

A IMPLEMENTAÇÃO DO EFEITO JOSEPHSON NO LME

Luís Ribeiro, Mário Nunes

1. INTRODUÇÃO

A implementação do efeito de Josephson como padrão de tensão contínua nos laboratórios primários apoiada num conjunto de comparações interlaboratoriais que têm vindo a ser realizadas, provou já ser uma eficaz materialização da unidade elétrica, quer a nível de incertezas, quer a nível da sua exequibilidade e utilização [1-3].

Desde 1990 que o Laboratório perseguia o objetivo de implementar um padrão Josephson. A sua concretização em 2004 e a sua implementação como padrão primário de tensão contínua no seu laboratório de tensão DC, permite, para além dos serviços de calibração de referências de tensão, oferecer um novo serviço de calibração de voltímetros digitais, nomeadamente, no estudo e na determinação de ganhos e linearidades nas escalas mais sensíveis, tipicamente de 2 mV a 200 mV [4].



2. EFEITO DE JOSEPHSON

A descoberta em 1962 do efeito de Josephson veio permitir a realização do volt através de um padrão intrínseco, dependendo de constantes fundamentais em vez dos artefactos físicos e, portanto, imune à deriva com o tempo, instabilidade térmica e a problemas com transporte e manuseamento inerentes aos padrões até então utilizados para representar o volt.

A equação apresentada por Brian Josephson (em que e carga do eletrão e h constante de Plank) para a corrente que atravessa uma junção constituída por dois supercondutores separados por uma barreira isoladora com uma espessura tão fina (de alguns nanómetros) que os eletrões têm a capacidade de a atravessar,

$$I_s \left[\frac{2e}{h} V \right]$$

mostra que quando é aplicada uma tensão contínua V , a corrente resultante I , irá oscilar a uma frequência f . É o chamado efeito de Josephson AC.

$$f = \frac{2e}{h} V$$



Infelizmente, a elevada frequência e o baixo valor de tensão tornam difícil a sua observação.

Para tirarmos partido deste efeito AC, a junção tem que ser exposta a uma radiação de alta frequência, de forma a garantir um forte acoplamento àquele campo de micro-ondas. Nestas condições, o valor médio da tensão será $h/2e$. Como também é possível obter harmónicas, a tensão resultante cumpre:

$$V_n = n \frac{h}{2e} f$$

em que $n = 1, 2, 3, \dots$

Após acordo, foi adotado internacionalmente, com efeitos a partir de 1 de janeiro de 1990 o valor de $K_{J-90} = 483\,597,9 \pm 0,2 \text{ GHz}\cdot\text{V}^{-1}$. Este valor corresponde à média ponderada das realizações do volt anteriores a 1990. Embora não correspondam à definição do volt SI, estes padrões asseguram uma estável referência que pode ser reproduzida em qualquer lugar.

Nos dias de hoje é possível o fabrico de *arrays* de larga escala de integração, onde se constituem milhares de junções ligadas em série para que possam ser geradas tensões superiores 10 V.



3. SISTEMA EXPERIMENTAL DO LME

No LME, é utilizada uma fonte de geração de micro-ondas com uma frequência de 73,850 GHz, associada a uma referência de frequência disciplinada por oscilador de Césio, obtendo-se para o intervalo entre dois degraus o valor de $f / K_{J-90} = 152,6 \mu\text{V}$.

As capacidades de medição e calibração estão reconhecidas internacionalmente e constam da base de dados do BIPM [5], com as seguintes entradas:

The BIPM key comparison database, Calibration and Measurement Capabilities



Electricity and Magnetism, Portugal, Portugal, IPQ (Instituto Portugues da Qualidade)

Calibration or Measurement Services			Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent variables		Expanded Uncertainty				
Quantity	Instrument or artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence	Is the expanded uncertainty a relative one?
DC voltage sources: single values	Solid state voltage standard	Direct comparison to a reference standard	1	10	V	Fixed voltage	1 V, 1.018 V, 10 V	100	nVV	2	95%	Yes
DC voltage meters: intermediate values	Nanovoltmeter	Direct comparison to a reference standard	1	10	mV			10	μVV	2	95%	Yes
DC voltage meters: intermediate values	Nanovoltmeter	Direct comparison to a reference standard	10	2000	mV			5	μVV	2	95%	Yes

REFERÊNCIAS

- [1] *Josephson Voltage Standards – Recommended Intrinsic/Derived Standards Practice*, RISP-1, January 2002, available from the National Conference of Standards Laboratories, USA
- [2] Pöpel, R., *The Josephson Effect and Voltage Standards*, Metrologia, 1992, 29, 153-174
- [3] Hamilton, Clark A., *Josephson Voltage Standards*, Review of Scientific Instruments, October 2000.
- [4] Ribeiro, L., Nunes, M, *Implementação do Efeito de Josephson no Laboratório Primário Português para as Grandezas Elétricas*, Proceedings - 6º Seminário Internacional de Metrologia Elétrica, setembro de 2005, Rio de Janeiro, 38-41
- [5] <http://kcdb.bipm.org/>