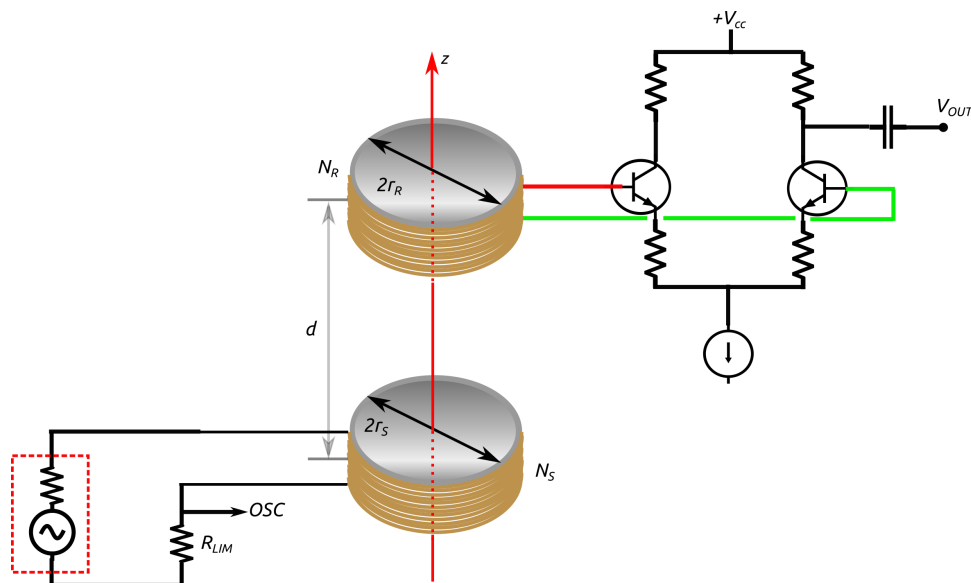


Esperienza 11: Effetto Faraday

25-27 marzo 2019

Obiettivo

- Osservare il fenomeno di induzione elettromagnetica con l'effetto Faraday.
- Verificare la dipendenza spaziale del campo prodotto da una spira percorso da corrente nell'approssimazione dipolo.
- Usare l'amplificatore differenziale per rilevare un segnale con risoluzione meglio del milliVolt.



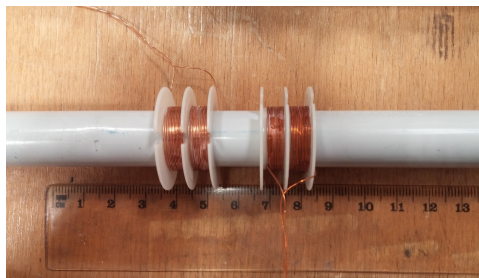
Preparazione

- Costruzione e caratterizzazione (misura G_{CM} e G_{DIFF}) di un amplificatore differenziale con sorgente di corrente (Esp. 9).

- Calcolare, con approssimazioni appropriate, il segnale per la fem indotta fra due spire circolari disposte lungo i loro assi di simmetria.

Svolgimento

- Costruire due bobine – sorgente “ S ” e ricevitore “ R ” – usando i rocchetti di plastica forniti e illustrati in figura.
 - Le dimensioni delle bobine: $2r_S \approx 2r_R \approx 17.5$ mm, con due sezioni di lunghezza 6 mm ciascuno.
 - Usare filo di rame verniciato con diametro $\approx 300\mu\text{m}$.
 - Dovrebbe essere possibile avere un totale $N_S \approx N_R \approx 30$ giri.
 - Seguire le indicazioni dell’esercitatore per la costruzione delle bobine e i loro contatti. Assicurare che i fili che escono dalle bobine abbiano lunghezza di 20-30 cm e che siano intrecciati in modo da formare un “twisted pair”.
 - Allo scopo di interpretare i dati sarà importante contare – sotto la lente di ingrandimento se non durante la fase di costruzione – il numero di giri di ciascuna bobina.



- Collegare la bobina R agli input dell’amplificatore differenziale e collegare anche a massa uno di questi input.
- Usando un’altra breadboard come supporto collegare la bobina S al generatore tramite una resistenza R_{lim} per poter regolare e, misurando la tensione ai capi della resistenza, misurare la corrente (si suggerisce $R_{lim} \approx 50\Omega$).
- Collocare le due bobine lungo la sbarra di plastica fornita in modo di poter regolare la loro separazione.
 - Sarà utile tenere le due breadboard separate di 20-30 cm per limitare l’accoppiamento spurio (induttivo) fra la sorgente e il circuito dell’amplificatore.
- Collocando le due bobine vicine fin quasi a toccarsi e facendo scorrere una corrente alternata i_S di 20-50 mA nella sorgente S , osservare l’effetto Faraday per frequenze fra 1 kHz e 200 kHz.

- Per i segnali abbastanza grandi potrebbe essere sufficiente misurare ampiezza e fase – per i_S e la tensione misurato con l’amplificatore differenziale V_{OUT} – usando la funzionalità “measurement” dell’oscilloscopio. Oppure (meglio) si può registrare la forma d’onda e ottenere ampiezza e fase con regressione ad una sinusoide (che sarà comunque necessario al punto successivo).
- Presentare grafici dell’ampiezza e della fase – anche con `bode_plot.m` – per V_{OUT} dell’amplificatore differenziale e per la tensione misurata ai capi della resistenza R_{lim} .
- Presentare grafici con il rapporto, ampiezza e fase, fra la fem indotta nel ricevitore \mathcal{E}_R e la corrente della sorgente i_S . Questa “impedenza efficace” vale

$$Z_{eff} \equiv \frac{\mathcal{E}_R(\omega)}{i_S(\omega)} \approx \frac{V_{OUT}(\omega)}{G_{DIFF}(\omega) i_S(\omega)} \quad (1)$$

ove $G_{DIFF}(\omega)$ è il guadagno (complesso) misurato precedentemente per l’amplificatore differenziale. Sarebbe utile usare un modello analitico per $G_{DIFF}(\omega)$ per poter valutarlo a qualsiasi valore di frequenza nell’intervallo studiato.

Si nota che l’impedenza efficace è quella di un’induttanza mutua fra i due circuiti, $Z_{eff} = j\omega M_{RS}$, con $\mathcal{E}_R = M_{RS} \frac{\partial i_S}{\partial t}$. Si aspetta quindi che Z_{eff} abbia fase di $\pm 90^\circ$, ovvero che la fem indotta di Faraday sia proporzionale alla derivata di corrente nella sorgente (il segno \pm dipende dalla direzione di avvolgimento delle due spire).

- Variando la separazione d fra le bobine, verificare l’andamento del campo magnetico prodotto da S in funzione della distanza lungo l’asse di simmetria delle bobine.
 - Si consiglia di studiare separazioni fra 2 cm e 20 cm e di studiare poche (3-5) frequenze per ogni configurazione.
 - Soprattutto per i piccoli segnali con le separazioni più grandi, sarà utile registrare la forma d’onda, con prove ripetute, in modo di determinare ampiezza e fase, con incertezze, della fem indotta (e per la corrente i_S , sebbene quest’ultimo avrà ampiezza grande).
 - Si consiglia di effettuare un prova di controllo con la bobina ricevitore R scollegata ed entrambi gli input dell’amplificatore a massa, per quantificare eventuali accoppiamenti fra S e il circuito dell’amplificatore. Questo segnale “fondo” può essere sottratto dai valori di segnali con il ricevitore R collegato.
 - Presentare i risultati con un diagramma di Bode di Z_{eff} in funzione di frequenza per le diverse separazioni d .
 - Faccendo una regressione ad un retta – $Im(Z_{eff}) = A + B\omega$ – ad ogni separazione, fare un grafico di $\frac{\partial |Im(Z_{eff})|}{\partial \omega} = B = M_{RS}$ in funzione della distanza d . Confrontare i dati con l’andamento previsto per l’effetto Faraday nell’approssimazione dipolo del campo magnetico. Il grafico potrebbe in alternativa essere presentato con una stima del valor picco del campo magnetico prodotto dalla bobina S mediato sulla superficie della bobina R .