

Modellizzazione della resistenza di diodi a giunzione PN per alte correnti di lavoro

L. Ciucci(*) S. Bruzzesi(*) M. Romagnoli(*) M. Alighieri(*)
B. Tomelleri(*)

2020/11/01

Riassunto: — Studiamo il comportamento di diodi in silicio PN, esplorando la propria curva caratteristica $V - I$ al di fuori dei regimi di lavoro ordinari, tramite campionamenti digitali dei segnali ai capi del componente. Discutiamo la presenza di una componente resistiva del diodo e ne misuriamo l'entità, al fine di arrivare ad un modello teorico in grado giustificare eventuali deviazioni dal modello di Shockley, verso una risposta -ohmica- dovuta alla resistenza della giunzione PN al passaggio di correnti.

PACS 01.40.-d – Education.

PACS 01.50.Pa – Laboratory experiments and apparatus.

1 INTRODUZIONE

Per poter modellare il comportamento di un diodo percorso da correnti alte, si propone un modello semplice in grado di spiegarne il comportamento -ohmico-, verificandone sperimentalmente la validità e i limiti.

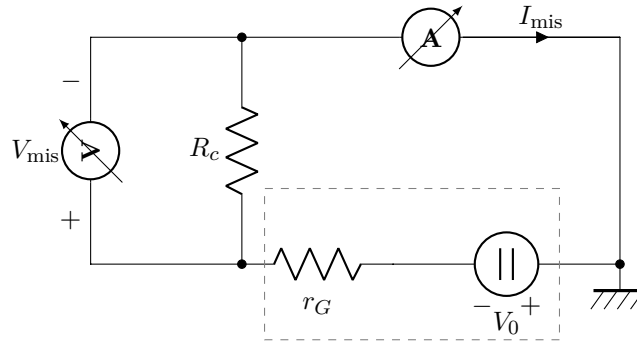
2 METODO E APPARATO SPERIMENTALE

Dovendo lavorare con correnti relativamente alte per il circuito sotto studio, al fine di minimizzare effetti termici-dissipativi secondari ed evitare danni all'apparato, si imprinono sui componenti correnti pulsate o di durate molto brevi, limitando dunque il trasferimento di energia sui componenti.

2.1 *Acquisizione dati*

Si è fatto uso della piattaforma di sviluppo **Teensy 3.2**^[1] per il campionamento di segnali, essendo non solo più veloce e capiente in memoria rispetto ad Arduino, ma oltretutto dotato di due ADC, entrambi con risoluzione maggiore nel campionamento analogico, a 16 bit. Questo ad esempio ci permette di misurare -simultaneamente- la differenza di potenziale e intensità di corrente, dunque la curva caratteristica del diodo in esame. Per prima cosa si sono misurati i rispettivi fattori di conversione ξ_V [V/digit] e ξ_I [A/digit] tramite un fit lineare sui campionamenti di tensione e corrente continua generati da un trasformatore di d.d.p $V_0 \approx 4.95$ V. Come illustrato sotto:

*Dipartimento di Fisica E. Fermi, Università di Pisa - Pisa, Italy



2.2 Schema circuitale del sistema

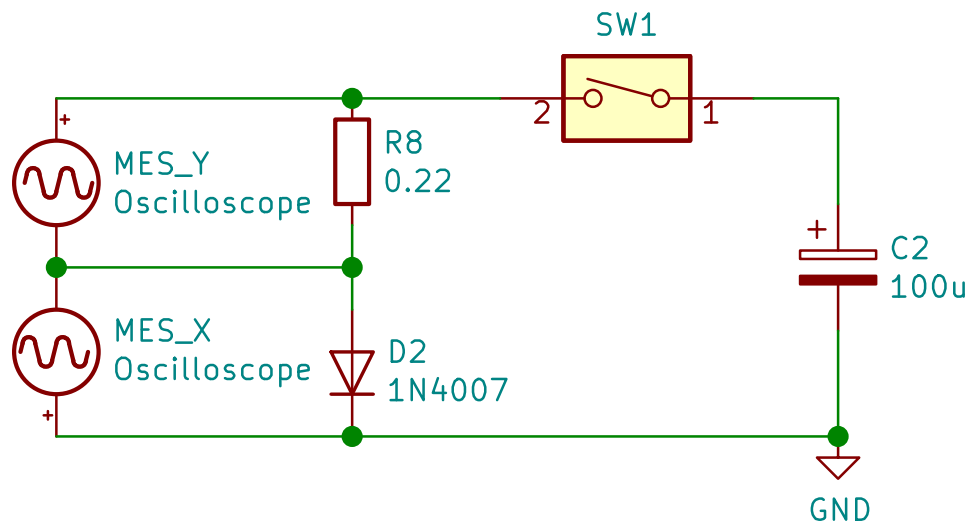


Figura 1: Versione semplice del circuito

Come ultima cautela preliminare, per minimizzare le influenze esterne sulla misura della componente resistiva del diodo, si sono misurate le resistenze dei collegamenti del circuito, in quanto i cavi reali e gli ingressi del diodo possono avere resistenze non trascurabili rispetto a quella opposta dal diodo in regime di conduzione, nell'ordine di qualche ohm.

Tramite il semplice circuito con interruttore in Figura 1 riusciamo a ricostruire sperimentalmente la curva caratteristica $V-I$ del diodo: si lascia scaricare repentinamente il condensatore sulla serie diodo-resistenza chiudendo l'interruttore, dunque dai canali di un oscilloscopio si misura la curva risultante.

Vista la stabilità poco attendibile del circuito con interruttore azionato manualmente si è costruito una seconda versione del circuito (Fig. 2), in cui figura un sottocircuito di switch e un condensatore di capacità maggiore di un paio di ordini di grandezza. Infine si aggiunge la maglia a destra del condensatore, impiegata per caricare (e scaricare) quest'ultimo a diverse tensioni, controllate grazie a **Teensy**. Si sviluppano due casi principali:

Se lasciamo caricare gradualmente il condensatore, essendo C decisamente maggiore rispetto ai condensatori precedenti si ha un tempo di carica $\tau = RC$ abbastanza prolungato, in cui possiamo campionare contemporaneamente tensione e corrente ai capi del diodo per correnti modeste, nel regime in cui il diodo è "interdetto" ed oppone resistenza al flusso di carica.

Viceversa, nel regime in cui si applichi al diodo una d.d.p. ben al disopra di $V_{thr} \approx 0.6V$, che siamo liberi di esplorare variando la tensione di carica di C con il sottocircuito destro, il diodo idealmente lascia passare tutta la corrente impressa sulla giunzione. Allora per caratterizzare la risposta del diodo senza cambiarne drasticamente le caratteristiche (ad esempio per eccessiva agitazione termica) si impiega

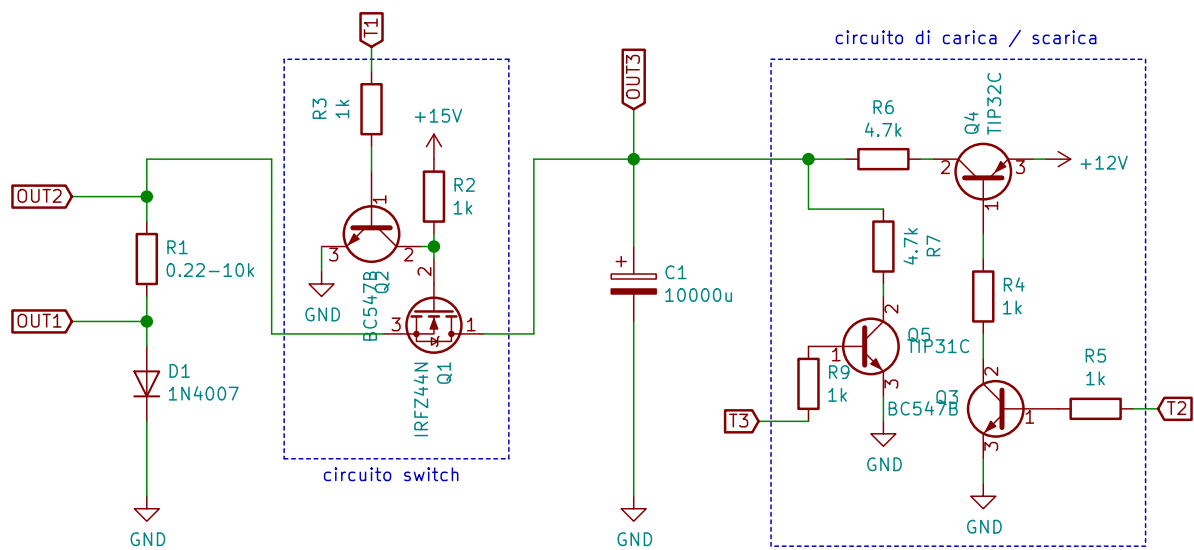


Figura 2: Circuito globale per la gestione del diodo

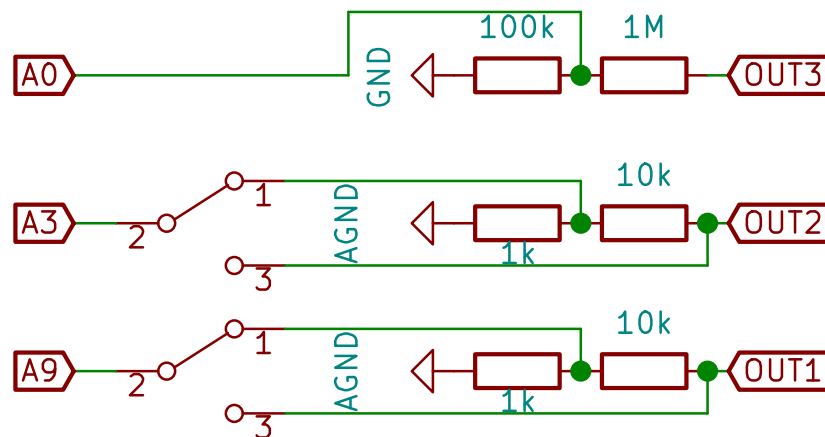


Figura 3: Schema circuitale del sistema di lettura (**Teensy**)

il circuito di switch per imprimere impulsi di alta corrente e breve durata sulla giunzione PN, di cui misuriamo la curva caratteristica in risposta con i due ADC di **Teensy**.

Se effettivamente il diodo, oltre ad una certa soglia di d.d.p. inizia ad avere componente resistiva sempre più pronunciata, allora riportando le nostre previsioni in carta semilogaritmica ci si aspetterebbe di trovare una retta, entro il regime in cui è valida l'approssimazione di Shockley, ma oltre a questo, una regione in cui la curva caratteristica della giunzione ora mostra una dipendenza apprezzabilmente più lineare/ohmica dell'intensità di corrente dalla ΔV rispetto a prima, a cui corrisponderebbe il grafico "piatto" di un logaritmo.

3 RISULTATI E ANALISI DATI

3.1 Nota sul metodo di fit

Per determinare i parametri ottimali e le rispettive varianze si è implementato un metodo di fit basato sui minimi quadrati in `Python` mediante la funzione `curve_fit` della libreria `Scipy`[2].

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] P. Stoffregen. Teensy 3.2 development board. Sherwood, Oregon, USA. [Online]. Available: <https://www.pjrc.com/teensy/teensy31.html>
- [2] P. Virtanen, R. Gommers, T. E. Oliphant, M. Haberland, T. Reddy, D. Cournapeau, E. Burovski, P. Peterson, W. Weckesser, J. Bright, S. J. van der Walt, M. Brett, J. Wilson, K. Jarrod Millman, N. Mayorov, A. R. J. Nelson, E. Jones, R. Kern, E. Larson, C. Carey, Í. Polat, Y. Feng, E. W. Moore, J. Vand erPlas, D. Laxalde, J. Perktold, R. Cimrman, I. Henriksen, E. A. Quintero, C. R. Harris, A. M. Archibald, A. H. Ribeiro, F. Pedregosa, P. van Mulbregt, and S. . . Contributors, “SciPy 1.0—Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python,” *arXiv e-prints*, p. arXiv:1907.10121, Jul 2019.