

Esercitazioni

Indice

1	Dinamica di uno strumento elettrico a bobina mobile	1
1.1	Premessa teorica	1
1.2	Implementazione del modello in Simulink	2
1.3	Ambiente di lavoro	3
1.4	Relazione di laboratorio	3
2	Modalità di impiego dell'oscilloscopio	5
3	Circuiti RC	6
4	Acquisizione delle caratteristiche $i - v$ di diodi: studio analitico.	7
4.1	Motivazioni e obiettivi	7
4.2	Punti chiave e schema di relazione	7
5	Acquisizione delle caratteristiche $i - v$ di diodi: acquisizione ed elaborazione dati.	8
5.1	Motivazioni e obiettivi	8
5.2	Punti chiave e schema di relazione	8

1 Dinamica di uno strumento elettrico a bobina mobile

1.1 Premessa teorica

Caso statico Un filo percorso da corrente ed immerso in un campo di induzione magnetica subisce una forza $\vec{F} = l \vec{I} \wedge \vec{B}$, nel nostro caso essendo i due vettori ortogonali si ha $F = l I B$. Come si può ricavare dalla figura 1, sulla spira agisce una coppia di deflessione ($c = \vec{d} \wedge \vec{F} = d F$), anche in questo caso i vettori sono ortogonali. Pertanto se considero N spire, sulla bobina si ha una coppia $c_D = N B I l d$. Tenendo conto della coppia di controllo esercitata dalla molla di richiamo $c_C = k \theta$, all'equilibrio si ha $c_D = c_C$, quindi

$$\theta = \frac{N B l d}{k} I$$

Si può notare che lo spostamento angolare della bobina è proporzionale alla corrente che vi fluisce dentro.

Caso dinamico L'equazione del moto dell'equipaggiamento mobile degli strumenti di misura si ottiene uguagliando la somma delle coppie applicate alla coppia di deflessione:

$$\underbrace{j \frac{d^2 \theta(t)}{d t^2}}_{inerzia} + \underbrace{A \frac{d \theta(t)}{d t}}_{smorzamento} + \underbrace{k \theta(t)}_{controllo} = \underbrace{c_D(t)}_{deflessione}$$

dove j è il coefficiente di inerzia, A il coefficiente di attrito e k è la rigidità della molla di controllo. Come si vede è un sistema del secondo ordine; facendo uso delle trasformate di Laplace lo si può porre nella forma consueta:

$$\Theta(s) = \frac{G}{s^2/\omega_n^2 + 2 \delta s/\omega_n + 1} I(s)$$

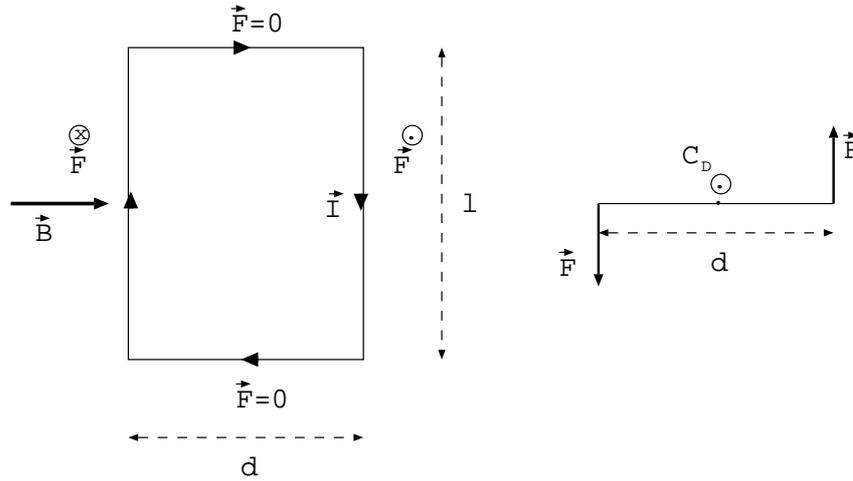


Figura 1: Una spira della bobina:vista dall'alto (sinistra) e vista di taglio (destra).

dove ω_n è la pulsazione naturale e δ è il coefficiente di smorzamento. **In particolare con riferimento alla forma differenziale si esplicitino le dipendenze analitiche di G , ω_n e δ dai parametri j , A e k [1. e 2.].**

1.2 Implementazione del modello in Simulink

Dati tipici A partire dai seguenti valori dei parametri di uno strumento a bobina mobile si vuole ottenere la forma numerica della trasformata di Laplace ed i valori del coefficiente di smorzamento e della pulsazione naturale.

Valori tipici:

$$\begin{array}{ll}
 N = 15.5 \text{ spire} & k = 10^{-4} \text{ Kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ rad}^{-1} \\
 B = 1 \text{ Wb m}^{-2} & A = 10^{-5} \text{ Kg m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ rad}^{-1} \\
 d = 10^{-2} \text{ m} & j = 5 \cdot 10^{-7} \text{ Kg m}^2 \text{ rad}^{-1} \\
 l = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m} &
 \end{array}$$

Si trovi la forma numerica della trasformata di Laplace, in particolare si esplicitino i valori di ω_n , δ e G [3.].

Simulazioni Per simulare il comportamento dinamico di questo sistema si può implementare il suo modello numerico con Simulink, un toolbox dell'ambiente di calcolo numerico MATLAB (vedi figura 2). *In particolare si vuole studiare la risposta al gradino e la risposta armonica.* Inoltre è possibile variare i valori dei parametri del modello per vedere come influenzano la risposta del sistema [4.].

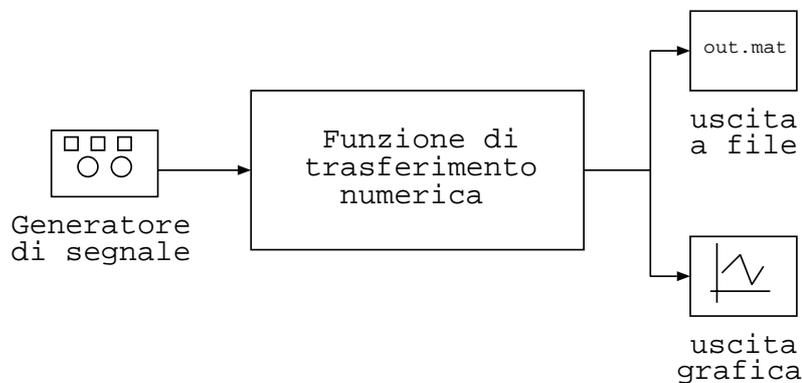


Figura 2: Modello del sistema implementato in Simulink.

Risposta al gradino L'andamento della risposta al gradino descrive come si muove l'ago dello strumento nel tempo. Nel caso dei valori numerici forniti, si vede che la risposta ha una piccola sovraelongazione (infatti il coefficiente di smorzamento è inferiore a 1), ciò vuol dire che l'ago dello strumento inizialmente sorpassa il valore di equilibrio, ma vi torna subito dopo senza oscillazioni.

Risposta armonica Per i sistemi lineari stazionari è importante un'analisi nel dominio della frequenza, cioè studiare la funzione di trasferimento, perchè, tra le altre cose, può essere rilevata *sperimentalmente*: si fornisce in ingresso al sistema un segnale sinusoidale ed *esaurito il transitorio*, cioè a *regime*, l'uscita è ancora sinusoidale con la stessa pulsazione ma diversa ampiezza e fase. Tale variazione di ampiezza, se calcolata a diverse frequenze, fornisce il profilo del modulo della funzione di trasferimento. Inoltre si confronti tale profilo sperimentale con quello ideale fornito dall'equazione prima descritta [5].

1.3 Ambiente di lavoro

L'esercitazione sarà eseguita in ambiente MATLAB, appoggiandosi al toolbox Simulink.

Comandi di simulazione

```
>> simulink      lancia l'ambiente SIMULINK
-----
simulazione
-----
>> load('out.mat')      importa il risultato della simulazione in MATLAB
>> extr(segnales)      ricava il valore di ampiezza a regime
```

Comandi di memorizzazione e gestione dei dati

```
>> a = [a1 a2 ... a9] memorizzazione di una serie di dati in un vettore
>> b = log(a) la funzione logaritmica viene applicata ad ogni elemento del vettore
```

Comandi di visualizzazione

```
>> semilogx(x,y,'o') visualizza i dati del vettore y rispetto ad un asse logaritmico in x
>> semilogx(x,y,'o',x,y1, ... , x, yn) come il precedente, sovrapponendo più grafici
```

1.4 Relazione di laboratorio

A completamento della relazione di laboratorio si risponda alle seguenti domande:

6. Detti Θ_{FS} e I_{FS} i valori di fondo scala, si determini (espressione analitica) il rapporto Θ_{FS}/I_{FS} (fare riferimento al caso statico).
7. Si riscriva la risposta in frequenza rispetto alle grandezze normalizzate ¹ Θ/Θ_{FS} e I/I_{FS} .
8. Si espliciti il valore numerico di G e si specifichino valori plausibili di Θ_{FS} e I_{FS} (N.B. sono tra di loro dipendenti).
9. Si analizzi l'influenza dei parametri caratteristici del sistema sulla risposta impulsiva e su quella in frequenza e si traccino alcuni grafici significativi.

¹La grandezza x è normalizzata rispetto al valore x_0 quando le espressioni analitiche in cui compare la x sono riformulate facendo comparire il rapporto (x/x_0) e conseguentemente modificando il resto della funzione.

N.B: Linee guida per la stesura delle relazioni di laboratorio

- Disegnare il **sistema di misura** e identificare gli strumenti.
- Disegnare i **circuiti** utilizzati e identificare i componenti.
- Quando si usa un'equazione, scrivere prima la **forma analitica** e poi sostituire i **valori numerici**.
- Fornire i dati e le loro **unità di misura** .
- Inserire i **simboli** e le **unità di misura** sugli assi dei grafici.
- Commentare con **senso critico** i risultati ottenuti: precisione della misura, valori “troppo alti o troppo bassi”, etc...

Testi di riferimento

- MATLAB High-Performance Numeric Computation and Visualization Software User's Guide, The Math Works Inc., 1994
<http://www-europe.mathworks.com/access/helpdesk/help/techdoc/basics/getstarted.shtml>
- Simulink Dynamic System Simulation Software User's Guide, The Math Works Inc., 1994
<http://www-europe.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/simulink/simulink.shtml>

2 Modalità di impiego dell'oscilloscopio

- **Oscilloscopio:** digitale HP 54601B (analogico Hameg 303-6). Descrizione dello strumento.
- **Generatore di forme d'onda:** digitale HP 33120A (analogico Instek GFG-8219). Descrizione dello strumento.

Sperimentare l'uso degli strumenti, in particolare:

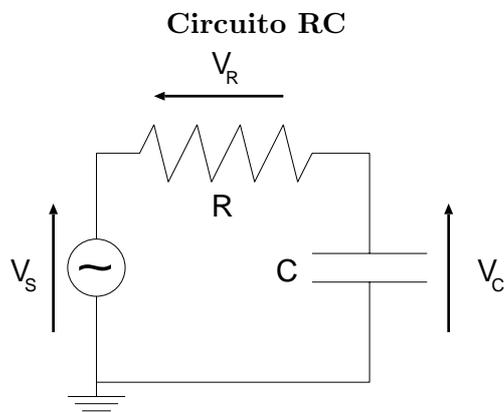
- **Stabilizzazione del segnale di riferimento:** trigger, base dei tempi e ampiezze.
- **Misura di parametri delle forme d'onda:** misure di frequenza, ampiezza, tempo di salita, tempo di discesa e duty cycle di diverse forme d'onda, utilizzando sia i cursori sia le funzioni di misura automatiche.
- **Distorsione dell'onda quadra:** si mostra che all'aumentare della frequenza dell'onda quadra si ha una distorsione. Quale è la causa di tale distorsione?

Testi di riferimento

- Oscilloscopio Serie HP 54600 Guida d'uso e manutenzione, Hewlett-Packard, 1992 (cap. 1, 2 e 4; pagine 1:62 e 117:131)
- HP 54675A, HP 54658A and HP 54659 Measurements/Storage Modules, Hewlett-Packard, 1995 (cap. 2; pagine 2-1:2-28)
- http://www.tm.agilent.com/tmo/manuals/pdf/54600B_Series_UserServiceGuide_English.pdf
- HP 33120 Function Generator and Arbitrary Waveform Generator, Hewlett-Packard, 1996 (cap. 1 e 2; pagine 1:31)
- http://www.tm.agilent.com/tmo/manuals/pdf/33120A_UsersGuide_English.pdf
- Software Hp 34810A Benchlink per oscilloscopi HP Serie 54500 e 54600 Guida d'uso, Hewlett-Packard, 1993 (cap. 2, 3 e 4; pagine 18:52)

3 Circuiti RC

In questa parte di esperienza di laboratorio si vuole analizzare un circuito RC (vedi figura seguente) e misurare alcune sue caratteristiche.



Strumenti utilizzati

- oscilloscopio digitale HP 54601B
- generatore di forme d'onda HP 33120A
- oscilloscopio analogico Hameg 303-6
- generatore di forme d'onda Instek GFG-8219

In particolare si considerino i seguenti punti (rispondere in modo chiaro, riportando relazioni analitiche, dati e grafici qualitativi):

1. Si scriva la funzione di trasferimento $V_C(s)/V_S(s)$ e la risposta temporale $V_C(t)$ ad un ingresso a gradino.
2. Misurare il tempo di salita di $V_C(t)$ (usare $R = 1\text{ k}\Omega$).
3. Misurare la costante di tempo del circuito. Ricavare il valore della capacità C .
4. Ricavare la frequenza di taglio e verificare, utilizzando ingressi sinusoidali, la caduta di 3 dB per tale valore di frequenza.
5. Si spieghi perchè mentre nel caso di una tensione di ingresso di forma sinusoidale la tensione ai capi del condensatore risulta ridotta in ampiezza ma della stessa forma, nel caso di un'onda quadra si osserva una tensione in uscita di forma diversa.

4 Acquisizione delle caratteristiche $i - v$ di diodi: studio analitico.

Questa esperienza di laboratorio è sviluppata in 2 esercitazioni sequenziali:

1. **Acquisizione delle caratteristiche $i - v$ di diodi: studio analitico.**
2. *Acquisizione delle caratteristiche $i - v$ di diodi: acquisizione ed elaborazione dati.*

1. Acquisizione delle caratteristiche $i - v$ di diodi: studio analitico.

4.1 Motivazioni e obiettivi

Per caratterizzare un diodo si possono considerare i parametri del modello circuitale, che sono ricavati dalla relazione che esprime la corrente del diodo. In particolare, tali parametri si ricavano dalla relazione che descrive la caratteristica $I_d(V_d)$ del diodo in polarizzazione diretta. Quindi si ricavano analiticamente i seguenti parametri: la corrente di saturazione I_s , il fattore di idealità η e la resistenza serie del diodo r_s . Inoltre si considera il significato fisico e matematico delle relazioni ottenute e delle approssimazioni necessarie per ottenere tali relazioni.

4.2 Punti chiave e schema di relazione

Con riferimento al materiale fornito, considerare i seguenti punti (rispondere in modo chiaro, riportando relazioni analitiche, dati e grafici qualitativi):

1. Descrivere i termini della relazione (9.92) che esprime la corrente del diodo.
2. Ricavare la relazione (9.93): esplicitare i passi e spiegare le approssimazioni.
3. Spiegare perchè la relazione (9.93) può essere considerata una retta e identificarne i termini con la forma generale $y = A + Bx$.
4. Ricavare la relazione $I_s = I_s(A, B)$.
5. Perchè viene suggerito di utilizzare la *regressione lineare*?
6. Ricavare la relazione $\eta = \eta(A, B)$.
7. Ricavare la relazione (9.97): esplicitare i passi e spiegare le approssimazioni.
8. Spiegare perchè la relazione (9.97) può essere considerata una retta e identificarne i termini con la forma generale $y = A + Bx$.
9. Ricavare la relazione $r_s = r_s(A, B)$.

Testi di riferimento

- *MOSFET models for VLSI circuit simulation: theory and practice*, Narain Arora, Springer Verlag Wien, 1993 (cap. 9; pagine 489:493)

5 Acquisizione delle caratteristiche $i - v$ di diodi: acquisizione ed elaborazione dati.

5.1 Motivazioni e obiettivi

Lo scopo di questa esercitazione è l'acquisizione e l'analisi di caratteristiche $i - v$ di diversi diodi. Si descrivono gli strumenti necessari all'acquisizione dei dati e il software che gestisce tali strumenti: per l'acquisizione si utilizza un *elettrometro programmabile* (Keithley 6512), per polarizzare il circuito da testare si usa un *alimentatore di precisione programmabile* (Tektronix PS 5004) e per gestire il sistema di misura si usa un software sviluppato con LabWindows/CVI della National Instruments. Si realizza il circuito necessario per testare i diodi e si eseguono le misure delle caratteristiche $i - v$ di diodi. I dati acquisiti sono salvati su file per la successiva elaborazione. Si considerano le relazioni per il calcolo dei parametri del modello circuitale di diodi e i dati acquisiti. Si usa il software di elaborazione dati Microcal Origin per importare i valori delle misure eseguite e per implementare le relazioni viste, ricavando in tal modo i valori numerici dei parametri considerati.

Componenti

- una breadboard
- resistenze
- fili di collegamento
- diodi

Strumenti utilizzati

HW

- alimentatore di precisione programmabile Tektronix PS 5004
- elettrometro programmabile Keithley 6512
- calcolatore con interfaccia GPIB

SW

- LabWindows/CVI della National Instruments
- Microcal Origin

5.2 Punti chiave e schema di relazione

Si considerino i seguenti punti (rispondere in modo chiaro, riportando relazioni analitiche, dati e grafici qualitativi):

- Comporre su breadboard il circuito minimo necessario all'acquisizione dei dati:
 - Con riferimento alla precedente esercitazione *Acquisizione delle caratteristiche $i - v$ di diodi: studio analitico* come devono essere polarizzati i diodi?
 - Supponendo di avere una resistenza (R) di valore $1k\Omega$, che valore di tensione di alimentazione (V_{cc}) si deve utilizzare per ottenere al massimo una corrente di diodo (I_d) di valore $14mA$?
 - Come si deve collegare l'elettrometro programmabile al circuito per misurare la corrente I_d ?
 - Utilizzare l'alimentatore di precisione programmabile per polarizzare il circuito.
- Connettere gli strumenti al calcolatore tramite i cavi GPIB.
- Lanciare LabWindows/CVI ed aprire l'applicazione di interfaccia con gli strumenti. Verificare la presenza dei driver per gli strumenti e la corretta connessione.

- Si deve eseguire un'acquisizione del tipo $I = I(V)$: si può variare la tensione di alimentazione con valori costanti in un dato campo e misurare, passato il transitorio, la corrente nel circuito. Alcuni valori tipici:
 $V_{min} = 0.1 V$, $V_{max} = 10 V$, $V_{step} = 0.1 V$ e $Step\ time = 1 s$.
- Eseguire acquisizioni delle caratteristiche $i - v$ di diversi diodi e salvare i dati acquisiti (V_{cc} e I_d) su file per una successiva elaborazione.
- Importare i dati acquisiti (file ASCII precedentemente salvati) nel software di elaborazione Microcal Origin. I dati rappresentano V_{cc} e I_d .
- Ricavare la tensione (**il vettore tensione**) del diodo V_d .
- Visualizzare il grafico che rappresenta la relazione (9.92), la quale esprime la corrente del diodo. Indicare il valore di tensione di ginocchio e i campi di valori di corrente e tensione rappresentati nel grafico.
- Visualizzare il grafico che rappresenta la relazione (9.93).
- Limitare il grafico che rappresenta la relazione (9.93) nel campo di valori in cui può essere considerato una retta:
 - Ricavare il valore di I_s utilizzando la regressione lineare.
 - Ricavare il valore di η utilizzando la regressione lineare.
- Visualizzare il grafico che rappresenta la relazione (9.97).
- Limitare il grafico che rappresenta la relazione (9.97) nel campo di valori in cui può essere considerato una retta:
 - Ricavare il valore di r_s utilizzando la regressione lineare.
- Perché si sono limitati i grafici in campi di valori per i quali possono essere approssimati con rette?

Testi di riferimento

- Model 6512 Programmable Electrometer Instruction Manual, Keithley Instruments Inc., 1994 (cap. 2; pagine 2-1:2-14)
- http://www.keithley.com/CAT_PDF/1999/6512.PDF
- PS 5004 Precision Power Supply Instruction Manual, Tektronix, 1988 (cap. 1; cap. 2; pagine 2-1:2-4)
- <http://www.originlab.com/>