

Guia **RELIGRE** 18

PONTOS DE CALIBRAÇÃO



EM EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO



DA ÁREA ELÉCTRICA



Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal

Guia RELACRE 18

EDIÇÃO: NOVEMBRO 03

PONTOS DE CALIBRAÇÃO



EM EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO



DA ÁREA ELÉCTRICA



FICHA TÉCNICA

TÍTULO:

Guia RELACRE 18

PONTOS DE CALIBRAÇÃO EM

EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DA ÁREA

ELÉCTRICA

EDIÇÃO: RELACRE

DESIGN GRÁFICO: RELACRE

CAPA: Alda Rosa

DEPÓSITO LEGAL: 211844/04

ISBN: 972-8574-08-8

A presente edição foi elaborada pelo GRUPO DE TRABALHO GT02

“ÁREA ELÉCTRICA”

da COMISSÃO TÉCNICA RELACRE CTR04

“METROLOGIA”

O conteúdo é da responsabilidade dos que colaboraram na sua elaboração.

É intenção da RELACRE proceder à revisão deste documento sempre que se revele oportuno.

Colaboraram na elaboração da presente edição:

LIQ	Manuel Monteiro (<i>coordenador</i>)
ALCATEL	João Marcelino
ANACOM	Luís Corista
IEP	Paulo Cabral
INETI	Isabel Godinho
ISQ	José Medina
LABELEC	Luís Bernardo
PT INOVAÇÃO	Paulo João
TAP	Frederica Carvalho

Direitos de Autor protegidos segundo
legislação em vigor.

Proibida cópia total ou parcial sem
autorização escrita da RELACRE.

ÍNDICE

1. PREÂMBULO	1
2. CONSIDERANDOS	2
3. PONTES DE MEDIÇÃO RLC	3
3.1 CAMPO DE APLICAÇÃO	3
3.2 INTRODUÇÃO	3
3.3 DEFINIÇÃO DOS PONTOS A CALIBRAR	5
4. PINÇAS AMPERIMÉTRICAS	6
4.1 CAMPO DE APLICAÇÃO	6
4.2 INTRODUÇÃO	6
4.3 PARÂMETROS E PONTOS A CALIBRAR	11
5. EQUIPAMENTOS DE ENSAIO DE TENSÃO SUPPORTADA (FREQUENTEMENTE DESIGNADO POR ENSAIO DE RIGIDEZ DIELECTRICA)	12
5.1 CAMPO DE APLICAÇÃO	12
5.2 PARÂMETROS E PONTOS A CALIBRAR	12
6. VOLTÍMETROS	14
6.1 CAMPO DE APLICAÇÃO	14
6.2 PARÂMETROS E PONTOS A CALIBRAR	14
7. AMPERÍMETROS	15
7.1 CAMPO DE APLICAÇÃO	15
7.2 PARÂMETROS E PONTOS A CALIBRAR	15
8. OHMÍMETROS	16
8.1 CAMPO DE APLICAÇÃO	16
8.2 PARÂMETROS E PONTOS A CALIBRAR	16
9. ANALISADORES DE ESPECTROS	17
9.1 CAMPO DE APLICAÇÃO	17
9.2 INTRODUÇÃO	17
9.3 PARÂMETROS E PONTOS A CALIBRAR	18
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1. PREÂMBULO

Não é possível realizar calibrações numa infinidade de pontos possíveis num equipamento de medição. Há em cada caso a necessidade de limitar e seleccionar um número mínimo de pontos a calibrar que permita garantir, razoavelmente, a rastreabilidade do equipamento em todas as suas gamas e funções.

Tendo em vista a análise ao longo do tempo do comportamento do equipamento é recomendável manter, tanto quanto possível, os pontos de calibração.

Se o equipamento se destina a uma aplicação determinada em que são conhecidos os pontos de utilização, a calibração adequada será a efectuada nesses pontos, ficando, desta forma, o equipamento calibrado para aquela utilização específica.

A definição de um conjunto mínimo de pontos de calibração de um equipamento genérico deve ser suficientemente flexível para permitir a calibração de diferentes modelos. Uma sugestão de pontos de calibração pode por vezes ser obtida pelas instruções do fabricante, embora os pontos aí citados não o sejam, necessariamente, de forma exaustiva.

Neste documento pretende-se tratar os casos em que por ausência de outras indicações se pretende calibrar o equipamento, de uma forma genérica, nas funções de que dispõe.

O número de pontos de calibração sugeridos neste documento deve ser entendido como um limite mínimo. De qualquer modo, devem ser tidas em consideração quer as características do próprio equipamento quer as exigências e necessidades do utilizador. Por outro lado, é recomendável adaptar a sugestão dada de modo a incluir todos os pontos de calibração exigidos pelo fabricante e referidos no manual.

Na elaboração deste documento pretendeu-se estabelecer um conjunto mínimo de pontos para a calibração de alguns equipamentos de medição da área eléctrica, nomeadamente:

- Pontes de Medição RLC
- Pinças Amperimétricas
- Equipamentos de Ensaio de Tensão Suportada (frequentemente designado por ensaio de Rigidez Dieléctrica)
- Voltímetros
- Amperímetros
- Ohmímetros
- Analisadores de Espectros

2. CONSIDERANDOS

Para medições DC em tensão, corrente e resistência deverá ser efectuada uma operação prévia de correcção do valor de zero, sempre que esta função esteja disponível. No caso do equipamento não a possuir, a medição do valor de zero deve ser contemplada na lista de pontos de medição.

Na indicação dos pontos a calibrar estes são apresentados em percentagem do final de escala. A indicação de 10 % refere-se a um valor de início de escala. Na prática o valor pode ser inferior a 10 % e possivelmente zero para funções DC. O valor 90 % indica um valor final de escala. Numa escala com 5 pontos de medição o valor 90 % não deve ser considerado como inferior àquele; nos restantes casos pode significar efectivamente um valor de 50 % a 99 % do final de escala, excepto para valores de resistência onde, por razões de ordem prática, se assume poder representar valores de 30 % a 99 %.

3. PONTES DE MEDIÇÃO RLC

3.1 CAMPO DE APLICAÇÃO

Pontes de medição *RLC* com leitura digital utilizadas na medição de elementos passivos, tais como, resistência, capacidade e indutância.

3.2 INTRODUÇÃO

As pontes de medição *RLC* baseiam-se na medição da razão corrente/tensão AC. A compreensão matemática da influência destes parâmetros na medição é essencial para um metrologista e envolve conceitos como amplitude e fase de elementos de circuitos.

Na figura seguinte encontra-se representado um diagrama simplificado de um medidor digital *RLC*. Este equipamento permite a medição de indutância, resistência e capacidade. Neste exemplo, pretende-se medir um condensador de valor desconhecido C_x , e condutância G_x , ligado aos terminais de entrada do medidor. A medição das restantes quantidades pode inferir-se desta descrição.

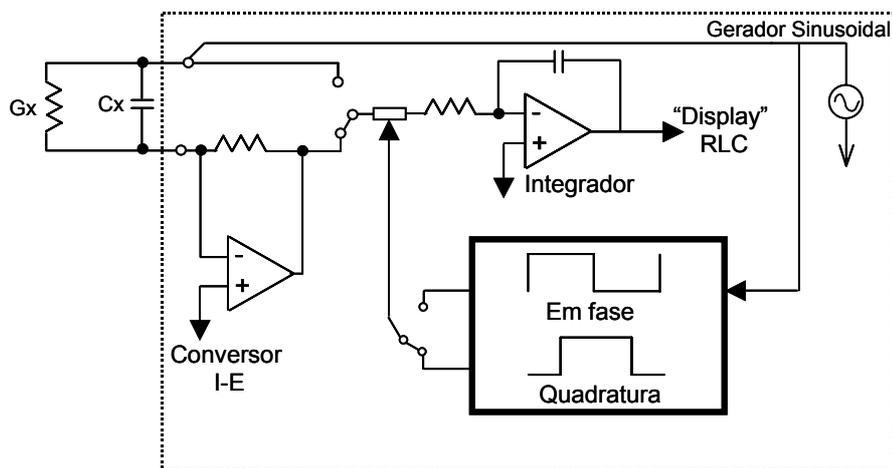


Figura 1 – Ponte Digital RLC

É aplicado um sinal de tensão sinusoidal aos terminais de C_x e G_x , provocando um fluxo de corrente AC entre estes e uma terra virtual associada ao terminal inversor de um amplificador operacional, utilizado como conversor *corrente – tensão* ($I - E$). A componente real da corrente flui através da condutância G_x e a componente imaginária flui através de C_x .

A corrente de realimentação da saída do conversor $I - E$ para o terminal inversor é o valor da fase invertida entre as duas correntes. A tensão de saída do conversor é dada pelo produto das duas correntes e da resistência de realimentação. Quer a tensão de saída do conversor quer a tensão de saída da fonte AC sinusoidal são comutadas para a entrada do integrador através de um comutador de fase. Este é aberto ou fechado por um sinal em fase ou em quadratura com a fonte AC. O sinal de saída do integrador é digitalizado por um conversor *analógico – digital* de modo a mostrar o correspondente valor de leitura.

Para a medição de C_x é aplicada a saída do conversor $I - E$ ao integrador enquanto um sinal em quadratura abre a porta da fase. Por outro lado, a corrente que flui no condensador C_x passa através de um quarto de ciclo positivo e negativo quando a porta se mantém aberta. Quando um ciclo de carga de integração se completa, o valor da tensão DC no condensador de realimentação do integrador é proporcional a $-E \omega C_x T_1$, sendo E o valor de tensão AC e T_1 o período de integração.

O ciclo completo de carga/descarga é expresso pela seguinte relação:

$$-E \omega C_x T_1 = E T_2$$

sendo T_2 o período de descarga do condensador.

O valor de C_x é então dado por:

$$C_x = -T_2 / \omega T_1$$

3.2.4 Equipamentos Recomendados na Calibração

São sugeridos os seguintes equipamentos que possibilitam uma calibração típica de pontes *RLC*:

- Resistências, Indutâncias e Condensadores Padrão;
- Voltímetro Digital;
- Contador de frequência.

Todos estes equipamentos deverão possuir exactidão superior à da ponte que se pretende calibrar e evidenciar rastreabilidade.

3.3 DEFINIÇÃO DOS PONTOS A CALIBRAR

Devem ser verificadas as condições básicas de funcionamento, efectuar o ajuste do zero e as compensações de curto-circuito e circuito aberto.

Gamas	Pontos de medição	
	N.º	Valores

Resistência

Mais baixa (ou Intermédia)	3	10 %, 50 %, 90 %	*
Restantes	1	90 %	*

Capacidade

Mais baixa (ou Intermédia)	3	10 %, 50 %, 90 %	*
Restantes	1	90 %	*

Em complemento deverão ainda ser objecto de medição os seguintes parâmetros auxiliares:

Gamas	Pontos de medição	
	N.º	Valores

Tensão de saída da fonte interna

Todas	3	10 %, 50 %, 90 %	*
-------	---	------------------	---

Frequência dos sinais gerados

Todas	3	10 %, 50 %, 90 %	
-------	---	------------------	--

* A calibração deverá ser efectuada a um ou mais valores de frequência de teste considerados mais relevantes para o equipamento em si, por exemplo, 120 Hz, 1 kHz e 10 kHz.

4. PINÇAS AMPERIMÉTRICAS

4.1 CAMPO DE APLICAÇÃO

No presente documento, consideram-se abrangidos sob a designação de “pinças amperimétricas” apenas os instrumentos de medição eléctricos em que a mensuranda é a grandeza corrente (contínua e/ou alternada), sendo esta invariavelmente medida por um dos métodos que não implica a interrupção do circuito.

Poderão estar comercialmente disponíveis instrumentos comportando a medição de outras grandezas, (tensão contínua e alternada e resistência) mas que não serão consideradas no presente documento.

4.2 INTRODUÇÃO

4.2.1 Métodos para medição de correntes elevadas.

Os instrumentos para medição directa de corrente eléctrica, genericamente designados por amperímetros, estão limitados na sua gama de medição devido aos efeitos térmicos provocados pela corrente que os percorre (efeito de Joule). Com efeito, não é viável a construção de amperímetros capazes de suportar correntes superiores a poucas dezenas de amperes, uma vez que o aquecimento provocado por essas correntes iria ter implicações a dois níveis: por um lado, o aquecimento provocado iria afectar os circuitos do instrumento de forma muito significativa; por outro lado, as elevadas secções requeridas para os condutores e ligadores implicariam dimensões exageradas do próprio equipamento.

Para obviar a tais inconvenientes, de há largos anos que é prática usual a utilização dos seguintes dispositivos, que mais não são do que transdutores que convertem as correntes a medir noutra grandeza (uma corrente de amplitude inferior à mensuranda, ou uma tensão), essa sim passível de medição directa com instrumentos “vulgares”:

- *Shunts*, ou resistências de muito baixo valor óhmico – convertem uma corrente (contínua, habitualmente) numa força electromotriz;
- Transformadores de intensidade – convertem correntes (alternadas, em regime estacionário; podem atingir valores nominais de largos quiloampères nos primários) em correntes mais reduzidas; os secundários têm geralmente valores nominais de 1 A ou 5 A.
- Anéis de Rogowsky – de utilização semelhante aos transformadores de intensidade, podem medir correntes alternadas ou contínuas, em regimes estacionários ou transitórios, sendo por isso usados em bancos de ensaio de correntes elevadas (ensaio de poder de corte, ou de curto-circuito). Convertem correntes em forças electromotrices; podem ser abertos para abraçar os circuitos, sem necessidade de interrupção destes.
- Pinças amperimétricas – dos vários tipos de transdutores aqui citados, as pinças são, de longe, os que apresentam mais fracas características metrológicas, embora sejam também os de custo mais reduzido.

4.2.2 Apresentação sumária das “pinças amperimétricas”

As pinças amperimétricas são dispositivos portáteis de baixa exactidão, utilizadas frequentemente por técnicos que efectuam instalações eléctricas e manutenção de equipamentos industriais. Apesar das suas fracas características metrológicas (ao nível da exactidão), estes instrumentos apresentam a grande vantagem de não implicarem a interrupção dos circuitos nos quais se pretende efectuar a medição da corrente eléctrica.

Encontram-se vulgarmente no mercado sob duas formas distintas:

- Pinça amperimétrica “monobloco”, isto é, no mesmo instrumento situa-se o elemento transdutor e o dispositivo indicador; são talvez as mais vulgarizadas, quer pelo seu baixo custo, quer pela simplicidade do seu manuseamento.
- Transdutor de corrente independente, que necessita de ser ligado a um instrumento indicador, geralmente um multímetro, no qual são feitas as medições da corrente.

Em qualquer destes dois casos, os elementos transdutores de corrente podem pertencer a duas “famílias” distintas:

- Transformador de corrente, funcionando com base no princípio da indução electromagnética. Foi durante largos anos o único tipo de pinça amperimétrica disponível. Apenas permite a medição de correntes alternadas. Consiste, basicamente, num

transformador de intensidade (TI), em que o primário é o circuito onde está a passar a corrente a medir; a sua principal diferença em relação aos TI convencionais é o facto de o núcleo magnético ser interrompido num ponto, de forma a poder abraçar um circuito; devido a este pormenor, o entreferro assim criado aumenta substancialmente os erros que poderão existir na medição das correntes.

- Transdutor de efeito Hall¹. Trata-se de um dispositivo que gera uma força electromotriz (f.e.m.) quando na presença de uma corrente eléctrica. Pode ser utilizado indistintamente com corrente alternada e com corrente contínua; é também utilizado para a construção de pontas de prova de corrente para ligar a osciloscópios.

4.2.3 Calibração de pinças amperimétricas

Para proceder à calibração de instrumentos para medição de correntes elevadas, existem basicamente dois métodos distintos:

- Geração de correntes elevadas, que irão ser medidas quer pela pinça a calibrar quer por um sistema de padrões (por exemplo: amperímetro associado a um TI de elevada exactidão, em corrente alternada; voltímetro associado a um *shunt*, em corrente contínua).

Este método é seguido na calibração de TI e de *shunts*, dado ser o que assegura maior rigor na medição das correntes.

Trata-se de um método um pouco difícil de pôr em prática e consideravelmente dispendioso, devido às características requeridas para os diversos elementos a incluir na montagem; para além disso, a disponibilidade comercial de fontes de corrente elevada com estabilidade adequadas a este método é muito escassa, particularmente em corrente alternada.

Existem relativamente poucos laboratórios que disponham de condições para o pôr em prática.

- Simulação de correntes elevadas através do emprego de bobinas percorridas por uma corrente relativamente reduzida (tipicamente, os calibradores multifunções usados em laboratórios de calibração podem gerar correntes até cerca de 10 A).

❖ ¹ Atenção! Não confundir com o “efeito quântico de Hall”, que é utilizado em muitos laboratórios metrológicos primários para a realização do ohm, seguindo as recomendações do BIPM-CCE.

- Trata-se, neste caso, de “enganar” a pinça a calibrar, fazendo a multiplicação da corrente pelo número de espiras da bobina; como o que a pinça “vê”, de facto, são os efeitos magnéticos da corrente eléctrica, o “padrão” será aqui, efectivamente, a força magnetomotriz (f.m.m.) F , que é dada por $F = N \cdot I$, sendo I a corrente no circuito e N o número de espiras em que essa corrente está a passar. Apesar da unidade SI da f.m.m. ser o ampere, é usual distinguir-se esta grandeza da corrente, exprimindo aquela em amperes-espiras (A·e).

4.2.4 Justificação teórica do emprego de múltiplas espiras

Partindo da forma mais geral da lei de Ampère,

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$$

que relaciona a intensidade do campo magnético, \vec{H} , com o percurso l percorrido pela corrente I , vê-se que se um dado percurso “abraçar” N vezes a corrente I , o segundo membro da expressão virá igual a

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = N \cdot I$$

Esta última expressão é utilizada para definir a grandeza força magnetomotriz F , do seguinte modo:

$$F = N \cdot I = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l}$$

4.2.5 Possíveis fontes de erro

As expressões anteriormente deduzidas são teoricamente correctas. Todavia, a implementação prática de um método baseado neste princípio irá implicar alguns erros, a saber:

- O campo magnético não é exactamente zero fora da bobina com N espiras;
- A bobina não é rigorosamente simétrica;
- O posicionamento da pinça a calibrar dificilmente será feito, em rigor, no centro geométrico da bobina;
- Existem efeitos de influência da própria pinça sobre o campo magnético criado pela corrente.

Apesar destes possíveis erros, a prática mostra que se trata de um método válido, sendo por isso generalizadamente empregue pelos laboratórios que efectuem a calibração de correntes eléctricas.

4.3 PARÂMETROS E PONTOS A CALIBRAR

Atendendo à arquitectura característica das pinças amperimétricas, considera-se aqui um conjunto mínimo de ensaios a efectuar, procurando assegurar uma adequada confiança nos resultados obtidos, sem onerar exageradamente o utilizador do serviço de calibração.

Os três aspectos a considerar deverão ser:

- Linearidade da escala do instrumento, que é comum a todas as funções e escalas. Calibrar no mínimo 3 pontos de corrente, para além do “zero”.
- Relação entre as diversas escalas do instrumento. Calibrar no mínimo 1 ponto por escala, o mais próximo possível do fim da escala.
- Resposta em frequência, no caso de corrente alternada. Este ensaio poderá ser ou não justificável, tendo em conta as especificações do instrumento em causa, bem como o uso que dele irá ser feito. Nos casos em que tal se justifique, deverá ser feita a calibração de um mesmo valor de corrente a diversas frequências de ensaio, dentro dos limites especificados pelo fabricante da pinça.

Corrente Contínua

Gamas	Pontos de medição	
	N.º	Valores
Mais baixa (ou Intermédia)	3	10 %, 50 %, 90 %
Restantes	1	90 %

Corrente Alternada

Gamas	Pontos de medição		
	N.º	Valores e Frequências	
Mais baixa (ou Intermédia)	3 - 5	10 %, 50 %, 90 %	50 Hz, 400 Hz ⁽¹⁾ , 1 kHz ⁽¹⁾
Restantes	1	90 %	50 Hz, 400 Hz ⁽¹⁾ , 1 kHz ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Se requerido para a pinça em causa. Valores de frequência exemplificativos.

5. EQUIPAMENTOS DE ENSAIO DE TENSÃO SUPORTADA (FREQUENTEMENTE DESIGNADO POR ENSAIO DE RIGIDEZ DIELECTRICA)

5.1 CAMPO DE APLICAÇÃO

São abrangidos pelo presente documento Equipamentos de Ensaio de Rigidez Dielétrica com ou sem indicadores e com ou sem capacidade de corte da tensão aplicada, sempre que a corrente de saída ultrapasse um valor pré-ajustado. Tanto o módulo gerador de “alta tensão” como o comparador de corrente poderão ter uma ou várias escalas.

Estes equipamentos destinam-se a avaliar a tensão suportada servindo-se da medição da corrente de defeito para essa avaliação.

5.2 PARÂMETROS E PONTOS A CALIBRAR

Se o equipamento possuir indicadores de tensão e/ou corrente, dever-se-á proceder ao ajuste do zero destes.

Se o equipamento possuir sinalização sonora e/ou visual, deverá ser verificado o seu correcto funcionamento.

Quando existe um limitador de corrente, verificar que a tensão de saída é desligada quando a corrente ultrapassa o valor de comparação.

5.2.4 Tensão de Ensaio

Sempre que o equipamento possuir um ou mais valores de tensão fixos ou caso se conheçam os pontos de utilização, a calibração far-se-á nesse(s) valor(es). Caso contrário, efectuar a calibração nos valores seguintes:

Gammas	Pontos de medição	
	N.º	Valores
Mais baixa (ou Intermédia)	3	10 %, 50 %, 90 %
Restantes	1	90 %

Pode ainda ser objecto de medição o valor da tensão aos terminais do equipamento para uma determinada corrente de carga especificada.

5.2.5 Corrente de Disparo

O resultado da medição é obtido imediatamente antes do corte de corrente.

Se o equipamento possuir um ou mais valores de corrente de comparação fixos ou caso se conheçam os pontos de utilização, a calibração far-se-á nesse(s) valor(es).

Caso contrário, efectuar a calibração nos valores seguintes:

Gamas	Pontos de medição	
	N.º	Valores
Mais baixa (ou Intermédia)	3	10 %, 50 %, 90 %
Restantes	1	90 %

6. VOLTÍMETROS

6.1 CAMPO DE APLICAÇÃO

Voltímetros DC ou AC, analógicos ou digitais até 4 ½ dígitos, para Baixas Frequências (até 1 MHz), nos quais se incluem os equipamentos multifunção a utilizar exclusivamente como voltímetro, os nanovoltímetros e os kilovoltímetros.

6.2 PARÂMETROS E PONTOS A CALIBRAR

Voltímetros DC

Gamas	Pontos de medição	
	N.º	Valores
Mais Baixa (ou Intermédia)	5-7	10 %, 30 % ⁽¹⁾ , 50 %, 70 % ⁽¹⁾ , 90 %, -10 %, -90 %
Restantes	3	10 %, 90 %, -90 %

Voltímetros AC

Gamas	Pontos de medição		
	N.º	Valores e Frequências ⁽²⁾	
Com valor inferior a 0,5 V	4	10 %, 90 %	50 Hz, 1 kHz
Com valor superior a 200 V	4	10 %, 90 %	50 Hz, 1 kHz
Uma (intermédia)	6	10 %, 50 % 90 %	50 Hz ou 1 kHz 50 Hz e 1, 20, 100 kHz
Restantes	2-6	10 % ⁽¹⁾ , 90 %	50 Hz, 1 kHz, 20 kHz ⁽¹⁾

Notas:

⁽¹⁾ Valores aplicáveis apenas a instrumentos de resolução igual 4 ½ dígitos

⁽²⁾ Para instrumentos unicamente utilizados à frequência industrial (50 Hz em Portugal) poderão ser considerados os pontos a esta frequência. Para instrumentos alimentados pela rede eléctrica, recomenda-se a substituição do valor de 50 Hz por outro próximo mas diferente (por exemplo 40 Hz a 60 Hz) para evitar fenómenos de batimentos entre a frequência da alimentação do instrumento a calibrar e a frequência do sinal gerado pelo padrão.

7. AMPERÍMETROS

7.1 CAMPO DE APLICAÇÃO

Amperímetros AC ou DC, analógicos ou digitais até 4 ½ dígitos, nos quais se incluem os equipamentos multifunção a utilizar exclusivamente como amperímetro, os picoamperímetros, os nanoamperímetros e os microamperímetros.

7.2 PARÂMETROS E PONTOS A CALIBRAR

Amperímetros DC

Gamas	Pontos de medição	
	N.º	Valores
Mais baixa (ou Intermédia)	5-7	10 %, 30 % ⁽¹⁾ , 50 %, 70 % ⁽¹⁾ , 90 %, -10 %, -90 %
Restantes	3	10 %, 90 %, -90 %

Amperímetros AC

Gamas	Pontos de medição		
	N.º	Valores e Frequências ⁽²⁾	
Mais baixa (ou Intermédia)	4	10%, 50% 90%	50Hz ou 1kHz 50Hz, 1kHz
Mais alta	4	10%, 90%	50Hz, 1kHz
Restantes	2-4	10% ⁽¹⁾ , 90%	50Hz, 1kHz

⁽¹⁾ Valores aplicáveis apenas a instrumentos de resolução igual 4 ½ dígitos

⁽²⁾ Para instrumentos unicamente utilizados à frequência industrial (50 Hz em Portugal) poderão apenas ser considerados os pontos a esta frequência. Para instrumentos alimentados pela rede eléctrica, recomenda-se a substituição do valor de 50 Hz por outro próximo mas diferente (por exemplo 40 Hz a 60 Hz) para evitar fenómenos de batimentos entre a frequência da alimentação do instrumento a calibrar e a frequência do sinal gerado pelo padrão.

8. OHMÍMETROS

8.1 CAMPO DE APLICAÇÃO

Ohmímetros, analógicos ou digitais até 5 ½ dígitos, nos quais se incluem os miliohmímetros, megaohmímetros, telurímetros (medidores de resistência de terra), ou equipamentos multifunção a utilizar exclusivamente como ohmímetro.

8.2 PARÂMETROS E PONTOS A CALIBRAR

Instrumentos de resolução não superior a 4 ½ dígitos

Gamas	Pontos de medição	
	N.º	Valores
Mais baixa (ou Intermédia)	3-5	10%, 30% ⁽¹⁾ , 50%, 70% ⁽¹⁾ , 90%
Restantes	2	10%, 90%

⁽¹⁾ Valores aplicáveis apenas a instrumentos de resolução igual a 4 ½ dígitos

No caso do ohmímetro possuir mais de uma função de medição, por exemplo a 2 e a 4 fios, a calibração deverá ser efectuada em todas essas funções, aplicando as regras acima a uma das funções e considerando as gamas da(s) outra(s) função(ões) como extensões da primeira função.

No caso dos miliohmímetros, repetir um dos pontos calibrados às várias correntes utilizadas pelo instrumento.

No caso dos megaohmímetros, repetir um dos pontos calibrados às várias tensões permitidas pelo instrumento e efectuar a medição dos diferentes valores de tensão utilizados pelo equipamento. Pode ainda ser objecto de medição o valor da tensão de saída para o valor de resistência mínima a medir com o equipamento.

9. ANALISADORES DE ESPECTROS

9.1 CAMPO DE APLICAÇÃO

Analísadores de Espectros em que a medição é feita no domínio da frequência até 2,9 GHz.

9.2 INTRODUÇÃO

Um Analísador de Espectros (A.E.) é um equipamento de medição capaz de analisar um sinal eléctrico permitindo obter a representação desse sinal no domínio da frequência. Tal como os osciloscópios, os analisadores de espectros apresentam medidas bidimensionais, representadas num sistema de eixos, vertical e horizontal. A diferença em relação aos osciloscópios é que o eixo horizontal do A.E. representa a frequência em vez do tempo. No eixo vertical continua a representar-se a tensão, embora no A.E. seja mais comum a utilização de uma escala logarítmica. À representação do sinal no domínio da frequência dá-se o nome de espectro do sinal.

Nos A.E. convencionais as medições são feitas no domínio da frequência. Existem, no entanto, outros analisadores de espectros que efectuam as medições no domínio do tempo e obtêm o espectro do sinal através do processamento matemático conhecido por FFT (*Fast Fourier Transform*). Neste documento ao referir-se A.E. estão-se a considerar os A.E. convencionais.

Estes A.E. medem a “energia” do sinal a “uma” frequência de cada vez (cada frequência considerada toma a designação de componente). O espectro é produzido fazendo-se variar a frequência a medir, desde um valor inicial até um valor final. Na base da implementação deste método de medição está um filtro passa-banda que, para o efeito, se comporta como um filtro sintonizável. Desta forma, e em rigor, cada componente não representa uma frequência f_0 mas uma banda de frequências $f_0 \pm \Delta f$, em que $2\Delta f$ é a largura de banda do filtro “sintonizável”. Esta largura de banda determina a resolução do A.E. e define um parâmetro conhecido por Largura de Banda de Resolução (*Resolution Bandwidth*). De notar que usualmente um mesmo A.E. possui mais de um filtro, tornando possível efectuar a aquisição do espectro do sinal a várias resoluções.

Outro parâmetro importante é o nível de ruído. O ruído é um sinal eléctrico com a sua energia distribuída por todas as frequências. Assim, o seu espectro sobrepõe-se ao espectro do sinal sendo, portanto, uma fonte de erro da medição. Normalmente o nível de ruído tem um valor baixo.

Compreende-se assim, que a medição de sinais de nível alto seja pouco afectada, mas que a exactidão da medição de sinais de nível baixo possa ser bastante afectada. Desta forma, a escolha do filtro também afecta a exactidão do nível medido, pois o nível de ruído que é medido é tanto maior quanto maior for a largura de banda do filtro. Contudo, a utilização de filtros de banda muito estreita torna a medição menos “imune” à instabilidade da frequência do sinal.

9.3 PARÂMETROS E PONTOS A CALIBRAR

FREQUÊNCIA DE REFERÊNCIA, 10 MHz

A medição deste parâmetro afere a especificação do Tempo de Estabilização Térmica (*Warm-up*) do oscilador de referência.

A medição é feita por um frequencímetro ligado à saída do sinal de referência do A.E.

Deve assegurar-se que o A.E. esteve desligado por um período mínimo de 1 hora, antes de iniciar a medição. O equipamento é então ligado e é feita a medição ao fim do tempo de *Warm-up*. Adicionalmente pode ser caracterizada a constante de tempo de *Warm-up*.

EXACTIDÃO DO NÍVEL DO CALIBRADOR

Esta medição é feita usando um medidor de potência com um sensor de potência adequado ao nível e frequência do sinal (valores usuais: -10 dBm e 300 MHz).

NÍVEL DE RUÍDO

O nível de ruído é determinado a partir da medição de nível feita pelo A.E. quando terminado com uma carga de 50 Ω . Deve ser dado em relação ao nível do sinal do calibrador (-10 dBm). Assim, um passo prévio será a medição do nível do calibrador, ligando a saída deste à entrada do A.E. A configuração a utilizar deve ser:

Frequência central:	300 MHz
Varrimento (<i>Span</i>):	100 Hz
Largura de Banda de Resolução (<i>Resolution Bandwidth</i>):	10 Hz
Largura de Banda de Vídeo (<i>Video Bandwidth</i>):	1 Hz
Nível de Referência:	-10 dBm

Após efectuar a medição deve ajustar-se o nível de referência do A.E. para o valor correspondente à frequência com valor máximo.

Efectuar, agora, as medições do nível de ruído de acordo com a tabela seguinte, desligando a entrada do A.E. da saída do calibrador e ligando a carga de 50 Ω .

Frequência central	<i>Span</i>	Frequência de medição
150 Hz	375 Hz	30 Hz, 100 Hz
1 kHz	375 Hz	1 kHz
10 kHz	375 Hz	10 kHz
100 kHz	375 Hz	100 kHz
1 MHz	100 kHz	1 MHz
10 MHz	100 kHz	10 MHz

Para a banda de 10 MHz a 2,9 GHz, efectuar um varrimento seleccionando:

Frequência inicial: 10 MHz

Frequência final: 2,9 GHz

Resolution Bandwidth: 1 MHz

Video Bandwidth: 10 kHz

Nesta banda, medir a frequência do nível mais elevado, f_m , e de seguida medir o nível de ruído seleccionando:

Frequência central: igual à que foi medida anteriormente, f_m

Span: 1170 Hz

Resolution Bandwidth: 1 Hz

Video Bandwidth: 1 Hz

EXACTIDÃO DA LARGURA DE BANDA DE RESOLUÇÃO (*Resolution Bandwidth Accuracy*)

Para a medição deste parâmetro usa-se um sintetizador sincronizado com o A.E. Configura-se o A.E. para um varrimento igual ao dobro da *Resolution Bandwidth* a medir. Para frequência central escolhe-se os 40 MHz. A configuração a utilizar deve ser:

Frequência central:	40 MHz
<i>Span</i> :	dobro da <i>Resolution Bandwidth</i>
<i>Video Bandwidth</i> :	300 Hz

No sintetizador seleccionar, também, a frequência de 40 MHz. O nível do sinal deve ser tal que no A.E. este apareça duas a três quadrículas abaixo do nível máximo.

A medição deve ser feita para todas as possibilidades de configuração da *Resolution Bandwidth*.

Mede-se, agora, no A.E. o nível do sinal e toma-se este valor para referência: 0 dB. Faz-se variar a frequência do sinal, no sentido descendente até que o nível medido no A.E. baixe 3 dB. Anota-se a medição em frequência obtida no A.E. Volta-se a colocar a frequência do sinal nos 40 MHz e faz-se variar a frequência do sinal no sentido ascendente até que o nível medido no A.E. baixe 3 dB. Anota-se, novamente, a medição em frequência obtida no A.E. A medição é obtida fazendo a diferença das duas frequências obtidas anteriormente.

FIDELIDADE DE ESCALA (*Scale Fidelity*)

Este parâmetro deve ser aferido, quando aplicável, nas escalas lineares e nas escalas logarítmicas. Os padrões a usar são um sintetizador sincronizado com o A.E. e atenuadores VHF variáveis. Pode fazer-se variar a frequência do sinal gerado e a *Resolution Bandwidth* de medição. A situação mais comum é fazer o ensaio a uma frequência e seleccionar dois valores para a *Resolution Bandwidth*, um abaixo de 100 Hz e outro acima de 300 Hz.

O ensaio deve ser efectuado em pelo menos duas gamas (10 dB/DIV e 2 dB/DIV) na escala logarítmica e uma na escala linear.

A medição é feita estabelecendo-se um nível de referência que irá corresponder a 0 dB (usualmente este nível é 0 dBm). De seguida é escolhido um valor de atenuação incremental por forma a que seja pelo menos quatro vezes a componente de incerteza devida á resolução da

medição. Procede-se, agora, às medições fazendo variar o nível do gerador, de metade do valor da atenuação incremental em cada passo, obtendo-se uma sucessão de leituras. O valor medido, chamado “Erro Incremental”, é dado em dB/dB e é dado (a partir da terceira leitura, $n=3$) por:

$$\text{Erro Incremental} = \frac{(\text{leitura}_n - \text{leitura}_{n-2} + \text{Atenuação Incremental})}{\text{Atenuação Incremental}}$$

Na escala linear, usar a mesma fórmula, convertendo os valores das leituras para dBm (caso o A.E. não o faça automaticamente).

EXACTIDÃO EM FREQUÊNCIA (*Frequency Readout Accuracy*)

Este ensaio é feito aplicando um sinal sinusoidal gerado por um sintetizador sincronizado com a base de tempos padrão. Usualmente este ensaio é efectuado a uma frequência fixa, fazendo-se variar o *Span* seleccionado para a medição.

Como exemplo apresentam-se os seguintes valores:

Frequência: 1,5 GHz

Span: 1MHz, 10 MHz, 20 MHz, 50 MHz, 100 MHz, e 1 GHz.

De salientar que a escolha destes valores depende do modelo do A.E. em causa.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Vocabulário Internacional de Metrologia”, IPQ, 2ª edição, 1996.
- [2] EA-10/15 – “EA Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters”
- [3] Exigences Specifiques de la CPA Electricite – Magnetisme – Annexe A “Programmes minima”
- [4] “Calibration: Philosophy in Practice”, Fluke, Second edition, 1994
- [5] “Operating and Service Manual – Digital LCR Meter”, Hewlett Packard, Manual Part. n° 04262-90003.
- [6] “HP 8560 E-Series Calibration Guide”, Hewlett Packard, Manual Part. n° 5961-0492, 1993.
- [7] M. A. Plonus – *Applied electromagnetics*, McGraw-Hill, 1978
- [8] L. A. Bessonov – *Electricidade aplicada para engenheiros*, Lopes da Silva Editora, 1977
- [9] R. A. Witte – *Electronic test instruments*, Prentice-Hall, 1993

Últimos guias publicados

- 1** CALIBRAÇÃO DE MATERIAL VOLUMÉTRICO
1995; ISBN 972 - 96727 - 0 - 9
- 2** AUDITORIAS INTERNAS DE LABORATÓRIOS QUÍMICOS
1995; ISBN 972 - 96727 - 1 - 7
- 3** VALIDAÇÃO DE RESULTADOS EM LABORATÓRIOS QUÍMICOS
1996; ISBN 972 - 96727 - 2 - 5
- 4** DETERMINAÇÃO DA MELHOR INCERTEZA DE MEDIÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DE FORÇAS
1996; ISBN 972 - 96727 - 3 - 3
- 5** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE FORÇAS
1996; ISBN 972 - 96727 - 4 - 1
- 6** ACREDITAÇÃO DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS MICROBIOLÓGICOS
1996; ISBN 972 - 96727 - 5 - X
- 7** ENSAIOS INTERLABORATORIAIS EM QUÍMICA
1996; ISBN 972 - 96727 - 6 - 8
- 8** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DA CALIBRAÇÃO DE MASSAS
1997; ISBN 972 - 96727 - 7 - 6
- 9** ALGUNS EXEMPLOS DE CARTAS DE CONTROLO EM LABORATÓRIOS DE ANÁLISE QUÍMICA
1998; ISBN 972 - 96727 - 8 - 4
- 10** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DE MEDIÇÃO NA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO NA ÁREA ELÉCTRICA
1999; ISBN 972 - 96727 - 9 - 2
- 10** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DE MEDIÇÃO NA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO NA ÁREA ELÉCTRICA VOLUME II
1999; ISBN 972 - 96727 - 9 - 2
- 11** ELABORAÇÃO DO MANUAL DA QUALIDADE DE LABORATÓRIOS
1999; ISBN 972 - 8574 - 00 - 2
- 12** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DE VERIFICAÇÃO DE MÁQUINAS DE ENSAIO DE TRACÇÃO OU COMPRESSÃO
1999; ISBN 972 - 8574 - 01 - 0
- 13** VALIDAÇÃO DE MÉTODOS INTERNOS DE ENSAIO EM ANÁLISE QUÍMICA
2000; ISBN 972 - 8574 - 02 - 9
- 14** QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO DOS LABORATÓRIOS DE ANÁLISES CLÍNICAS FACE À NOVA NORMA EN ISO/IEC 17025
2000; ISBN 972 - 8574 - 03 - 7
- 15** GARANTIA DA QUALIDADE DE SISTEMAS INFORMÁTICOS EM LABORATÓRIOS
2000; ISBN 972 - 8574 - 04 - 5
- 16** DETERMINAÇÃO DA MELHOR INCERTEZA DE MEDIÇÃO ASSOCIADA À CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS MANOMÉTRICAS
2000; ISBN 972 - 8574 - 05 - 3
- 17** ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DO SISTEMA DA QUALIDADE
2001; 972 - 8574 - 07 - X
- 18** PONTOS DE CALIBRAÇÃO EM EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DA ÁREA ELÉCTRICA
2003; 972 - 8574 - 08 - 8



Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal

Rua Filipe Folque, 2, 6º Dto
1050-113 LISBOA
Telef. 21 313 98 40
Fax 21 313 98 41
relacre@mail.telepac.pt
www.relacre.pt