

IV del diodo versus temperatura

L'esperienza avrà come obiettivo lo studio della caratteristica tensione-corrente di diversi diodi in funzione della temperatura. Questo richiederà innanzi tutto di prendere confidenza con **un sistema di controllo PID**, dove P sta per *proporzionale*, I per *integrale* e D per *derivativo*, che è necessario per stabilizzare la temperatura del dispositivo tramite un sistema di *feedback* regolabile. La presa dati non sarà particolarmente complessa, e del tutto simile a quanto già fatto nel corso base. Una attività meno ovvia riguarderà l'analisi dei dati sperimentali per diversi tipi di diodo fra cui: (i) un diodo bipolare al silicio di tipo 1N4148; (ii) un diodo Schottky; (iii) un LED.

1 Descrizione del *set-up* sperimentale

Il *set-up* proposto è costituito da un controller della Liard modello PR-59, connesso che può essere comandato tramite connessione seriale RS232 e che, sulla base della lettura di un sensore di temperatura, può controllare dei moduli Peltier in grado di pompare calore da e verso i dispositivi studiati.

Le caratteristiche tensione-corrente verranno effettuate usando le schede della **National Instrument** installate sul computer del *set-up*¹, usando un approccio molto semplice illustrato in Fig.1.1. Gli ingressi e le uscite delle schede **National Instrument** sono simili a quelle disponibili su **Analog Discovery 2**, con alcune piccole differenze:

- Il ruolo di W1 viene giocato da A00 (*Analog Output 0*), che è una uscita in voltaggio rispetto ad un riferimento di terra; diversamente dal caso di **Analog Discovery 2**, le uscite possono raggiungere i 10 V.
- La scheda contiene vari ingressi chiamati **AIn** (*Analog Input n*). Gli ingressi possono essere usati come differenziali (come AI0 in Fig.1.1) oppure come riferiti a terra (AI1).

Per controllare la temperatura verrà fornito sul computer di lavoro un codice **ControllerPID.vi**, che permetterà di scegliere i parametri PID e, opzionalmente, di *loggar*e l'evoluzione della temperatura e della corrente applicata ai Peltier in funzione del tempo. Per effettuare le misure, verrà inoltre fornito un codice **IVdiodo.vi**, che permetterà di ricostruire la caratteristica tensione corrente. Il dato salvato corrisponderà ad una tabella a quattro colonne con i valori di: A00, AI0, AI1, e della temperatura.

2 Comportamenti attesi

L'attesa principale è quella del modello di Schokley

$$I = I_S \left[\exp \left(-\frac{eV}{\eta k_B T} \right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

dove η è il fattore di idealità che, ricordiamo, ci aspettiamo cade nell'intervallo 1 – 2 nel caso del Silicio. Diversamente, per il diodo Schottky ci aspettiamo $\eta = 1$ mentre nei LED non è infrequente misurare degli η

¹Le schede hanno una velocità di acquisizione inferiore a quelle di **Analog Discovery 2** ma sono più precise in termini di numero di bit e di flessibilità nella scelta del *range* di digitalizzazione.

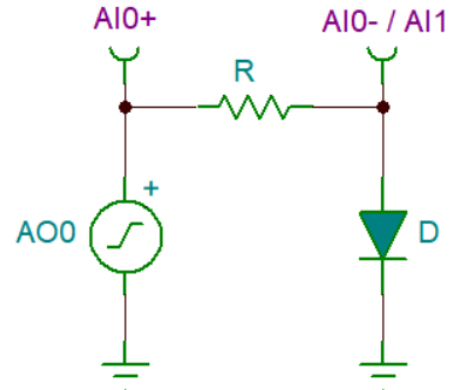


Figura 1.1: *Schema di misura.*

anche maggiori di 2. Anche la corrente di saturazione inversa può contenere delle informazioni interessanti. Alcuni modelli di base sono i seguenti:

- **Modello di Shockley:** $I_S \propto T^{3/2} \exp(-E_g/\eta k_B T)$, con E_g uguale all'energia di gap. Questo è il modello di base che ci aspettiamo descriva un diodo bipolare, per esempio in Si con $E_g \approx 1.1$ eV.
- **Legge di Richardson:** $I_S \propto T^2 e^{-E_B/k_B T}$, con E_B uguale all'altezza della barriera Schottky. La legge descrive l'emissione termoionica ed è un modello di base che ci aspettiamo valga per un diodo unipolare.

In generale si suggerisce di usare un modello del tipo

$$I_S = I_0 T^\gamma e^{-E_0/k_B T} \quad (2.2)$$

con l'aspettativa di avere una buona sensibilità soprattutto sull'energia E_0 , che avrà diverse interpretazioni a seconda del tipo di diodo. Come verificherete sul campo, un buon fit richiede un modello che includa delle resistenze parassite, come discusso nell'articolo fornito².

3 Obiettivi dell'esperienza

Lo scopo generale dell'esperienza sarà di documentare e modellizzare il comportamento dei diodi reali in funzione della temperatura. Nel farlo siete tenuti a mantenervi nell'intervallo di temperature che va da 15 C (il sistema faticherà a scendere sotto questa temperatura) a 80 C (vari componenti non sono adatti a superare i 100 C e potrebbero danneggiarsi, quindi evitiamo di avvicinarci troppo!).

OBIETTIVO 1 Prendere confidenza con il *setup* sperimentale: verificare come funziona il controllo PID della temperatura del dispositivo; verificare che cosa succede se si cambiano i parametri^a del termostato. Altre indicazioni ovvie:

- non usare i codici come *black-box* e cerchiamo di guardare come sono strutturati: come fa Labview a comunicare con il modulo PR-59, che comandi gli manda? che significano?
- studiare le caratteristiche della scheda di acquisizione della **National Instruments**, che non sono ovviamente uguali a quelle a voi note della scheda **Analog Discovery 2**.

^aSe vi perdetate, un punto di partenza ragionevole (ma non ottimizzato) è usare la terna (10, 0.5, 20).

OBIETTIVO 2 Studiare sperimentalmente la dipendenza dalla temperatura dei diodi montati nel *set-up* e analizzarla al vostro meglio in base ai modelli indicati nella scheda e negli articoli forniti. Un possibile suggerimento è di procedere per gradi:

- Graficare le *IV* in scala lineare e logaritmica.
- Verificare quanto sono aderenti al modello di Shockley. Che parametri fornisce il modello? Che tipo di deviazioni si osservano?
- Come dipendono la curva *IV* o anche semplicemente la corrente di saturazione inversa I_S dalla temperatura?

Sotto-obiettivi più avanzati potranno includere il fit a più parametri dei dati sperimentali (sulla base delle indicazioni ed esempi forniti a lezione) e la ricostruzione dello studio effettuato negli articoli proposti. Lo studio del diodo al Silicio è richiesto, mentre quello degli altri due diodi è opzionale, in base al tempo a disposizione.

ATTENZIONE. Le dinamiche termiche sono spesso lente e in condizioni dinamiche è assolutamente probabile che la lettura del termometro non corrisponda a quella del dispositivo!

²E. Cataldo *et al.* "On a rapidly converging iterative algorithm for diode parameter extraction from a single IV curve", J. Phys. Commun. **1**, 055008 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1088/2399-6528/aa95e3>