

MINIGUIDA A SPICE

Questa guida fornisce le basi per l'utilizzo del programma di simulazione circuitale SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) ai fini delle esercitazioni nell'ambito dei corsi di Elettronica I e Complementi di elettronica I. In particolare si farà riferimento alla versione per PC della MicroSim: PSPICE 8.0.

Il programma SPICE consente, tra l'altro, di effettuare su di un circuito 3 tipi di analisi:

- 1) analisi in corrente continua (DC), che permette di ottenere il punto di lavoro statico e la caratteristica di trasferimento quasi statica del circuito;
- 2) analisi in corrente alternata (AC) per piccoli segnali attorno ad un punto di lavoro statico, che fornisce la risposta in frequenza del circuito;
- 3) analisi in transitorio per grandi segnali a partire da un punto di lavoro statico, che fornisce la risposta nel tempo ad uno stimolo di ingresso.

Per prima cosa si deve creare un file di input con un editor ASCII, che contiene informazioni sulla struttura del circuito e dei componenti, e sull'analisi da eseguire. In pratica, utilizzando l'applicazione *Schematics*, è possibile disegnare il circuito e ottenere la creazione del file di testo in maniera automatica. *Schematics* crea anche la *Netlist*, che è un elenco dei componenti presenti nel circuito, delle loro proprietà e dei nodi cui sono collegati.

Prima di procedere si deve notare che esistono dei vincoli sul modo in cui i componenti possono essere connessi per formare un circuito corretto dal punto di vista SPICE. Per prima cosa un circuito deve sempre avere un nodo di massa (GND), cui deve essere connesso ogni altro nodo da almeno un cammino DC. Non possono essere connessi in parallelo due generatori di tensione senza resistenza serie, o in serie due generatori di corrente senza resistenza in parallelo, e non si possono lasciare nodi isolati.

Il circuito va completato andando ad evidenziare quali sono le grandezze (V o I) di cui interessa ottenere la simulazione e i nodi cui sono riferite (ciò è fatto attraverso i cosiddetti *marker*).

A partire dal file di testo il programma esegue la simulazione e crea un file di output, contenente le informazioni dell'analisi. Si può ottenere la visualizzazione diretta dei risultati della simulazione attraverso l'applicazione *Probe*.

DEFINIZIONE DEL CIRCUITO

Una volta eseguita l'applicazione *Schematics* il circuito può essere disegnato direttamente sullo schermo del computer. Per introdurre un componente si deve andare nel menù *draw* e nel suo sottomenù *Get New Part* (in alternativa si può usare la combinazione di tasti CTRL+G). Qui si deve selezionare il componente di interesse, che viene poi portato nel circuito cliccando in *Place* o in *Place & Close*. Tra i vari componenti da scegliere i principali sono:

- *R* resistore, si deve definire il valore (*value*) in Ω ;
- *C* condensatore, si deve definire il valore (*value*) in F, eventualmente si può imporre la tensione iniziale ai suoi capi in V (opzione *IC*);
- *L* induttore, si deve definire il suo valore (*value*) in H, eventualmente si può imporre la corrente iniziale in A (opzione *IC*);
- *D* diodo, si deve definire il modello tra quelli presenti nella libreria;
- *Q* transistor bipolare, si deve definire il modello tra quelli presenti nella libreria;
- *J* JFET, si deve definire il modello tra quelli presenti nella libreria;
- *M* transistor MOS, si deve definire il modello tra quelli presenti nella libreria;
- *VDC* generatore indipendente di tensione continua, si deve indicare il valore della tensione, nella riga *DC*. Questo generatore è usato in tutte le analisi;

- *VAC* generatore indipendente di tensione sinusoidale, si deve indicare il valore di tensione nella riga *AC*, ed eventualmente il valore di tensione *DC*, per le corrispondenti analisi;
- *VPULSE* generatore di tensione ad impulso definibile, si deve definire l'impulso, che sarà dato dall'interpolazione lineare della seguente successione di punti: V_1 a $t=0$, V_1 a $t=TD$, V_2 a $t=TD+TR$, V_2 a $t=TD+TR+PW$, V_1 a $t=TD+TR+PW+TF$ e V_1 a $t=TD+PER$ (*PER* rappresenta il periodo del segnale). Questo impulso è usato nell'analisi in transitorio. Eventualmente si possono introdurre le componenti *DC* e *AC* usate nelle rispettive analisi;
- *VSIN* generatore di tensione ad impulso sinusoidale smorzato esponenzialmente;
- *VPWL* generatore di tensione lineare a tratti;
- *I** generatori di corrente con opzioni analoghe a quelli di tensione (al posto di * si mette la sigla corrispondente);
- *E* generatore di tensione controllato in tensione, si deve indicare il guadagno (*gain*) tra ingresso e uscita;
- *F* generatore di corrente controllato in corrente, si deve indicare il guadagno (*gain*) tra ingresso e uscita;
- *G* generatore di corrente controllato in tensione, si deve indicare la transconduttanza (*gain*) tra ingresso e uscita;
- *H* generatore di tensione controllato in corrente, si deve indicare la transresistenza (*gain*) tra ingresso e uscita;
- *GND_ANALOG* per introdurre il riferimento di massa (obbligatorio in almeno un nodo).

Una volta scelto il componente esso può essere posto in un punto qualsiasi del circuito posizionandolo con il mouse e cliccando il tasto sinistro. Finché non viene cliccato il tasto destro si possono se ne possono introdurre altri di analoghi. I componenti da introdurre possono essere ruotati mediante la combinazione di tasti CTRL+R, che esegue una rotazione di 90° in senso antiorario.

Il valore e le proprietà del componente si introducono cliccando rapidamente due volte sul componente stesso con il tasto sinistro del mouse.

I valori da fornire ai componenti possono essere espressi in forma decimale o in virgola mobile, quest'ultima semplice o esponenziale. Eventualmente SPICE permette anche di usare i suffissi del sistema metrico:

F	femto	E-15;
P	pico	E-12;
N	nano	E-9;
U	micro	E-6;
M	milli	E-3;
K	chilo	E+3;
MEG	mega	E+6;
G	giga	E+9;
T	tera	E+12.

Si noti che SPICE non fa distinzione tra caratteri minuscoli e maiuscoli e che non è necessario introdurre nel valore anche l'unità di misura in quanto viene automaticamente utilizzata l'unità del sistema internazionale.

Per introdurre dei collegamenti filiformi si va nel menù *draw*, quindi nel suo sottomenù *wire*, o si utilizza la combinazione di tasti CTRL+W, o ancora si clicca nell'icona riportante una matita, presente nella barra degli strumenti nella parte alta dello schermo. Al posto del cursore compare una matita e cliccando il tasto sinistro del mouse si inizia a disegnare il filo, finché non si clicca di nuovo.

Una volta disegnato tutto il circuito è necessario introdurre il riferimento di massa su di un nodo, che verrà poi automaticamente numerato come nodo 0.

Bisogna ora andare ad indicare quali sono le grandezze di interesse che verranno poi visualizzate: ciò viene fatto attraverso i cosiddetti *markers*, andando nell'omonimo menù, dove tra le varie possibilità le principali sono tensione, tensione differenziale e corrente; eventualmente si può cliccare sulle icone della barra degli strumenti contenenti una V o una I all'interno di un cerchio. Il *marker* va poi posizionato nel nodo di interesse.

Prima di passare alla simulazione il circuito va salvato, e ciò si fa andando nel menù *File* e da qui nel sottomenù *Save As...*, dove verrà inserito un nome che individua il circuito in maniera univoca.

SIMULAZIONE

Prima di avviare la simulazione è necessario definire il tipo di simulazione richiesta, andando nel menù *Analysis* e nel sottomenù *Setup...* Qui compaiono i vari tipi di analisi e la loro abilitazione o meno (*Enabled*).

Tra le varie possibilità le principali sono le seguenti:

- *AC sweep*: fa l'analisi in alternata del circuito, fornendo la risposta in frequenza. Cliccando sul nome si può scegliere tra una variazione di frequenza lineare (*Linear*), per ottave (*Octave*) o per decenni (*Decade*). Inoltre si può scegliere il numero di punti totali (*Total Pts.*), la frequenza di partenza (*Start Freq.*) e quella di arrivo (*End Freq.*);
- *DC sweep*: fa l'analisi in DC del circuito, fornendo una grandezza di uscita al variare dell'uscita di un generatore indipendente. Cliccando sul nome si sceglie il generatore indipendente in oggetto (*Name*), il tipo di variazione (*Sweep Type*), il passo di variazione (*Increment*), il valore iniziale (*Start Value*) e quello finale (*End Value*);
- *Bias Point Detail*: va a determinare il punto di lavoro in DC del circuito (è abilitato per default);
- *Transfer Function*: determina la funzione di trasferimento DC per piccoli segnali. Cliccando sul nome si deve fornire la variabile di uscita (*Output Variable*) e la sorgente di ingresso (*Input Source*), che deve essere un generatore indipendente.
- *Transient*: fa l'analisi in transitorio, fornendo la risposta nel tempo. Cliccando sul nome si fornisce il passo temporale (*Print Step*) e il tempo finale (*Final Time*) dell'analisi.

Una volta abilitate e settate le analisi da eseguire si può passare all'esecuzione dell'analisi vera e propria dal sottomenù *Simulate* o cliccando nell'icona gialla con dei grafici disegnati. Con ciò viene fatta l'analisi, che crea la netlist e il file di output. Viene inoltre lanciata l'applicazione *Probe* che riporta graficamente l'andamento della grandezza di interesse.

L'applicazione *Probe* oltre a visualizzare l'andamento richiesto consente una serie di interessanti applicazioni, utili a determinare varie quantità sul circuito in esame, come tempi di salita e discesa, impedenze di ingresso e uscita, banda passante e così via.

Innanzitutto il menu *Plot* presenta i due sottomenù *X Axis Setting* e *Y Axis Setting* con i quali è possibile impostare l'intervallo visualizzato lungo gli assi X e Y e il tipo di scala utilizzata (lineare o logaritmica), il che può essere ad es. utilizzato per eseguire uno zoom di un particolare intervallo.

Poi si ha il menù *Tools* con il sottomenù *Cursor* e funzione *Display*, in questo modo vengono visualizzati sul grafico una coppia di cursori che possono essere spostati lungo la curva, dando indicazioni della posizione X-Y in cui ci si trova e dalla differenza tra le ordinate e le ascisse dei due cursori.

Infine si ha il menù *Trace*, che permette molte operazioni sul segnale visualizzato. Innanzitutto il sottomenù *Add* consente di dare una rappresentazione grafica di un'espressione matematica nella quale possono entrare in gioco tutte le grandezze (V e/o I) presenti nel circuito. Si possono usare le operazioni algebriche e varie altre operazioni più complicate (logaritmi, esponenziali, funzioni goniometriche, max e min, ecc.). Ciò può ad es. consentire di calcolare la potenza dissipata su di un componente dal prodotto $V \cdot I$.

Si ha poi il sottomenù *Fourier* che dà la rappresentazione della trasformata di Fourier del segnale rappresentato.

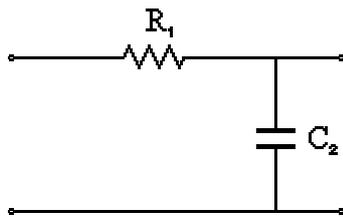
Quindi il sottomenù *Goal Function* che contiene tutta una serie di funzioni che possono essere applicate ad una delle grandezze (V o I) del circuito. In questo menù è possibile creare nuove funzioni (*new*) o vedere come sono costruite quelle già presenti, (*view*, che tra l'altro riporta anche una breve descrizione della funzione).

Infine si ha il sottomenù *Eval Goal Function* con il quale si possono applicare le *Goal Function* alle varie grandezze. Tra le possibilità di queste funzioni si ha la determinazione dei tempi di salita (*Risetime*) e di discesa (*Falltime*) di un segnale, della banda passante (*Bandwidth* o *BPBW*), del periodo (*Period*), dei *Max* e *Min*, dell'*Overshoot*, ecc.

ESEMPIO

Per comprendere meglio l'esempio seguente sarebbe opportuno seguire i vari passi lavorando direttamente al computer.

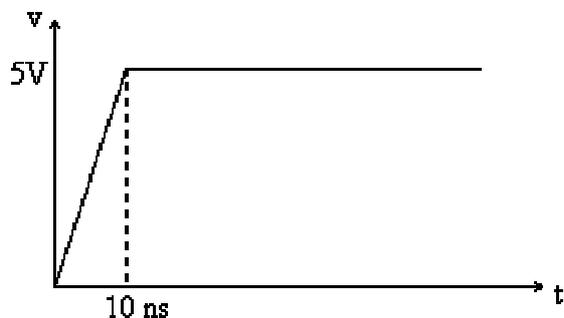
Si consideri un filtro R-C passa basso:



con $R_1=0.82\text{K}\Omega$ e $C_2=2.2\text{nF}$.

Si vuole determinare:

- 1) L'andamento nel tempo della tensione di uscita, come risposta ad un impulso di ingresso con il seguente andamento a gradino:



in particolare il tempo di salita e la costante di tempo.

- 2) L'andamento nel tempo della corrente nel condensatore.
- 3) La risposta in frequenza del filtro e la frequenza di taglio.
- 4) La risposta nel tempo del filtro ad un'onda quadra non ideale di ingresso avente le stesse caratteristiche dell'impulso al punto 1), con un tempo di discesa pari al tempo di salita e una

frequenza di 1MHz. In particolare determinare l'ampiezza picco-picco dell'ondulazione residua dopo il transitorio iniziale.

La soluzione dell'esercizio richiede innanzitutto di disegnare il circuito in Schematics. Con la combinazione CTRL+G si può introdurre la resistenza (R) e posizionarla sullo schermo (Place & Close) cliccando prima sul tasto sinistro del mouse poi sul destro. La resistenza per default ha un valore pari a $1K\Omega$, per modificarlo si clicca rapidamente due volte sopra di essa con il tasto sinistro del mouse e sulla riga Value si va ad inserire il valore 0.82K (i.e. $0.82e3$ o 820). Usando ancora la combinazione CTRL+G si va ora a selezionare il condensatore (C) e con una procedura analoga a quanto fatto per R lo si posiziona e gli si dà il valore di 2.2n. In particolare per disegnare il circuito come riportato nel disegno precedente il condensatore può essere ruotato, prima di posizionarlo definitivamente con la combinazione CTRL+R. Il circuito va ora completato con dei collegamenti filiformi e con il riferimento di massa (GND_ANALOG) posto sulla parte inferiore del circuito.

1) Per applicare in ingresso un impulso della forma richiesta si può inserire (CTRL+G) il generatore di tensione VPULSE. I parametri da definire per questo primo punto sono i valori $V_1=0$, $V_2=5$, $TR=10ns$. Ora dato che è richiesto l'andamento della tensione di uscita si deve introdurre un marker di tensione sul terminale superiore del condensatore. Bisogna poi andare a selezionare il tipo di analisi richiesta nel sottomenu Setup... del menù Analysis. Qui si abilita l'analisi Transient e cliccando su di essa si va ad impostare il tempo di analisi, ad es. a 20us. Si può ora far partire l'analisi cliccando sull'icona corrispondente e in tal modo l'applicazione Probe va a visualizzare sullo schermo l'andamento della tensione richiesta.

A questo punto è possibile valutare il tempo di salita del segnale: dal menù Trace si seleziona Goal Function e tra le varie scelte possibili Risettime. Ora si clicca su Eval e vengono richiesti i parametri della funzione, in questo caso solo il nome della traccia di cui si deve determinare il tempo di salita. Cliccando sull'iconcina compaiono tutti segnali del circuito e tra questi si seleziona quello di interesse (che è lo stesso riportato sotto il grafico iniziale, cioè $V(C1:2)$).

Cliccando su OK sulla parte alta del grafico compare la risposta (3.95542 us).

Per determinare la costante di tempo del circuito R-C non si ha una funzione ad hoc come per il tempo di salita e si può utilizzare la funzione XatNthY, che permette di avere il valore della coordinata X corrispondente ad un certo valore della coordinata Y. Essa prevede 3 parametri, nell'ordine il segnale da analizzare, il valore della Y e l'occorrenza di questo valore (utile se il segnale assume più volte il valore Y). Come valore da dare alla Y si deve utilizzare la definizione di costante di tempo, che è il tempo dopo il quale il segnale ha raggiunto la frazione $1-1/e$ del valore finale, nel nostro caso 3.1606V. Infine come occorrenza del valore di Y si mette il valore 1 dato che la funzione è monotona crescente e quindi passa una sola volta per il valore cercato. Si ottiene così una costante di tempo pari a 1.81371us.

2) Per trovare l'andamento nel tempo della corrente in C è sufficiente tornare in Schematics e togliere il marker di tensione (si va sopra con il cursore, si clicca una volta con il tasto sinistro e quindi si clicca sull'icona contenete una forbice) ed inserire nello stesso punto un marker di corrente, quindi avviando la simulazione (sempre con modalità Transient) si ottiene l'andamento cercato.

3) Per determinare la risposta in frequenza del filtro è necessario introdurre una componente AC nel generatore impulsivo o sostituirlo con un generatore VAC. Scegliendo la prima possibilità si clicca due volte sul generatore e si inserisce un valore in AC (ad es. 5V). A questo punto bisogna reintrodurre il marker di tensione al posto di quello di corrente, quindi si va in Analysis e in Setup... e si abilita l'analisi AC Sweep. Facendo partire l'analisi sullo schermo compare la risposta in frequenza cercata. E' conveniente impostare per entrambi gli assi un andamento logaritmico e ciò si fa dal menù Plot e dai suoi sottomenu X Axis Setting e Y Axis Setting. Per determinare la frequenza di taglio si può utilizzare la goal function LPBW (la funzione HPBW serve per determinare la frequenza di taglio di un passa alto), mettendo come argomenti il

segnale in esame (V(C1:2)) e i dB di diminuzione in cui è definita la frequenza di taglio (nel caso in esame 3dB). Si trova così una f di 88011.8Hz.

- 4) Per quest'ultimo punto è necessario ridefinire la forma d'onda d'uscita del VPULSE, impostando oltre a TR=10ns anche TF=10ns, PW=480ns e PER=1000ns. Si imposta ora l'analisi Transient e si lancia la simulazione. In Probe si trova un andamento ondulatorio crescente che dopo un certo tempo si stabilizza. In questa zona va fatta la misura relativa al picco-picco richiesto. Si individua un settore temporale in cui sia presente un solo massimo e uno in cui sia presente un solo minimo (eventualmente si aumenta la scala temporale intorno alle zone di interesse). Ora si può usare l'applicazione Eval Goal Function nel menù Trace e ricorrere alle funzioni MAXr e MINr che determinano rispettivamente il massimo e il minimo del segnale in un intervallo dell'asse X. Nella riga Trace Expression si può introdurre l'espressione: MAXr(V(C1:2),15e-6,16e-6)- MINr(V(C1:2),15.5e-6,16.5e-6). Dando l'OK si ottiene il risultato cercato: 0.680423V.

N.B. E' possibile anche visualizzare contemporaneamente l'andamento di più forme d'onda contemporaneamente. Per far ciò è sufficiente andare nel sottomenù Add del menù Trace e poi selezionare la traccia, o l'espressione, da visualizzare.