

PROGETTO SASP A.A. 2015/2016

Jacopo Lovatello – M.862780 – CP.10546576

Introduzione

Il progetto realizzato per il corso di SASP vuole essere un'implementazione del trasduttore lineare Klippel (W. Klippel, U. Seidel) tramite Wave Digital Filter (WDF) guidato sia da onde di tensione (WAVE) che da onde di potenza normalizzata (PNW).

La correttezza dei due algoritmi, implementati tramite linguaggio MATLAB, è stata comprovata confrontando i segnali ottenuti a tre diversi componenti con i medesimi ricavati dall'implementazione SPICE dello stesso trasduttore.

Implementazione

Dopo aver analizzato e rimodellato il circuito è stato realizzato il suo equivalente WDF (Figura 1) seguendo la teoria della struttura wave classica (A. Sarti, S. Tubaro, R. Zlatoni).

In particolare sono stati implementati:

- Generatori reali di tensione adattati: descritti da un'onda riflessa pari a $b = V_g$;
- Resistori lineari adattati e non: i primi caratterizzati da un'onda riflessa nulla e i secondi contenenti una dipendenza temporale istantanea del tipo $b = \frac{R-Z}{R+Z}a$
- Condensatori lineari adattati: implementati tramite ritardo discreto di un campione e impedenza dipendente dalla frequenza di campionamento secondo la legge $Z_C = \frac{1}{2CF_s}$;
- Induttori lineari adattati: caratterizzati da ritardo unitario, inversione di fase e impedenza direttamente proporzionale alla frequenza di campionamento secondo la legge $Z_L = 2LF_s$;
- Adattatori in serie a 3 porte per la modellazione dei tratti di circuito in serie;
- Adattatori in parallelo a 3 porte per la modellazione delle maglie del circuito.

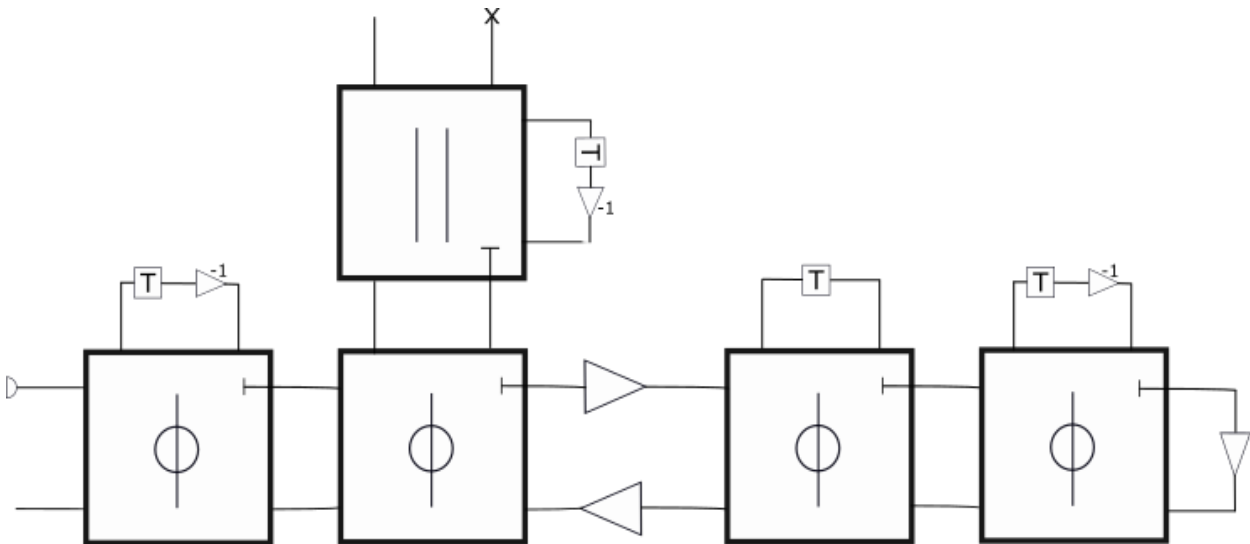


Figura 1: Schema WDF

Il trasformatore presente nel circuito è stato implementato nel dominio wave attraverso trasformazione Kirchhoff to Wave delle funzioni che legano i due valori di tensione e corrente ai capi del trasformatore (B. P. Stošić).

L'algoritmo sviluppato per l'implementazione a onde di tensione è stato in seguito modificato per l'implementazione PNW, in particolare, tenendo conto delle relative K2W e W2K, sono state modificate le funzioni del generatore reale di tensione adattato, le matrici di scattering caratterizzanti gli adattatori a 3 porte in serie e in parallelo (A. Bernardini, A. Sarti) e le condizioni di adattamento del trasformatore; per una completa derivazione di queste ultime si rimanda alla dimostrazione di cui sotto.

Per una completa analisi si rimanda al codice MATLAB.

Condizioni di adattamento del trasformatore

Per brevità sono riportati solamente i passaggi cruciali delle dimostrazioni.

Funzione caratteristica del trasformatore:
$$\begin{cases} V_{10} = nV_9 \\ I_{10} = -\frac{I_9}{n} \end{cases}$$

Condizione di adattamento: $R_{10} = n^2 R_9$

- Caso WAVE: $K2V \rightarrow V = \frac{a+b}{2}, \quad I = \frac{a-b}{2R}$

$$\begin{aligned} & \begin{cases} \frac{a_{10} + b_{10}}{2} = \frac{n(a_9 + b_9)}{2} \\ \frac{a_{10} - b_{10}}{2R_{10}} = -\frac{(a_9 - b_9)}{2nR_9} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} b_{10} = na_9 + nb_9 - a_{10} \\ b_9 = a_{10} \frac{nR_9}{R_{10}} - b_{10} \frac{nR_9}{R_{10}} + a_9 \end{cases} \rightarrow \\ & \rightarrow \begin{cases} b_{10} = 2na_9 \frac{R_{10}}{R_{10} + n^2 R_9} - a_{10} \frac{n^2 R_9 - R_{10}}{R_{10} + n^2 R_9} \\ b_9 = 2a_{10} \frac{nR_9}{R_{10} + n^2 R_9} + a_9 \frac{R_{10} - n^2 R_9}{R_{10} + n^2 R_9} \end{cases} \end{aligned}$$

Adattando per $R_{10} = n^2 R_9$ si ottiene:

$$\begin{cases} b_{10} = 2na_9 \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{10}} - a_{10} \frac{R_{10} - R_{10}}{R_{10} + R_{10}} \\ b_9 = 2a_{10} \frac{nR_9}{n^2 R_9 + n^2 R_9} + a_9 \frac{R_{10} - R_{10}}{R_{10} + R_{10}} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} b_{10} = na_9 \\ b_9 = \frac{a_{10}}{n} \end{cases}$$

- Caso PNW: $K2V \rightarrow V = (a + b)\sqrt{Z}$, $I = \frac{a-b}{\sqrt{Z}}$

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{aligned} (a_{10} + b_{10})\sqrt{R_{10}} &= n(a_9 + b_9)\sqrt{R_9} \\ \frac{a_{10} - b_{10}}{\sqrt{R_{10}}} &= \frac{-(a_9 - b_9)}{n\sqrt{R_9}} \end{aligned} \right. \rightarrow \left\{ \begin{aligned} b_{10} &= na_9 \frac{\sqrt{R_9}}{\sqrt{R_{10}}} + nb_9 \frac{\sqrt{R_9}}{\sqrt{R_{10}}} - a_{10} \\ b_9 &= na_{10} \frac{\sqrt{R_9}}{\sqrt{R_{10}}} - nb_{10} \frac{\sqrt{R_9}}{\sqrt{R_{10}}} - a_9 \end{aligned} \right. \rightarrow \\ & \rightarrow \left\{ \begin{aligned} b_{10} &= 2a_9 \frac{nR_{10}\sqrt{R_9}}{R_{10}\sqrt{R_{10}} + n^2R_9\sqrt{R_{10}}} + a_{10} \frac{n^2R_9 - R_{10}}{n^2R_9 + R_{10}} \\ b_9 &= 2a_{10} \frac{nR_{10}\sqrt{R_9}}{R_{10}\sqrt{R_{10}} + n^2R_9\sqrt{R_{10}}} + a_{10} \frac{R_{10} - n^2R_9}{R_{10} + n^2R_9} \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

Adattando per $R_{10} = n^2R_9 \rightarrow \sqrt{R_{10}} = n\sqrt{R_9}$ si ottiene:

$$\left\{ \begin{aligned} b_{10} &= 2a_9 \frac{R_{10}\sqrt{R_{10}}}{R_{10}\sqrt{R_{10}} + R_{10}\sqrt{R_{10}}} + a_{10} \frac{R_{10} - R_{10}}{R_{10} + R_{10}} \\ b_9 &= 2a_{10} \frac{R_{10}\sqrt{R_{10}}}{R_{10}\sqrt{R_{10}} + R_{10}\sqrt{R_{10}}} + a_{10} \frac{R_{10} - R_{10}}{R_{10} + R_{10}} \end{aligned} \right. \rightarrow \begin{cases} b_{10} = a_9 \\ b_9 = a_{10} \end{cases}$$

Risultati

Nei grafici sottostanti è possibile osservare i segnali delle implementazioni WDF a onde di tensione (WAVE) e a onde di potenza normalizzata (PNW) confrontati con quelli ottenuti tramite SPICE ai capi del resistore R_{out} (Figura 2), in uscita dal generatore reale di tensione (Figura 3) e ai terminali di output del trasformatore (Figura 4).

Dalle plot è possibile osservare un match completo, sia in ampiezza che in fase, delle implementazioni WAVE e PNW, confermato dalla differenza costante pari a 0 delle due realizzazioni.

È inoltre possibile osservare un lieve scostamento di fase e una differenza in ampiezza tra le due realizzazioni sopra citate e l'implementazione SPICE.

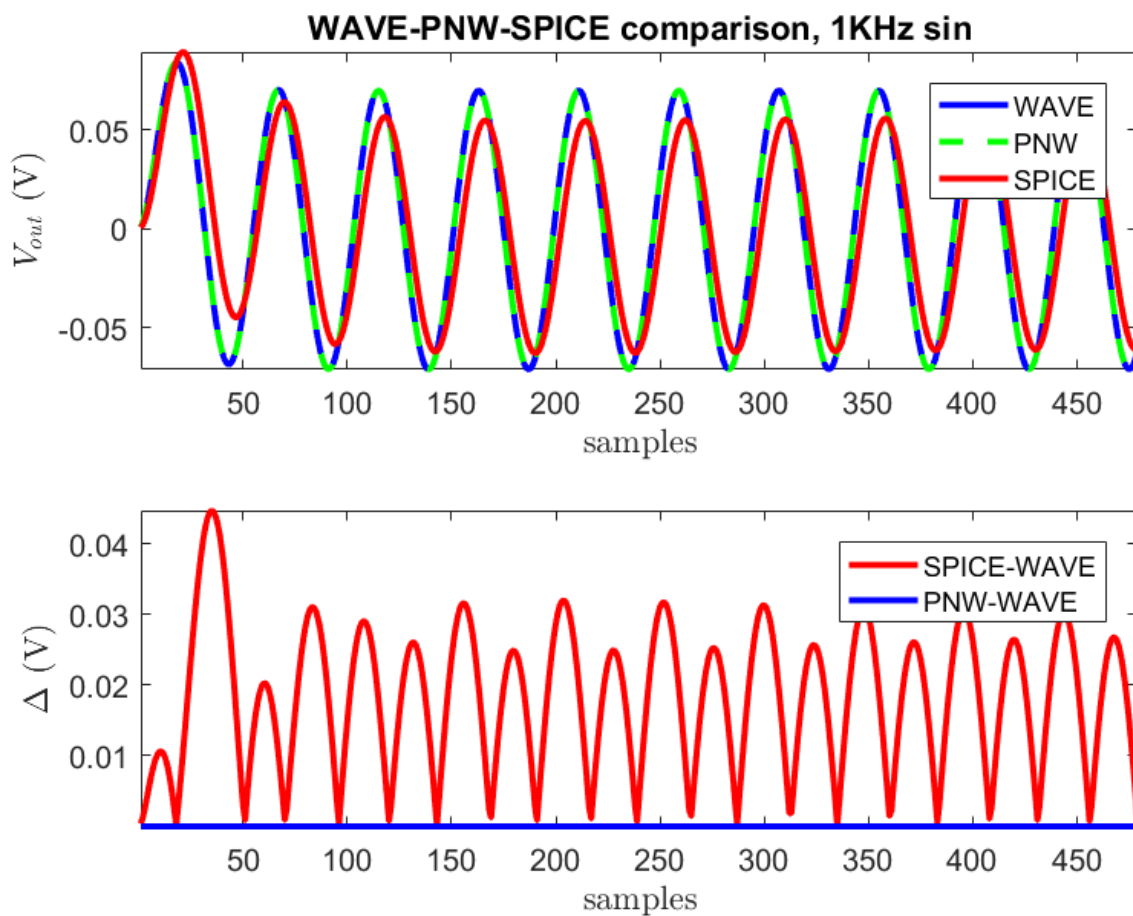


Figura 2: Segnali di output

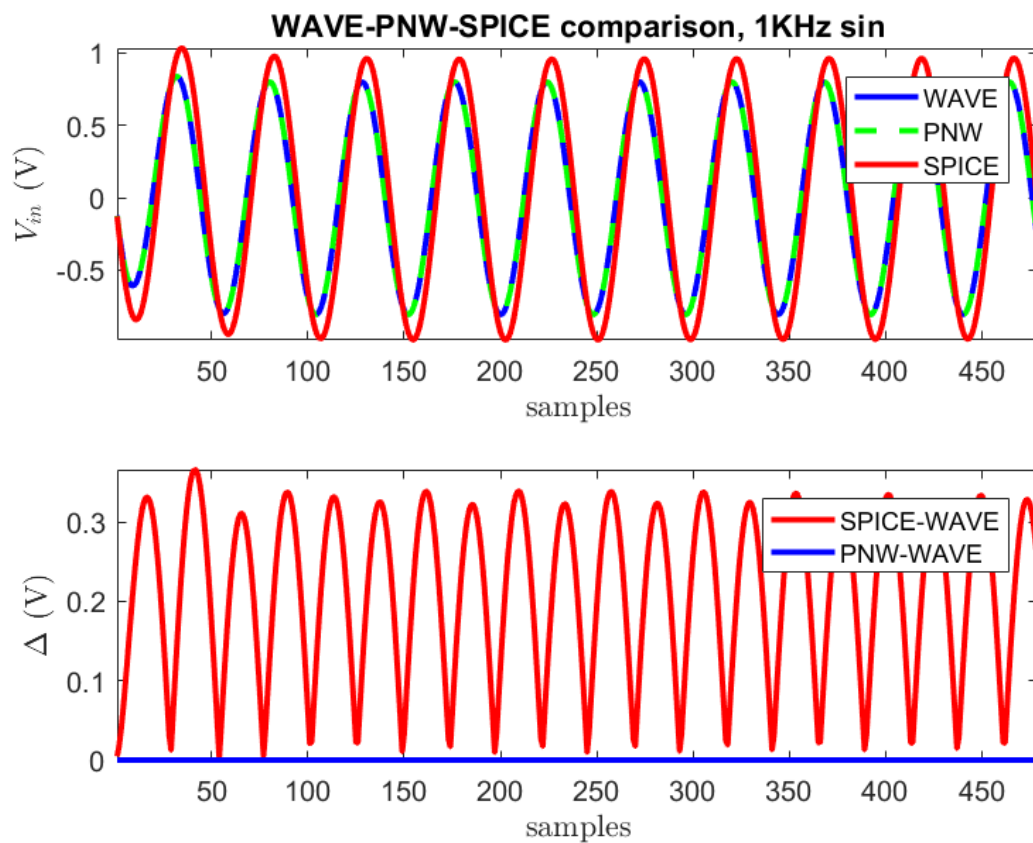


Figura 3: Segnali di input

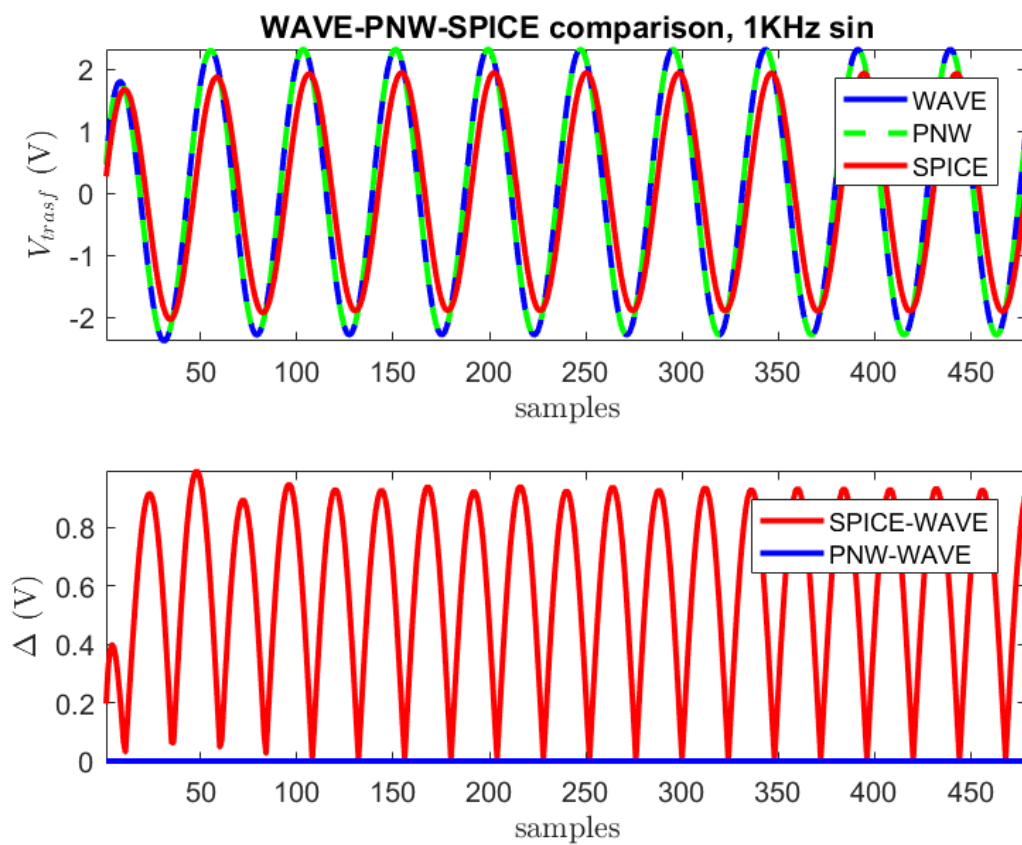


Figura 4: Segnali di output al trasformatore

Bibliografia

- A. Bernardini, A. Sarti. - Dynamic Adaptation of Instantaneous Nonlinear Bipoles in Wave Digital Networks.
- A. Sarti, S. Tubaro, R. Zattoni. - Automatic Synthesis of Nonlinear Wave Digital Structures with Applications to Musical Acoustics.
- Stošić, B. P. - Wave Digital Models of Ideal and Real Transformers.
- W. Klippel, U. Seidel. - Fast and Accurate Measurement of Linear Transducer Parameters.