

Conteggio di singoli elettroni per il campione di corrente elettrica

*Original*

Conteggio di singoli elettroni per il campione di corrente elettrica / Finardi, I., Amato, G., Callegaro, L., Croin, L., Enrico, E.. - STAMPA. - (2017), pp. 21-22. (I Forum Nazionale delle Misure Modena 13-16 Settembre 2017).

*Availability:*

This version is available at: 11583/2681576 since: 2017-09-22T11:24:07Z

*Publisher:*

Gruppo Misure Elettriche ed Elettroniche

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

## CONTEGGIO DI SINGOLI ELETTRONI PER IL CAMPIONE DI CORRENTE ELETTRICA

I. Finardi<sup>(1),(2)</sup>, G. Amato<sup>(1)</sup>, L. Callegaro<sup>(1)</sup>, L. Croin<sup>(1)</sup>, E. Enrico<sup>(1)</sup><sup>(1)</sup> Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM),  
Strada delle Cacce 91 - 10135 Torino<sup>(2)</sup> Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24 - 10129 Torino  
i.finardi@inrim.it

## 1. INTRODUZIONE

Il nuovo Sistema Internazionale di unità di misura [1] ridefinisce l'unità di base ampere (A) fissando il valore numerico della carica elementare  $e$ , quando espresso nell'unità coulomb  $C = A \cdot s$ . Una realizzazione pratica dell'ampere [2, Sec. 3b] è pertanto per conteggio diretto di singoli elettroni nell'unità di tempo, tramite un dispositivo elettronico a singolo elettrone (SET). La memoria presenta l'attività di ricerca in corso all'INRiM verso la nuova realizzazione dell'ampere.

## 2. DISPOSITIVI SQUISET

In letteratura sono stati proposti diversi dispositivi per il conteggio o il pompaggio di singoli elettroni [3] tra due degli elettrodi (*source* and *drain*); il controllo delle singole cariche è ottenuto con ulteriori elettrodi di *gate* accoppiati capacitivamente al canale di trasporto.

L'INRiM, in collaborazione con il Laboratorio NEST (National Enterprise for nanoScience and nanoTechnology) di Pisa, ha ideato [4] e realizzato [5] una nuova classe di dispositivi a controllo magnetico (*Superconducting Quantum Interference Single-Electron Transistor*, SQUISET): il trasporto degli elettroni individuali è regolato da un campo magnetico con modulazione periodica a frequenza  $f$ , con la generazione di una corrente (in assenza di errori di conteggio)  $I = ef$ .

Il funzionamento dello SQUISET (vedi Fig. 1) è basato su un'evoluzione di un dispositivo precedente, lo SQUIPT (*Superconducting Quantum Interference Proximity Transistor* [6]). Lo SQUIPT sfrutta l'effetto di prossimità: la superconduttività indotta in un nanofilo collocato all'interno di un toroide superconduttivo. L'effetto può essere modulato da un campo magnetico esterno, variando così l'altezza della barriera energetica corrispondente.

Accoppiando due SQUIPT attraverso un'isola metallica in regime di bloccaggio coulombiano, è possibile implementare il trasferimento di una singola carica elettronica da e verso l'isola ovvero un ciclo di carica e scarica dell'isola stessa pilotato dal campo magnetico esterno, senza modificare la polarizzazione elettrica del dispositivo che rimane statica.

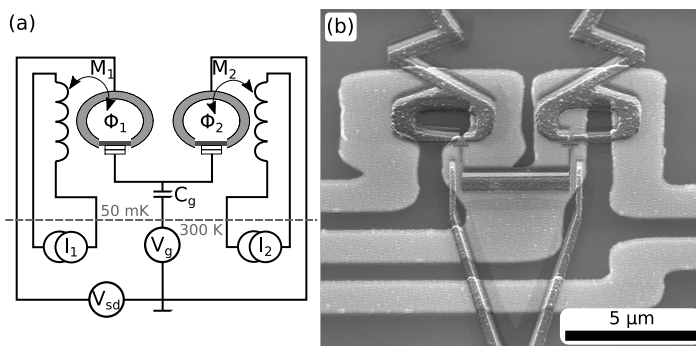


Figura 1: (a) Schema circuitale per il pilotaggio di uno SQUISET. (b) Immagine al microscopio elettronico del dispositivo realizzato. Si notano i due layer costitutivi dello SQUISET vero e proprio, e degli induttori di pilotaggio

### 3. MISURA RIFERITA DI PICCOLE CORRENTI CONTINUE

La caratterizzazione degli SQUISET richiede la misura di correnti di valore inferiore al nA, con riferibilità al Sistema Internazionale. Pertanto è stato realizzato un sistema di taratura di amplificatori di transresistenza per piccole correnti continue, basato sul metodo di carica di capacità con una rampa di tensione [7].

Il sistema consente la generazione di correnti continue uguali o inferiori a 100 pA: per questo valore, con un'incertezza relativa di parti in  $10^5$ . Le correnti generate consentono la taratura del guadagno di amplificatori di transresistenza nel dominio tipico da 10 M $\Omega$  e 10 T $\Omega$ . Sono stati condotti esperimenti di taratura dell'amplificatore di transresistenza FEMTO mod. DDPCA-300, comunemente utilizzato in esperimenti con dispositivi a singolo elettrone [8, 9]. L'incertezza tipo relativa ottenibile nella taratura di questo strumento, sul guadagno nominale 100 G $\Omega$ , è di circa  $40 \times 10^{-6}$ .

Grazie alle dimensioni compatte e alla sua semplicità, il sistema di taratura può facilmente adattarsi a setup di misura più complessi, permettendo così una calibrazione in linea degli amplificatori.

### 4. IL SISTEMA SPERIMENTALE

La caratterizzazione e la validazione metrologica dei dispositivi SQUISET richiede un apparato criogenico in grado di raggiungere temperature inferiori ai 50 mK. In queste condizioni sperimentali è cruciale garantire: un'adeguata termalizzazione delle connessioni elettriche e degli schermi elettromagnetici; un sufficiente filtraggio delle interferenze a microonda provenienti dall'esterno del criostato. Ciò garantisce il mantenimento del punto di lavoro dello SQUISET all'interno dello spazio dei parametri utili per la manipolazione efficace di singoli elettroni. Il campo magnetico di controllo è generato da induttori integrati nel dispositivo stesso, come mostrato nella Fig. 1.

### 5. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Lo SQUISET è un interessante dispositivo per lo studio dei fenomeni di trasporto elettronico alla nanoscala. La natura elettrostatica, il parametro di controllo aggiuntivo dato dal campo magnetico e la compatibilità della fabbricazione con processi standard, lo rendono promettente per applicazioni in metrologia e in elettronica quantistica.

Gli autori ringraziano F. Giazotto ed E. Strambini, NEST, per le proficue interazioni. Il lavoro è stato parzialmente realizzato presso NanoFacility Piemonte, Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM), un laboratorio supportato dalla Compagnia di San Paolo.

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] BIPM, "Draft of the ninth SI brochure," 9 Nov 2016.
- [2] CCEM Working group on the SI, "Mise en pratique for the ampere and other electric units in the International System of units (SI)," 2017, CCEM-17-08. [Online]. Available: [www.bipm.org](http://www.bipm.org)
- [3] N.-H. Kaneko, S. Nakamura, and Y. Omazaki, "A review of the quantum current standard," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 27, no. 3, p. 032001, Feb 2016.
- [4] E. Enrico and F. Giazotto, "Superconducting quantum interference single-electron transistor," *Phys. Rev. Applied*, vol. 5, p. 064020, Jun 2016.
- [5] E. Enrico, E. Strambini, and F. Giazotto, "Quantum interference hybrid single-electron transistor," *arXiv:1604.03903*, 2016.
- [6] F. Giazotto, J. T. Peltonen, M. Matthias, and J. P. Pekola, "Superconducting quantum interference proximity transistor," *Nature Physics*, vol. 6, pp. 254–259, 2010.
- [7] L. Callegaro, V. D'Elia, and B. Trinchera, "A current source for picoammeter calibration," *IEEE Trans. Instr. Meas.*, vol. 56, no. 4, pp. 1198–1201, Aug. 2007.
- [8] A. Rossi, T. Tantt, K. Y. Tan, I. Iisakka, R. Zhao, K. W. Chan, G. C. Tettamanzi, S. Rogge, A. S. Dzurak, and M. Möttönen, "An accurate single-electron pump based on a highly tunable silicon quantum dot," *Nano lett.*, vol. 14, no. 6, pp. 3405–3411, 2014.
- [9] E. Mykkänen, J. Lehtinen, A. Kemppinen, C. Krause, D. Drung, J. Nissilä, and A. Manninen, "Reducing current noise in cryogenic experiments by vacuum-insulated cables," *arXiv:1604.03903*, 2016.