

Laboratorio di Elettronica

Esercizi della Lezione 3:

Simulazione di circuiti nel dominio della frequenza

Valentino Liberali, Alberto Stabile



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
Dipartimento di Fisica "Aldo Pontremoli"

E-mail: valentino.liberali@unimi.it, alberto.stabile@unimi.it

Milano, 7-8 aprile 2022

1 Analisi nel dominio della frequenza con SPICE

2 Esercizi

Analisi nel dominio della frequenza con SPICE – 1

Per ricavare i diagrammi di Bode con SPICE, bisogna fare un'analisi in frequenza (.AC).

Comandi:

```
.AC LIN np fstart fstop
```

```
.AC OCT np fstart fstop
```

```
.AC DEC np fstart fstop
```

LIN: **scala lineare** delle frequenze, con np punti sull'asse delle frequenze tra fstart e fstop

OCT o DEC: **scala logaritmica** delle frequenze, con np punti per ottava o per decade sull'asse delle frequenze tra fstart e fstop

Esempio:

```
.AC DEC 10 1 100MEG
```

Scala logaritmica delle frequenze, con 10 punti per decade, tra 1 Hz e 100 MHz

Analisi nel dominio della frequenza con SPICE – 2

Per risolvere il circuito nel dominio della frequenza, SPICE ricava la matrice delle capacità **C**, in maniera analoga alla matrice delle conduttanze **G**, e le combina insieme per ottenere la matrice delle ammettenze **Y**:

$$\mathbf{Y}(f) = \mathbf{G} + j2\pi f\mathbf{C}$$

che è complessa: la parte reale è la matrice delle conduttanze **G**, e la parte immaginaria è la matrice delle suscettanze **B** = $2\pi f\mathbf{C}$ (che dipende da f).
L'analisi nodale modificata fornisce il sistema in forma matriciale:

$$\mathbf{I}(f) = \mathbf{Y}(f) \cdot \mathbf{V}(f)$$

da cui si ricava la soluzione:

$$\mathbf{V}(f) = (\mathbf{Y}(f))^{-1} \cdot \mathbf{I}(f)$$

Il calcolo viene ripetuto per tutte le frequenze da analizzare.

Analisi nel dominio della frequenza con SPICE – 3

La soluzione $\mathbf{V}(f) = (\mathbf{Y}(f))^{-1} \cdot \mathbf{I}(f)$ fornisce un valore complesso della tensione per ogni nodo e per ogni frequenza.

Per la stampa o il grafico dei risultati, bisogna specificare se si vuole stampare/graficare la parte reale o la parte immaginaria o il modulo o la fase o il modulo in decibel della tensione calcolata. **Fare riferimento al manuale.**

Esempio: file rcfreq1.spi

```
* CIRCUITO RC
V1 1 0 DC 1 AC 1
R1 1 2 1K
C1 2 0 100N
.END
```

Simulazione con NGspice:

```
ngspice
source rcfreq1.spi
ac dec 10 1 1g
plot db(v(2)) phase(v(2))*180/pi
quit
```

In questo esempio si ottengono il modulo in decibel e la fase in gradi.

Esercizi proposti

- ❶ Simulare con Ngspice nel dominio della frequenza i circuiti del primo ordine RC e RL passa-basso e passa-alto, ricavando i diagrammi di Bode del modulo e della fase
- ❷ Simulare con Ngspice nel dominio del tempo gli stessi circuiti, applicando all'ingresso segnali sinusoidale a frequenze diverse:
 - ▶ alla frequenza caratteristica
 - ▶ ad una frequenza molto minore della frequenza caratteristica
 - ▶ ad una frequenza molto maggiore della frequenza caratteristica
- ❸ Confrontare i valori ottenuti dalla simulazione nel tempo con i valori ottenuti dalla simulazione in frequenza

Suggerimento: se possibile, effettuare la simulazione con gli stessi valori dei componenti usati nelle misure in laboratorio.