

Confronto ragionato sui software per la simulazione dei circuiti elettrici ed elettronici

Candidato

Lorenzo Cappetti

Relatore

Prof. Antonio Luchetta
Prof. Gabriele Maria Lozito

UNIVERSITÀ DI FIRENZE
Laurea Triennale in Ingegneria Informatica

A.A. 2022/2023

Introduzione

- Scopo dei simulatori:
 - Analisi e studio dei prototipi
 - Generazione di dataset di misure
 - Parametrizzazione e Ottimizzazione
- Lo scopo della tesi è analizzare e confrontare i simulatori simbolici e i simulatori numerici per circuiti analogici

Principali Differenze

- Simulatori numerici: risultati numerici, come sequenze di numeri o grafici.
- Simulatori simbolici: restituiscono risultati sotto forma di formule, ma possono diventare complessi con circuiti di grandi dimensioni.

Principali Differenze

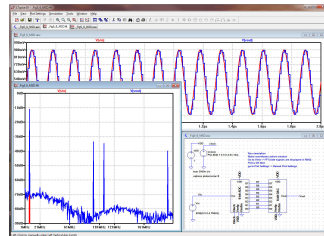
- Simulatori numerici: risultati numerici, come sequenze di numeri o grafici.
- Simulatori simbolici: restituiscono risultati sotto forma di formule, ma possono diventare complessi con circuiti di grandi dimensioni.

Simulatori Analogici Numerici

- **Elaborazione numerica:** Utilizzano algoritmi per risolvere equazioni differenziali, consentendo una simulazione dettagliata. Consentono anche l'inserimento di modelli reali, e non solo ideali.
- **Precisione:** Offrono buona precisione anche per circuiti non lineari, consentendo valutazioni quantitative accurate.
- **Dimensioni:** Adatti per circuiti di grandi dimensioni senza creare difficoltà di lettura del risultato.

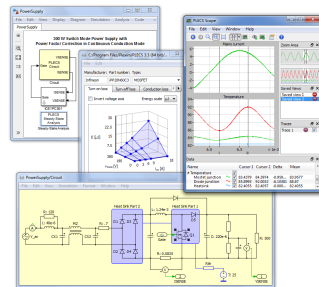
LTspice

- efficiente nella simulazione di circuiti analogici ed è dotato di un'ampia libreria per le componenti
- interfaccia relativamente semplice e diretta
- supporta vari tipi di analisi come DC, AC, transitorio
- completamente gratuito



PLECS

- più efficiente nella simulazione di sistemi elettrici di potenza, simulazione di sistemi dinamici e nella modellazione di sistemi di controllo
- interfaccia utente grafica (GUI) moderna e intuitiva
- permette la connessione a moduli predisposti al "real time simulator"

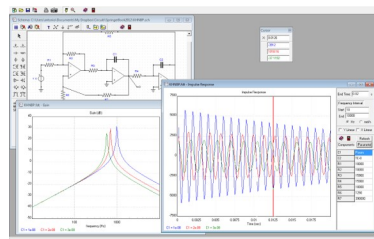
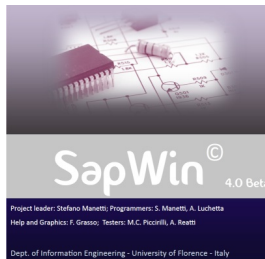


Simulatori Analogici Simbolici

- **Precisione:** Maggiore precisione per circuiti lineari, grazie alla restituzione di risultati simbolici senza approssimazioni. Consentono anche l'inserimento di modelli preesistenti
- **Analisi parametrica:** Consentono analisi parametriche per ottimizzare il design del circuito.
- **Estendibilità e ripetibilità:** Semplice estensione dei circuiti e ripetizione dell'esecuzione con minor spesa computazionale. Consentendo anche di fare post-elaborazione del risultato, valutando le formule che utilizziamo.

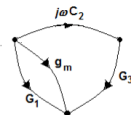
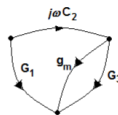
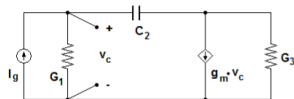
SapWin

- simulatore simbolico sviluppato dall'Università di Firenze
- software pensato per supportare la didattica, l'analisi, la simulazione e l'ottimizzazione dei circuiti analogici
- permette entrambe le simulazioni



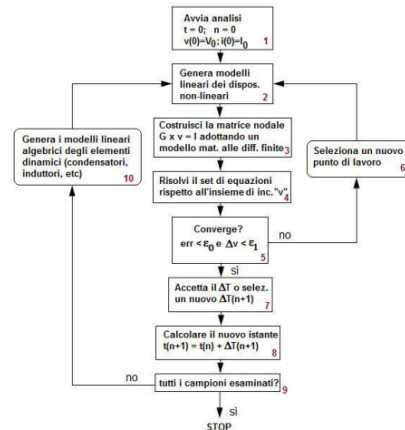
Metodo dei Due Grafi

- Utilizzato per SapWin (e altri simulatori simbolici).
- Il circuito viene diviso in due Grafi distinti:
 - Grafo della corrente.
 - Grafo della tensione.
- I due grafi sono costruiti seguendo delle regole che dipendono dalla natura dei bipoli presenti nel circuito
- Gli elementi non lineari vengono modellati come tali e utilizzato il loro circuito lineare equivalente



MNA (Analisi Nodale Modificata)

- Utilizzata per la simulazione nei simulatori **numerici**.
- Applica le Leggi di Kirchhoff per corrente e tensione per la descrizione del circuito.
- Rappresenta il sistema sotto forma di equazioni matriciali e risolve il sistema per ottenere le soluzioni di tensione e corrente.



Confronto sugli Algoritmi

- **Efficienza:**
 - **MNA:** Computazionalmente intensivo per circuiti complessi a causa dell'analisi simultanea di tutti gli elementi.
 - **Due Grafi:** Potenzialmente più efficiente grazie all'uso di modelli semplificati nelle regioni lineari.
- **Precisione:**
 - **MNA:** Elevata precisione per circuiti lineari e non lineari, con dettagli a livello di componente.
 - **Due Grafi:** La precisione dipende dalla corretta modellazione delle regioni lineari e non lineari, ma può essere altrettanto accurata se implementata correttamente.

Filtro Tow-Thomas

- filtro Tow-Thomas è un tipo di filtro attivo del secondo ordine che viene utilizzato per implementare varie funzioni di filtraggio
- primo filtro è passa-banda
- secondo filtro è passa-basso
- l'uscita è un passa-basso invertente

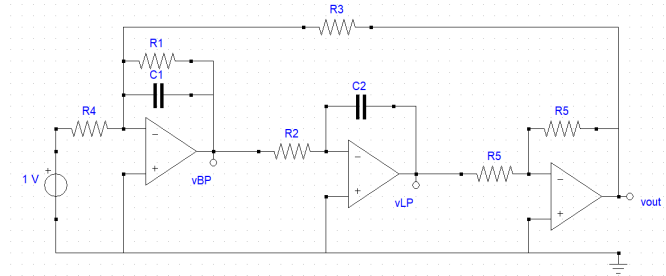


Figura: Filtro di TowThomas

Aspetti di Confronto

- analizziamo le uscite degli op-amp
- diagrammi di Bode con guadagno e fase
- quello che ci aspettiamo è di avere tutti e tre i grafici identici: con v_{LP} che coincide con v_{out} per quanto riguarda il diagramma del guadagno

Grafici e Risultati per PLECS

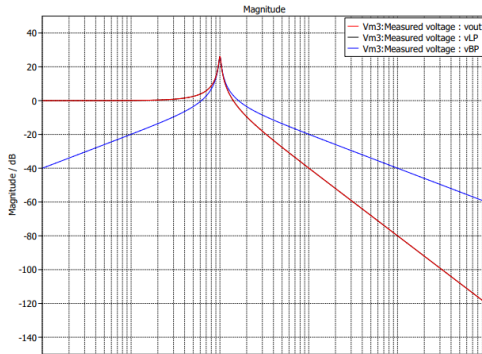


Figura: Diagramma di Bode per il guadagno

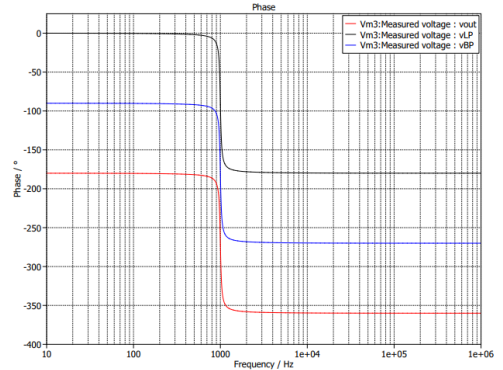


Figura: Diagramma di Bode per la fase

Grafici e Risultati per LTspice

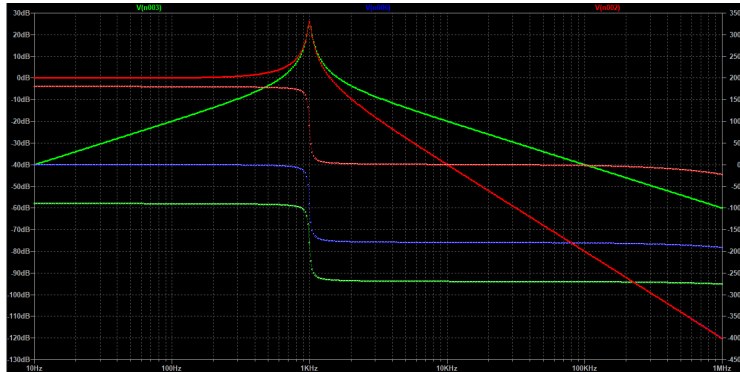


Figura: Diagramma di Bode per LTspice

Grafici e risultati per SapWin

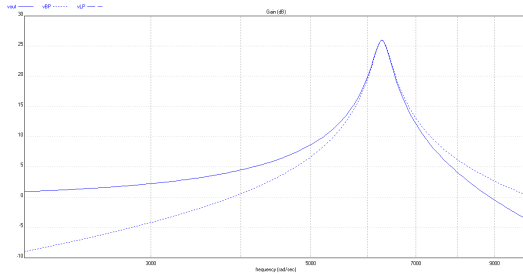


Figura: Diagramma di Bode per il guadagno

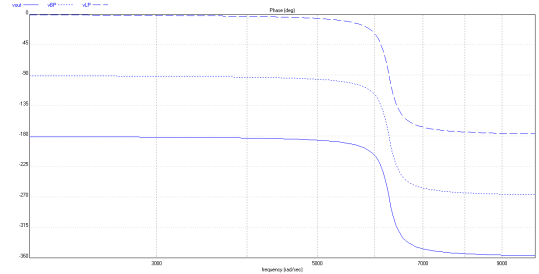


Figura: Diagramma di Bode per la fase

Risultato Simbolico di SapWin

$$V_{BP} = \frac{+(-C_2 R_1 R_2 R_3 R_5) s}{+(R_1 R_4 R_5) + (C_2 R_2 R_3 R_4 R_5) s + (C_2 C_1 R_1 R_2 R_3 R_4 R_5) s^2} \quad (1)$$

$$V_{LP} = \frac{+(R_1 R_3 R_5)}{+(R_1 R_4 R_5) + (C_2 R_2 R_3 R_4 R_5) s + (C_2 C_1 R_1 R_2 R_3 R_4 R_5) s^2} \quad (2)$$

$$V_{out} = \frac{+(-R_1 R_3 R_5)}{+(R_1 R_4 R_5) + (C_2 R_2 R_3 R_4 R_5) s + (C_2 C_1 R_1 R_2 R_3 R_4 R_5) s^2} = -V_{LP} \quad (3)$$

Analisi dei Risultati

- Entrambi i simulatori confermano le aspettative, con grafici che seguono le ipotesi.
- I simulatori simbolici sono preferibili per lo studio dei modelli e delle variazioni parametriche, ma perdono di leggibilità con circuiti più complessi.
- I simulatori numerici sono efficaci per simulare circuiti non lineari di grandi dimensioni, con la costituzione e l'uso di librerie.

Grazie per l'attenzione