deve-se ter em mente qual a frequência que desejamos ter na saída do gerador e em seguida notar qual a faixa que ela pertence. Após descoberta a faixa, deveremos virar o seletor de RF de forma que ele indique a letra da faixa correspondente. Por exemplo: digamos na faixa A; assim devemos virar o seletor até que este indique a faixa A. Isto faz com que o circuito interno do gerador fique trabalhando nas frequências indicadas na escala, na faixa. Este seletor troca o circuito L₅ C₁₀ da figura 2 como vimos anteriormente. Quando movimentamos o ponteiro da escala, para variarmos a frequência do gerador movimentamos o capacitor C₁₁ (figura 2). Em nosso exemplo, após levada a chave seletora para a posição A, sintonizamos o gerador na frequência desejada, no caso 455KHz; assim devemos girar o ponteiro da escala até que este indique a frequência de 455KHz. Se quisermos este sinal modulado, teremos que colocar a chave seletora de modulação na posição interna, e utilizando a chave seletora de áudio, escolhermos o sinal de modulação desejada. Caso queiramos um outro sinal de modulação qualquer ou uma onda contínua, passaremos a chave de modulação posição externa. Desta forma, teremos na saída de RF um sinal contínuo se não injetarmos sinal na entrada de modulação externa. Por meio do atenuador e do controle de ajuste fino, ajustaremos a tensão de saída do nosso aparelho.

A saída de áudio nos entrega apenas um sinal de áudio. Tal sinal tem utilidade para pesquisa em amplificadores de áudio, como vimos mais adiante.

Até o momento apresentamos o princípio de funcionamento e utilização dos controles, passando a seguir, às aplicações práticas do instrumento que estamos explanando.

Normalmente após a montagem ou reparação de um rádio-receptor de um estágio de RF ou FI, é necessário o ajuste dos transformadores de frequência intermediária (T.F.I.), dos "trimmers" e "padder". Para tal ajuste recorreremos ao gerador de RF, cuja sequência de uso iremos explicar agora.

Na figura 4 apresentamos o diagrama em bloco de um receptor. O primeiro elemento a ser calibrado é o T.F.I. que vai ligado ao diodo detetor.

A calibração é de trás para diante. Com o receptor ligado e com o controle de volume no máximo ganho, deve-se injetar na grade de controle da valvula amplificadora de F.I. um sinal de 455 KHz modulado. Para tal toma-se o gerador de RF com um condensador de aproximadamente 0,02 μ F em série com a ponta de prova, os controles de atenuação ajustam-se para a máxima saída de RF, a chave de modulação põe-se na posição interna e frequência de saída de 455KHz. Liga-se o referido condensador ao ponto em teste, devendo-se escutar no alto-falante um "apito" correspondente ao sinal de modulação. Caso não se escute tal "apito", deve-se variar a frequência do gerador de RF em torno do valor 455 KHz, até ouvi-lo.

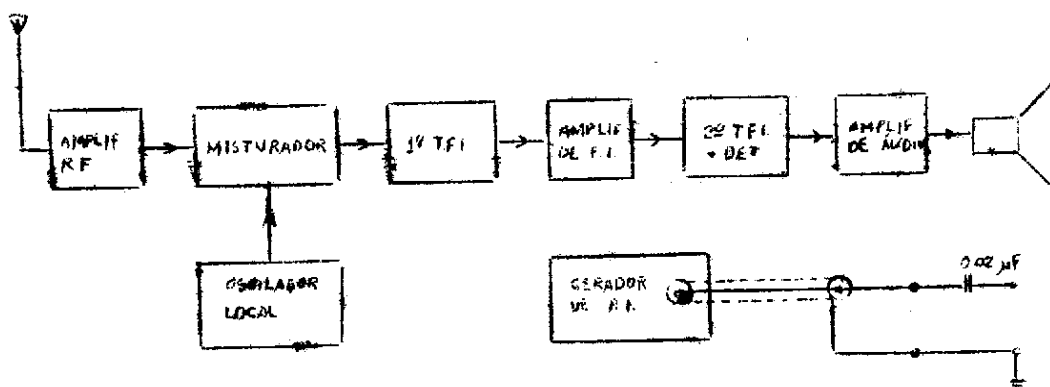


fig. 4

Suponhamos que o sinal foi ouvido somente em 420KHz ; devemos agora ajustar o T.F.I. em questão de forma que o sinal ouvido em 420KHz se reduza, indicando que a nova ressonância do T. F.I. é diferente de 420 KHz. Procura-se com o gerador de RF a nova frequência, isto é, onde o sinal ouvido torna-se mais intenso. Caso o sinal se torne mais forte em uma frequência abaixo da anterior, digamos 410KHz isto vem indicar que ajustamos o T.F.I. para o lado errado, quer dizer, se rodamos o parafuso de ajuste em um sentido, deveremos então rodá-lo agora em sentido oposto.

Digamos que o sinal se torne mais intenso em uma frequência maior que a primitiva 420 KHz, isto é um indício de que estamos no caminho certo de calibração. Assim se o sinal ficou mais forte em 430KHz por exemplo, e rodamos o parafuso no sentido horário, deveremos agora rodar no mesmo sentido, até que o sinal reduza um pouco.

Aí variamos a frequência do gerador de RF até que o sinal aumente. Iremos repetindo tais operações até que atingimos a frequência de 455 KHz.

Como o aluno deve ter notado, com o gerador de RF fomos "perseguindo" a frequência de ressonância do T.F.I. até se chegar ao seu valor correto, sempre com sinal no altofalante. Nunca se deve colocar o gerador de RF em 455 KHz e ficar rodando a esmo os parafusos de ajuste até ouvir o sinal no alto-falante, pois se houver um defeito qualquer no rádio ou no gerador, jamais conseguiremos ouvir tal sinal ou então calibraremos em ponto incorreto.

Após ter-se levado o T.F.I. à frequência correta, deve-se agora conseguir o máximo ganho deste. Para tal deixa-se fixo o valor de 455 KHz e variam-se lentamente os parafusos de ajuste do T.F.I. em calibragem, de forma a ter o máximo sinal de saída. Conforme este fôr se tornando intenso deve-se reduzir o ganho do gerador de RF por meio de chaves atenuadoras e nunca por meio do potenciômetro de volume do receptor.

Para se ter uma idéia melhor de quando estamos no máximo sinal, aconselhamos o uso de um voltímetro CA em paralelo com o altofalante. Assim quando este indicar o maior valor de tensão conseguido com os ajustes, teremos o máximo de saída. Evitando-se o uso do ouvido, ganha-se em precisão de ajuste.

Assim que este T.F.I. estiver perfeitamente ajustado poderemos começar a calibração do T.F.I. precedente que no caso da figura 1 será o 1º T.F.I. Se caso o rádio fôr de três T.F.I. ajusta-se o 2º T.F.I. de maneira idêntica a que se fêz para o terceiro.

Vejamos agora como se procede para calibrar o T.F.I. isto é, aquele que está ligado à saída do estágio misturador.

O método é análogo ao explicado anteriormente, injetando-se o sinal na grade de controle da amplificadora de RF ou misturadora. Deve-se porém ter o cuidado de fazer com que o oscilador local fique inoperante. É por este motivo que geralmente se coloca em curto o condensador variável (secção osciladora). Porém desaconselhamos tal técnica, pois poderemos danificar algum elemento do rádio. Assim o que se deve fazer é colocar um condensador de um valor por volta de 0,05 μ F em paralelo com a seção osciladora do condensador variável. Desta forma estaremos pondo em curto apenas o sinal de alta frequência que existe neste ponto, para que este não venha interferir na calibração.

Após tôdas estas operações teremos por final o canal de F.I. perfeitamente ajustado, podendo agora ser lacrados seus parafusos de ajuste.

Convém lembrar que nosso exemplo utilizamos como frequência intermediária o valor de 455KHz, porém existem outros valores. Por este motivo deve o técnico antes de dar início à calibração verificar qual o valor da frequência especificada pelo fabricante. Assim se o T.F.I. for para 465 KHz, deverá colocar o gerador de RF nessa frequência.

Passemos agora ao ajuste do amplificador de RF e oscilador local. Para tanto devemos verificar quais as frequências de ajuste especificadas pelo fabricante para aquela determinada faixa que queremos calibrar. A fim de têmos uma idéia apresentamos uma tabela de calibração.

Faixa de Onda	Padder	Trimmer Oscilador	Trimmer Antena
Média	600KHz	1600KHz	1400KHz
Curta	-	18 MHz	16 MHz

Nota: Retirar o capacitor de aproximadamente 0,05 F em paralelo com a seção osciladora do variável.

Com o rádio na faixa de ondas médias, condensador variável ajustado de forma que o ponteiro do "dial" indique a frequência de ajuste do padder (no caso 600KHz) e controle de volume no máximo, injetamos com o gerador de RF na antena, um sinal (modulado) de 600KHz. Se ouvirmos o "apito" no alto-falante, deveremos ajustar o padder até obtermos o máximo sinal na saída. Caso não escutemos tal "apito", deveremos variar a frequência do gerador de RF até encontrá-lo, isto é o mesmo método de "perseguir" a frequência como foi explicado anteriormente no caso do T.F.I.

Assim que tivermos ajustado o padder, ajustamos o condensador variável, até o ponteiro do dial indicar a frequência de ajuste do trimmer do oscilador local, no caso 1600KHz. Passamos também o gerador de RF para 1600KHz e ajustamos o trimmer até o máximo sinal no alto-falante. Devemos agora verificar se a calibração dada ao padder está correta ou não.

Na maioria dos casos, quando voltamos o variável e o gerador para 600KHz, notamos que o padder tem de ser reajustado; isto porque pelo fato de variarmos a capacitância do trimmer variamos também a capacitância total do circuito oscilador, logo variamos sua frequência. Feito isto, verificamos como está a calibração do trimmer oscilador, se necessário daremos um retoque. Faremos tantos retoques no trimmer oscilador e no padder quantos fôrem necessários.

Terminados estes ajustes por vêzes morosos, poderemos calibrar o trimmer de antena, que em nosso caso é ajustado em 1400KHz.

O método é análogo ao utilizado para o padder e o trimmer, somente que o condensador variável está em uma posição que corresponda no "dial" ao valor 1400KHz. Tirando o máximo ganho com o ajuste do trimmer de antena estará o receptor em perfeitas condições para operar na faixa de ondas médias.

A fim de efetuarmos o ajuste em ondas curtas, devemos proceder de maneira idêntica à anterior com a vantagem de que não existe padder. Se o rádio possuir outras faixas, segue-se de maneira análoga, devendo-se consultar a tabela de frequências de ajuste fornecida pelo fabricante.

Em alguns receptores ao invés de haver padder para o ajuste da parte inicial de frequências do oscilador local, tem-se um núcleo variável na bobina osciladora. Para a calibração, procede-se do mesmo modo que para o padder porém agora ajustando o núcleo da bobina osciladora. Caso a bobina de antena também possua núcleo ajusta-se este na frequência indicada pelo fabricante.

5.4 PESQUISA DE DEFEITOS:

Suponhamos um receptor de rádio, cujo estágio amplificador está em perfeito estado, porém tal aparelho se apresenta inoperante. Sabemos "a priori" que o defeito se localize no canal de F.I. ou estágio de RF, porém para localizar melhor o defeito, deveremos utilizar um gerador de RF.

O primeiro passo será injetar um sinal modulado de 455 KHz (se esta fôr a frequência do T.F.I.) na válvula amplificadora de F.I. ou os seus componentes de alimentação, o T.F.I. danificado ou desajustado ou finalmente á etapa detetora.

Se tudo estiver em ordem, entraremos com o gerador de RF na amplificadora de RF, estando o gerador numa frequência sintonizada pelo rádio. Se o sinal não sair na etapa de áudio poderá ser a válvula amplificadora de RF, ou misturadora ou a osciladora.

Resta apenas testar o oscilador local e o amplificador de RF. Uma boa maneira de testar o oscilador local é substituí-lo pelo próprio gerador de RF e verificar se o rádio passa agora a sintonizar as estações.

Para tal liga-se o gerador de RF sem modulação à grade osciladora e ajusta-se este sempre de forma que tenhamos a sua frequência igual ao valor da frequência indicada no "dial" do rádio mais o valor da F.I. (455KHz). Por exemplo: se estamos sintonizado o Rádio Eldorado, 700KHz, deveremos ter no gerador de RF $700\text{KHz} + 455\text{KHz} = 1155\text{KHz}$.

Procederemos assim com várias estações. Se conseguirmos sintonizá-las, isto indica que o oscilador local não está funcionando.

Todavia se o defeito persistir o culpado provável será a etapa de antena ou amplificadora de RF.

Para finalizar, lembramos que para termos um bom resultado com um gerador de RF, é necessário que ele possua uma precisão razoável, pois caso contrário, ao invés de calibrarmos o rádio, o desajustaremos.