



Acetatos de Apoio às Aulas de Electrónica e Instrumentação

2º Semestre 2002/2003



Grandezas Fundamentais

Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Corrente	Ampere	A
Temperatura	Kelvin	K
Tensão	Volt	V
Resistência	Ohm	W
Capacidade	Farad	F
Indutância	Henry	H
Energia	Joule	J
Potência	Watt	W
Frequência	Hertz	Hz
Carga	Coulomb	C
Força	Newton	N
Fluxo Magnético	Weber	Wb
Densidade de Fluxo Magnético	Weber/metro ²	Wb/m ²



Potências de 10 e suas Abreviaturas

Multiplicador	Prefixo	Abreviatura
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	fento	f
10^{-18}	ato	a



Potências de 10 e suas Abreviaturas

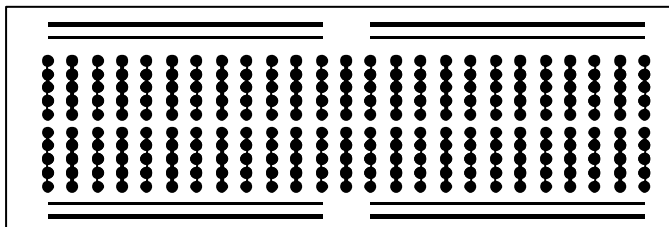
➤ Exemplos de Aplicação

- ⇒ 1500 MHz em GHz
- ⇒ 12.5 KHz em Hz
- ⇒ 125 nH em μ H
- ⇒ 346.4 KV em V
- ⇒ 5.3 mA em A
- ⇒ 5 H em mH
- ⇒ 4.6 pJ em J
- ⇒ 1.4 μ s em s
- ⇒ 1800 s em h



Placas de Montagem

➤ Esquema de Ligações



Resistências

- Uma resistência é um componente passivo que “desenvolve” uma voltagem nos seus terminais proporcional à corrente que a atravessa

$$v = iR$$

Onde

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

ρ - Resistividade

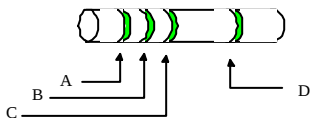
Material	ρ (W.m)
Prata	1.63×10^{-8}
Cobre	1.72×10^{-8}
Ouro	2.44×10^{-8}
Alumínio, comercial	2.83×10^{-8}
Germânico	4.6×10^{-1}
Níquel-crômio (65 Ni, 12 Cr, 23 Fe)	100×10^{-8}
Silício	2300
Tungsténio	5.52×10^{-8}



Resistências

➤ Código de cores

⇒ As resistências possuem uma codificação que traduz o seu valor ôhmico. Essa codificação é realizada através da utilização de combinações de cores gravadas na resistência.



O valor da resistência é dado por: $R = A B \times 10^C \pm D$ em que A, B, C e D dependem das cores gravadas na resistência. O valor D representa a tolerância do valor da resistência.



Resistências

➤ Tabelas com Código de Cores

Cor	Valor
Preto	0
Castanho	1
Vermelho	2
Laranja	3
Amarelo	4
Verde	5
Azul	6
Violeta	7
Cinza	8
Branco	9

Cor	Tolerância
Dourado	5 %
Prateado	10 %
sem cor	20 %

Exemplo: Se uma resistência tiver a sequência de cores

A = vermelho; B = preto; C = laranja e D = Prateado

$$R = 20 \times 10^3 \pm 10 \% = 20 \text{ kW} \pm 10 \%$$



Resistências

➤ Séries

⇒ Os valores nominais dos componentes usados são escolhidos de modo a corresponderem a séries geométricas de razão:

$$\sqrt[n]{10} \longrightarrow R = \sum_{n1=1}^{\infty} a_1 \cdot r^{n1-1}$$

As séries mais usadas são as séries:

E6 (20%) > n = 6 > R = 1.0; 1.5; 2.2; 3.3; 4.7; 6.8

E12 (10%) > n = 12 > R = 1.0; 1.2; 1.5; 1.8; 2.2; 2.7; 3.3; 3.9; 4.7; 5.6; 6.8; 8.2

E24 (5%) > n = 24 > R = 1.0; 1.1; 1.2; 1.3; 1.5; 1.6; 1.8; 2.0; 2.2; 2.4; 2.7; 3.0; 3.3; 3.6; 3.9; 4.3; 4.7; 5.4; 5.6; 6.2; 6.8; 7.5; 8.2; 9.1

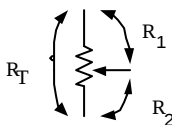
Cada série é repetida para as potências de 10 entre 10 e 10⁶



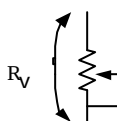
Resistências

➤ Resistências variáveis:

Potenciômetro



Reóstato



Material Construtivo

Carvão

Fio

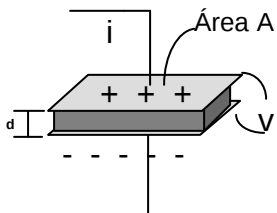
Película

A valor do Potenciômetro/Reóstato identifica o valor máximo de resistência (R_t), assim podemos ter valores de resistência, com resolução infinita, entre 0 e R_t .



Condensadores

- Um condensador é um componente activo que armazena e liberta energia eléctrica através de um campo electrostático.



$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dv}{dt}$$

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

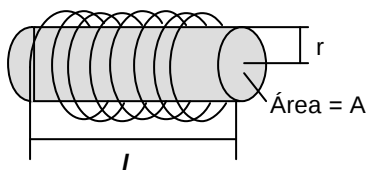
ϵ = Permittividade eléctrica (F/m)

Classe do Material	Material	ϵ_r
Cerâmica	Óxido de alumínio	8.80
Vidro	Quartzo fundido	3.78
Plástico	PVC	2.88
Borracha	Silicone	3.20
Outros	Mica	5.40-9.00
	Papel	2.99
	Água, destilada	78.20
	Ar	1.00



Bobines

- Uma indutancia é um componente activo que tende a opor-se a qualquer variação de corrente aos seus terminais.



$$L = \frac{\mu n^2 A}{l + \frac{9}{10}r} \quad \text{com} \quad m = m_r m_0$$

$$m_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

μ = Permeabilidade magnética (H/m)

Lei de Faraday da indução

$$v = \frac{df}{dt}$$

mas

$$v = L \frac{di}{dt}$$

logo

$$f = Li$$



Aparelhos de medida

- Os aparelhos de medida são denominados em função da grandeza que medem.

Grandeza a medir	Aparelho
Correntes (A)	Amperímetro
Tensões (V)	Voltímetro
Potências (W)	Wattímetro
Resistências (Ω)	Ohmímetro
Energia (Wh)	Contadores



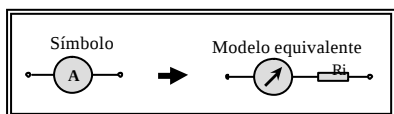
Aparelhos de medida

- Classificação quanto ao modo de visualização:
 - ⇒ **Analógicos:** A apresentação do resultado da medida é feita através do deslocamento de um ponteiro sobre uma escala.
 - ⇒ **Digitais:** A apresentação dos resultados é feita através números em um display.
- Classificação quanto ao modo de operação:
 - ⇒ **DC:** é indicado para medir grandezas (tensões e correntes) contínuas.
 - ⇒ **AC:** é indicado para medir grandezas (tensões e correntes) alternadas **sinusoidais** e dá a indicação em termos de valor eficaz.



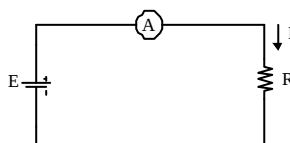
Amperímetro

- Um Amperímetro permite medir correntes, pelo que deve ser sempre colocado em série com o elemento para o qual se deseja saber a corrente que o atravessa.



A resistência interna do amperímetro deve ser a menor possível para não produzir quedas de tensão, perdas de energia apreciáveis e não alterar a intensidade de corrente quando se insere no circuito.

Exemplo de Aplicação



$$R_t = R + R_i$$



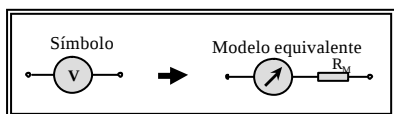
Amperímetro

- Precauções a tomar na utilização dos amperímetros:
 - ⇒ Ligar sempre o amperímetro em série com o elemento através do qual passa a corrente a medir;
 - ⇒ Nunca ligar um amperímetro em paralelo com uma fonte de tensão, tal como uma bateria ou um gerador. A resistência do amperímetro é extremamente baixa e qualquer tensão, um volt que seja, pode produzir uma elevada intensidade através do amperímetro inutilizando-o;
 - ⇒ Utilizar uma escala com um alcance suficientemente grande para se ter a garantia que o valor lido seja menor que a máxima leitura admissível pela escala;
 - ⇒ Observar a polaridade ao ligar o amperímetro ao circuito.



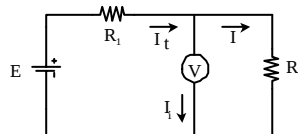
Voltímetro

- Um Voltímetro permite medir tensões, pelo que deve ser sempre colocado em paralelo com o elemento para o qual se deseja conhecer a tensão.



A resistência interna do voltímetro deve ser a maior possível para que a corrente I_i seja a mais baixa possível e assim não alterar a intensidade de corrente quando se insere no circuito.

Exemplo de Aplicação



$$I_t = I + I_i$$



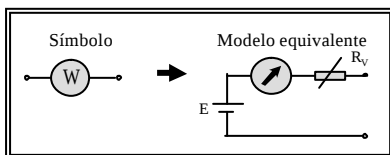
Voltímetro

- Precauções a tomar na utilização dos Voltímetros:
 - ⇒ Ligar sempre o voltímetro em paralelo com o elemento do circuito cuja tensão desejamos medir;
 - ⇒ Utilizar uma escala com um alcance suficientemente grande para se ter a garantia que o valor lido seja menor que a máxima leitura admissível pela escala;
 - ⇒ Ter sempre em conta a polaridade ao ligar o voltímetro.

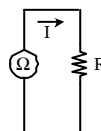


Ohmímetro

- O ohmímetro é um aparelho de medida que permite obter directamente o valor de uma resistência.



Exemplo de Aplicação



$$R = \frac{E}{I}$$

O ohmímetro mede, naturalmente, a corrente que circula através da resistência. Dado que a tensão é constante, a intensidade através da resistência é inversamente proporcional ao valor da resistência.



Ohmímetro

- Precauções a tomar na utilização dos Ohmímetros:
 - ⇒ Um ohmímetro nunca deve ser usado para a medição de resistências onde exista tensão. A tensão que estiver presente, no objecto a ser medido, irá falsear a medição e também pode causar danos no aparelho de medida;
 - ⇒ Se a resistência é um componente de um circuito, será necessário verificar se não estão ligados a ela, em paralelo, outros componentes, uma vez que, nesse caso, o circuito pode fechar-se por um caminho de resistência menor;
 - ⇒ Deve começar-se por seleccionar a escala adequada para a medição. No caso de se conhecer o valor aproximado da resistência deve ser escolhida a escala logo acima desse valor, uma vez que aumenta a exactidão da medida;
 - ⇒ Principalmente quando se selecciona um alcance de medida muito alto, não se deve tocar com as mãos nos terminais da resistência, já que se colocará a resistência do próprio corpo em paralelo com o componente que se está a medir.



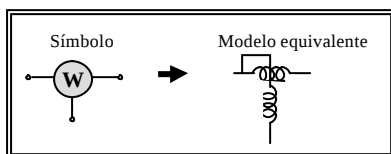
Multímetro

- O multímetro opera em vários modos:
 - ⇒ Voltímetro
 - ⇒ Amperímetro
 - ⇒ Ohmímetro
- Sendo os vários modos seleccionados por um comutador.
- Além disso, voltímetro e amperímetro podem funcionar em modo DC ou AC.



Wattímetro

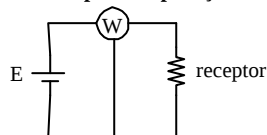
- Para uma leitura directa do valor da potência pode utilizar-se o wattímetro.



A potência consumida num circuito de corrente contínua pode ser facilmente determinada observando as indicações dum voltímetro e de um amperímetro e efectuando o produto das suas leituras.

No caso da potência em corrente alternada monofásica temos que considerar os valores eficazes da tensão e corrente, dados pelo voltímetro e pelo amperímetro, e também ϕ que representa o desfaseamento entre aquelas grandezas, podendo ser determinado a partir de um fasímetro.

Exemplo de Aplicação



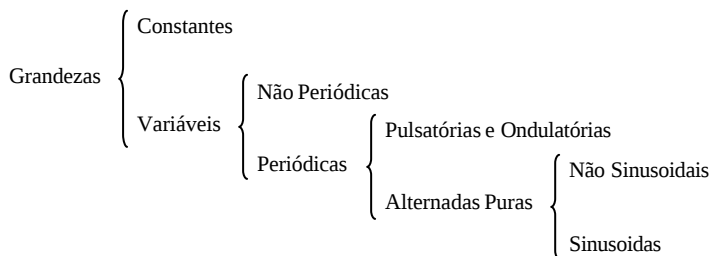
$$P = UI$$

$$P = UI \cos \phi$$



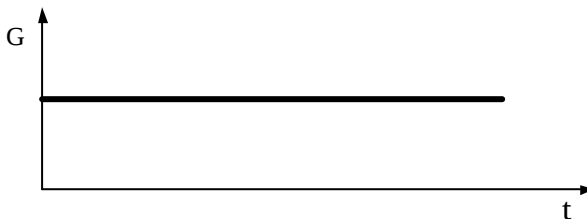
Grandezas Eléctricas

➤ Classificação das Grandezas Eléctricas



Grandezas Constantes

- Grandezas Constantes, tal como o nome indica, não variam ao longo do tempo. A sua polaridade e intensidade nunca se alteram. Portanto a sua representação é a seguinte:

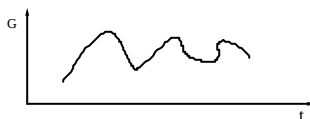




Grandezas Variáveis

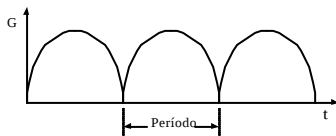
➤ Não Periódicas

- ⇒ Possuem valores diferentes de instante a instante, mas mantêm a polaridade

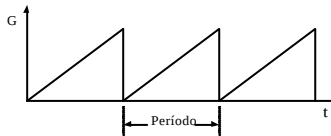


➤ Periódicas

- ⇒ Uma grandeza diz-se periódica, quando se verifica uma repetição da sua forma ciclicamente ao fim de **períodos** de tempo fixos e determinados.



Grandeza Ondulatória



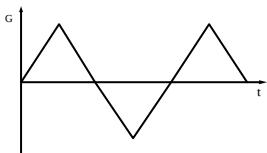
Grandeza em Dente de serra



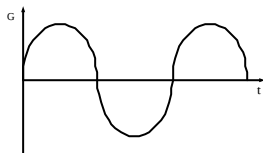
Grandezas Variáveis

➤ Periódicas Alternadas Puras

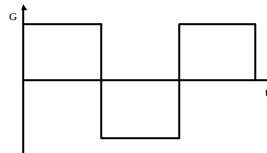
- ⇒ Estas distinguem-se das ondulatórias porque têm um valor médio nulo;
- ⇒ O conjunto de valores assumidos em cada um dos sentidos é designado de **alternância**, assim temos alternâncias positivas e alternâncias negativas;
- ⇒ Ao conjunto de duas alternâncias consecutivas chama-se **ciclo**.



Grandeza Alternada Triangular



Grandeza Alternada Sinusoidal

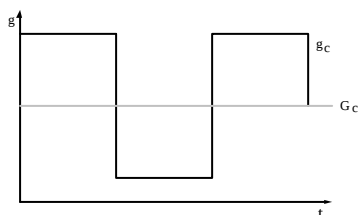


Grandeza Alternada Quadrada



Grandezas Variáveis

- O valor assumido, em cada instante, por uma grandeza é chamado de **Valor Instantâneo** e representa-se por uma letra minúscula.
- Vulgarmente, estes sinais vão adicionar-se a grandezas contínuas, assim a grandeza resultante é a sobreposição da **Componente Contínua** G_c com a **Componente Alternada** g_c .



$$g = G_c + g_c$$



Grandezas Variáveis

➤ Características

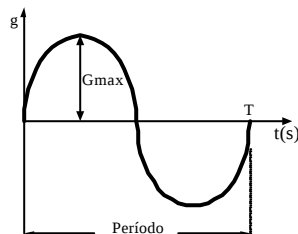
- ⇒ **Período:** É o tempo em que decorrem duas alternâncias consecutivas, ou seja, é o tempo gasto num ciclo. Representa-se por T e expressa-se em segundos.
- ⇒ **Frequência:** É o número de ciclos efectuados num segundo. Representa-se por f e a sua unidade é o Hz (Hertz).

$$1 \text{ ciclo} \rightarrow T_{\text{seg}} \Rightarrow f = \frac{1}{T}$$

$$f \text{ ciclos} \rightarrow 1 \text{ seg}$$

- ⇒ **Amplitude:** Valor instantâneo mais elevado atingido pela grandeza. Também se designa por valor máximo.

Ao valor entre o máximo positivo e o máximo negativo chama-se **Valor pico a pico**.





Grandezas Variáveis

⇒ **Valor Médio:** O valor médio de um sinal periódico $g(t)$ de período T representa o seu valor DC. É definido pela expressão:

$$G_o = \frac{1}{T} \int_0^T g(t) dt$$

⇒ **Valor Eficaz:** É o valor equivalente a uma grandeza DC que produz a mesma quantidade de energia durante o mesmo intervalo de tempo. É definido pela expressão:

$$G_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T g^2(t) dt}$$

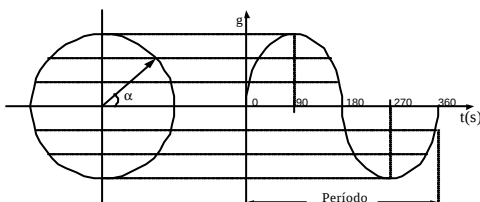
Tipo	Valor Médio	Valor Eficaz
Sinusoidal	0	$G_{max}/\sqrt{2}$
Ondulatória	G_{max}/π	$G_{max}/\sqrt{2}$
Rectangular	$G_{max} \cdot T_p / T$	$G_{max} \sqrt{D}$
Triangular	$G_{max}/4$	$G_{max}/\sqrt{3}$



Grandezas Alternadas Sinusoidais

➤ Representação Gráfica

⇒ Uma grandeza sinusoidal pode ser representada por um vector giratório, com módulo igual à amplitude e ângulo $\alpha = \omega t + \phi$. Onde ϕ é o ângulo que o vector forma com a origem da contagem dos ângulos no instante inicial. A este ângulo chama-se **fase**.



$$g = G_{max} \sin \alpha$$

$$g = G_{max} \sin(\omega t + \phi)$$

$$\omega = 2\pi f - \text{Velocidade angular}$$

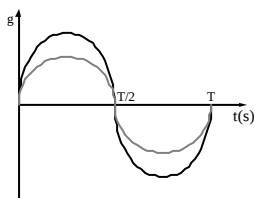


Grandezas Alternadas Sinusoidais

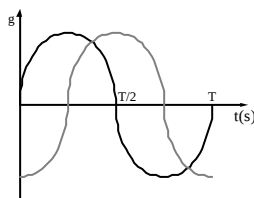
➤ Diferenças de fase

- ⇒ No instante $t=0$, o vector representativo da grandeza terá uma fase determinada, que poderá variar de grandeza para grandeza. A diferença de fase entre duas grandezas chama-se **desfasamento**.

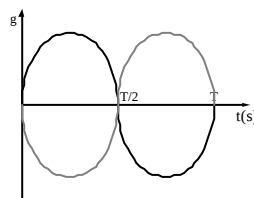
⇒ Casos Especiais:



Grandezas em fase



Grandezas em Quadratura

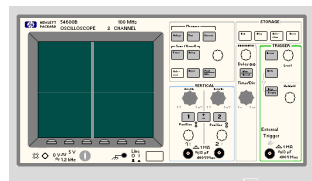


Grandezas em Oposição



Osciloscópio

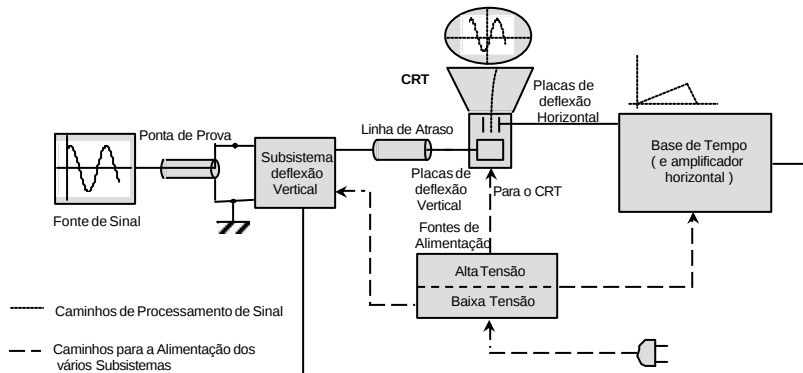
- O osciloscópio é um dos instrumentos mais versáteis que se usam em medidas electrónicas. Este mostra-nos as variações, no tempo, das tensões, como um gráfico em que o eixo horizontal é o dos tempos e o vertical é o das tensões.
- Um osciloscópio é constituído fundamentalmente pelos elementos seguintes:
 - ⇒ Tubo de raios catódicos, que é o elemento fundamental;
 - ⇒ Amplificador Vertical e horizontal;
 - ⇒ Duas alimentações contínuas, uma em alta tensão para os amplificadores e outra em muito alta tensão para o tubo de raios catódicos;
 - ⇒ Uma base de tempo ou gerador de varrimento horizontal.





Osciloscópio

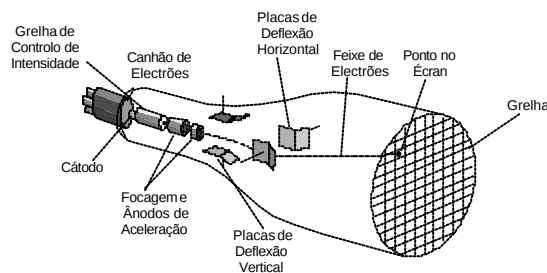
➤ Diagrama simplificado



Osciloscópio

➤ Tubo de raios catódicos

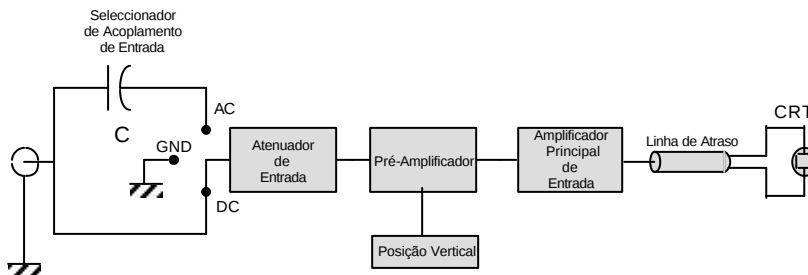
⇒ É o elemento responsável por produzir e comutar um feixe de electrões. O feixe será desviado de acordo com a tensão medida (depois de amplificada), representando -a no écran.





Osciloscópio

➤ Canal Vertical



Osciloscópio

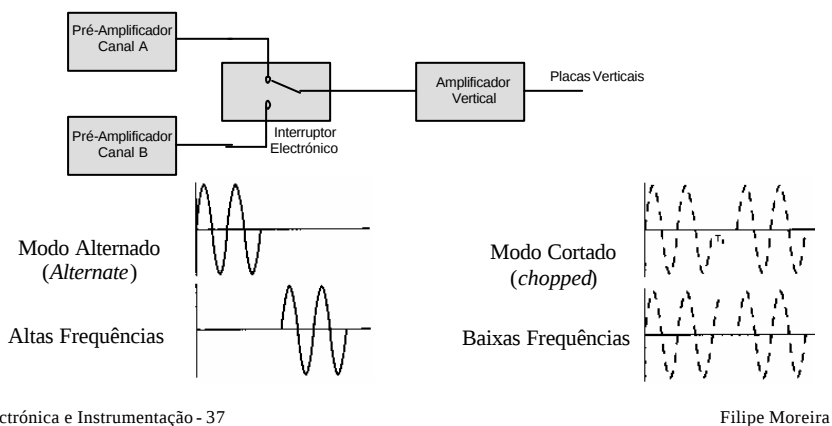
➤ Canal Vertical

- ⇒ O amplificador principal de entrada tem como função amplificar o sinal a analisar de modo a originar uma tensão suficiente nas placas deflectoras verticais para deflexão do feixe de electrões. Este amplificador é que determina a sensibilidade e a largura de banda de um osciloscópio.
- ⇒ O atenuador serve para ajustar a sensibilidade. A sensibilidade é geralmente expressa em Volt/Div (Volt por divisão) e pode ser seleccionada no painel frontal do osciloscópio.
- ⇒ O pré-amplificador permite somar ao sinal uma tensão, que será responsável pelo posicionamento vertical do feixe.
- ⇒ A largura de banda indica a banda de frequências que podem ser reproduzidas com fidelidade no écran do osciloscópio.



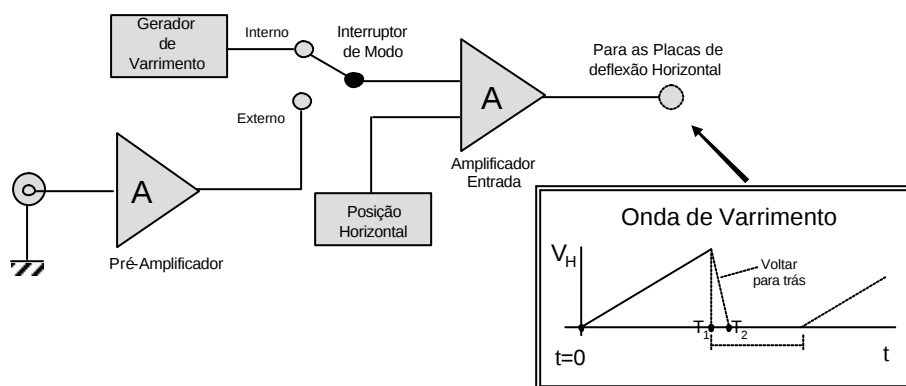
Osciloscópio

➤ Canal Vertical de Duplo Traço



Osciloscópio

➤ Base de tempo





Osciloscópio

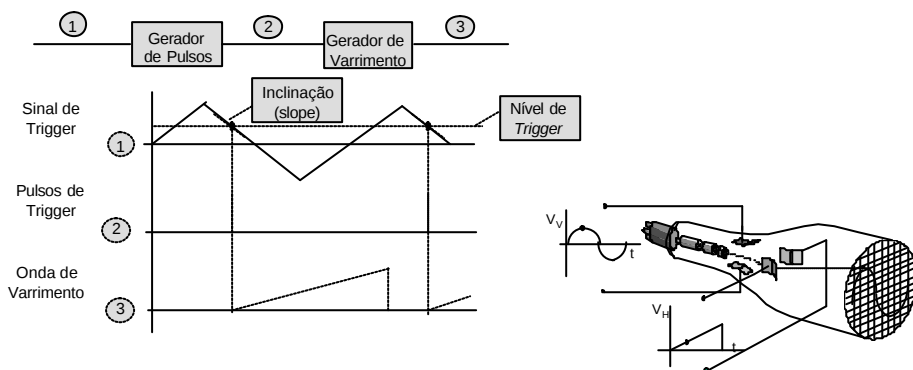
➤ Base de tempo

- ⇒ Gerador de varrimento é o responsável pela geração da onda dente de serra de varrimento. O período desta onda pode ser ajustado por actuação do comutador da base de tempo, definindo-se o tempo de varrimento de uma divisão horizontal da quadricula (Time/Div).
- ⇒ O amplificador de entrada tem como função amplificar o sinal de varrimento de modo a originar uma tensão suficiente nas placas deflectoras horizontais para deflexão do feixe de electrões.
- ⇒ No amplificador de entrada é somado ao sinal de varrimento uma tensão, que será responsável pelo posicionamento horizontal do feixe.
- ⇒ O pré-amplificador amplifica convenientemente o sinal de varrimento sempre que é utilizado um sinal externo ao osciloscópio.



Osciloscópio

➤ Trigger (Disparo)

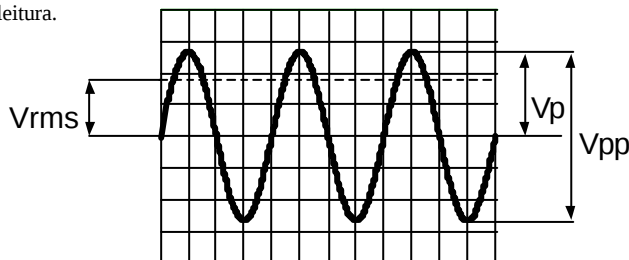




Osciloscópio

➤ Medida de tensão

- ⇒ O valor seleccionado no comutador do atenuador vertical indica o valor da tensão por quadrícula.
- ⇒ Se o acoplamento for AC o sinal é representado sem componente DC, caso contrario inclui a componente DC, que deve ser levada em consideração na leitura.



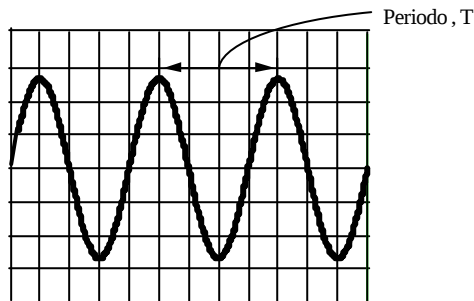
Osciloscópio

➤ Medida de tempos/frequência

- ⇒ O valor seleccionado no comutador da base de tempo indica o valor do tempo por quadrícula.
- ⇒ A medida da frequência é feita indirectamente a partir da leitura do período, devendo depois ser aplicada a relação já conhecida

$$f = 1/T$$

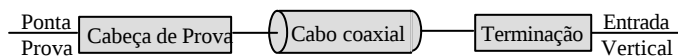
$$\omega = 2\pi f$$





Pontas de Prova

➤ Pontas de Prova Passivas



⇒ As pontas de prova de um osciloscópio podem ser de dois tipos:

- **Não Atenuadoras:** Esta ponta de prova é, fundamentalmente, constituída por um cabo coaxial de ligação de um ponto do circuito a testar ao aparelho de medida.
- **Atenuadoras:** Uma ponta de prova atenuadora é, fundamentalmente constituída por um cabo coaxial e por um circuito RC.

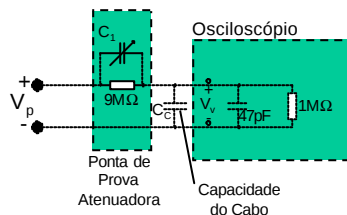


Pontas de Prova

➤ Pontas de Prova Atenuadoras

⇒ O cabo coaxial tem uma blindagem com que se procura reduzir a influência de interferências exteriores. Entre o conduto central e a blindagem exterior vai-se criar uma capacidade que conjuntamente com a capacidade de entrada do osciloscópio pode criar efeitos de carga importantes.

⇒ Nos casos em que a capacidade do cabo apresenta valores significativos é vantajoso recorrer-se a pontas de prova atenuadoras, que para além da atenuação, introduzem uma redução significativa do efeito de carga.





Pontas de Prova

➤ Vantagens das Pontas de Prova Atenuadoras

- ⇒ Atenuam o sinal, permitindo a medida ou a visualização de sinais de amplitude superior à máxima permitida pelo osciloscópio.
- ⇒ Se compensadas, a atenuação é independente da frequência;
- ⇒ A resistência de entrada introduzida pelo sistema de medida (ponta de prova + Osciloscópio) é aumentada, reduzindo o efeito de carga resistivo;
- ⇒ A capacidade de entrada do sistema de medida é diminuída.

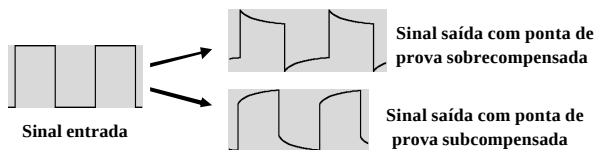
Nota Importante: não esquecer de tomar em consideração o valor da atenuação quando estiver a efectuar medidas.



Pontas de Prova

➤ Compensação

- ⇒ A capacidade de entrada do osciloscópio em conjunto com a do cabo coaxial tornam a atenuação dependente da frequência. O condensador C1 da figura anterior tem como objectivo compensar os efeitos dessas capacidades sobre o sinal a medir.
- ⇒ Quando a ponta de prova não está convenientemente calibrada tem-se:

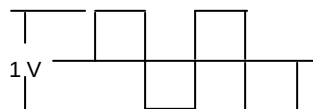




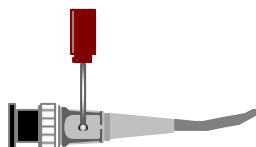
Pontas de Prova

➤ Compensação

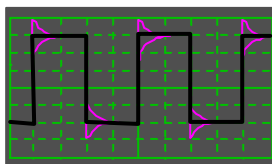
⇒ Muitos osciloscópios contêm um circuito de calibração com um sinal de referência do tipo:



⇒ Este sinal pode ser ligado á ponta de prova, e consequentemente visualizado no écran. Por ajuste de C1 calibra-se a ponta de prova, por forma a se obter um sinal sem distorção.



Electrónica e Instrumentação - 47



Filipe Moreira



Fontes de Tensão

➤ Fontes DC

⇒ As fontes DC existentes no laboratório em termos físicos são um modulo só, mas em termos eléctricos formam duas fontes independentes;

⇒ Existem fontes com as seguintes gamas de tensão:

- Fonte DC de valor +5V e -5V, fixos;
- Fonte DC de valor +15V e -15V, fixos;
- Fonte DC de valor +30V e -30V, variáveis;

⇒ As tensões estão acessíveis por intermédio de 3 terminais por fonte:

- Potencial Positivo; Massa; Potencial Negativo

Electrónica e Instrumentação - 48

Filipe Moreira



Fontes de Tensão

➤ Fontes DC

- ⇒ Com estas fontes é possível obter-se tensões de +10V ou -10V (+30V ou -30V, 60V ou -60V), se se tomar como referência o terminal de Potencial Negativo ou Potencial Positivo, respectivamente, em substituição do terminal de Massa.
- ⇒ Os terminais de saída **não devem em caso algum** ser curto-circuitados, sob pena de se danificar a fonte de sinal.
- ⇒ Todas as fontes têm um sistema de protecção, que consiste em um limitador de corrente, isto é, a corrente máxima que o circuito pode pedir à fonte tem um limite superior, tipicamente 2A. No caso das fontes variáveis também este limite de corrente pode ser ajustado entre o valor máximo e zero.



Fontes de Tensão

➤ Fontes AC/Geradores de Sinal

- ⇒ As fontes de tensão AC são conhecidas por geradores de sinal. Estes dispositivos são capazes de gerar tensões periódicas alternadas puras ou com componente DC.
- ⇒ Assim, para todos os tipos de sinal os geradores de sinal permitem definir:
 - Forma de Onda → Sinusoidal, Triangular e Rectangular;
 - Amplitude → 0V a 10V;
 - Frequência → 1Hz a ≈2MHz;
 - Componente DC → -12V a +12V.
- ⇒ As funções apresentadas anteriormente, devem ser vistas como funções de básicas, pois dependendo do fabricante poderão ser encontradas funções adicionais.