

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

L'alta resistività intrinseca al silicio, di cui è composta la giunzione bipolare, comporta la presenza di una sua componente resistiva: questa risulta sempre meno trascurabile agli effetti del passaggio di corrente attraverso il diodo, all'aumentare della tensione ai suoi capi e della sua temperatura. Per poter modellare la componente -ohmica- di un diodo percorso da correnti alte si propone un modello semplice di resistenza parassita in serie, in grado di descriverne gli effetti, verificandone sperimentalmente la validità e i limiti.

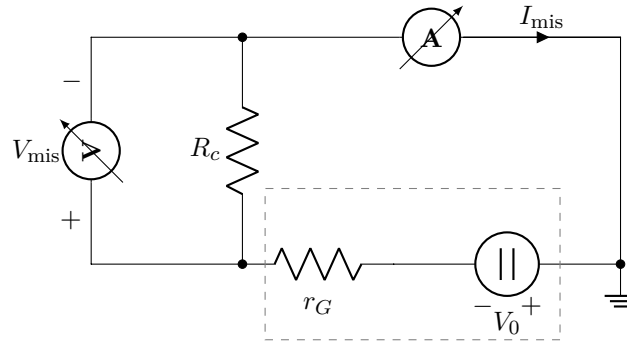
2 METODO E APPARATO SPERIMENTALE

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 imprime 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 12 bit (reali). In particolare, **Teensy** è in grado di effettuare una lettura differenziale su due ingressi analogici e sincronizzata tra i due ADC. Questo ci permette di misurare pressoché -simultaneamente- la differenza di potenziale e intensità di corrente percepite dal diodo, dunque la sua curva caratteristica. 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

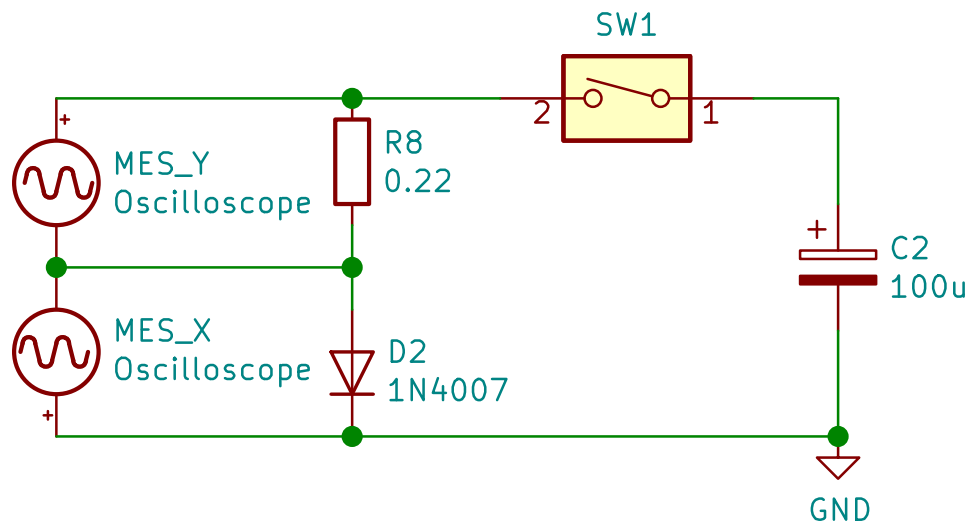


Figura 1: Versione semplice del circuito

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 misurano le cadute di tensione ai capi del diodo e della resistenza R_P , da cui si ricava l'intensità di corrente che scorre su entrambi i componenti tramite la legge di Ohm.

$$I_d = \frac{\Delta V_{\text{mis}}}{R_P}.$$

Vista la limitata attendibilità del circuito con interruttore azionato manualmente si è costruito una seconda versione del circuito (Fig. 2), in cui figurano:

UN SOTTOCIRCUITO di switch

UN CONDENSATORE di capacità maggiore di un paio di ordini di grandezza.

TEENSY La piattaforma di sviluppo impiegata per caricare (e scaricare) il condensatore a diverse tensioni e per la misura delle tensioni ai capi del diodo e della resistenza.

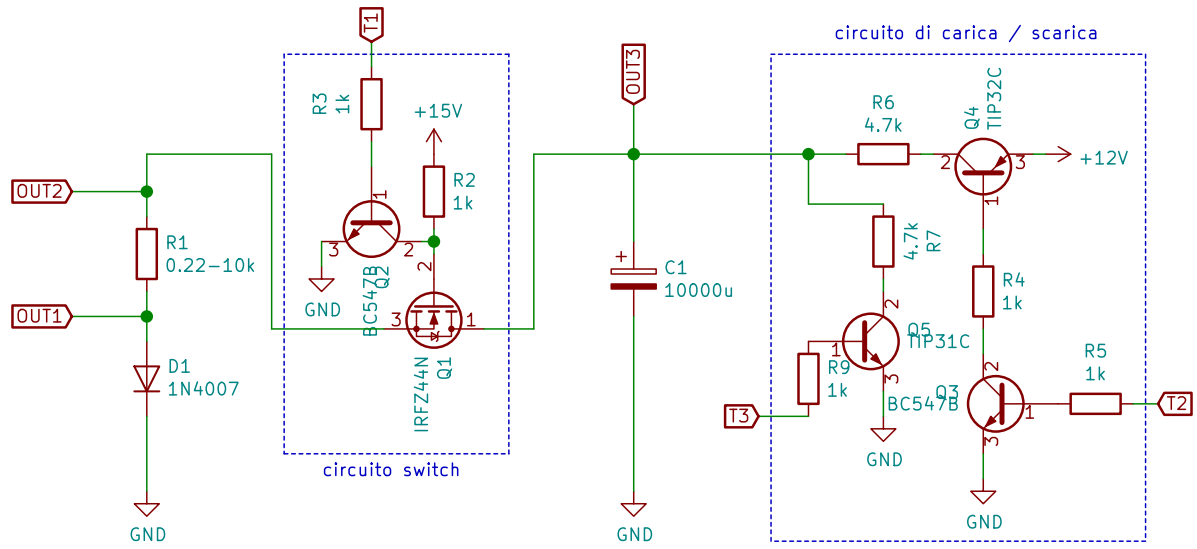


Figura 2: Circuito globale per la gestione del diodo

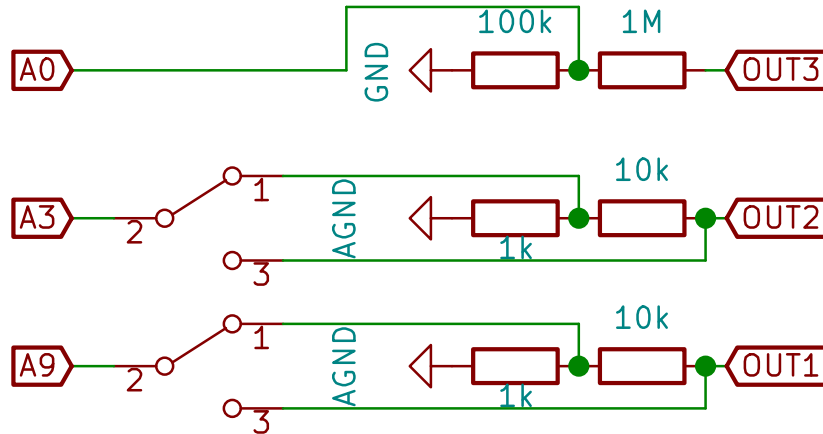


Figura 3: Schema circuitale del sistema di lettura (Teensy)

Si sviluppano due casi principali, dipendenti sostanzialmente dal valore della resistenza R_P posta in serie al diodo:

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 di sopra 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 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.