

Legge di Beer-Lambert

In questa scheda finiremo di caratterizzare il circuito **generatore di corrente controllato** (preparato con la Scheda 8), considerando il caso in cui venga utilizzato assieme ad un diodo laser. Questo ci permetterà di eseguire misure di alcune caratteristiche spettroscopiche legate alla legge di Beer-Lambert di un campione di liquido.

9.1 Laser a diodo: caratteristica I-V

I laser a diodo sono generalmente controllati in corrente, quindi li possiamo usare nel nostro circuito.

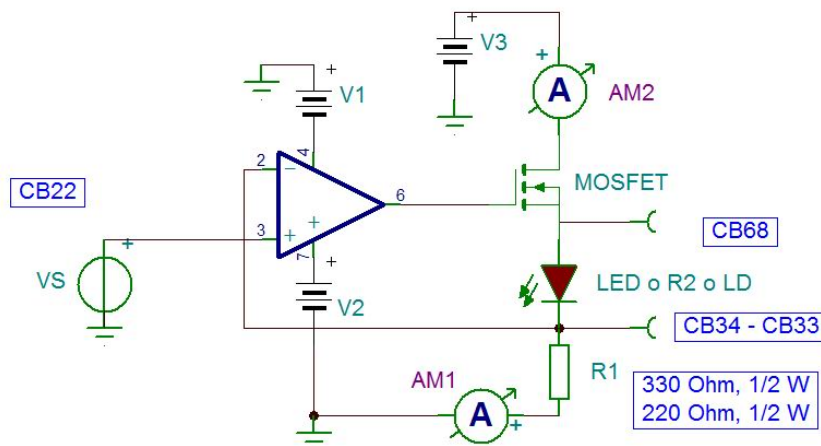


Figura 9.1: *Circuito di controllo del diodo laser, da realizzare sulla breadboard.*

Come prima cosa però occorre sostituire R1 con una resistenza che limiti il valore massimo della corrente a ~ 35 mA. Dagli esercizi fatti in precedenza con questo circuito dovrebbe essere chiaro che sono valide tutte le scelte per R1 comprese tra 330 e 100 Ω e per dissipare la potenza in essa prodotta, se ne scelga una da 1/2 W o 1 W; se non fosse disponibile, potete realizzare una resistenza equivalente mettendo in parallelo più resistenze in modo da distribuire la potenza dissipata.

!!!ATTENZIONE!!! Sostituire il LED con un diodo laser, facendo attenzione alla polarità dei collegamenti. Per questo farsi aiutare dai docenti, in modo da controllare che il montaggio non provochi danni al diodo laser.

Es.1 Consultare i datasheet dei diodi laser a disposizione e verificare il valore massimo di corrente indicato, annotare i valori nel *logbook*, e **mostrare il montaggio al docente**. Annotare il valore massimo di corrente possibile con il circuito preparato.

Es.2 Utilizzando il *Traccia_I_V_DIFF.vi* misurare la caratteristica I-V del diodo laser assegnato. Prima della acquisizione ci si assicuri che i valori di tensione impostati per la spazzata e, di conseguenza le correnti richieste, siano compatibili con i *maximum ratings*. Salvare su *file* i dati della prova che si considera migliore per successive elaborazioni.

Es.3 Verificare che la caratteristica sia compatibile con la lunghezza d'onda generata dal diodo laser, confrontando il risultato ottenuto qui con i risultati ottenuti per i LED (vedi Scheda 8).

9.2 Caratteristica L-I

Vogliamo ora utilizzare il fotodiodo OSD-15 per misurare la potenza emessa dal diodo laser. Dobbiamo quindi montare un circuito a transimpedenza per utilizzare il fotodiodo, senza smontare il circuito per il laser a diodo. Dopo aver montato il circuito spostare i collegamenti alla scheda secondo questo schema:

- Verificare che il CB22 sia collegato all'ingresso non-invertente dell'OpAmp di controllo del diodo laser.
- Mettere il CB68 sulla resistenza in serie al laser a diodo.
- Mettere il CB33 all'uscita del circuito a transimpedenza.
- Scollegare il CB34.

Es.4 Sulla base delle caratteristiche del sensore e della potenza del diodo laser, scegliere il valore della resistenza (cioè il fattore di guadagno) del circuito a transimpedenza.

Es.5 Verificare il comportamento del fotodiodo in presenza di illuminazione ambientale. Il segnale di fondo può pregiudicare le misure che si intendono fare sulla luce emessa dal diodo laser?

L'emissione laser è indotta dalla ricombinazione elettrone-lacuna nella zona attiva. Nell'ipotesi che la probabilità del processo non dipenda dalla densità delle cariche e che anche gli altri fattori siano indipendenti, ci si aspetta una dipendenza lineare della luce emessa dal laser rispetto alla corrente, con una grande efficienza.

Es.6 Prelevare dalla *Cattedra* il *Traccia_L_I.vi* e registrare con quest'ultimo il segnale prodotto dal fotodiodo al variare della corrente che fluisce nel diodo laser. Salvare in un *file* i dati registrati e convertirli opportunamente in modo da produrre un grafico che rappresenti la caratteristica **L-I, luce – corrente** espressa in potenza ottica in funzione della corrente. **Riportare il grafico nella sezione “Risultati” del *logbook*.**

Nell'esercizio precedente dovrebbero essere emerse alcune caratteristiche del diodo laser: a basse correnti si ha il passaggio da una zona in cui non si ha emissione di luce alla zona e il dispositivo si comporta come un LED, mentre, aumentando la corrente, si ha un secondo cambiamento, con il passaggio all'emissione laser, e un forte aumento di radiazione emessa.

Es.7 Con i dati acquisiti negli esercizi precedenti, disegnare in un grafico sia la tensione ai capi del diodo laser sia la potenza ottica emessa in funzione della corrente. Confrontare questo andamento con quello che si trova in letteratura per un diodo laser simile.

Es.8 Utilizzando il misuratore di potenza ottica presente in Laboratorio, verificare se i segnali registrati sono compatibili con la calibrazione del sensore presente sul datasheet.

9.3 Legge di Beer-Lambert

Quando una radiazione elettromagnetica attraversa un materiale, questo può assorbire i fotoni. Secondo la modellizzazione fisica, questo processo ha una probabilità proporzionale alla sezione d'urto di assorbimento (che dipende dalla lunghezza d'onda della radiazione) e dal numero di “centri” assorbitori (atomi o molecole). Si può dimostrare che - a seguito di questo processo e nelle condizioni più comuni e per piccoli assorbimenti - l'intensità della radiazione che attraversa un mezzo è descritta da una legge di dipendenza esponenziale dal cammino percorso:

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha(\lambda)x} \quad (9.1)$$

dove $\alpha(\lambda)$ è il **coefficiente di assorbimento** e riassume la dipendenza sia dalle caratteristiche spettrali dell'assorbimento sia dalla densità del mezzo, cioè dal numero di centri assorbitori.

A partire dai coefficienti di Einstein, questo processo può essere espresso in termini delle grandezze caratteristiche dei componenti basilari del mezzo (atomi o molecole), quali lo schema dei livelli energetici, le popolazioni, ecc... In questo modo ogni materiale è caratterizzato dal coefficiente di assorbimento. Tipicamente per i solidi — in cui la densità è fissa — questo viene espresso usualmente in cm^{-1} . Per i gas, invece, il coefficiente viene

espresso prevalentemente utilizzando la sezione d'urto (in cm^2) del processo e α è ottenibile moltiplicando questa per la densità. Infine, per i liquidi α viene espresso in cm^{-1} per unità di concentrazione: in questo modo la relazione (9.1) diventa:

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha_u(\lambda) c x} \quad (9.2)$$

dove c è la concentrazione della soluzione e α_u è il coefficiente di assorbimento della soluzione 1 molare.

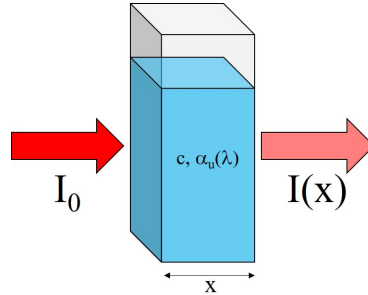


Figura 9.2: *Legge di Beer-Lambert per un liquido: un fascio di luce di intensità I_0 attraversa uno spessore x di una soluzione a concentrazione c e coefficiente di assorbimento $\alpha_u(\lambda)$ e ne emerge con intensità $I(x)$.*

Una nomenclatura diffusa tra fisici e chimici utilizza l'**assorbanza** definita come:

$$A = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (9.3)$$

La relazione tra assorbanza e coefficiente di assorbimento è quindi:

$$A = \log_{10}(e) \alpha x = 0.434 \alpha x = 0.434 \alpha_u c x \quad (9.4)$$

La validità della (9.2) è alla base di molti strumenti (utilizzati soprattutto nei laboratori di chimica e di fisica) che, dalla misura del rapporto $I(x)/I_0$ per valori fissati di x , permettono di ricavare $\alpha(\lambda)$, ad esempio gli spettrofotometri. Altri strumenti, invece, estraggono il valore di c se la sostanza (e quindi α_u) è nota. Per i liquidi, questi strumenti fanno uso di una *cuvette*, un contenitore di spessore noto e standard, che viene interposto tra la sorgente e il rivelatore (Figura 9.2).

9.4 Verifica della Legge di Beer-Lambert per un liquido

In questa esperienza si deve realizzare un sistema di misura della trasmissione della radiazione visibile con cui misurare il valore di $\alpha_u(\lambda)$ per diversi valori di λ nella regione visibile, impiegando diverse soluzioni con concentrazione nota. L'esperienza mira anche a verificare i limiti entro cui risulta valida la relazione (9.2) al variare di c .

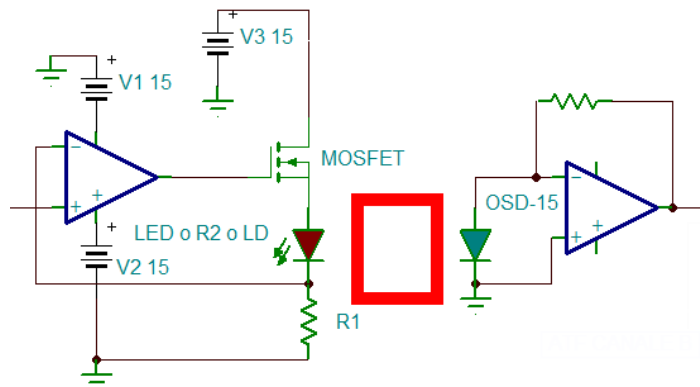


Figura 9.3: *Schema del setup di misura: la radiazione emessa dal laser attraversa la cuvette (rettangolo rosso) e viene raccolta dal rivelatore.*

Misure di trasmissione

Vogliamo preparare un sistema di misura di trasmissione della radiazione utilizzando le sorgenti a diodi laser e un fotorivelatore simile a quelli usati in precedenza.

Per facilitare la misura sono stati predisposti dei supporti che permettono di mantenere la sorgente laser e il rivelatore in posizione fissa, con la possibilità di inserire sul cammino ottico una *cuvette* vuota o piena.

Il rivelatore è il modello OSD-15, che deve essere collegato al solito ad un circuito a transimpedenza. Il setup è riassunto schematicamente nella Figura 9.3.

Es.9 Recuperare dal proprio *logbook* la caratteristica luce-corrente (L-I) del diodo laser utilizzato in precedenza e stabilire la corrente necessaria per avere una potenza emessa di ~ 0.25 mW (il valore è indicativo: potete scegliere un altro valore se lo ritenete più opportuno).

Es.10 Modificare — se necessario — il circuito dell'amplificatore a transimpedenza inserendo la resistenza di feedback più opportuna per le misure successive. **Riportare nella sezione Risultati del *logbook* il fattore di conversione teorico $\mu\text{W}/\text{V}$ del circuito realizzato**, valido per la lunghezza d'onda del laser che si sta utilizzando, valutando quale tensione si deve ottenere quando il laser genera — per esempio — $100 \mu\text{W}$.

Per le prime misure si utilizzi il `Vin_Vout.vi`, che permette di impostare la corrente nel diodo laser e di rilevare il segnale all'uscita dell'amplificatore a transimpedenza.

NOTA: Assicurarsi di scegliere il canale di acquisizione realmente collegato. Procedere oltre solo quando si è sicuri che la potenza sia realmente incidente sul rivelatore.

Es.11 Si inserisca ora nel sistema di misura una cuvette vuota e si misuri l'attenuazione che le pareti di questa producono. Si noti che lo spessore convenzionale della cuvette è 1.0 cm. Si ripeta poi la misura, mettendo e togliendo la cuvette, valutando quale sia l'errore sulla misura di attenuazione indotto dal diverso posizionamento.

Caratterizzazione di un liquido

Si vuole procedere ora alla caratterizzazione di un liquido misurando la trasmissione per diversi valori della concentrazione.

Es.12 Si ponga nel sistema di misura una cuvette con la quantità di liquido opportuna. Si annoti il valore del segnale rivelato. Si ripeta la misura posizionando la cuvette diverse volte, valutandone la ripetibilità.

Es.13 Utilizzando le diverse soluzioni, si esegua la misura per un numero di valori di concentrazione sufficienti a determinare l'andamento del coefficiente di assorbimento al variare della concentrazione stessa.

Es.14 Valutare il coefficiente di assorbimento. Elaborando i dati, riportare in una tabella i valori di I/I_0 e del logaritmo di questo in funzione della concentrazione. Si tracci anche il grafico della funzione e si verifichi se l'andamento risulta lineare.

Es.15 Si estraiga dai dati acquisiti il valore di α_u per la lunghezza d'onda del proprio diodo laser. **Riportare nella sezione Risultati del *logbook* il valore di α_u , insieme al valore della lunghezza d'onda della sorgente e alla potenza utilizzata.**

Es.16 L'andamento della curva sperimentale indica un assorbimento anche per concentrazioni nulle? In caso positivo, a cosa può essere attribuito?

Validità della legge di Beer-Lambert

Si vuole ora valutare la validità della (9.1) al variare di I_0 .

!!!ATTENZIONE!!! Valutare bene quale potenza volete impostare per il diodo laser.

Es.17 Si ripetano le misure di assorbanza cambiando la potenza emessa dal laser, sempre restando nei limiti di potenza massima sopportabile dal fotorivelatore. L'andamento della curva in funzione della concentrazione è lineare?

Se resta tempo, potete chiedere di utilizzare un altro diodo laser (ad una lunghezza d'onda diversa). Questo richiede però una breve caratterizzazione del nuovo diodo laser, in modo da lavorare in sicurezza.