

Generatori di corrente e controllo di diodi laser

L'obiettivo principale di questa scheda è la realizzazione di un sistema di controllo dell'alimentazione di diodi laser utilizzando un *opamp* e un transistor. Il primo permette di controllare facilmente con una tensione i valori di potenza che richiediamo al diodo laser, mentre il secondo viene utilizzato per la sua caratteristica di *generatore di corrente*, dato che i diodi laser **devono** essere controllati in corrente.

Nella prima parte della scheda viene proposto lo studio dei transistor MOSFET e JFET, con una caratterizzazione di entrambi dal punto di vista delle grandezze tipiche. Solo nella seconda parte ci si concentrerà sulle proprietà dei diodi laser.

NOTA: MARTEDI è dedicato alla caratterizzazione del (o dei) FET, mentre GIOVEDI è dedicato alla realizzazione del circuito di controllo dei diodi laser. Questa indicazione DEVE ESSERE SEGUITA STRETTAMENTE.

Il transistor

Realizzato nel 1948, il transistor è un componente cruciale nello sviluppo della elettronica moderna. Impiegando le proprietà delle giunzioni di semiconduttori, un transistor è infatti particolarmente adatto a controllare il passaggio di corrente tramite un segnale elettrico. Il suo nome deriva proprio da questa caratteristica, in quanto *transistor* è la contrazione di *transconductance varistor*, ossia *resistenza variabile a transconduttanza*. In pratica il transistor nasce come realizzazione a stato solido delle funzionalità del **triolo**, ossia una valvola termoionica che sviluppava l'idea del **diodo** introducendo sul cammino della corrente un terzo elettrodo (*griglia*). Applicando alla griglia un segnale di piccola potenza, si poteva controllare il passaggio di una cospicua corrente anodica tra i due elettrodi principali (anodo-catodo) della valvola.

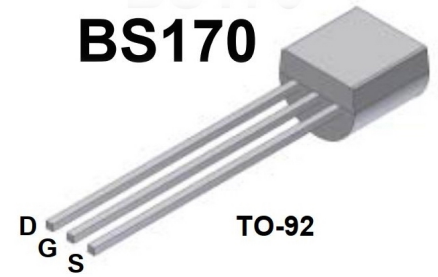
Esistono principalmente due diversi tipi di transistor: il transistor a giunzione bipolare ed il transistor ad effetto di campo.

Il **transistor bipolare** (*Bipolar Junction Transistor* \equiv *BJT*) è realizzato unendo due giunzioni *pn* contrapposte e realizzando tre connessioni elettriche con le tre regioni che si vengono a formare. A seconda che la parte in comune sia di tipo *p* o di tipo *n* si parla di transistor *nnp* o *pnp*, rispettivamente. Generalmente la parte centrale è molto sottile rispetto alle altre due e prende il nome di **base** (B). Le altre due prendono il nome di **collettore** (C) ed **emettitore** (E). Questi due nomi si ricollegano alla funzione, rispettivamente, dell'anodo e del catodo rispetto agli elettroni che si muovono nel vuoto del diodo termoionico. In un BJT, la corrente che scorre tra il C e E è controllata mediante la corrente che scorre tra B e E. La caratteristica del BJT è quindi il parametro h_{fe} , cioè il guadagno in corrente.

Il **transistor ad effetto di campo** (*field effect transistor* \equiv *FET*) è un dispositivo a tre terminali [**Gate** (G), **source** (S) e **Drain** (D)] realizzato su un substrato di materiale semiconduttore, solitamente il silicio. In questo tipo di transistor, la conduttività elettrica, e quindi la corrente elettrica che scorre tra S e D, è controllata dal campo elettrico che viene formato all'interno del dispositivo, applicando una tensione all'elettrodo G. Il parametro caratteristico è quindi la *transconduttanza*. A differenza del BJT, il processo di conduzione in un FET coinvolge solamente i portatori maggioritari, pertanto questo tipo di transistor è detto *unipolare*.

Il transistor unipolare (MOSFET)

In questa parte di scheda si vuole caratterizzare il BS170, che è un MOSFET di uso generale, di tipo *canale n ad accumulazione* (*enhancement*).



8.1 Caratteristica del MOSFET

Per misurare la caratteristica del MOSFET (\equiv *metal-oxide-semiconductor field-effect transistor*) utilizzeremo un circuito (Figura 8.1) che permette di imporre una tensione opportuna sia al Drain che al Gate, e misurare correnti e tensioni reali sugli elettrodi.

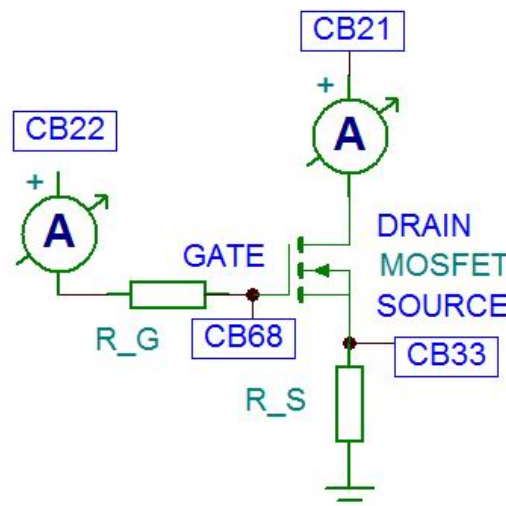


Figura 8.1: Circuito da realizzare per caratterizzare il MOSFET.

Per fare ciò utilizziamo i due canali di uscita della scheda National e due canali analogici di ingresso:

- Il Source viene collegato a terra tramite una (piccola) resistenza che permette di misurare la corrente, e le tensioni vengono misurate rispetto al Source.
- E' possibile mettere una resistenza anche sul Gate, in modo da verificare che la corrente che scorre in questo elettrodo è nulla.

NOTA: I due amperometri indicati in Figura 8.1 (cioè il tester a disposizione, utilizzato in modalità opportuna) servono per verificare il corretto funzionamento del montaggio e pertanto devono essere inseriti a turno e solamente quando richiesto dagli specifici esercizi.

8.2 Corrente di Drain vs tensione sul Drain

Il primo obiettivo di questa scheda è quello di ottenere i dati necessari per l'andamento della corrente I_{DS} che scorre tra Drain e Source al variare della tensione V_{DS} per diversi valori della tensione applicata all'elettrodo di controllo V_{GS} .

Es.1 Montare il circuito indicato in Figura 8.1 e scegliere la resistenza R_S tenendo conto che i valori massimi di corrente e tensione erogabili dalle uscite analogiche della scheda National sono ~ 10 mA e 10 V.

Per eseguire le misure iniziali sul circuito è disponibile il `Vin_Vout_2C.vi`, che permette di fissare il valore di tensione su **ciascuno** dei due canali analogici di uscita, e misurare due canali di ingresso.

Es.2 Inserire l'amperometro sul Drain, e impostare un piccolo valore di tensione sull'*AnalogOutput1* (CB21). Poi, sempre utilizzando il VI, cambiare il valore della tensione sul Gate per individuare la **tensione di soglia** del MOSFET. **Confrontare il valore misurato con quanto riportato nel datasheet, e riportarlo nella sezione Risultati del logbook.**

Es.3 Per verificare che il MOSFET funzioni correttamente inserire l'amperometro sul Gate e verificare che in questo elettrodo non scorre nessuna corrente (entro i limiti di risoluzione delle nostre misure). per fare questo, effettuare una o più misure impostando valori ragionevoli per V_{GS} e V_{DS} ottenuti dall'esercizio precedente.

ATTENZIONE: i valori ottenuti con le misure dell'esercizio 2 sono i valori di riferimento per tutte le altre misure, e permettono di **NON ROVINARE IL MOSFET E — SOPRATTUTTO — DI NON FORZARE LA SCHEDA NATIONAL A EROGARE CORRENTI AL DI SOPRA DELLA SUA CAPACITA'**.

Dalla teoria dei MOSFET, è noto che — fissata la tensione sul Gate — al variare della tensione di Drain si passa dal **regime lineare**, dove la corrente è proporzionale a V_{DS} e il coefficiente dipende da V_{GS} , al **regime di saturazione**, dove la corrente non dipende più da V_{DS} .

Il circuito montato all'inizio, che comprende la resistenza R_S in serie al Source ha un difetto: per un dato valore impostato su V_G (impostato sul CB22), al variare della corrente I_{DS} il valore di V_{GS} non è costante. Questo complica l'analisi dei dati di corrente I_{DS} che vorremmo invece registrare mantenendo fissa la tensione V_{GS} e variando solamente V_D .

Per risolvere questo problema, montiamo un altro circuito (Figura 8.2) in cui non c'è nessuna resistenza sul ramo Drain-Source e la corrente viene misurata con un circuito a transimpedenza.

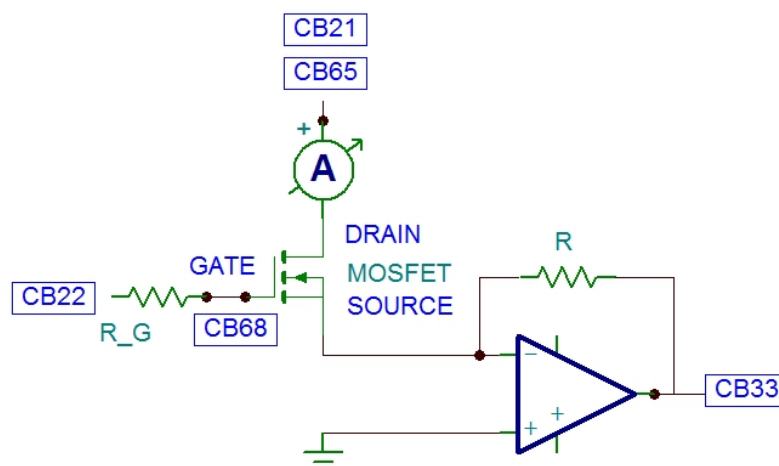


Figura 8.2: Circuito per la misura della I_{SD} vs V_{SD}

NOTA: L'amperometro può servire inizialmente per verificare la calibrazione del circuito a transimpedenza, ma in realtà è inutile e quindi può essere rimosso prima di effettuare tutte le misure.

Per misurare questo andamento è stato preparato il VI *FET_vs_DRAIN.vi* (disponibile nel PC Cattedra), che permette di fissare il valore di tensione sul Gate, e poi eseguire una spazzata di tensione sul Drain, misurando tensioni e correnti del circuito. Questo VI utilizza contemporaneamente i due canali di uscita e tre canali di ingresso della scheda National: i collegamenti indicati sul pannello frontale devono essere realizzati attentamente prima di utilizzarlo.

Es.4 Nel circuito di Figura 8.2, dove finisce la corrente I_{DS} ? Quale prestazione è richiesta all'OpAmp? Quali sono i parametri importanti che condizionano la scelta dell'OpAmp per questa applicazione?

Es.5 Montare il circuito indicato in Figura 8.2 con una resistenza di transimpedenza adeguata. Questa può essere stimata partendo dal valore di corrente massima che si prevede di utilizzare, tenendo conto che la scheda National NON DEVE erogare più di 10 mA. Inoltre, la resistenza sul Gate può essere rimossa, una volta che è stato verificato che il Gate non assorbe nessuna corrente.

Es.6 Prelevare dalla cattedra il FET_vs_DRAIN.vi. Impostare un piccolo valore di tensione sul Gate. Eseguire la misura, scegliendo un intervallo opportuno di valori per V_{DRAIN} . Modificare i valori sino ad ottenere una buona misura della regione lineare.

Es.7 Ripetere la misura cambiando il valore di tensione sul Gate (almeno 5 valori). Come cambia la regione lineare? Estrarre dai dati acquisiti la dipendenza del coefficiente lineare dalla tensione sul Gate.

Corrente di Drain vs tensione sul Gate - I

E' noto che la dipendenza della corrente di Drain dalla tensione di Gate ha un andamento nonlineare. Per misurare questo andamento è stato preparato il FET_vs_GATE.vi (disponibile nel PC Cattedra), che permette di fissare il valore di tensione sul Drain, e poi eseguire una spazzata di tensione sul Gate, misurando tensioni e correnti del circuito.

Es.8 Usando FET_vs_GATE.vi, impostare (come nell'esercizio 2) un piccolo valore di tensione sul Drain (*AnalogOutput1*, CB21). Eseguire la misura, scegliendo un intervallo di valori per V_{GATE} che inizi da tensioni leggermente inferiori alla tensione di soglia trovata prima.

Le caratteristiche tipiche dei MOSFET indicano che la dipendenza della I_{DS} dalla V_{GS} è semplice per valori fissati di V_{DS} (entro un certo intervallo di tensione).

Es.9 Ripetere l'esercizio 8 impostando diversi valori di tensione sul Drain (CB21). Cosa si ottiene? Salvare i dati per mostrarli in un'unica figura e **riportarla nella sezione Risultati del logbook**.

Es.10 I dati ottenuti nell'esercizio precedente possono essere usati per verificare la dipendenza attesa di I_{DS} dal V_{GS} . Con MatLab eseguire un fit dei dati e estrapolare la figura sino a $V_{GS} = 8$ e 10 V. Ricavare anche il valore della **transconduttanza**. **Riportare il valore nella sezione Risultati del logbook, confrontandolo con quanto riportato nel datasheet.**

Corrente di Drain vs tensione sul Gate - II

Nella sezione precedente abbiamo fatto misure della *corrente* I_{DS} , e come questa possa essere facilmente controllata mediante la tensione V_{GS} . Per evidenti motivi di prudenza, i valori scelti sono stati tali da non richiedere ne' tensioni ne' correnti maggiori di quanto la scheda National possa erogare.

Vogliamo ora passare ad una configurazione in cui il Drain è connesso ad una sorgente di tensione **indipendente** dalla scheda National. Il vostro alimentatore ha un terzo canale che offre una tensione fissa, a 5 V oppure selezionabile a 2.5, 3.3 o 5 V nel modello SIGLENT.

Questa sorgente è **isolata** rispetto alle altre due, quindi **deve essere connessa anche con la sua massa** al resto del circuito, quindi:

- disconnettere il CB21 al circuito,
- connettere il terminale positivo di questa sorgente al Drain (e al CB65),
- connettere il terminale negativo (cioè la massa) alla massa del circuito (CB29 della scheda National).

Lo scopo di tutto ciò è quello di verificare che il MOSFET funziona molto bene come *controllore di corrente* mediante una tensione sul Gate (senza nessuna corrente) anche per correnti I_{DS} maggiori di quella erogabile dalla scheda National.

!!!ATTENZIONE!!! Per evitare di danneggiare la scheda National, prima di collegare il Drain all'alimentatore occorre staccare il CB21 dal Drain.

Es.11 Il FET_vs_GATE.vi continua ad essere utilizzabile per acquisire i dati, semplicemente inserendo nel campo opportuno la tensione erogata dall'alimentatore, dopo averla opportunamente regolata. Con questo realizzare le misure di dipendenza della I_{DS} dalla tensione V_{GS} in un range maggiore di corrente, sino a 25 - 30 mA, scegliendo opportunamente il fondo scala dei canali analogici di acquisizione.

Es.12 Ripetere l'analisi dei dati ottenuti, in modo da calcolare nuovamente la **transconduttanza** e la dipendenza funzionale di I_{DS} da V_{GS} . **Riportare il nuovo valore nella sezione risultati del logbook.**

Caratteristica del JFET

In questa parte di scheda vogliamo ripetere gli esercizi da 4 a 12 con un JFET *n-channel* tipo **J105**.

Per le misure, è sufficiente modificare il circuito sostituendo il MOSFET con il FET, disconnettere l'alimentatore esterno al Drain, e ricollegare il CB21 al Drain stesso, così come fatto nei primi esercizi di questa scheda. Anche in questo caso, l'obiettivo è quello di ottenere i dati sull'andamento della corrente I_{DS} che scorre tra Drain e Source al variare della tensione V_{DS} per diversi valori della tensione applicata all'elettrodo di controllo V_{GS} .

Come si vede dal datasheet, il J105 ha una tensione di soglia **negativa**, quindi occorre cambiare l'intervallo di tensione per la V_{GS} .

ATTENZIONE: I PROGRAMMI FET_vs_GATE.vi E FET_vs_DRAIN.vi IMPOSTANO UNA V_{GS} UGUALE A 0 AL TERMINE, MA QUESTO PRODUCE UNA CORRENTE MOLTO ALTA NEL CIRCUITO, QUINDI OCCORRE MODIFICARLI IN MODO DA PREDISPORRE UNA TENSIONE MINORE DI QUELLA DI SOGLIA SUL GATE (SE NON RIUSCITE A FARLO DA SOLI, CHIEDETE L'INTERVENTO DEI DOCENTI).

Es.13 Ripetere gli esercizi da 4 a 12 con il FET J105.

Es.14 Ripetere gli esercizi da 4 a 12 con il MOSFET DN2540, che è un *canale n ad svuotamento (depletion)*, quindi ha una tensione di soglia **negativa**.

GLI ESERCIZI 13 e 14 SONO FACOLTATIVI. VALUTATE SE AVETE ABBASTANZA TEMPO PER SVOLGERLI SENZA COMPROMETTERE LO SVOLGIMENTO DELL' ULTIMA PARTE DELLA SCHEDA (CHE SERVE ANCHE NELLA PROSSIMA ESERCITAZIONE). COMUNQUE DEVONO ESSERE SVOLTI ENTRO MARTEDI, DATO CHE LA PARTE SUCCESSIVA DELLA SCHEDA DEVE ESSERE FATTA GIOVEDI.

Generatore di corrente controllato

Simulazione

Si analizzi con TINA il circuito mostrato in figura, utilizzando l'OpAmp 741 e il MOSFET BS170. Inizialmente al posto del LED si metta una resistenza R2. Nella Figura 8.3 la tensione di alimentazione indicata come V3 deve essere intesa coincidente con la tensione di alimentazione positiva utilizzata per alimentare l'OpAmp, e impostata tra +12 e +15 V.

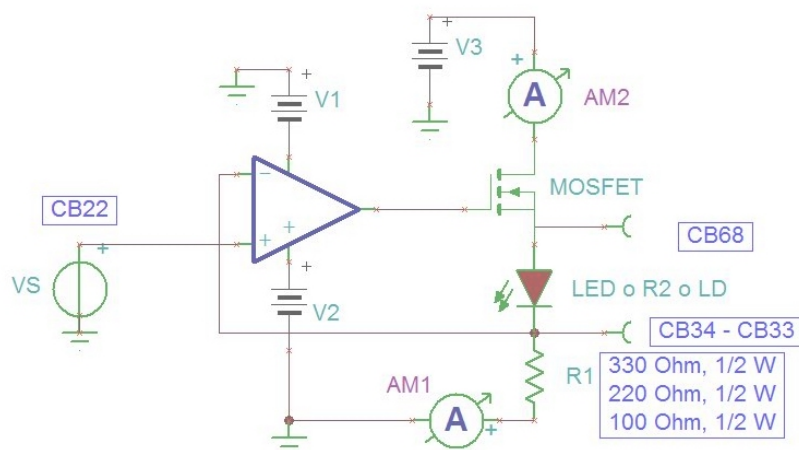


Figura 8.3: Circuito da simulare.

Es.15 Con gli strumenti di TINA (DC Transfer Characteristic e Table of DC results) si analizzi il comportamento del circuito al variare del segnale di ingresso VS. Qual è la corrente che scorre nella resistenza R1? Come dipende da VS? Qual è l'intervallo di variazione di VS che produce valori di corrente validi? Se si fissa il valore di VS (esempio a 5 V), come cambia la corrente AM1 al variare di R1 e R2? Si scelga il valore di R1 tale che per il massimo valore di VS la corrente non superi quella massima consentita per il LED scelto. **Disegnare l'andamento nella sezione Risultati del logbook.**

Es.16 Sostituire R2 con il LED, e ripetere la simulazione. In particolare si analizzi la relazione tra VS e la tensione di Source rispetto a massa.

Realizzazione

Si realizzi il circuito sulla breadboard, senza inserire gli amperometri. **Inizialmente si sostituisca il LED con una resistenza R2 = 330 Ω .** Al posto del generatore VS di TINA si utilizzi il segnale generato dalla scheda corrispondente all'Analog Output 0 (CB22).

Es.17 Utilizzando il Vin_Vout_2C.vi si impostino dei valori ragionevoli (ricavati dagli esercizi precedenti) sull'ingresso noninvertente dell'opamp e si misurino le tensioni nei vari punti del circuito (come indicato in Figura 8.3).

Es.18 Si verifichi la relazione tra la tensione VS sull'ingresso noninvertente dell'OpAmp e la tensione ai capi di R1.

Es.19 Si verifichi la relazione tra la tensione ai capi di R2 e la tensione VS sull'OpAmp, scrivendo esplicitamente questa relazione con i parametri necessari.

Es.20 Utilizzando il `Traccia_Vin_Vout.vi` si misuri la tensione di Source al variare della tensione di ingresso.

Si ripristini il circuito iniziale, con un LED. **Si scelga la resistenza R1 in modo che il LED non possa essere danneggiato.**

Es.21 Si ripeta l'esercizio precedente, registrando la tensione sull'anodo del LED in funzione del segnale di ingresso. La figura che si ottiene ha una relazione con la caratteristica di un LED?

A questo punto dovrebbe essere chiaro che questo circuito permette di imporre la corrente che scorre in un dispositivo (la resistenza R2 oppure il LED oppure ...) **proporzionalmente alla tensione in ingresso**, con valori di corrente più alti di quelli generati da un opamp perchè forniti dal MOSFET. E' quindi possibile tracciare direttamente la caratteristica del LED *anche ad alte correnti*: per far questo usiamo il `Traccia_I_V_DIFF.vi` che disegna direttamente la caratteristica I-V.

Es.22 Recuperare dalla **Cartella comune** il `Traccia_I_V_DIFF.vi`. Collegare il CB68 e il CB34 come indicato, poi impostare il range di corrente per la misura entro valori ragionevoli ed eseguire la misura.