

TARGET 3001 – V16

Software integrato di progettazione

Manuale



Autore: Paolo Pacini
2° Edizione: Settembre 2013

PREFAZIONE

Questo manuale è la seconda edizione di uno precedente, scritto inizialmente per uso personale dal sottoscritto, un utente come tanti, che poi, vista la buona riuscita, ha deciso di divulgarlo in modo che altri ne possano usufruire.

E' infatti esperienza comune che, specialmente all'inizio, chi si avvicina a un nuovo programma, di una certa complessità come questo, trovi difficoltà a proseguire nello studio specialmente se scritto in altra lingua, e spesso abbandona per insufficiente perseveranza. Un manuale, già scritto nella propria lingua, poco prolisso, ma diretto al punto, può essere senz'altro un valido aiuto per non abbandonare la prosecuzione dell'apprendimento ed arrivare al termine, con la soddisfazione di essersi impadroniti di un nuovo potente strumento di lavoro. Il manuale inoltre offre la possibilità di rinfrescare, con una immediata consultazione, quello che, appreso in precedenza, si è nel frattempo già dimenticato.

Il manuale è suddiviso in 13 capitoli, di cui 7 si riferiscono ciascuno ad una specifica funzione che TARGET 3001 è in grado di svolgere (Disegno dello schema, Simulazione, Disegno di PCB ecc.). Gli altri capitoli sono complementi e Appendici.

L'accesso ad ogni argomento è immediato: basta selezionarlo nell'indice, all'interno del capitolo di appartenenza e, con collegamento ipertestuale, richiamarlo con un click.

Questo manuale non ha la pretesa di essere una guida completa, per la quale si consiglia la lettura dei testi originali di TARGET 3001, ma solo un aiuto alla partenza, scritto da "uno del gruppo degli interessati" che ha deciso di condividere "i propri appunti".

Durante il lavoro, ho trovato non solo utile ma anche avvincente il programma di simulazione SPICE integrato in Target. Dapprima fa un bel po' confondere, finché non si è preso un po' di dimestichezza. Un modo per avvantaggiarsi nel corretto impiego, è quello di decidersi finalmente a leggere almeno alcuni argomenti del manuale originale SPICE 3F5 reperibile sul web che però è composto da almeno 300 pagine in inglese.

Per questo, al fine di facilitare l'apprendimento e promuovere l'interesse, in appendice B ho inserito un estratto condensato per iniziare a usare subito SPICE 3F5, che stimolerà ad andare oltre nell'apprendimento di questo formidabile strumento. Dopo questa lettura riusciremo facilmente a capire perché alcuni modelli non ci funzionavano, li sapremo correggere e importare. Addirittura sapremo anche scrivere noi stessi dei facili modelli e avremo la soddisfazione di vederli funzionare correttamente.

La simulazione SPICE non è un passatempo. Si possono creare schemi anche complessi e vedere con stupore che la simulazione aveva predetto con ottima approssimazione i risultati successivamente ritrovati su circuito sperimentale montato a banco. Diventa senz'altro un aiuto prezioso nella progettazione di nuovi circuiti in quanto la simulazione predice subito la correttezza del progetto.

Seguono, sempre in appendice, alcuni esempi applicativi.

Nonostante tutta l'attenzione prestata, e la revisione accurata partendo dalla prima edizione, sicuramente si troveranno ancora errori e distrazioni sparsi qua e là. Me ne scuso e spero non siano poi così gravi. Sarò grato a chi, accortosene, vorrà comunicarlo al mio indirizzo paolo.pacini.0@alice.it

Firenze, Settembre 2013

Ing. Paolo Pacini

INDICE

1 – DISEGNO DELLO SCHEMA ELETTRICO

1.1 Abbreviazioni del mouse e note preliminari.	
1.2 Apertura di un nuovo progetto	
1.3 Griglia	
1.4 Corsore a passi	
1.5 Corsore “Cross hair”	.....pag.9

1.6 Piazzare i componenti	
1.7 Connessione automatica di un componente	
1.8 Intensificare il tratto del disegno dei simboli	
1.9 Finestra del Package	.....pag.10

1.10 Le liste dei componenti	
1.11 Inserimento rapido	
1.12 Selezionare un componente sul disegno	
1.13 Tracciatura dei collegamenti	
1.14 Simboli di riferimento	.....pag.12

1.15 Etichette di riferimento per collegamenti	
1.16 Alimentazione di circuiti integrati	
1.17 Componenti speciali non facilmente reperibili	
1.18 Inserire un testo	
1.19 Muovere un componente	
1.20 Trascinare parte del disegno	
1.21 Muovere solo il testo di un componente	
1.22 Ruotare	.....pag.13

1.23 Cancellare	
1.24 Assegnare il valore a un componente	
1.25 Interrompere un'azione non voluta	
1.26 Undo - Redo	
1.27 Zoom sul disegno	
1.28 Selezione di un gruppo di elementi del disegno	
1.29 La funzione REO	.....pag.14

2 – LA SIMULAZIONE

2.1 Modellipag.16
-----------------------------	-------------

2.2 Fornire una tensione di alimentazione	
2.3 Fornire un segnale esterno di stimolo	
2.4 Iniziare la simulazione	.....pag.17

2.5 Possibili cause di mancato funzionamento	
2.6 Assegnare ad un componente un modello di simulazione	
2.7 Ricerca -> Search	.....pag.18

2.8 Assegnazione del modello -> Select	
2.9 Modifiche -> Edit	pag.19
2.10 Assegnazione del livello > Level	
2.11 Attribuire un modello a un componente di libreria	
2.12 Esempi: Resistenza	
2.13 Condensatore	pag.20
2.14 Rappresentazione di segnali digitali	
2.15 Formatore di stimoli digitali personalizzati	
2.16 Impostazione di uno stimolo digitale	pag.21
2.17 Significato dei tasti del formatore di impulsi	pag.23
2.18 Elementi interattivi per simulazione	
2.19 LED interattivo	pag.24

3- DISEGNO DEL CIRCUITO STAMPATO

3.1 Apertura	
3.2 Disegno del bordo del PCB	
3.3 Cambio di unità di misura	
3.4 Scelta del Layer	
3.5 Posizionamento dei componenti sul PCB. Autoplacer	pag.26
3.6 Copiare un oggetto	
3.7 Piazzole (pads)	
3.8 Scelta del layer per disegnare una traccia.	
3.9 Tracce	
3.10 Cambiare larghezza di una traccia	pag.27
3.11 Aura di una traccia	
3.12 Selezione della estensione del percorso di una traccia.	
3.13 Inserire un ponte su di una traccia	
3.14 Funzione Autorouter	
3.15 Groundplanes	pag.28
3.16 Inserire un testo nel PCB	
3.17 Evidenziare il percorso di una traccia.	
3.18 Air wires e Ratsnest - Elastici	
3.19 Coordinate Assolute/ Relative	
3.20 Misura di una distanza nel PCB	
3.21 Calcolo delle spaziature e delle geometrie dei conduttori e max correnti ammesse	pag.29
3.22 Visione in 3D del PCB finito	
3.23 Controllo del progetto	
3.24 Disegno di pannelli di alluminio	pag.30

4 – CREARE UN NUOVO COMPONENTE

4.1 Disegno del componente sul circuito stampato	pag.32
4.2 Disegno del componente sullo schema elettrico	pag.33
4.3 Assegnare un componente alla libreria personale	
4.4 Disegno di un componente SMD	pag.34
4.5 Creazione di un nuovo circuito integrato ancora non presente in libreria	
4.6 Disegno del circuito integrato sullo schema elettrico	pag.35
4.7 Circuito integrato contenente più stadi uguali	pag.36
4.8 Modifiche successive	pag.37

5 – COSTRUIRE IMMAGINI IN 3D DEI COMPONENTI

5.1 La creazione di immagini di componenti in 3D	
5.2 Solido “S” (parallelepipedo)	pag.38
5.3 Cilindro “C”	
5.4 Toro “T”	pag.39
5.5 Poligono estruso “E”	
5.6 Testo “TT o Text”	
5.7 RC Fascette colori di identificazione	
5.8 Copiare l’immagine 3D di un componente per assegnarla ad un altro	pag.40
5.9 Copiare un oggetto 3D “n” volte nello spazio	pag.41
5.10 Immagine 3D di un package tipo DIL8	pag.42

6 – ESPORTARE IMPORTARE LIBRERIE

6.1 Finestra di gestione	
6.2 Esportazione	
6.3 Esportare singoli componenti	
6.4 Esportare tutti i componenti di un gruppo	pag.43
6.5 Esportare una libreria	
6.6 Esportare USERS/ My components and Packages	
6.7 Importazione	
6.8 Quando una finestra appare più grande dello schermo	
6.9 Selezione delle caratteristiche non volute	pag.44
6.10 Esportare importare propri progetti	pag.45

7 – ANALISI EMC

7.1 Introduzione	pag.46
7.2 Principio su cui si basa il programma	
7.3 Procedura: impostazione dei dati	pag.47
7.4 Calcolo degli accoppiamenti	pag.48

8 – COMPLEMENTI SULLA SIMULAZIONE

8.1 Modalità di analisi disponibili	
8.2 Modalità standard	
8.3 Frequenza	pag.52
8.4 Calcolo di curve	
8.5 Modalità “extended”	
8.6 Analisi dei transistori	
8.7 Analisi AC (banda passante)	pag.53
8.8 Analisi DC	
8.9 Rilevare la caratteristica di un diodo zener con l’analisi DC	pag.54
8.10 Rilevare la caratteristica dei transistori	pag.55

9 – APPENDICE A

Tabella dei tasti “F”	pag.58
---	--------

10 – APPENDICE B - SPICE 3F5 e TARGET

10.1 Introduzione	
10.2 Il modello di simulazione	
10.3 Scrittura dei numeri e fattori di scala	pag.59
10.4 Convergenza	
10.5 Modelli primitivi	pag.60
10.6 Componenti passivi	
10.7 Diodi e componenti attivi a stato solido	pag.61
10.8 Assegnare un modello a un componente primitivo in Target	pag.62
10.9 Sorgenti di tensione e corrente	
10.10 Esempio di assegnazione dei parametri ad una sorgente	
10.11 Scrittura delle istruzioni di una sorgente	pag.63
10.12 Sorgenti indipendenti in continua e periodiche	
10.13 Sorgenti dipendenti lineari	pag.64

10.14	Sorgente non linearmente dipendente . “ B “	
10.15	La funzione URAMP	
10.16	Sub-circuiti	pag.65
10.17	Regole per la scrittura delle istruzioni	pag.66
10.18	Esempio di sub circuito : simulazione di trasformatore	
10.19	Esempio di modello di diodo Zener	pag.67
10.20	Esempio di simulazione di pentodo EL84	pag.68

11 – APPENDICE C – SIMULAZIONE DEI TRASFORMATORI

11.1	La simulazione dei trasformatori in SPICE 3F5	
11.2	Esempio di simulazione: trasformatore di alimentazione	
11.3	Disegno dello schema elettrico	pag.70
11.4	Ricerca dei parametri di simulazione	pag.71
11.5	Modello di trasformatore di alimentazione	pag.72
11.6	Inserimento del modello nel componente	
11.7	Simulazione	pag.73
11.8	Analisi della simulazione	pag.74
11.9	Simulazione di trasformatore di alimentazione con due secondari	pag.76
11.10	Il trasformatore ideale	
11.11	Circuito equivalente del trasformatore reale	pag.79
11.12	Simulazione del trasformatore ideale con il sub circuito.	pag.80
11.13	Simulazione di trasformatore reale in bassa frequenza	pag.82
11.14	Simulazione di trasformatore reale in alta frequenza	pag.84

12 – APPENDICE D – Simulazione di una batteria

12.1	Creazione di un nuovo simbolo. Batteria	
12.2	Limiti del modello di simulazione adottato	pag.86
12.3	Scrittura del modello di simulazione	pag.87
12.4	Assegnazione del modello al simbolo	pag.88
12.5	Simulazione	pag.89

13 – APPENDICE E – Modelli di simulazione complessi

13.1	Introduzione	
13.2	Filtro audio passa basso del 2° ordine.	.....pag.91
13.3	Net list per modulo di filtro passa basso programmabile.	.....pag. 92
13.4	Scrittura del sub circuito della rete di componenti passivi.	.....pag.93
13.5	Sub-circuito dell'amplificatore operazionale	.....pag.94
13.6	Creazione di un nuovo componente: Filtro P.basso integrato.	
13.7	Inserimento dei modelli di simulazione nel modulo	.....pag.95
13.8	Collegamento del modulo e collaudo	.....pag.96
13.9	Modulo di filtro passa alto.	.....pag.98

1 - DISEGNO DELLO SCHEMA ELETTRICO

1.1 Abbreviazione del mouse e note preliminari:

M1=Click sul tasto sinistro. M1h= Click sul tasto sinistro e mantenere premuto. M2, M2h lo stesso ma sul tasto destro. M12 entrambi premuti. M11 e M22 = doppio click.

Simbologia usata in questo testo per indicare una sequenza di istruzioni.

Es.: File > New Project > Immettere il nome. Significa: fare click sulla casella File, poi su New Project, quindi scrivere il nome nella apposita casella che appare.

Nota. In Target 3001 i decimali sono separati da una virgola. Nella simulazione è richiesto il punto. Per non cadere in confusione, usare sempre il punto, accettato in entrambi i casi..

1.2 Apertura di un nuovo progetto.

File > New Project > Immettere il nome

Poi scegliere il tipo di progetto: con schema elettrico, oppure senza schema, cioè direttamente il disegno del circuito stampato. Entrambe le possibilità prevedono la scelta singola o doppia faccia. Una volta fatta la scelta iniziale, non si può più cambiare durante il proseguo del lavoro.

Il progetto aperto, deve essere successivamente salvato *File > Save project as...* in una apposita cartella.

Suggerimento! salvare in una cartella contenuta all'interno del programma Target. Seguire il percorso: C.> Documents and settings > Proprio nome personale già impostato nel computer > Dati Applicazioni > ibf > TarV16 > arrivati qui creare la cartella "Progetti". Aprirla e salvare il nuovo progetto. Lo scopo di salvare i progetti all'interno del programma Target è che se vengono salvati altrove, durante la simulazione apparirà un fastidioso messaggio di errore (giallo) che non ci leveremo più di torno. Il messaggio dice: *Hint: Some signal names or component names could cause problems for external simulators.* Viceversa se salveremo il progetto nella cartella di target, e se il nuovo progetto è corretto, quando apriremo la simulazione apparirà un messaggio *Assistant* incorniciato di verde e un circoletto verde OK che informa che non ci sono errori.

Tutta questa operazione di salvataggio all'interno di Target può essere semplificata semplicemente con *File > Save project as template.*

1.3 Griglia:

M1 su simbolo dell'occhio sulla barra di dialogo orizzontale. M1 su icona della griglia. Scegliere il passo in pollici. Accettare il messaggio di immettere 25 mils, perchè altrimenti le linee non combinano col disegno di alcuni componenti. Vi è però un problema: se si inserisce (tasto F5) la griglia a linea continua, il disegno sfuma e diviene poco visibile. Convienne allora scegliere la griglia a punti " *Grid as points*" e il passo di 25 mils. Oppure vedi par.1.8.

1.4 Cursore a passi.

Per legare il cursore alla griglia a passi di 25 mils (o quelli impostati) nella stessa finestra selezionare " *Cursor snaps on grid*". Il cursore appare ancora muoversi in modo continuo e non a salti, ma i componenti vengono piazzati a passi di 25mils (o altro impostato).

1.5 Cursore "Cross hair"

Per piazzare i componenti allineati, è utile utilizzare il cursore tipo " *cross hair*" (croce sottile come capello). Il cursore si trasforma in una croce sottile che permette di allineare i

componenti. Per attivare, premere F8 una volta. Due volte aggiunge anche una croce a 45° e tre volte ripristina il cursore senza croce.

1.6 Piazzare i componenti

(chiamati *Symbols* nel disegno dello schema, *Package* nel layout del PCB).

Operazione per inserirli:

- Con icona - Click su icona dell'amplificatore operazionale al centro della barra orizzontale
- Dalla tastiera - Premere "INS" sulla tastiera del computer.
- Barra verticale di destra - Selezionare (con M1) "*Components*". Scegliere (con M1) l'icona del componente che ci interessa. Il simbolo si illumina. (Se non si illumina premere Esc e fare click di nuovo).

Si apre la grande finestra di dialogo "*Components*" con le varie opzioni di ricerca. Tre Tab (linguette) offrono tre diversi modi di ricerca : *Quick select*, *Parametrical* e *Package*

Quick select = ricerca veloce, si basa sulla scelta di una sigla da scrivere nella finestra "Search". Nella parte bassa della finestra sono riportate tre immagini: lo schema elettrico del componente, la sua orma sul PCB e la sua immagine tridimensionale (se esiste).

Parametrical = permette la ricerca sulla base dei parametri del componente. Utile ad es. quando si vuole selezionare un componente con caratteristiche specifiche, ad es.: che sia simulabile o con immagine 3D.

Package = ricerca basata sul package (codice del contenitore) del componente.

1.7 Connessione automatica di un componente

Quando si sostituisce un componente con un altro di identica geometria, di solito i collegamenti non si congiungono automaticamente ai pin del componente. Per collegarli fare click due volte (M11) su ciascun collegamento.

1.8 Intensificare il tratto del disegno dei simboli

Se il disegno dei simboli appare troppo tenue e non risalta abbastanza, è possibile intensificarne il tratto. Fare M1 sul simbolo dell'occhio, sulla barra orizzontale, e ancora M1 sull'icona del cerchietto colorato. Appare la finestra di dialogo "*Color setting*" che offre varie possibilità di intervenire sui colori degli elementi dello schema, quali il colore dello sfondo (*background*), della griglia (*grid*) dei piedini (*pins*) dei collegamenti (*signal*) e dei componenti.

In particolare per intensificare il tratto dei componenti, scegliere un colore più intenso di quello di default. Per.es.: si può scegliere il colore nero \$000000 oppure \$006600 che è un verde scuro piacevole nel disegno.

Altrettanto si può intervenire sul disegno del PCB, come riportato nella parte più bassa della finestra di dialogo.

1.9 Finestra del Package

Components > *Packages*. Nella colonna di destra sono elencati tutti i "*packages*" cioè il disegno delle orme degli involucri dei componenti sul piano del circuito stampato. Per la loro selezione, sono filtrabili tramite la scelta effettuabile nelle caselle sottostanti.

Name contains: seleziona il componente in base alle prime lettere del nome inserite nella casella.

La casella sottostante "*All package types*" seleziona il tipo di componente (appare la lista dei tipi)

La casella sottostante seleziona la libreria: *From all package list* cioè da tutte le liste disponibili o appartenenti ad una specifica libreria, ad es.: alla sola Libreria Personale che avremo precedentemente creato.

1.10 Le liste dei componenti

Durante il lavoro incontreremo varie liste di componenti, come *My Component*, *User component*, Libreria personale , ecc. Cerchiamo di capire che cosa sono e come si distinguono tra loro.

Se si apre la finestra *Components*, si trovano, in alto a sinistra, tre linguette: *Search*, *Component types and groups*, e *Component list*.

Apriamo *Component list* e troviamo varie liste di componenti: *Recently used components*, *User components*, *New components*, ...ecc.

Queste liste di componenti che selezionano e distinguono separatamente la totalità dei componenti, sono state create per facilitare e velocizzare la ricerca di un componente, ma servono anche per comprendere il significato e riconoscere ciascuna di queste liste

Se ad es.: ci occorre un componente che, ci ricordiamo di aver utilizzato di recente, invece di andarlo a cercare di nuovo nelle librerie generali con grande dispendio di tempo, ci conviene aprire la sola lista *Recently used components*, scorrerla e trovare subito quel componente.

Tornando alla descrizione delle liste, parliamo subito della spunta *My component*, che spesso mettiamo su un componente della libreria di Target per evidenziarlo.

Questa spunta non crea nessuna lista, serve soltanto per indicare che abbiamo identificato nella lista di Target un componente di nostro interesse che potremo ritrovare in seguito. Su questo componente non potremo fare nessuna modifica o personalizzazione, in quanto è proibito modificare i componenti di Target. Se vogliamo modificarlo e in qualche modo farlo nostro, occorre prima crearne una copia, facendo M2 sulla casella del componente e selezionando *Create copy of XXX*. Poi faremo M2 sulla copia ed inizieremo a modificarla scegliendo nella lista che appare, il tipo di modifica che ci interessa. Altrimenti potremo utilizzarlo come è importandolo dalla libreria di Target nello schema elettrico

Torniamo adesso alle liste di componenti riportate in *Component list*.

- *Recently used components*
Raccoglie tutti i componenti che sono stati usati di recente, a qualunque lista appartengano. Serve per velocizzare la ricerca di un componente, grazie alla nostra memoria.
- *USER components*
Contiene tutti i componenti che abbiamo inserito in precedenza nella lista USER, o facendo copia e modificandoli dalla lista di Target, o che abbiamo creato noi di sana pianta e li abbiamo inseriti nella lista USER. Quando si copia un componente da Target, automaticamente il componente viene assegnato alla lista USER.
- *New components*
E' la lista dei componenti che sono stati di recente creati o modificati. Serve a velocizzare la ricerca.
- *Recently edited components*
Analogo alla precedente con la differenza che si riferisce ai soli componenti modificati.
- Libreria personale
Questa libreria (o con nome diverso a nostra scelta) la abbiamo creata noi in precedenza e le abbiamo assegnato quel nome. Raccoglie tutti i componenti di nostro interesse ricorrente che abbiamo o prelevato da Target e modificato, o creato ex novo da noi stessi. E' simile alla lista USER, ma non è la stessa. Infatti può non contenere tutti i componenti che sono stati assegnati a USER, ma solo una selezione di quelli più ricorrenti.

Nota n°1: Quando si apre la finestra generale *Component*, in alto sulla destra appaiono due caselle: *TARGET components* e *My components*.

La prima casella apre la libreria di tutti i componenti di Target che andranno poi selezionati con i filtri messi disposizione. Esclude i componenti USER.

La casella My components raccoglie tutti i componenti USER e solo quelli di Target etichettati in precedenza con la spunta *My components*.

Nota n°2. Ogni tanto i componenti TARGET vengono aggiornati e modificati dagli Editori. Un cartello ci avvisa che è disponibile l'aggiornamento e chiede se lo vogliamo effettuare. L'aggiornamento modifica i componenti originali Target, ma non tocca i componenti USER.

Nota n°3 - Per creare una libreria personale andare nella finestra di dialogo principale "*Component*". Selezionare *Package > Package* sulla barra orizzontale > *Enter package in list > New list > Name of the list* > Inserire un nome a propria discrezione per es.: Libreria Personale.

Per aggiungere un componente dalla libreria di Target alla libreria personale, selezionarlo nella libreria Target Components, fare M2 e scegliere "*Import component in My component list > Libreria personale*".

1.11 Inserimento rapido. Se si vuole semplicemente riportare sullo schema un componente raffigurato fra le icone della barra verticale a destra, fare M1h sul simbolo e trascinarlo nel disegno. In questo modo si sposta il componente selezionato con lo stesso valore della volta precedente. Invece, facendo sopra M1 si apre la finestra con la ricerca parametrica di quel componente.

Vi sono anche altre modalità per piazzare un componente, tutte facilmente intuibili:

- Dalla barra orizzontale alta *Components > Import symbol*.
- Oppure premere il Tab F2.

Il componente sullo schema elettrico riporta disegnata una crocetta che rappresenta il "punto di manipolazione o manico" del componente stesso. In quel punto va posizionato il cursore per selezionare o movimentare il componente.

1.12 Selezionare un componente sul disegno.

M1 sulla crocetta del componente (manico). Se appare selezionata solo una parte del componente, e si vuole invece selezionare tutto il componente, premere M2 e spuntare "*Always select entire component*".

1.13 Tracciatura dei collegamenti. Sulla barra orizzontale selezionare l'icona di una Z di colore verde. Scegliere, nella freccetta a destra, il movimento del collegamento: prima orizz., prima vert. dritto, ecc. Se si vuole che all'apertura dello schema sia subito disponibile l'opzione "collegamento dritto" che è la più usata, impostarlo con M1 sulla freccetta. Attenzione: quando si chiude e riapre lo schema, occorre impostare di nuovo.

Collegare ogni componente. Dopo ogni collegamento ciascun componente perde le crocette rosse presenti nei punti di collegamento. Controllare!

Gli incroci con nodo avvengono facendo M1 quando si passa sul conduttore. Se non si vuole il collegamento basta passarlo senza click. Per inserire un nodo dimenticato, scegliere la freccetta accanto alla icona dei collegamenti e selezionare in basso il disegno del nodo.

1.14 Simboli di riferimento: massa, terra, +Vcc + 12V ecc. scegliere *Components > Place reference symbol*. Oppure tasto "r".

Attenzione! +5V, +12V, -12V, ecc. sono riferimenti che non forniscono una vera tensione al circuito, durante una simulazione, ma servono solo in disegni complessi, per indicare che

in quel punto va applicata quella tensione senza stare a effettuare il collegamento con la sorgente di tensione.

1.15 Etichette di riferimento per collegamenti:

Servono a semplificare il disegno sostituendo collegamenti quali alimentazioni ripetitive ed altro con etichette di uscita e di ingresso. Esempio uscita di una tensione di alimentazione e ingressi della stessa in vari punti dello schema.

Selezionare sulla barra alta orizzontale: *Components > Place reference symbol*. Oppure tasto "r". Scegliere fra *!Sign-IN* e *!Sign-out*. Si apre una finestra in cui sono elencate tutte le possibilità di collegamento. Scegliere quella che interessa. Ad esempio Vcc. Il nome Vcc viene riportato dentro il rettangolo del simbolo.

Attenzione : le etichette di riferimento, al pari dei simboli di riferimento, non effettuano dei veri collegamenti riconosciuti dalla simulazione. Infatti non hanno un modello di simulazione e quindi non sono simulabili.

1.16 Alimentazione di circuiti integrati.

Per collegare le alimentazioni dei circuiti integrati, selezionare sulla barra orizzontale:

Import components > Import rest of components. In alternativa si può premere l'icona dell'amplificatore operazionale sulla barra orizzontale, accanto a quella dei conduttori. Premendo la freccetta appare un pop up che contiene l'icona REST. Appare la lista dei singoli stadi del circuito integrato non ancora importati nello schema e quella della alimentazione che è contrassegnata con una P che segue la sigla, es.: IC1P. Importarla e collegarla alla o alle sorgenti di tensione. Questo collegamento è effettivo e consente la simulazione.

1.17 Componenti speciali non facilmente reperibili.

Sorgente di tensione: Finestra principale "Components" > M1 su linguetta "*Components types and groups*" > *Voltage and Current > Voltage source (simulation)*.

Oppure: M1 su icona del generatore di tensione nella barra verticale fra i simboli dei componenti. Nella finestra che appare, selezionare il tipo di sorgente.

Altro esempio di ricerca: Ponte raddrizzatore. Linguetta "*Component types and groups*" nella finestra principale della libreria dei componenti > *Diode > Bridge rectifier*.

1.18 Inserire un testo

Barra orizzontale > Elements > Insert text. Questo per scrivere con il carattere già impostato in precedenza.

Se invece si vuole prima impostare il carattere e poi scrivere, premere il tasto delle doppie virgolette (") sulla tastiera. Appare una finestra con tutte le opzioni.

1.19 Muovere un componente. Click M1h sulla crocetta del componente (manico) e spostare. Se si sposta solo una parte del disegno, > M2 > M1 su "Always select entire component".

1.20 Trascinare parte del disegno. Raggruppare con M1h la parte da trascinare. Attenzione: i collegamenti interessati al trascinamento sono quelli definiti a destra nella finestra "Settings". Se si selezionano più tracce, queste vengono trascinate.

1.21 Muovere solo il testo di un componente. M2 e deselegionare "*Always select entire component*". Poi M1h sul testo da muovere.

1.22 Ruotare. Click sulla crocetta (manico) e tenendo premuto (M1h) premere anche il tasto destro.

1.23 Cancellare. Click M1 sulla crocetta (manico) del componente poi premere il tasto con le forbici sulla barra orizzontale. Nel caso di linee di collegamento, scegliere prima quanto di questo collegamento si vuole cancellare. (Vedi par.3–11).

1.24 Assegnare il valore a un componente.

Quando si importa un simbolo già nel disegno del circuito elettrico, le scritte che appaiono sono il codice progressivo corrente (Prefix) e il valore *!Value*. Per assegnare il suo valore es.: 33K, occorre fare M11 sulla crocetta dello schema del componente. Appare la finestra *Change Symbols*; inserire il valore nella casella *Value*.

1.25 Interrompere un'azione non voluta.

- Premere il tasto di Stop sulla barra orizzontale, oppure
- Esc sulla tastiera o M12.

1.26 Undo – Redo (Non fare – Rifare)

Sono due funzioni molto utili che servono a cancellare l'ultima azione fatta o a ripristinarla. Le relative icone si trovano sulla barra orizzontale rappresentata da una freccia che volge a sinistra e una che volge a destra rispettivamente.

1.27 Zoom sul disegno

Per ingrandire il disegno “a riempimento della pagina” fare M1 sul quadrato con 4 freccette arancione sulla barra orizzontale. Per ingrandire o diminuire, Zoom + e Zoom – è accanto, sulla stessa barra. Più semplicemente si può usare la rotella del mouse: in avanti aumenta, indietro diminuisce. La rotella è molto pratica durante il disegno: se si vuole ingrandire un particolare, basta mettere il puntatore in centro zona e girare la rotella: verrà ingrandita / ridotta con continuità quella zona centrata intorno al puntatore.

1.28 Selezione di un gruppo di elementi di un disegno

Per selezionare un gruppo di elementi al fine di modificarli tutti, si racchiude il gruppo dentro un rettangolo con M1h. Poi si rilascia e si preme il tasto (e) che significa edit. Appare una finestra “*Edit the selected elements*” con due sezioni, destra e sinistra. In quella di sinistra sono elencati tutti gli elementi. Quelli da modificare possono essere selezionati tramite una spunta. Selezionarli e premere OK. Appare ora la finestra; es. se si è scelto Lines, la finestra è “*Change lines*”. Premere OK. Poi appare una seconda finestra es. *Change toruses* da modificare, ecc.

1.29 La funzione REO (Reorganization)

La funzione REO svolge funzioni di riordino e di pulizia sia nello schema elettrico che nel PCB. E' accessibile

- facendo M1 sull'icona della bacchetta magica sulla barra orizzontale,
- con M1 su *Action > Reorganization*.

- Rinumerazione dei componenti.

Succede spesso che un componente venga eliminato in fase di progetto. Ad esempio in un progetto con 30 resistenze, viene eliminata la settima. Tutte le resistenze successive a questa debbono essere rinumerate, scalando un passo indietro. Per evitare un lungo lavoro manuale, il procedimento è automatizzato dalla funzione REO. Nella finestra “*Reorganization*” si seleziona nel riquadro di sinistra con M1, prima il simbolo della

resistenza "R". Poi si sceglie con M1 su "*According to schematic*" se questa numerazione si riferisce allo schema o al PCB. Infine si seleziona una delle caselle:

- *Only fill gaps*: Se, in una successione, manca un numero, la successione viene rinumerata eliminando il vuoto. Es.: R1,R2,R4,R5...> R1,R2,**R3**,R4.....
- *Sort by X coordinates*: i prefissi verranno rinumerati ordinati da sinistra a destra
- *Sort by Y coordinates*: i prefissi verranno rinumerati ordinati dall'alto al basso

A questo punto siamo pronti per lanciare la riorganizzazione. M1 su "*Start prefix reo*".

- Riorganizzazione del progetto (Area colorata in verde)

Serve a cancellare la memoria interna. Durante le funzioni Undo e Redo rimangono memorizzate le immagini precedenti ogni azione in modo da essere sempre disponibili per un richiamo. Perciò lo spazio di memoria rimane occupato anche se gli elementi non sono visibili. La funzione REO cancella questa memoria e gli elementi memorizzati non sono più disponibili. Per attivare questa funzione M1 su "*Start project reo*". Attenzione: l'azione è irreversibile.

Inoltre è possibile anche selezionare: Cancella le doppie tracce sia nello schema *Delete double trace segment (schematic)*, che nel PCB, e cancella i segnali non utilizzati nello schema *Delete futile signals*.

2 – SIMULAZIONE

Il programma supporta modelli primitivi e sintassi di **SPICE 3F5** e , in parte, **PSPICE**. SPICE3F5 è il programma messo a punto dalla Università Berkeley in California. (1984). PSPICE (**P**ersonal **S**imulator **P**rogram with **I**ntegrated **C**ircuit **E**nphasis) è un discendente del precedente, cui è stata implementata la versione digitale.

2.1 Modelli.

La simulazione si svolge con una lista di istruzioni (Net list) scritte con una sintassi accettata da Spice, che forniscono al programma le informazioni dei componenti, dei loro collegamenti e le istruzioni per eseguire la simulazione.

I componenti sono rappresentati da un modello, che può essere o un “modello primitivo” o un modello più complesso descritto dal cosiddetto “sub-circuito”.

I MODELLI PRIMITIVI già contenuti nel programma, sono modelli che descrivono con loro parametri iniziali di default, il comportamento di una tipologia di componente, passivo o attivo, (resistenza, condensatore, induttanza, diodi, transistori bipolari, Jfet ecc.).

Per effettuare la simulazione, a detti parametri di default dovranno essere assegnati i valori reali specifici del componente. Appena trovato il modello SPICE di un componente da simulare, per esempio tramite ricerca nel web, TARGET si impossessa immediatamente dei suoi parametri specifici e li sostituisce automaticamente a quelli di default del modello primitivo, rappresentati in una lista detta MODEL CARD. Si ottiene così un modello di componente che rispecchia le caratteristiche di quello da simulare.

Vedere un esempio di modelcard? Icona ampl.operazionale > BC547 > Search > M2 su BC547 a sinistra > Symbol, Package, 3D, Simulation > Show simulation model > Edit. Appare la modelcard con i valori specifici del transistor NPN BC547.

Quando si tratta di un componente non compreso nella lista dei primitivi, ad es.: un trasformatore, un diodo Zener, un diodo Varicap, un Triac, un SCR, una valvola termoionica, ecc.. esso può essere rappresentato con un sub-circuito.

I SUB-CIRCUITI sono modelli realizzati con componenti primitivi che formano un circuito che si collega all'esterno con terminali di ingresso e uscita. Al loro interno i componenti sono collegati tra loro con nodi interni e formano una rete che intende riprodurre il comportamento del componente non primitivo. In alcuni casi la rete di componenti interni riproduce il circuito equivalente del componente (trasformatori) in altri casi vengono usate sorgenti non linearmente dipendenti per simulare le caratteristiche del componente (valvole termoioniche). La rete di componenti viene vista dal programma come una macro governata dagli algoritmi di SPICE secondo le istruzioni fornite nel listato (Net list). I parametri dei subcircuiti verranno sostituiti manualmente a quelli di default in una apposita tabella.

Tutti i componenti dello schema che vogliamo simulare, debbono avere registrato in libreria un modello. Se manca un modello, la simulazione non funziona.

Per vedere se un componente ha già un modello, selezionare la linguetta “Quick select” della finestra della libreria dei componenti *Components*. Nella casella a sinistra del componente in questione, procedere così: M2 sulla fascetta nera *User > Symbol, package 3D simulation > Show simulation model*. Verificare in *Edit* che siano impostati i parametri di simulazione.

Attenzione! *Show simulation* permette solo di vedere il modello di simulazione, ma non di modificarne i valori.

Per modificare i valori e renderli permanenti, occorre selezionare *Edit simulation model* e non *Show*.

2.2 Fornire una tensione di alimentazione.

Prima di iniziare la simulazione occorre dare tensione al circuito e applicare in ingresso i segnali di stimolo che occorrono.

Selezionare (M1) il simbolo della sorgente di tensione nella barra verticale a destra *Components*. Nella finestra che appare scegliere **Vconst**. Poi importare il simbolo nel disegno. Fare M11 sulla crocetta e assegnare un valore di tensione nella casella "Value" della finestra "Change Symbol".

2.3 Fornire un segnale esterno di stimolo.

Agire come sopra per trovare un generatore, ma scegliere la forma d'onda richiesta.

Attenzione! Quando si sceglie una tensione sinusoidale, e si vuole assegnare il valore della ampiezza e della frequenza occorre fare M11 sul disegno della sorgente. Si apre la finestra "Change symbol". Poi M1 su *Simulation value*, infine *Edit*.

Nella finestra che appare, i valori che interessano sono nella colonna centrale, cioè VA = Ampiezza e FREQ = frequenza. Vo è l'eventuale componente continua. Non è necessario scriverla la lettera V che indica una tensione.

Nella colonna di sinistra, AC (ampiezza della sinusoide) va messa a zero. Si deve assegnare un valore solo quando si esegue *Extended simulation > AC analysis*, ([vedi 8.7](#)).

Nella casella *Value* della prima finestra che si apre quando si seleziona il simbolo, occorre mettere a mano il valore scelto, ma non ha alcun effetto nella simulazione. E' solo un riferimento mnemonico nel disegno.

Viceversa, se si vuole dare un effetto a Value, occorre inserire la scritta COMPONENTVALUE nella casella del valore di VA. In questo modo il programma assegna automaticamente a VA quanto scritto nella precedente finestra *Value*.

2.4 Iniziare la simulazione.

- Selezionare l'icona con la bacchetta magica, sulla barra orizzontale, poi scegliere l'icona con le sinusoidi. Oppure
- Selezionare l'opzione "Actions" sulla barra orizzontale e scegliere "Start simulation". Oppure
- Premere semplicemente il tasto F9.

Si apre la finestra della simulazione. Scegliere prima la durata della simulazione nella casella "seconds", es.: 10m cioè 10 ms, poi premere il tasto di start. Appaiono tutte le forme d'onda del circuito. Premere il tasto *View > Show none* per oscurarle tutte per poi selezionare con una spunta sul quadratino, solo quelle che interessano.

Per modificare i valori degli assi sia verticale che orizzontale del grafico, andare su *View > Zoom* e selezionare.

Per una selezione preventiva dei soli segnali che interessa vedere, nella finestra iniziale *Simulation*, scegliere "Select particular voltages and currents" a destra della finestra. Nella parte inferiore della finestra bianca che appare fare click destro (M2) e premere "add". Appare la finestra "Simulation probe". Scegliere "Voltage against ground", tensione riferita a massa. Sul disegno dello schema elettrico appare il simbolo della tensione (V) che va posizionato sul conduttore che interessa. Fare click M1. Infine "Back to the probe" per continuare (click sul quadratino del simbolo). Per attivare la selezione, M2 e click nella casellina rispettiva di "Show immediately".

2.5 Possibili cause di mancato funzionamento.

Assicurarsi che tutti i componenti siano effettivamente collegati. Provare a spostarli con il mouse: gli elastici dovrebbero seguire gli estremi del componente.

Se dopo aver lanciato la simulazione, all'oscilloscopio appare uno schermo nero, controllare la base dei tempi e le unità di misura ad es.: "s" invece di "m", oppure se in View vi sono dei segnali pre-selezionati; cancellarli e visualizzare quelli che interessano.

Quando si imposta la tensione della sorgente sinusoidale, non selezionare "Value" che non ha effetto, ma scegliere *Simulation value > Edit >* e impostare VA.

2.6 Assegnare ad un componente un modello di simulazione

La maggior parte dei componenti non ha un modello di simulazione già assegnato in libreria.

Per assegnare ad un componente un modello di simulazione operare come segue:

Fare due volte click (M11) sul simbolo del componente già riportato nello schema; appare la finestra "Change symbol" e a volte, una finestra sovrapposta, con un messaggio di warning che ci avvisa che la libreria non dispone di un modello per quel componente.

Click su "OK I understand the message".

Click su "Simulation values".

Appare la finestra "Models for X1,2...(numerazione progressiva di quel componente)".

Questa è la finestra base di smistamento da cui partono tutte le operazioni della procedura per l'assegnazione del modello di simulazione, che si svolge nelle seguenti fasi:

2.7 - Ricerca -> Search

1° Fase: ricerca del modello.

Click su Search. Appare la finestra "Simulation model Browser" divisa in due pannelli.

A destra appare un cartello giallo che dice che si può importare un modello, o cercandolo su Google o cercandolo su file già creati appositamente o testi copiati in clipboard.

Scegliamo ad esempio di cercare tramite Google. Fare click sulla freccia blu del pannello di destra; si presenta l'alternativa "Reload from" e "Search by Google". Scegliamo la seconda opzione.

Veniamo automaticamente messi in collegamento su Internet.

La pagina che appare è "Search a Spice model by Google".

Nella finestra *model Spice.....* aggiungere la sigla del componente, es.:1N4007. Questo serve a restringere la ricerca al solo componente e non ad un tipo generico. Premere Search.

Entriamo in Google, e qui tocca a noi trovare il modello.

Se si trova, consiglio di copiare i dati originali in un file *.txt che avremo appositamente creato col nome del componente e salvarlo nella cartella superiore che chiameremo ad es.: Spice Models o nella nostra bella lingua "Modelli di simulazione".

Si torna alla finestra *Simulation model browsers* con i due riquadri destro e sinistro. Nel riquadro destro fare click sulla freccia blu e scegliere *Reload from > Files with Pspice models >* Cercare il nome del file in estensione txt che abbiamo in precedenza scritto.

I parametri di simulazione del modello vengono automaticamente caricati e nel riquadro appare scritta la sigla del componente. Se ci sono errori o incompatibilità, Target lo comunica con un quadratino rosso; seguendo le istruzioni è possibile trovare la causa. Per la correzione e la modifica del listato del modello, leggere [Cap. 10 – Appendice B](#).

Per visualizzare il modello importato, M11 sul nome del componente appena caricato e scegliere *Edit/show*. Controllare.

Ora si deve importare il componente nella finestra di sinistra, per inserirlo nella libreria di modelli di Target. M2 sul nome del componente nella finestra di destra, e selezionare "Import". Nella finestra di sinistra appare la sigla del componente. Inoltre appare una

finestra che dice: *The view of the Model Browser is not updated. Now refresh?* Rispondere yes. Con questa azione i parametri del modello vengono trasferiti nella finestra di sinistra. Si possono rivedere i parametri a sinistra, facendo M2 sul nome del componente e poi scegliendo *Edit/Show*.

A questo punto si chiude la doppia finestra.

2.8 – Assegnazione del modello -> Select

2° Fase: Assegnazione del modello: primitivo o sub-circuito.

Nella finestra "*Models for xx*" fare M1 nella casella "*Select*". Appare la finestra "*New models for*" che mostra una lista di modelli. Partendo dall'alto, il primo ci riconduce alla ricerca del modello. Segue un gruppo *Circuit* di tre icone: corto circuito, insiemini di sub circuiti e sub circuiti. Infine segue il gruppo dei *Primitive models*, cioè la lista di tutti i modelli primitivi disponibili.

Se il componente appartiene a questa lista, scorrerla e fare M1 sull'icona corrispondente. Appare la lista dei parametri di default. Nella casella *Modelcard* cercare il nome del modello che abbiamo precedentemente importato e selezionarlo. Immediatamente i valori di default vengono sostituiti da quelli specifici.

Poi occorre passare alla casella "*Pinassignment*" che consente di collegare i terminali del modello a quelli del componente.

Per un "Subcircuit" si fa M1 sull'icona *Device subcircuit* e si seleziona il nome assegnato al subcircuito fra quelli riportati nella casella *Subcircuit*. I dati vengono ora automaticamente caricati.

Poi occorre passare alla casella "*Pinassignment*" che consente di collegare i terminali del componente rappresentato nello schema elettrico agli ingressi/uscite del sub-circuito. Nel listato del modello in alto è spiegata la chiave di collegamento, a volte non molto chiaramente.

Per circuiti integrati multipli, o componenti attivi multipli, Es.: operazionale multiplo, circuito integrato digitale contenente 6 inverter, o 4 AND, o valvola doppio triodo ECC81... tutti contengono al loro interno più stadi uguali. Per questi si usa il modello "*Device List*", terzo dall'alto, che contiene al suo interno una lista di sub circuiti uno per ogni stadio contenuto nell'integrato. Gli stadi possono anche non essere uguali. (Vedi Cap. 13)

Device list > Model as a list of submodels > Add > Device subcircuit . Cercare in *Subcircuit* il modulo dello stadio del componente multiplo che abbiamo precedentemente importato nella lista dei modelli e selezionarlo. Poi eseguire il *Pinassignment* cioè collegare i terminali del modello ai piedini del componente. OK. Di nuovo selezionare *Add* e ripetere il procedimento di *Pinassignment* per il secondo modulo, assegnando i terminali dello stesso modello ai corrispondenti piedini degli altri stadi contenuti nell'integrato, e OK.

Ad esempio per un amplificatore operazionale multiplo il cui modulo è composto da uno stadio con due ingressi e una uscita, questi terminali verranno collegati ciascuno ai rispettivi piedini di ogni stadio identico racchiuso nel circuito integrato.

2.9 – Modifiche -> Edit

3° fase (eventuale). Questa casella serve per modificare i valori assegnati al componente. Serve soprattutto nel caso dei sub-circuiti quando in un nuovo progetto, occorre assegnare nuovi parametri al modello oppure quando occorre correggere un listato errato.

Per cambiare i parametri su un componente primitivo, M11 > *Change symbols > Simulation value > Edit > modificare*.

Per cambiare i parametri di un sub circuito M11 > *Change symbols > Simulation value > Edit > Parameter. > modificare*.

Per effettuare delle correzioni al listato che non funziona: M11 > *Change symbols* > *Simulation value* > *Edit* > *Edit* > *Edit/Show as text*. Appare il listato precedentemente importato. Dei messaggi rossi ci informeranno che il listato è errato e in fondo c'è una sezione *Errors*, che riporta la lista degli errori di sintassi. Con M11 su ciascuna, appare un quadretto nero sulla riga in cui si trova l'errore.

Possiamo correggere l'errore e vedere subito se la correzione è giusta: *SPICE* > *Reload*. Se le correzioni effettuate hanno avuto successo, il programma lo segnala. In tal caso fare *M1* > *SPICE* > *Save*. Il nuovo listato corretto diventa ora operante.

2.10 – Assegnazione del Livello -> Level

4° Fase: Il livello (casella "Level") serve al programma per eseguire la simulazione secondo quanto interessa analizzare del comportamento del componente, ad es.: se si vuole in bassa frequenza, *LOWFREQ* oppure in alta frequenza, *HIGHFREQ* oppure semplicemente in DC, se trattasi di un componente attivo, *ACTIVE* ecc.

Tuttavia ai fini del funzionamento iniziale, e in prima istanza si può lasciare in bianco.

Con questo passo il procedimento è terminato e si chiudono tutte le finestre. Il componente è stato finalmente dotato del suo modello e può essere eseguita e provata la simulazione.

2.11 Attribuire un modello a un componente di libreria.

La procedura sopra descritta, serve ad attribuire un modello di simulazione ad uno specifico componente già rappresentato in uno schema elettrico. E' preferibile invece assegnare il modello direttamente al simbolo da importare, quello della libreria dei componenti, senza dovere tutte le volte ripetere la procedura di assegnazione quando si richiama quel componente. In uno schema.

2.12 Esempi: Resistenza

Ricerca il componente ancora privo di modello, nella finestra *Components* facendo click sulla linguetta "*Quick select*".

M2 sulla casella del componente trovato. M1 su "*Symbol, package, 3D...*". Scegliere "*Edit simulation model*".

Models for > *Select* > *Device resistor* > *OK*

Edit > *Value* > *COMPONENTVALUE*. Questo informa il programma che deve assegnare al modello, il valore che sarà specificato ogni volta nella finestra iniziale *Change symbol* nella casella *Value*.

Completare il "*pinassignment*" trascinando i rispettivi valori da sinistra a destra.

Nella finestra precedente "*Models for*" inserire il level "ANALOG ". Chiudere tutto.

2.13 Condensatore

Ricerca il nuovo componente facendo click sulla linguetta "*Quick select*". Click M2 sulla casella del componente trovato. M1 su "*Symbol, package, 3D...*"

Scegliere "*Edit simulation model*"

Nella finestra "*Models for*" fare M1 su "*Select*". M1 sul simbolo del condensatore in *Primitive models*. Nella casella *Value* scrivere *COMPONENTVALUE*. Questo serve ad assegnare il valore direttamente nella casella *Value* della finestra iniziale *Change Symbol*.

Assegnare alla casella *IC = Default* il valore di tensione applicata al condensatore all'inizio della simulazione (*Initial Conditions*) in genere "0". Completare il "*pinassignment*" trascinando i rispettivi valori da sinistra a destra. Nella finestra precedente "*Models for C1*" inserire il level "ANALOG ". Chiudere tutto.

2.14 Rappresentazione di segnali digitali

Nel caso in cui vengano generati, in uscita di circuiti integrati, dei segnali digitali, la rappresentazione della simulazione si sdoppia automaticamente in due riquadri: uno superiore in cui viene rappresentata, in un quadro molto stretto, la sola uscita digitale, il cui nome è preceduto dalla lettera "D".

Un riquadro inferiore, molto più alto, in cui si rappresentano gli altri segnali.

Questa rappresentazione può apparire poco utile, in quanto si perdono alcune caratteristiche del segnale digitale, quale la sua ampiezza e la sua forma, le quali, nella rappresentazione digitale, appaiono come "stilizzate".

Per evitare questa rappresentazione sdoppiata e vedere il segnale digitale di uscita come realmente è, basta inserire una resistenza di carico di valore adeguato (es.: TTL = 1K, C-Mos=10K) sull'uscita digitale. Occorre poi ri-controllare i nomi dei collegamenti nello schema elettrico, e riadattarli nella casella *Edit Selection*, della finestra di Simulazione. Quindi far ripartire la simulazione. Il quadro ora non è più sdoppiato e il segnale è rappresentato compiutamente.

2.15 Formatore di stimoli digitali personalizzati

Per la simulazione digitale, è possibile costruire dei segnali digitali contenenti un codice personalizzato a piacere. Si può cioè creare un generatore virtuale che genera segnali, validi solo per la simulazione, costituiti da treni di impulsi secondo un codice programmato da noi e che si ripetono nel tempo con un periodo anch'esso da impostare.

Il primo passo è quello di cercare, nella libreria dei componenti di Target, il formatore di impulsi, già presente col nome STIM.

Aprire la finestra dei componenti e selezionare la casella *Components types and groups > Generic, simulation and modeling > Digital stimulus*.

Se si è in precedenza creato una Libreria personale, conviene inserirvi questo componente. M2 sulla casella *Component name > STIM*. M2 su *Import component in my component list > Nome della libreria personale già creata in precedenza*.

A questo punto possiamo assegnare al componente un nome in italiano facilmente riconoscibile, ad es.: "Formatore impulsi". M2 nella casella *STIM > Edit component properties > Nella casella Name > English* inserire il nome es.: *Format Imp*.

Nella casella sottostante *Description* scrivere "Formatore virtuale di impulsi".

Abbiamo creato in questo modo un generatore, adatto per la sola simulazione, che genera un segnale digitale ancora da impostare.

2.16 Impostazione di uno stimolo digitale.

Per programmare il formatore, si va nello schema nel quale occorre tale generatore e si importa dalla libreria dei componenti, facendo M1 sul simbolo "Form Imp".

M11 sul simbolo importato. Si apre la finestra *Change symbol > Simulation Values > Edit > Stimulus editor*. Si apre la seguente immagine:

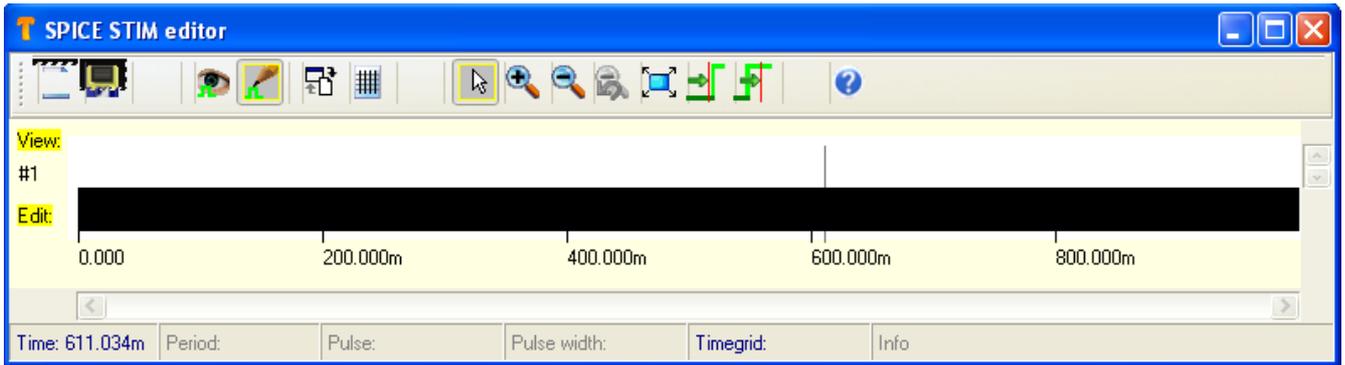


fig. 2.1

Sulla barra orizzontale si nota l'immagine dell'occhio che consente la visione del segnale digitale che andremo a costruire. Segue l'immagine del lapis, che permette la costruzione del segnale. Fare M1 su questa icona.

Posizionare il puntatore all'interno della striscia nera in basso che rappresenta l'asse del tempo, e facciamo M2 in corrispondenza approssimata del tempo in cui intendiamo iniziare il treno di onde dello stimolo. Poi M1 nella finestrella alla scritta *Edit/Add state*.

La casella *Label* richiede un nome a nostra scelta che identifichi l'onda.

La casella sottostante richiede di impostare esattamente il tempo di inizio, ad es.: 0 m.

Segue la spunta *Absolute o Relative* che significa tempo assoluto o relativo al precedente stato impostato. Attenzione! la scelta, *Absolute* oppure *relative*, deve essere mantenuta per tutta la programmazione, non è ammessa una combinazione di entrambi, altrimenti possiamo incorrere in simulazione non corrispondente ai tempi programmati: il periodo dell'onda simulata apparirebbe maggiore di quanto impostato.

M1 su *Absolute*. Infine nella casellina identificata da # inserire lo stato logico 0 oppure 1.

Il lavoro di creazione si ripete fino al completamento del treno di impulsi desiderato.

Per impostare il periodo di ripetizione, ci posizioniamo col cursore nella barra nera bassa dei tempi, circa in corrispondenza del termine del treno di impulsi creato, quindi faremo M1 in *Edit/Add Goto*.

Nella finestra che appare, nella casella *Goto Label*, inserire il nome assegnato all'inizio dello stimolo. Nella casella *Repetitions* inserire il numero di volte che il treno di impulsi deve essere ripetuto. Per infinito si imposta -1.

Nella casella *Time* si mette il tempo in cui termina la serie di impulsi che dovrà essere ripetuta. Questo punto rappresenta quindi il periodo T del treno di impulsi.

Per vedere la serie di impulsi che si ripete con periodo T, fare M1 sull'icona dell'occhio ed eventualmente usare i tasti dello Zoom per adattare l'immagine.

Prima di uscire, salvare con M1 sulla icona del floppy disk. Si ritorna così alla finestra *Stimulus*.

Il lavoro non è finito, perchè dobbiamo ancora impostare il *Pinassignment*, cioè assegnare il modello di simulazione ai piedini del generatore.

M1 sulla casella *Pinassignment*. Trascinare il nome del nodo \$G_DPWR (a sinistra in basso), che rappresenta l'alimentazione digitale DPWR, nella casella gialla a destra *digital power*. Allo stesso modo trascinare nella casella *digital ground* il nodo \$G_DGND.

Infine trascinare nella casella gialla di destra *nodes1* il Pin num 1 di sinistra.

Quindi si apre la linguetta *I/O* e nella finestrella *I/O Model* si inserisce *I/O_Default*.

Si raccomanda di seguire alla lettera queste indicazioni. Chiudere tutte le finestre e tornare allo schema.

Inserire una resistenza di carico all'uscita del Formatore e provare la simulazione. Dovrebbe apparire in uscita la serie di impulsi, con la tempistica come programmata.

2.17 Significato dei tasti del formatore di impulsi

La figura seguente è quella della finestra del formatore di stimolo nella modalità Visione del segnale, tasto dell'occhio.

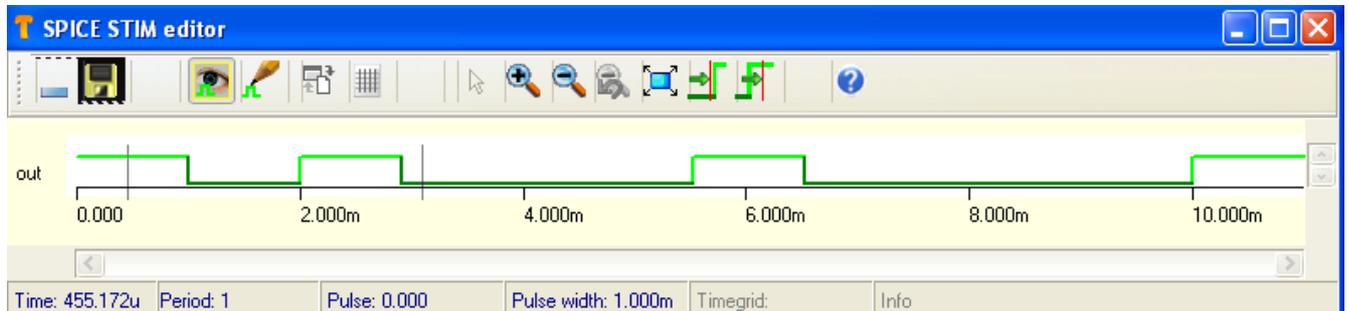


fig.2.2

Descrizione completa dei tasti:

- Il primo tasto da sinistra, *New, Delete all signals*, serve per cancellare una impostazione precedente e iniziarne una nuova.
- Il tasto del floppy disk serve per salvare la programmazione appena terminata e tornare alla simulazione
- Il tasto dell'occhio serve per visualizzare lo stimolo generato, senza disegnarlo.
- Il tasto del lapis serve per disegnare lo stimolo (*Edit*).
- Il tasto del testo, attivo solo quando in modalità di impostazione (*Edit*), serve a scrivere in formato "testo" il treno di impulsi da rappresentare. Codice di facile intuizione è utile ad es.: per modificare a mano una impostazione già attuata.
- Il tasto della griglia serve ad impostare i decimali del passo nella casella *Time* della finestra *Add new state*. Ad es.: se si vuole il tempo rappresentato comprendendo i decimi di millisecondo (3,1m 3,2m ecc.) occorre impostare un passo di 0.1 ms.
- Il tasto Zoom+ ingrandisce l'immagine. M1 sul tasto e fare M1h sulla parte di immagine che si vuole ingrandire.
- Il tasto Zoom- serve per scalare in diminuzione tutta l'immagine dello stimolo.
- Il tasto col rettangolino azzurro serve per visualizzare un solo periodo dello stimolo a riempimento di schermo.
- I tasti a forma di Z verde (*Time scroll bar: statewise, Time scroll bar : transitionwise*) servono per ingrandire una zona racchiusa con M1h.

2.18 Elementi interattivi per simulazione

TARGET contiene anche alcuni strumenti, solo per simulazione, quali amperometri, voltmetri, Wattmetri, LED e lampade, interattivi, cioè che è possibile introdurre nello schema e vederli funzionare.

Gli strumenti hanno un display in cui appare il valore misurato, mentre i led e le lampade cambiano colore quando percorse da corrente.

Per trovarli, aprire la finestra generale *Components*, selezionare la linguetta *Parametrical search > Generic simulation and modelling > Measuring instruments > M1* sulla spunta *Simulation model. Search*. Appare nella finestra di sinistra la lista degli strumenti disponibili che è possibile importare nello schema e collegare nei punti di interesse.

Gli strumenti con sigla OSZI sono dei piccoli oscilloscopi che mostrano la forma d'onda del punto in cui vengono inseriti. Offrono varie possibilità di ingresso e possono visualizzare tensioni e correnti. Non danno tuttavia la misura del segnale, solo la forma.

Per attivare la simulazione, una volta collegati gli strumenti, fare M1 sull'icona della bacchetta magica, poi su quella delle sinusoidi. Appare il cartello seguente.



Fig.2.3

Premendo la freccia di sinistra parte la simulazione. Il tasto rosso la interrompe prima che finisca.

Il tasto con la figura della sinusoide ed il circoletto più, serve a visualizzare l'immagine delle grandezze selezionate all'oscilloscopio

Il tasto col quadratino a destra apre la finestra generale della simulazione tradizionale.

2.19 LED interattivo

Con l'esempio seguente si vuole indicare come impostare un LED interattivo, tale cioè che al supero di un certo valore impostato della corrente che lo percorre si accenda, cioè assuma un colore diverso. Si disegni lo schema di fig.2.4, utilizzando gli elementi interattivi diodo LED e m-amperometro. Sim 1 è un generatore di tensione continua da impostare a 20V..

Occorre prima di tutto assegnare nomi riconoscibili ai collegamenti di ingresso e uscita, come ad es.: gen e out.

Poi M1 su icona della bacchetta magica e delle sinusoidi. Appare il cartello di fig.2.3. M1 sul tasto a destra del quadratino per raggiungere la finestra *Simulation* e impostare i parametri che interessano. In questo caso interessa la corrente del LED. *Edit selection > Add > Current* e selezionare la corrente entrante. Poi attivare con M1 su *Show immediately > OK*. Per tornare al cartello di simulazione di fig.2.3 fare M1 sulla linguetta *Interactive*.

Ci proponiamo ora di impostare la corrente del LED al di sopra della quale si accende.

M11 sul simbolo del diodo *> Interactive(Sim) > Edit*.

Nella finestra *Value* cancellare quanto già scritto e scrivere $I(\#,1)-5m$. OK *> OK*: Il codice che abbiamo scritto significa che intendiamo impostare la corrente " I " del diodo che entra nel piedino 1 (#,1) e il valore per l'accensione deve superare 5 mA. Attenzione alla sintassi.

A questo punto possiamo passare alla simulazione.

M1 su icona della bacchetta magica poi su quella delle sinusoidi. Appare la fig.2.3. M1 su tasto sinistro con freccia verde. Il risultato è quello di fig. 2.4. Il LED è rimasto spento perché la corrente è insufficiente (1,933mA).

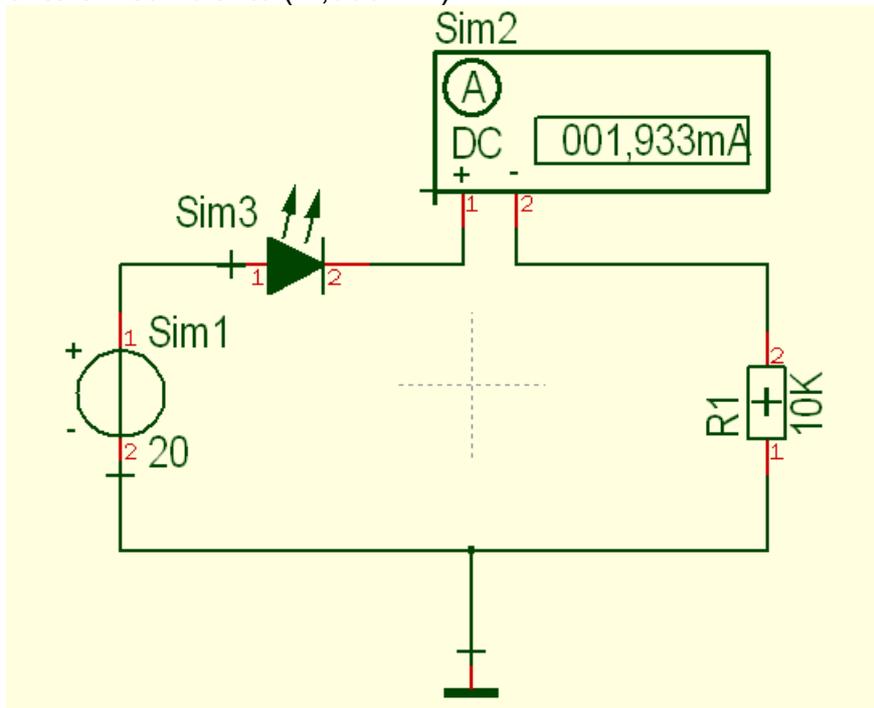


Fig.2.4

Assegnamo ora a R1 il valore 3.7K. e ripetiamo la simulazione. Quello che vedremo è riportato nella figura seguente

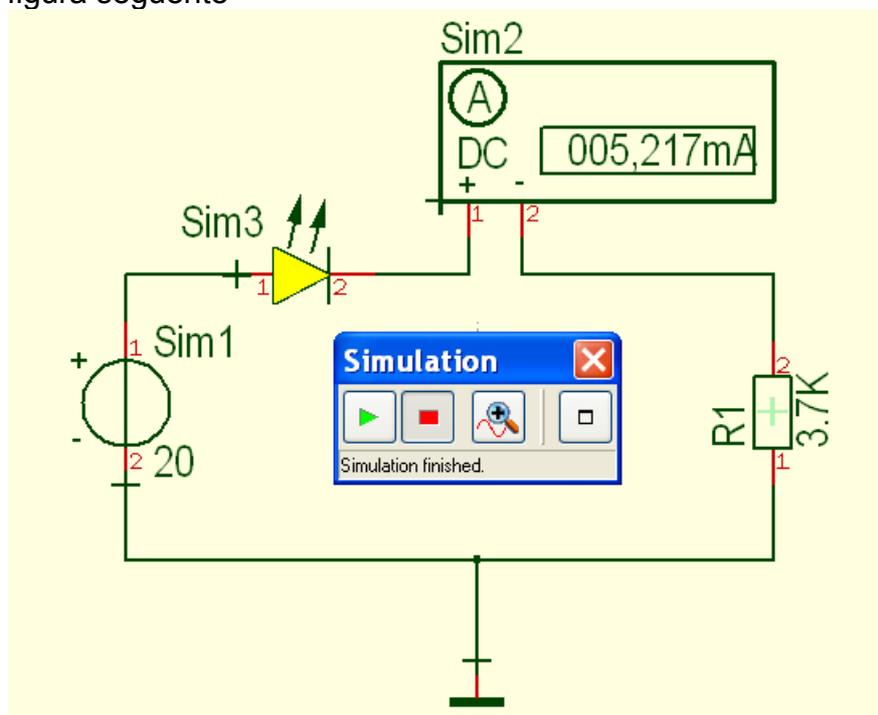


Fig. 2.5

Avendo ora superato 5mA impostati, il LED si accende.

3 - DISEGNO DEL CIRCUITO STAMPATO

3.1 Apertura

Se si vuole disegnare il solo circuito stampato, senza schema elettrico preliminare, occorre avere fatto la scelta all'inizio del progetto, dopo New project.

Se si è scelto con schema elettrico, una volta disegnato il circuito e provato, per passare al disegno PCB si usa il tasto sulla barra orizzontale con un poligono e una freccia arancione.

3.2 Disegno del bordo del PCB

Actions > PCB Outline wizard. Si apre la finestra con le opzioni per disegnare il bordo.

Scegliere la misura in mils o in mm. per disegnare un rettangolo. Per altre forme utilizzare il tasto con l'icona del lapis. In ogni caso il bordo può essere rivisto nel corso del lavoro.

Il colore di default per il perimetro del PCB è il rosa. Se il disegno del perimetro venisse di un colore diverso, dopo averlo disegnato, premere M11 sopra, e scegliere il layer 23 nella finestra che appare.

3.3 Cambio di unità di misura

Premere il tab F4. Si vede il risultato nella casella in basso a sinistra dove è rappresentata la posizione del cursore nel foglio.

3.4 Scelta del Layer

Facce del circuito stampato: *Copper bottom* è la superficie del rame, ove vengono stese le tracce. *Copper Top* la superficie della basetta ove sono inseriti i componenti.

Nella rappresentazione PCB, il circuito stampato appare come se fosse trasparente e i componenti saldati sul lato rame appaiono visti da sopra attraverso la basetta. Così le tracce appaiono visibili dal sopra, e i componenti SMD disposti sul lato rame, come se la basetta fosse trasparente. Così del componente SMD, saldato sul lato rame, si vede la superficie di sotto. Pertanto, attenzione alle polarità! Controllare dopo, con l'utile visione 3D, che il componente sia collegato nel modo giusto.

Per la scelta del layer ove stendere le tracce, sulla barra verticale a destra, selezionare Layers > Layer for tracks e nella finestra che appare selezionare il layer. Layer 2 per il lato "rame" o layer 16 per il lato "componenti". Sulla barra orizzontale al centro circa, ci sono dei rettangolini colorati col numero dentro: il primo che appare, un pò distanziato dagli altri verso sinistra, è il layer selezionato. Quelli a destra sono quelli usati di recente.

Inoltre, sempre sulla barra orizzontale, c'è un'icona col simbolo dei layers sovrapposti. M1 Apre una finestra con tutte le opzioni esposte in modo chiaro.

3.5 Posizionamento dei componenti (Packages) sul PCB. Autoplacer

Posizionamento a mano

Soluzione preferibile perché i componenti vengono disposti con un ordine razionale scelto dall'operatore. I motivi di questa scelta sono: 1 - problemi di spazio e conseguente ottimale posizionamento dei componenti ingombranti. 2 - rispecchiare lo schema elettrico per facilitare la localizzazione delle funzioni, 3 - criteri che evitino reciproche influenze e accoppiamenti EMC. 4 – Criteri per un miglior smaltimento del calore e per evitare di concentrare componenti che sviluppano calore e creare zone in cui vi è accumulo di calore e conseguente aumento della temperatura.

Selezionare l'icona del circuito integrato nella barra alta orizzontale. Appare *Import packages* che riporta la lista dei componenti impiegati nello schema elettrico: posizionare i componenti uno per uno nel perimetro del PCB prima disegnato.

Via via che si immettono i componenti, la lista diminuisce fino ad esaurirsi.

Altrimenti si può usare l'**Autoplacer**:

Actions > Launch autoplacer.

Si apre la finestra *Autoplacer*. Rispondere alle domande: *Place components inside* (dentro il) *the PCB*, opzioni su SMD ecc. In particolare quando chiede:

Additional space between components, scegliere la distanza che si vuole tra i singoli componenti usando il lato della griglia come unità di misura. Es. 10, 20 volte il lato di griglia. Comunque, dopo il posizionamento automatico, i componenti si possono sempre spostare dove ci pare.

Se un componente è posato sul PCB, esso avrà automaticamente nel disegno dello schema elettrico, un segno di spunta accanto alla crocetta di manipolazione (manico).

Se un componente inserito nel PCB non appare collegato con gli elastici (collegamenti ideali corrispondenti a quelli realizzati nello schema elettrico) , controllare lo schema e che sia stato regolarmente collegato. Premere *Packages > Import packages* sulla barra orizzontale e controllare nella lista che appare, che tutti i componenti siano stati importati (lista vuota).

Per spostare un componente da una faccia all'altra del PCB: M1 e tasto (m), (funzione specchio *mirror*)

3.6 Copiare un oggetto: M1 sul componente. Icona del taccuino con la freccia che entra, sulla barra orizzontale alta. Per rilasciare la copia usare il taccuino con la freccia uscente.

3.7 Piazzole (pads)

Per posizionare le piazzole scegliere "*Elements*" sulla barra orizzontale e poi *Place pad*. Oppure premere semplicemente il tasto 1 della tastiera.

Per cambiare la forma e le dimensioni: M11 sulla piazzola e rispondere alla domande della finestra che si apre.

3.8 Scelta del layer per disegnare una traccia.

Sulla barra orizzontale al centro destra, ci sono una fila di quadratini colorati con un numero interno rappresentante un layer. Per disegnare una traccia in un dato layer, selezionarlo con un click. Il simbolo si sposta all'inizio della fila. Si può ora deporre una traccia in quel layer.

Per passare con una traccia da un lato all'altro del PCB tramite un "via" (metallizzazione passante in un foro da un lato all'altro) premere il tasto del punto (.) poi M1.

Si può cambiare il layer su cui si vuole stendere una traccia tramite due punti (:). Si apre una finestrella che offre tre possibilità: cambiare layer senza via, con apertura di finestra di dialogo e scelta, oppure con traccia su tutti i layers.

3.9 Tracce

- tasto 2 della tastiera oppure
- icona sulla barra orizzontale col disegno in rosso e blu delle tracce, oppure
- *Elements > Draw track*

3.10 Cambiare larghezza di una traccia

Possibilità immediata: M11 sulla traccia per aprire la finestra di dialogo

Oppure: *Elements > Draw tracks (2) > tasto (o) options > Scegliere*.

Oppure se la traccia è già disegnata, si seleziona prima la traccia . Poi si va su *Edit > Edit....* oppure tasto (e). Si apre la finestra delle tracce, con tutte le opzioni.

3.11 Aura di una traccia

Le tracce devono osservare una distanza tra loro per evitare il rischio di archi elettrici. Per questo il programma prevede uno spazio intorno sia alle piazzole sia alle tracce per prevenire questa possibilità. Questo spazio circostante si chiama "Aura".

Per attivare o scegliere la larghezza dell'aura circostante, fare M11 sulla traccia. Nella finestra che appare selezionare la voce *Track aura*.

3.12 Selezione della estensione del percorso di una traccia

Questa funzione permette di cancellare, quando occorre, la sola parte di traccia che ci interessa eliminare.

Sulla barra verticale a destra andare su *Settings*. Appaiono delle icone con varie possibilità: un singolo tratto di una traccia, due tratti consecutivi senza piazzola, più tratti con piazzole, oppure l'intero percorso.

3.13 Inserire un ponte di attraversamento su di una traccia

Elements > Place a bridge oppure "b". Posizionarsi prima da un lato della traccia da attraversare, nel punto ove dovrà essere rilasciata la piazzola di partenza, poi M1h fino alla piazzola sull'altro lato della traccia. Se si vuole un ponte sul lato componenti [Top layer, (16)] fare doppio click (M11) sopra la traccia del ponte e scegliere il layer nella finestra che appare (*Change track*).

3.14 Funzione Autorouter

Usarlo per uno sbroglio iniziale, poi modificare al meglio dopo l'auto stesura.

Occorre che prima siano stati piazzati i componenti.

Percorso: *Actions > Hybrid autorouter*. Si apre una finestra di dialogo con tre linguette.

Per scegliere la larghezza delle tracce, linguetta *Signals* e Click su *Minimum track width*. Nella casella inserire la larghezza minima delle tracce in mils.

Per scegliere su quali layers (lato, faccia o strato) stendere le tracce, fare M1 sulla linguetta *Route Layers*. A sinistra si sceglie il lato, a destra si seleziona. Se non si vuole tracce su quello strato, M1 su *Is blocked for all signals*,

Per cancellare tutte le tracce auto-disegnate prima, fare M1 su *Actions>Autorouter> Delete all tracks routed automatically*.

Durante l'operazione di Autorouter, si apre una finestra ove un recipiente a sinistra si colora di verde e uno a destra si svuota di rosso. Solo se il recipiente si è completamente svuotato di rosso l'operazione ha avuto buon esito. Se rimane del rosso, vi è qualche traccia non eseguita ed è necessario o modificare la posizione di alcuni componenti o usare due layers anziché uno solo, cioè PCB doppia faccia anziché monofaccia, oppure anche più layers.

Attenzione! E' possibile che alcune tracce non vengano disegnate, specialmente in zone anguste, perché la loro aura è troppo larga e non lo consente. Ridurre l'aura della traccia; selezionare la traccia con M11, premere (o) e ridurre l'aura.

3.15 Groundplanes

E' il riempimento di massa steso sul lato rame del PCB. Si usa come schermo nelle realizzazioni in alta frequenza

- *Actions > Groundplanes > Generate PCB groundplane*. oppure
- Icona della bacchetta magica e poi quella rossa con la traccia.

Per riempire le piazzole di terra, selezionare *pad* con una crocetta nel pannello che definisce le caratteristiche del groundplane.

3.16 Inserire un testo sul PCB

Premere sulla tastiera il tasto delle doppie virgolette ("). Appare una finestra con tutte le opzioni. Se interessano simboli speciali, scegliere un numero ANSI corrispondente nella finestrella *Ansi extra character* . Accanto appare in chiaro il simbolo e la freccetta permette di inserirlo nel testo che si sta scrivendo.

Per scegliere il layer ove scrivere, selezionare la finestrella *Layer* e selezionare il numero corrispondente. Es.: lato rame = 2.

3.17 Evidenziare il percorso di una traccia (Highlight)

Questa funzione è utile quando, a lavoro finito, occorre controllare la correttezza dei collegamenti. Occorre premettere che se il progetto prevede uno schema elettrico e un PCB, le tracce nel PCB corrispondono automaticamente a quelle dello schema senza possibilità di errore. Tuttavia, per controllare personalmente il tracciato, agire così:

- Scegliere il colore da assegnare alla traccia che si vuole evidenziare. Barra orizzontale > icona dell'occhio > circoletto colorato > PCB. Selezionare *On this color*. Accanto appare il colore. Se non piace, si può cambiare con M1 > *Select color* > Spostare le slitte Red, Green, Blue riferendosi al campione a sinistra.
- Nella barra verticale destra in *Settings*, selezionare la estensione della traccia.
- M1 su un tratto della traccia da evidenziare

3.18 Air wires e Ratsnest - Elastici

Air wires sono chiamate le sottili linee verdi che collegano i componenti nel PCB, conformemente a quanto disegnato nello schema elettrico, e che seguono il componente se si sposta col mouse. Chiamati in italiano *elastici*. Sono selezionabili (deselezionabili) nell'icona della bacchetta magica, facendo M1 sulle tre X verdi. L'intera rete di elastici forma la Ratsnest (nido dei topi).

3.19 Coordinate Assolute / Relative

Le coordinate assolute si riferiscono all'intero foglio di lavoro. Quelle relative sono impostabili in un qualsiasi punto. Per impostare lo zero delle coordinate relative, posizionarsi nel punto e premere il tasto Home della tastiera. (Quello che porta all'inizio di un documento). Vale il viceversa. Questa opzione è molto utile per disegnare il contorno della basetta dello stampato, o per posizionare con precisione componenti ingombranti.

3.20 Misura di una distanza nel PCB

Nel PCB è possibile misurare una distanza:

- Icona della bacchetta magica > Icona del righello, oppure
- Posizionarsi sul punto di partenza. Tasto "u" della tastiera. M1 sulla destinazione, spostare il mouse e M1. Appare una finestrella con la misura .

3.21 Calcolo delle spaziature e delle geometrie dei conduttori e max correnti ammesse.

Premendo Help nella barra alta orizzontale, le prime 4 righe aprono una finestra (*Tools*) che calcola e fornisce come risultato le seguenti utili risposte:

- Codice dei colori di resistenze, condensatori di varie fogge e dimensioni
- La distanza di isolamento tra le tracce in funzione della tensione applicata per evitare archi
- La resistenza delle tracce in base alle loro geometrie.

- La corrente massima consigliata in funzione dello spessore dei conduttori, sia tracce del PCB che conduttori di rame tondi pieni .

I risultati calcolati dal programma si riferiscono a correnti continue o lentamente variabili nel tempo, non viene cioè considerato l'effetto pelle, le capacità e le induttanze distribuite nelle tracce.

Note: *Engineering s* esprime le grandezze nel sistema MKS. (metro, kilo, secondo).

Ad es.:per le capacità, se la casella è selezionata sono espresse in Farad. Se non selezionata in pF.

L'espressione *with, without solder stop* significa con o senza vernice protettiva. Si noti l'importanza dell'effetto.

3.22 Visione in 3D del PCB finito

Premere il tasto 3D nell'icona in alto a destra sulla barra orizzontale. Affinché l'immagine del PCB assuma una dimensione adeguata allo schermo, usare la rotella del mouse.

Per ruotare la basetta del PCB e vederla anche di sotto, fare M1h con il mouse.

L'icona in alto a sinistra con la crocetta serve a posizionare il PCB con i tre assi in posizione iniziale.

A sinistra appare una barra verticale che contiene tutti i componenti, suddivisi per categoria.

Per trovare un componente, M1 sul nome: il componente si colora di azzurro. Per deselegionare, M1 fuori della scritta.

Per fare scomparire momentaneamente un componente e leggere quanto scritto sotto, fare M1 sulla relativa spunta nel quadratino a sinistra. M1 per farlo riapparire.

La visione in 3D non è una frivolezza, ma, al contrario, a parte il piacere di vedere subito realizzato il nostro lavoro, è incredibilmente utile per verificare eventuali errori, per esempio di spaziatura tra componenti o quando abbiamo creato noi stessi il disegno 3D di un nuovo componente e non appare corretto.

3.23 Controllo del progetto

Prima di passare alla realizzazione è possibile effettuare un controllo di progetto con due funzioni: La funzione REO già trattata al par. [1.29](#), e la funzione *Check Project*.

Icona della bacchetta magica sulla barra orizzontale > Icona del fulmine.

Si apre una finestra di dialogo con tre colonne: quella di sinistra controlla lo schema elettrico, quella centrale il PCB e quella di destra le spaziature minime.

Ogni colonna prevede una serie di controlli da attivare con una spunta, poi > *Check*.

Comunque, prima di eseguire questa funzione, è bene aver effettuato il controllo REO.

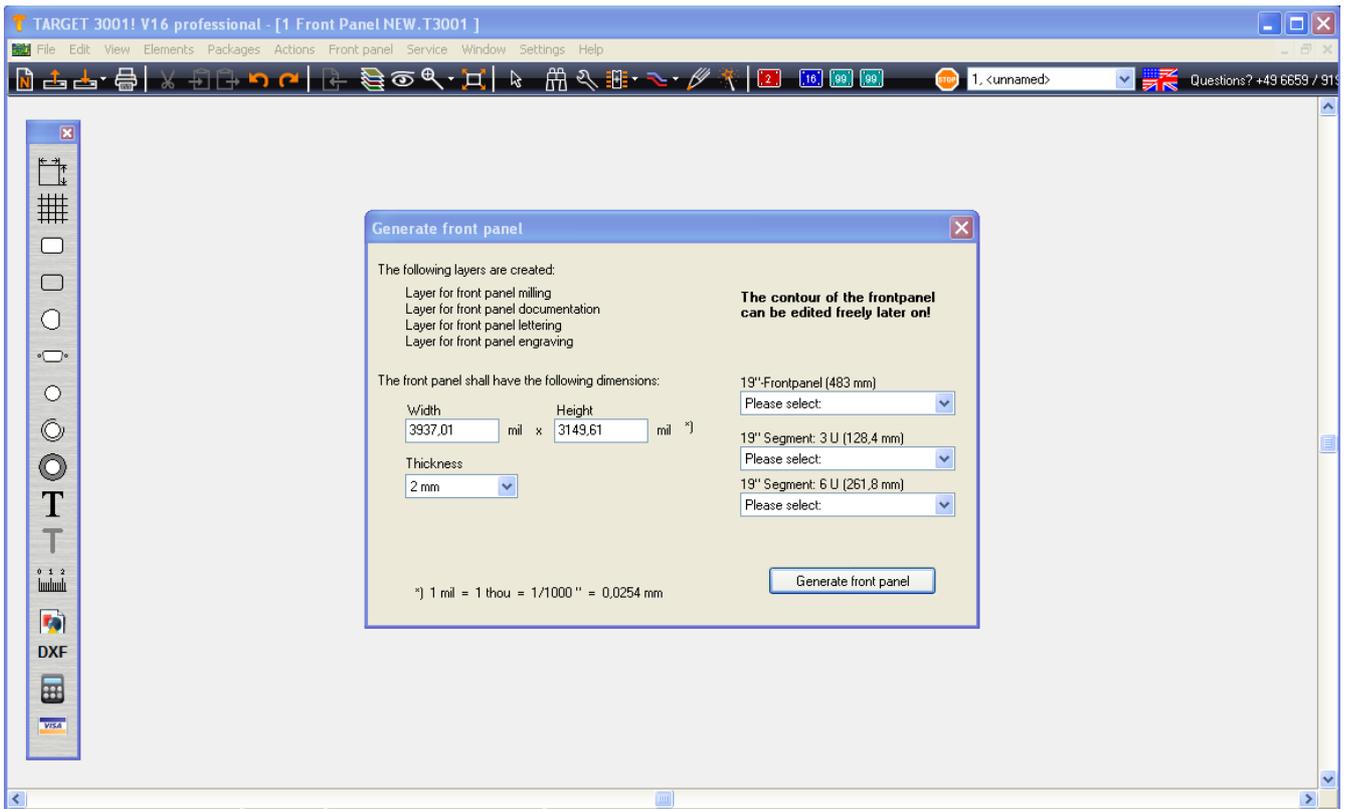
3.24 Disegno di pannelli di alluminio

Una volta disegnato il circuito stampato, è possibile disegnare pannelli di alluminio per frontalini di armadietti o in genere di contenitori del progetto che si sta realizzando.

Si apre un nuovo progetto: *New project > Aluminium front panel > OK*.

Appare una finestra che richiede larghezza, altezza, spessore del pannello. > *Generate Front Panel*. Appare il pannello con le misure richieste. A sinistra c'è una colonna con tutte le icone rappresentanti disegni di forature consuete e altre possibilità tutte facilmente intuibili.

Le scritte possono essere stampate (T sopra *Imprinted*) o incise (T sotto *Engraved*) con ampia scelta di caratteri.



4 - CREARE UN NUOVO COMPONENTE

La procedura per la creazione di un nuovo componente si svolge in tre fasi:

1 - prima si disegna l'orma del componente sul foglio del circuito stampato, dotata delle piazzole a cui si collegheranno le tracce.

2 - poi si disegna lo schema elettrico con i piedini numerati che verranno riferiti alle piazzole precedenti

3 - Infine si concatena lo schema elettrico del componente con la sua orma sul circuito stampato e si immette nella libreria.

4.1 Disegno del componente sul circuito stampato

1 - Aprire un nuovo progetto *File > New Project*. Scegliere *Single sided PCB with schematic*.

2 - A foglio aperto, selezionare la modalità PCB, e scegliere le dimensioni della pagina ove rappresentare il componente. Impostare una quadrettatura del foglio in mils, per esempio 50 mils per quadretto con griglia a linee.

3 - Disegnare (icona della matita) con misure esatte in mils, l'ingombro massimo che rappresenta l'orma del componente sul PCB. Conviene disegnare l'oggetto centrato sulla croce tratteggiata nel centro del foglio. Ciò renderà più facile la misura dei lati metà a destra e metà a sinistra della croce, metà sopra e metà sotto.

4 - Inserimento delle piazzole. Premere il tasto "1" della tastiera, poi M11 per impostare le opzioni delle piazzole da disegnare. Consiglio: disegnare piazzole ragionevolmente grandi per un miglior sostegno meccanico dei componenti. Attenzione! Il layer per le piazzole è il n° 100 che si collega a tutti i layers. Se si imposta un numero diverso, il programma non accetterà i collegamenti.

Per componenti polarizzati, creare una piazzola di riferimento con forma diversa dalle altre, per es.: quadrata e le altre tonde.

5 - Assegnazione della sigla e del numero progressivo del componente. Posizionare il puntatore nel punto più adatto per inserire il codice progressivo. Digitare sulla tastiera le virgolette ". Appare la finestra *Text Options*. Scegliere "*Component Name*". Chiudere la finestra. Con questa operazione nel disegno del PCB su ogni componente sarà indicata la sua sigla e il numero progressivo.

6 - Racchiudere in un rettangolo (M1h) tutto il disegno. Poi posizionare il puntatore del mouse nel centro del disegno e premere il tasto "x". (= E x port). Col tasto x abbiamo creato un nuovo package e aperto la finestra "Export Package". Inoltre, nel punto ove è posizionata la freccetta del puntatore, viene posizionata la crocetta di manipolazione del componente.

7 - Ora dobbiamo caratterizzare il nuovo package assegnandogli un nome ed altre caratteristiche. Nella casella "*Package Type*" scegliere il tipo. Per es. Transformer.

Assegnare un nome al package. Poi OK

Appare ora la finestra della libreria dei componenti. Premere *Edit*. Il package è ora realizzato e esportato nella libreria.

In basso a destra appare la casella dell'immagine 3D. Fare M2 sull'immagine e M1 su *Edit*. Appare la finestra del disegno 3D. Se conveniente, accettare una immagine estrusa

preconfezionata del componente. Altrimenti disegnare il tutto seguendo le istruzioni esposte nel capitolo 5.

Per ora abbiamo creato solo un "Package" del nuovo componente. Di seguito creeremo un disegno nello schema elettrico e lo assoceremo a quel package.

4.2 Disegno del componente sullo schema elettrico

1 - Aprire un nuovo progetto e selezionare il foglio dello schema elettrico.

Per il disegno dello schema elettrico del componente, si può scegliere uno già esistente in libreria e modificarlo, o, in mancanza, disegnarne uno nuovo (icona della matita).

2 - Inserire i terminali per i collegamenti esterni e che dovranno corrispondere alle relative piazzole del componente nel PCB. Controllare la corrispondenza della numerazione. Posizionare il puntatore sul punto del disegno ove occorre mettere il terminale e premere il tasto "1" della tastiera.

3 - Assegnare un nome al componente e un valore.

Posizionare il cursore ove si vuole la lettera progressiva indicativa del componente.

Premere il tasto virgolette ("). Appare la finestra "Text Options". Nella casella centrale bassa dove è scritto *Normal text* selezionare *Component name* e OK. Sullo schema appare la scritta !COMPONENT. Poi selezionare *Component Value* e OK. Ora appare la scritta !VALUE. A queste due variabili verrà poi assegnato durante il lavoro la sigla reale col numero progressivo e il valore del componente.

3 – Raggruppare tutte le parti disegnate. Racchiudere con M1h tutte le parti da raggruppare. Poi posizionare il cursore sul punto dove si vuole la crocetta di manipolazione e premere "y" (da sYmbol). Le parti sono ora raggruppate.

5 – Inserimento nella libreria e associazione al package. Tasto "x" da "eXport" .

- Racchiudere il simbolo completamente con M1h e premere "x". Appare la finestra *Export Symbol*.
- Selezionare "Only own components" per assegnarlo alla libreria personale.
- Scegliere il tipo di componente es. Transformer.
- Inserire i parametri del componente, n° spire tensione corrente potenza.
- Inserire il nome del package realizzato prima nel PCB. Es.: EE42x15x12.
- Selezionare "Manufacturer not clear"
- Inserire la sigla che si desidera per individuare il componente es.: Trf
- *Save component*

A questo punto la procedura è terminata e si può andare a cercare il componente in libreria.

Attenzione! Per far accettare !Component name e !Value ad un componente ricavato da un altro, occorre sempre

1. Nello schema cancellare le parti e le scritte non necessarie del componente origine,
2. Racchiudere l'intero disegno e premere "y" per indicare al programma che disegniamo un nuovo componente.
3. Inserire le scritte come al punto 4.

4. Selezionare di nuovo l'intero simbolo e premere "y" sulla crocetta per assegnare le scritte al simbolo.
5. Infine racchiudere di nuovo e premere "x" per inserirlo in libreria, rispondendo prima alle domande.

Nota: Quando, a operazioni finite, le precedenti scritte !COMPONENT e !VALUE nello schema elettrico rimangono, mentre scompare solo il simbolo, significa che non sono state acquisite.

In tal caso, premere il tasto di ritorno indietro, per far apparire di nuovo il disegno del simbolo, senza doverlo ridisegnare daccapo; racchiudere tutto il disegno compreso le scritte e premere "y" di nuovo. Poi ancora racchiudere e premere "x". Riempire nuovamente le caselle e salvare.

Ricordarsi che la procedura ora esposta si riferisce solo al foglio dello schema elettrico e non a quello del PCB! Nel PCB occorre racchiudere il disegno e premere solo "x"!

4.3 Assegnare un componente alla Libreria personale

Si va sulla finestra del Package. Click M2 nella colonna di destra sulla casella nera "User" del componente interessato > *Import component in My list* > Scegliere la lista interessata. Per deselezionare da una lista, fare click sulla lista stessa.

4.4 Disegno di un nuovo componente SMD

Di solito un componente SMD e la sua orma vengono disegnati sul lato rame del PCB, però per evitare errori, conviene prima disegnare tutto sul lato componenti e poi ribaltare sul rame.

Si comincia con il disegno delle piazzole, prima quella di sinistra cui verrà assegnato il n°1, poi quella di destra. Sul lato rame, verranno rappresentati invertiti da destra a sinistra perché il lato rame è visto in trasparenza dal lato componenti.

Con M11 su una piazzola, si apre la finestra "Change Pads" e si modificano le caselle:

1. Le dimensioni delle piazzole, per 1206, per es.: 70 x 70 mils.
2. La forma è rettangolare
3. Arrotondamento: "0"
4. Layer : 16 (lato componenti)
5. Rotazione: 0
6. Foro del trapano *Drill hole*: 0

Poi, se si vuole, si memorizzano questi dati nella finestra *Change pads*; sulla colonna di destra; click sulla freccetta della prima casella libera, scegliere il nome (SMD) e OK. Ora, premendo semplicemente il tasto di quella casella, si richiamano i dati impostati che si applicano alle piazzole successive, senza doverli riscrivere per ciascuna.

Disegno dell'orma del componente.

Prima si imposta il layer n° 21, andando sulla barra orizzontale sull'icona dei layers. Nella finestra che si apre, nella casella in basso a destra intitolata " *For other drawing elements*" impostare il layer 21 .

Si seleziona il simbolo della matita sulla barra alta orizzontale e si esegue il disegno.

A disegno ultimato, racchiudere il tutto con un rettangolo M11, e posizionare il cursore ove si vuole la crocetta. Quindi premere "x". Alla fine le piazzole devono apparire blu, il disegno dell'orma nero e la crocetta nera.

Successivamente, disegnare la figura in 3D del componente e salvare. Vedi cap.5.

Per trasferire sul lato rame il nuovo componente SMD, fare click sulla crocetta. Selezionare "Edit " sulla barra orizzontale alta. Click su "Mirror flip horizontally; oppure

click sulla crocetta e tasto "m". Il componente passa sul lato rame. Verificare con l'immagine del PCB finito in 3D che tutto sia a posto.

4.5 Creazione di un nuovo circuito integrato ancora non presente in libreria.

1. Procurarsi un campione fisico o il data sheet del circuito integrato.
2. Aprire un nuovo progetto "*PCB with schematic*".
3. Selezionare la griglia più adatta, es. 25 mils a punti.
4. Selezionare il layer 21 (click sulla casella 21 nella barra verticale). Nel caso di componente SMD il layer è il n° 7.
5. Disegnare un rettangolo centrato sulla croce tratteggiata del foglio, seguendo le misure del package del data sheet del CI.
6. Sul lato verticale sinistro inserire la chiave del package, cioè un semicircoletto o una V orizzontale. (selezionare il lato sinistro verticale, fare M2 e *Insert corner*.
7. Piazzare le piazzole: Selezionare il simbolo della matita sulla barra orizzontale e poi quello della piazzola. Premere "o" per le opzioni e selezionare. Fra queste scegliere il layer 100 che comprende tutti i layers. Per gli SMD scegliere il layer di deposizione (2).
8. Posizionare le piazzole premendo il tasto 1. Una volta depositate, controllare bene le misure con quelle del data sheet.
9. Salvataggio del package: Racchiudere in un rettangolo (M1h) tutto il disegno. Poi posizionare il puntatore del mouse nel centro del disegno: in quel punto verrà posizionata la crocetta del componente. Premere "x" per aprire la finestra "*Export package*". Nella casella *Package Type* scegliere il tipo. Per es. THT (Through Hole Technology). Assegnare un nome al package ad es: DIP14. Poi OK.
10. Appare ora la finestra della libreria dei componenti. Premere *Edit*. Il package è ora realizzato e esportato nella libreria.

Per completare il lavoro occorre ora creare uno schema elettrico del componente con i relativi piedini di collegamento che dovranno essere associati alle rispettive piazzole del package.

4.6 Disegno del circuito integrato sullo schema elettrico

1. Aprire un nuovo progetto e richiamare il foglio dello schema elettrico. Disegnare il simbolo elettrico del componente.
2. Poi si debbono inserire i pin per i collegamenti esterni e che dovranno corrispondere ai relativi pad (piazzole) nel PCB.:Tasto 1 "*Place free pins*". OK
3. Appare una lista di pin numerati con accanto le scritte Pin1, Pin2, Pin3 ecc.
4. Fare doppio click M11 sul pin rosso n°1. Appare la finestra "*Change pins*".
5. Selezionare "*Edit pin name*" e inserire la sigla della funzione del pin: GND, IN, VCC, CLK ecc. Ripetere per tutti i pins.
6. Click M1 su ogni pin e poi con M1h spostare ciascuno nella giusta posizione sul simbolo.
7. Assegnare un nome e un valore al componente: posizionare il cursore ove si vuole la scritta. Click su " ". Selezionare !COMPONENT NAME poi OK e di nuovo ! COMPONENT VALUE.
8. Cancellare provvisoriamente i piedini di alimentazione Vcc e GND che verranno assegnati a parte.
9. Racchiudere completamente il disegno con un rettangolo tramite M1h. posizionare il cursore nel punto ove si vuole la crocetta. Premere il tasto "y". Ora tutti gli elementi del disegno sono assemblati per permettere di esportarli in libreria.

10. Piedini di alimentazione. Disporre i due piedini come riportato in figura, uno sopra e uno sotto. Premere il tasto “ ” per assegnare un nome al componente come fatto per il circuito.



- 11.
12. Il nome dei piedini Vcc e GND può essere cancellato con la funzione Delete.
13. Racchiudere in un rettangolo i piedini tramite M1h. Poi posizionare il puntatore nel centro.
14. Premere il tasto “y” per piazzare la crocetta.
15. M11 sulla crocetta per aprire la finestra di dialogo “Change Symbol”.
16. Nella finestra *Symbol number* mettere: 2 per significare due liste una per le funzioni logiche del C.I e una per l’alimentazione. *Suffix = p* per power supply. *Insert = Extra insert as Rest* vuol dire inserimento a parte con la funzione *Rest of the component*.
17. Ora raccogliere con un rettangolo sia lo schema del circuito integrato che le alimentazioni Con M1h. Premere “x” per esportare il simbolo in libreria. Appare “Export component into library”.
18. Selezionare *New library* per creare la libreria personale. Aggiungere la sigla del nuovo circuito integrato e OK. Appare “Prefix and proposal for the package.”
19. Selezionare IC nella casella *Prefix* e assegnare la proposta es.: DIL8. Premere OK.

La creazione del nuovo IC è finita. Controllare nella libreria il risultato. Per circuiti integrati logici con vari ingressi occorre una procedura particolare da leggere nel sito apposito.

4.7 Circuito integrato contenente più stadi uguali

1. Aprire la pagina dello schema in un nuovo progetto.
2. Disegnare con l’icona della matita, tante figure geometriche rappresentanti ciascuno uno stadio. Per esempio per un amplificatore operazionale con 4 stadi uguali, disegnare 4 triangoli. Per velocizzare l’operazione e disegnare i triangoli con le stesse misure, disegnare il primo e poi copiare da questo (Edit > Copy) tutti gli altri (Edit Paste).
3. Con il tasto1, deporre tutti i terminali (pin) degli stadi, eccezion fatta per i terminali della alimentazione comune.
4. Se si vuole, si può sostituire alle scritte Pin1,Pin2...dei terminali, le sigle delle singole funzioni, ad es.: in+, in-, out, oppure cancellare Pin1,Pin2... Per questa operazione fare M11 sulla scritta del pin poi *Change text > Content >* scrivere la sigla, es.: in- ,in+ , out. Poi OK.
5. Inserire la crocetta di manipolazione, selezionando con M1h ciascuno stadio racchiudendo anche le relative scritte. Quindi porre il puntatore ove si vuole la crocetta, ad es.: nel centro dello stadio, e premere il tasto y. Questa operazione va ripetuta per ogni stadio.
6. E’ giunto il momento di disegnare le alimentazioni. Disporre i due piedini come riportato in figura, uno sopra e uno sotto. Posizionarsi in un punto e premere il tasto

“ per assegnare un nome al componente come fatto per il circuito. Selezionare ! COMPONENT.



7. Sostituire la numerazione dei piedini con quella corretta.
8. Racchiudere in un rettangolo i piedini tramite M1h. Poi posizionare il puntatore nel centro. Premere il tasto "y" per piazzare la crocetta.
9. M11 sulla crocetta per aprire la finestra di dialogo "Change Symbol". Nella finestra *Symbol number*, se vi sono due stadi, mettere: 3 per significare tre liste, due per gli stadi e una per l'alimentazione. *Suffix = P* per power supply. *Insert = Extra insert as Rest* vuol dire inserimento a parte con la funzione *Rest of the component*.
10. Ripetere l'operazione per i singoli stadi inserendo un numero progressivo a *Symbol number*, *Suffix = A,B,...*, *Insert = Automatically insert as next*. *Swap N°. =0*
11. A questo punto raccogliere (M1h) con un rettangolo sia lo schema dei singoli stadi che le alimentazioni e premere "x" per esportare il circuito integrato in libreria. Appare "Export symbol". Rispondere alle domande, tipo del componente, nome, *Manufacturer (not clear)*, *Package* e sigla (*Prefix*) del componente (IC). Save.

Per assegnare il componente alla libreria personale andare nella grande finestra *Components*, M2 nella casella del componente, *Import component in my component list > Libreria personale*.

La creazione del nuovo IC è finita. Controllare nella libreria il risultato.

4.8 Modifiche successive

Per effettuare modifiche su componenti già creati, package o schematic, si va nella finestra dei componenti, si seleziona il componente e si fa M2 nella casella a sinistra *Component name*, poi *Edit component properties* o *Symbol,Package,3D,Simulation* a seconda di cosa si deve cambiare.

Per assegnare un nuovo Package alla Libreria Personale, click sulla linguetta "Package", click sul componente nella colonna di destra, poi *Package* nella barra orizzontale > *Enter package in list*.

5 - COSTRUIRE IMMAGINI IN 3D DEI COMPONENTI

5.1 La creazione di immagini di componenti in 3D

Per dotare un componente dell'immagine in 3D del suo involucro, si deve avere prima disegnato il package e salvato nella libreria personale. Altrimenti se si vuole dotare di immagine 3D un componente già pronto di Target, andare nella finestra *Components* selezionare il componente fra quelli di Target e fare M2 nella sua casella sinistra.

Symbol,package,3D,simulation > Edit 3D. Nel riquadro in basso con gli assi che ruotano, fare M2 su Edit, poi M1.

Il programma ora richiede di creare una copia per l'utente *User* del componente scelto. Rispondere si e poi ancora si per fare una copia anche del simbolo.

Si richiede ora se il programma deve disegnare automaticamente un modello estruso dell'orma del componente prima disegnata. Se non interessa > No. Appare la finestra con in basso lo spazio per scrivere il codice.

Le coordinate sono espresse in mm. I decimali sono separati da un punto.

L'asse X (rosso) rappresenta le ascisse e positivo punta a est, negativo a ovest.

L'asse Y (verde) rappresenta le ordinate. Positivo a nord e negativo a sud.

L'asse Z (blu) positivo punta verso l'alto e negativo verso il basso. E' ortogonale al piano XY.

Ogni coordinata espressa è separata da una virgola, in successione x,y,z.

Esempi:

0,0,0 è il punto di origine degli assi sulla superficie superiore della basetta.

0,0,0.5 è un punto 0,5 mm sopra l'origine

Gli angoli sono espressi in gradi 0.0 - 360.

Sul piano della basetta, gli angoli positivi sono antiorari, cioè girano dall'asse X a Y e nel piano XZ, dall'asse X all'asse Z, nel piano YZ dall'asse Y allo Z

I colori sono definiti da tre byte esadecimali da 0 a FF preceduti da \$ e ciascuno rappresentante l'intensità di uno dei tre colori in ordine blu, verde, rosso. A numero maggiore corrisponde intensità di colore minore.

Esempi:

\$FFFFFF bianco

\$0000FF rosso

\$00FF00 verde

\$FF0000 blu

\$000000 nero

\$888888 colore stagno

La sintassi di scrittura del codice per ogni elemento è scritta linea per linea.

Per il solido parallelepipedo tutte le scritte dopo il raggio di smussatura, sono interpretate come commenti e non hanno alcun effetto sul modello.

Per tutti gli altri corpi tutte le scritte dopo quella del colore e virgola sono interpretate come commenti e non hanno alcun effetto sul modello.

Sono definiti i seguenti solidi:

5.2 Solido S (parallelepipedo).

Si introduce di seguito il concetto di "asse mediano" valido per i solidi parallelepipedi e per i cilindri. Si considerino due punti nello spazio $P1 = X1,Y1,Z1$ e $P2 = X2,Y2,Z2$ che distano tra loro "d". Per i due punti passa un asse mediano. La distanza "d" rappresenterà la larghezza del parallelepipedo che si vuole disegnare. Si consideri la superficie

rettangolare larga “L” e alta “H” perpendicolare all’asse, centrata su di esso. (cioè l’asse passa nell’incontro delle due diagonali del rettangolo). Se si sposta idealmente questa superficie da un punto all’altro percorrendo la distanza d, essa raffigura un solido parallelepipedo. Il solido nasce dal movimento della superficie L x H per una larghezza d. Per realizzare il solido, occorre partire dai due punti P1 e P2 per cui passa l’asse e assegnare larghezza e altezza della superficie mobile perpendicolare all’asse mediano. Gli spigoli del parallelepipedo sono arrotondati da un raggio di curvatura. Con un segno – davanti a S il corpo diventa trasparente e si vedono solo i lati.

Sintassi: SX1,Y1,Z1,X2,Y2,Z2,L,H, colore, raggio di curvatura.

S informa il programma che si vuole disegnare un parallelepipedo. Seguono le coordinate dei due punti,P1 e P2 sull’asse mediano centro delle due superfici laterali di dimensioni L x H.

Esempio: S0,0,15,25,0,15,20,10,\$0000FF,0.2 Parallelepipedo di superfici laterali 20 x 10 e distanti 25 mm. Colore rosso con spigoli arrotondati con raggio 0,2mm.

5.3 Cilindro C

Cilindro dotato di superfici laterali circolari. L’asse mediano di cui sopra passa per i loro centri. La distanza dei centri rappresenta l’altezza del cilindro. Occorre poi indicarne il diametro D.

Sintassi:

CX1,Y1,Z1,X2,Y2,Z2, D ,colore,

Esempio: C5,0,10,5,0,40, 7,\$888888 cilindro verticale di diametro 7mm, sollevato 10mm dal piano XY, alto 40-10=30mm.

5.4 Toro T

Volume ottenuto dalla rotazione di un cerchio di diametro “d” intorno ad un asse, con centro di rotazione distante “R” dall’asse.

Sintassi:

TZ ha un asse di rotazione parallelo all’asse Z. Pm(Xm,Ym,Zm) è il centro di rotazione per cui passa l’asse di rotazione parallelo a Z, R il raggio di rotazione intorno all’asse, “d” il diametro del cerchio che ruota.

Sintassi:

TZXm,Ym,Zm,R, d, angolo iniziale,angolo finale, colore.

Esempio: TZ8,5,10,6,4,0,180,\$0000FF. Toro sollevato 10 mm dal piano XY con centro di rotazione X=8 Y=5, raggio di rotazione R = 6, diametro del cerchio 4, inizia a ruotare a 0° e termina a 180°. Colore rosso.

TX ha un asse di rotazione parallelo all’asse X. Pm(Xm,Ym,Zm) è il centro di rotazione per cui passa l’asse di rotazione parrallelo a X, R il raggio di rotazione intorno all’asse, “d” il diametro del cerchio che ruota.

Sintassi:

TXXm,Ym,Zm,R, d,angolo iniziale,angolo finale, colore.

Esempio: TX10,10,10,6,4,0,18,\$888888

TY ha un asse di rotazione parallelo all’asse Y. Pm(Xm,Ym,Zm) è il centro di rotazione per cui passa l’asse di rotazione parrallelo a Y, R il raggio di rotazione intorno all’asse, “d” il diametro del cerchio che ruota.

Sintassi:

TYXm,Ym,Zm,R, d, angolo iniziale,angolo finale, colore.

Esempio: TY10,10,10,6,4,0,18,\$888888

Disegnare una sfera: basta mettere $R=0$. d = diametro della sfera.

TZXm,Ym,Zm,0, d, angolo iniziale,angolo finale, colore.

X,Y,Z dopo T è indifferente, non ha più senso l'asse di rotazione, come pure l'angolo iniziale e finale.

5.5 Poligono estruso E

Si tratta di realizzare un solido con base poligonale nel piano XY e altezza $h = Z2 - Z1$. L'estrusione del poligono si svolge solo nella direzione dell'asse Z partendo dalla base a quota Z1 alla copertura a quota Z2. La sintassi è:

EN,X1,Y1,X2,Y2,X3,Y3,...,Z1,Z2,colore

Con N numero dei vertici del poligono, X_n, Y_n coordinate degli n vertici, Z1 quota della base e Z2 l'altezza del poligono estruso e **non** la quota partendo da zero.

All'apertura del programma si richiede "*Shell an extruded polygon be created?*" Infatti il programma è in grado di creare automaticamente una estrusione dell'orma del componente come disegnata precedentemente nel package. Basta solo assegnare una quota per la base ed una per la copertura. Ovviamente si crea un corpo monolitico di altezza h, senza differenziazione delle varie parti componenti. Altrimenti si rifiuta la proposta e si scrive il programma da soli. Per creare un solido con varie altezze, come ad esempio un trasformatore tipo a mantello, occorre suddividere il volume in parti di solidi che hanno uguale altezza, e costruirli utilizzando più volte la funzione E.

5.6 Testo TT o Text

E' posizionato sempre parallelo alla superficie XY. La sintassi è:

TTX,Y,Z,altezza del carattere,larghezza del carattere,angolo,tipo di font,testo,colore.

XYZ sono le coordinate di partenza del testo. Segue altezza, larghezza del carattere, angolo, carattere usato, testo , colore.

Le variabili "!Component", "!Value" ,"!Symbol" nel testo da scrivere sono variabili che rappresenteranno i valori assunti volta volta dal componente. Altrimenti si può inserire un testo fisso.

Esempio: TT0,0,16,4,4,45,TARGET,TARGET 3001!,\$0FFFFFF scrive la parola TARGET con font TARGET.

5.7 RC Fascette dei colori di identificazione

Fascette colorate identificative del valore del componente, es.: resistenza e tolleranza, secondo il codice delle resistenze. Due punti P1 e P2 rappresentano i centri destro e sinistro delle basi del cilindro che rappresenta la fascetta, e la loro distanza è la larghezza della fascetta.

Sintassi :

RCnumero progressivo da 1 a 5, X1,Y1,Z1,X2,Y2,Z2, diametro,colore

RC5,15,0,0,16,0,0,5,\$00FF00, fascetta di 5mm di diametro, larga 1 mm. con asse parallelo a X e di colore verde.

5.8 Copiare l'immagine 3D di un componente per assegnarla ad un altro.

In libreria selezionare il componente con l'immagine da copiare e aggiungerlo alla lista di quelli personali (M2 e *Assign to my components*).

Si seleziona il tab (la linguetta) *Quick select*. Poi si fa M2 sulla riga del componente. Si apre una finestra con varie opzioni. Scegliere *Symbols, package, 3D simulations >Edit 3D*

Si apre un'altra finestra: *Create a user copy of the component? > Yes*.

Sulla copia *User*, ripetere M2, *Symbols...*, *Edit 3D*.

Si apre finalmente la finestra *Edit 3D model*.

In basso appaiono le file dei codici, Selezionarle tutte con M1h e copiare (copy.)

Poi si cerca il componente cui si vuol assegnare l'immagine.

Ripetere la procedura per questo componente, M2, *Symbols...*, *Edit 3D*.

Appare la finestra *Edit 3D model*. In basso, nella finestra dei codici che deve apparire vuota, incollare (M2 e *paste*) il codice precedentemente copiato. Appare ora l'immagine del componente. Premere "save" e il gioco è fatto.

Suggerimento: E' consigliabile creare una cartella da qualche parte, assegnarle il nome "Immagini 3D" e inserirvi tanti file di testo *.txt contenenti ciascuno un disegno 3D di quelli personali, faticosamente costruito, e salvarlo.

5.9 Copiare un oggetto 3D "n" volte nello spazio.

Esempio: piedini dei circuiti integrati

Selezionare la riga o le righe rappresentative dell'oggetto con M1h.

M2 e scegliere nella lista che appare "*Copy form and move by pitch*". Appare la finestra *Automatically create further pins*. Rispondere alle domande.

5.10 Immagine 3D di un package tipo DIL8

Copiare e eventualmente modificare l'immagine di un package DIL8.

```
S-1.15,3.81,2.11,8.65,3.81,2.11,6.48,3.2,$888888,0.2
S0,0,0.1,0,0,-2.0,0.53,0.36,$888888
S0,0,0.1,0,0,2.11, 0.9,0.36,$888888
S0,0,2.11,0,0.63,2.11,0.9,0.36,$888888
C-0.45,0,2.11,0.45,0,2.11,0.36,$888888
S2.54,0,0.1,2.54,0,-2,0.53,0.36,$888888
S2.54,0,0.1,2.54,0,2.11, 0.9,0.36,$888888
S2.54,0,2.11,2.54,0.63,2.11,0.9,0.36,$888888
C2.09,0,2.11,2.99,0,2.11,0.36,$888888
S5.08,0,0.1,5.08,0,-2,0.53,0.36,$888888
S5.08,0,0.1,5.08,0,2.11, 0.9,0.36,$888888
S5.08,0,2.11,5.08,0.63,2.11,0.9,0.36,$888888
C4.63,0,2.11,5.53,0,2.11,0.36,$888888
S7.62,0,0.1,7.62,0,-2,0.53,0.36,$888888
S7.62,0,0.1,7.62,0,2.11, 0.9,0.36,$888888
S7.62,0,2.11,7.62,0.63,2.11,0.9,0.36,$888888
C7.17,0,2.11,8.07,0,2.11,0.36,$888888
S7.62,7.62,0.1,7.62,7.62,-2,0.53,0.36,$888888
S7.62,7.62,0.1,7.62,7.62,2.11, 0.9,0.36,$888888
S7.62,7.62,2.11,7.62,6.99,2.11,0.9,0.36,$888888
C7.17,7.62,2.11,8.07,7.62,2.11,0.36,$888888
S5.08,7.62,0.1,5.08,7.62,-2,0.53,0.36,$888888
S5.08,7.62,0.1,5.08,7.62,2.11, 0.9,0.36,$888888
S5.08,7.62,2.11,5.08,6.99,2.11,0.9,0.36,$888888
C4.63,7.62,2.11,5.53,7.62,2.11,0.36,$888888
S2.54,7.62,0.1,2.54,7.62,-2,0.53,0.36,$888888
S2.54,7.62,0.1,2.54,7.62,2.11, 0.9,0.36,$888888
S2.54,7.62,2.11,2.54,6.99,2.11,0.9,0.36,$888888
C2.09,7.62,2.11,2.99,7.62,2.11,0.36,$888888
S0,7.62,0.1,0,7.62,-2,0.53,0.36,$888888
S0,7.62,0.1,0,7.62,2.11, 0.9,0.36,$888888
S0,7.62,2.11,0,6.99,2.11,0.9,0.36,$888888
C-0.45,7.62,2.11,0.45,7.62,2.11,0.36,$888888
TT0.7,3,3.75,1.5,1,0,TARGET,DIL8,$123456
```

6 - ESPORTARE – IMPORTARE LIBRERIE

6.1 Finestra di gestione

E' possibile esportare librerie personali contenenti componenti creati personalmente, o importarli da altre fonti. Ad esempio se si cambia computer, può essere utile esportare la Libreria Personale faticosamente creata e importarla nel nuovo computer. Oppure può essere prudente salvare il file di tale libreria e custodirlo da qualche parte sicura. Può essere anche necessario esportare/ importare solo determinati componenti e non tutti, oppure esportare/ importare alcuni componenti di cui interessa solo il package o solo il disegno dello schema, o occorre importare solo alcune caratteristiche di un componente. Per queste operazioni esiste una apposita finestra che gestisce l'operazione. Per accedere a questa finestra, occorre aver aperto un progetto. Entrare nella finestra dei componenti premendo il tasto "Ins" della tastiera. Nella barra orizzontale in alto, selezionare "*Import/Export*". Appare: *Export Database, Import Database, Import libraries*.

6.2 Esportazione

Export Database permette di creare un file con estensione *.db che può essere salvato in qualche supporto di memoria (per esempio una memoria rimovibile) per poterlo poi importare in altro computer o semplicemente conservarlo in altra posizione nel computer stesso.

M1 su "*Export Database*" consente di aprire una lista di opzioni:

- "*Selected components and packages*".
- "*All components from the current search*".
- "*Component and packages from the list* > Libreria personale ... Nuova lista".
- "*USER / My components and packages*".

6.3 Esportare singoli componenti.

"*Selected components and packages*".

Tradotto: Componenti (Schema) e Packages (Involucri) di componenti selezionati. Permette di esportare singoli componenti, sia lo schema elettrico che l'involucro fisico. Occorre prima selezionare nella finestra dei Componenti, quello che si intende esportare. Poi M1 su *Import/Export* della barra orizzontale alta > *Export Database* > "*Selected components and packages* > M1 > Appare una finestra su cui salvare il Database, di solito in Documenti. Scegliere una cartella di proprio gradimento e salvare indicando il nome del componente nella apposita casella. Il componente è salvato con quel nome in un file con estensione *. db, quindi non è apribile per leggerlo. Occorre importarlo in Target per poterlo esaminare. Se tutto ha funzionato appare il messaggio "*Export was successful* "

6.4 Esportare tutti i componenti di un gruppo.

"*All components from the current search*".

Tradotto: Tutti i componenti della attuale ricerca. Consente di creare un file in estensione*.db contenente tutti i componenti di un gruppo, per esempio tutti i diodi o tutti i condensatori. Occorre selezionare una casella nella finestra dei componenti, ad es: "*Components types and groups*" o "*Component list*" ecc. e cliccare M1. Poi *Import / Export* > *Export Database* > "*All components from the current search*" > M1 > Appare una finestra su cui salvare il Database, di solito in Documenti. Scegliere una cartella di proprio gradimento e salvare indicando il nome della lista nella apposita

casella. La lista è salvata con quel nome in un file con estensione *. db, quindi non è apribile per leggerla. Se tutto ha funzionato appare il messaggio “ *Export was successful* “.

6.5 Esportare una libreria

Component and packages from the list >

Tradotto: Componenti e involucri dalla lista >ad es.: Libreria personale o altro nome. E' questa forse l'opzione più ricorrente in quanto serve a esportare ad es.: su un supporto di memoria estraibile una intera libreria che abbiamo precedentemente creato per poterla poi esportare ad es.: in un altro computer o conservarla in un supporto di memoria sicuro. Supponiamo di aver chiamato questa libreria col nome “ Libreria personale “ o altro. M1 su *Import/ Export* > *Export Database* > “*Component and packages from the list* > Libreria Personale > Appare una finestra in cui poter memorizzare il nuovo file della Libreria personale. Assegnare un nome al file e salvare. Se tutto ha funzionato appare il messaggio “ *Export was successful* “.

6.6 Esportare USER / My components and packages.

Tradotto : Utente / Miei componenti e involucri. Serve per esportare precisamente la lista User o My Components che è stata creata precedentemente quando abbiamo prescelto dalla lista dei componenti di Target quelli che ci interessavano e li abbiamo etichettati “My Components”, oppure quando abbiamo creato noi stessi nuovi componenti e li abbiamo inseriti nella lista “ My Components.

M1 su *Import/ Export* > *Export Database* > *USER / My components and packages* > Appare subito una finestra in cui poter memorizzare il nuovo file della Libreria personale. Assegnare un nome al file e salvare. Se tutto ha funzionato appare il messaggio “ *Export was successful* “.

6.7 Importazione

Per importare “data base” si va nella finestra dei componenti e si fa M1 sulla barra orizzontale alta su *Import/Export*. Selezionare *Import*. Appare una finestra, ad esempio dei Documenti, ove precedentemente sono stati copiati i database dei componenti, o comunque è possibile scegliere la cartella dove si trovano i database da importare. Fare M1 su Apre. Appare un finestrone di dialogo.

6.8 Quando una finestra appare più grande dello schermo

Può succedere che questa finestra sia più grande del riquadro dello schermo e se ne perda l'intestazione e/o la parte bassa. Se ciò avviene, il motivo è il basso numero di pixels del nostro computer rispetto a quanto richiesto da TARGET V16, che è dato per funzionare con almeno 1024 x 800 pixels. Ad ogni modo anche se siamo in questa situazione, è possibile trascinare la finestra e visualizzare anche quanto non visibile. Per questo M1 sul quadro ridotto, icona in alto a destra. Premere Alt + barra spaziatrice: Appare un popup con varie scelte. M1 su Sposta. Quindi usare Freccie su/ giù per spostare la finestra, oppure anche il mouse.

6.9 Selezione delle caratteristiche non volute

Come si vede, la finestra è divisa in tre ampie colonne.

La colonna di destra riporta in testata il nome del database del componente / i che si vuole importare e contiene tutte le caratteristiche appartenenti al componente stesso, simbolo elettrico, package, immagine in 3D se presente, e in basso la descrizione delle altre caratteristiche.

Tutti questi dati possono essere importati, eccetto quelli che selezioneremo nella colonna centrale. Infatti questa colonna, che rappresenta quella delle “proposte”, appare identica a

quella di destra, ma permette di *escludere* quello che non interessa importare. Fare M1 nelle caselline della barra verticale gialla nel mezzo, su quelle caratteristiche che si vogliono escludere. Una spunta apparirà in quelle caselle. Quindi M1 su “*Save with acception of the selected dates*”. Se invece non interessa effettuare alcuna restrizione, fare direttamente M1 nella casella “*Import all*”. I componenti si ritroveranno ora nelle librerie di Target.

Questa operazione di importazione di librerie è frequente ed utile ad esempio se si cambia computer con uno nuovo in cui è già stato installato TARGET, ma le librerie personali, faticosamente realizzate nel vecchio computer, sono ancora vuote. Un'altra occasione si presenta quando si rinnova la versione di TARGET con una più recente.

6.10 Esportare importare propri progetti.

Se vogliamo esportare / importare dei progetti che abbiamo realizzato, l'operazione è molto semplice. Sicuramente questi progetti saranno stati memorizzati in una libreria di Target. Quando si apre Target appare la selezione dei progetti da aprire. Si apre *Open user folder* dove avremo salvato i nostri progetti. Per esportarne uno o più, basta copiare il file, per poi incollarlo nel supporto di memoria desiderato. Il file salvato si presenta così.



TRASF 1SEC

Fig.6.1

Ad es.: se salviamo il file in un diverso computer o anche nel desktop dello stesso computer, quando lo riaccenderemo, selezionando questa icona si provoca automaticamente l'apertura di Target e appare subito il progetto che abbiamo incollato.

7 – ANALISI EMC

7.1 Introduzione

La riproduzione dello schema elettrico su PCB può dare risultati completamente diversi a seconda di come viene disegnato il circuito stampato.

Si possono verificare malfunzionamenti e in certi casi anche mancati funzionamenti se il circuito stampato non è stato progettato correttamente. I motivi ricorrenti sono:

- Errata disposizione dei componenti sulla basetta
- Eccessiva vicinanza tra di loro
- Errata deposizione delle tracce
- Non adeguate dimensioni fisiche delle tracce.

Una progettazione errata del PCB, oltre a difficoltà di funzionamento per mancata *immunità*, (componenti, tracce, sensibili a campi di disturbo esterni) può provocare anche *l'emissione* di disturbi, sia di natura elettro magnetica dovuti alla influenza reciproca degli elementi in esso contenuti, (si pensi all'innesco di autooscillazioni) sia *per conduzione* di segnali spuri generati dal circuito e immessi sulla rete elettrica di alimentazione.

Questi effetti dipendono strettamente dalla frequenza dei segnali di disturbo, ed aumentano con essa, ma non si creda che occorra raggiungere i MHz per vederli apparire; già a 50KHz possono creare malfunzionamenti e disturbi. Si pensi ad es.: agli alimentatori switching specialmente quelli alimentati a tensione di rete.

Tutte queste situazioni vengono contemplate e regolamentate da Direttive emesse da autorità nazionali e Internazionali, come la direttiva europea EU-law 89/336/EWG, tendenti a risolvere i problemi connessi alla Compatibilità Elettro Magnetica (EMC).

Target contiene integrata la possibilità di effettuare una analisi approssimativa preventiva di tipo EMC sul circuito stampato prima che sia realizzato.

Le funzioni svolte dal programma sono:

1. *Calcolo dell'accoppiamento galvanico*, cioè l'effetto della corrente che scorre nel conduttore di ritorno della traccia sotto esame.
2. *Calcolo dell'accoppiamento induttivo*: dovuto alle variazioni di flusso magnetico generato dalla corrente che scorre in una traccia, ed al loro effetto sugli elementi elettrici circostanti. Legge di Faraday ($e = -d\Phi/dt$)
3. *Calcolo dell'accoppiamento capacitivo*: dovuto alle variazioni di campi elettrici sulle capacità parassite distribuite fra tracce. ($C = dQ/dV$)
4. *Calcolo del fattore di accoppiamento*: consideriamo una traccia del PCB come elemento trasmittente ed un'altra come ricevente. Il fattore di accoppiamento è il rapporto fra il flusso magnetico concatenato con la traccia ricevente rispetto a quello totale generato dalla traccia trasmittente. Il suo valore è un numero puro compreso nell'intervallo da 0 a 1. Uno rappresenta il limite teorico del massimo accoppiamento: tutta l'energia generata viene ricevuta.
5. *Calcolo dell'accoppiamento per energia irradiata*: dovuto alla irradiazione di energia elettro-magnetica generata da ogni traccia. Caso ricorrente ad es.: in presenza di segnali digitali con ripidi fronti di salita/ discesa.
6. *Calcolo della lunghezza massima della traccia*: nel campo delle alte frequenze una traccia sul circuito stampato si comporta come una induttanza il cui valore è tutt'altro che trascurabile. Pertanto la lunghezza della traccia non può essere illimitata e va valutata in termini di lunghezza d'onda.

7.2 Principio su cui si basa il programma

Il programma prende in esame tutte le tracce che sono state stese sul PCB e confronta ciascuna di essa con una delle altre selezionate dall'utente.

L'operazione consiste prima nel calcolo, in base alla geometria e dimensioni fisiche di ciascuna traccia, della induttanza e capacità relativa alla traccia con cui si vuole fare il raffronto. Poi esegue il calcolo degli accoppiamenti relativi. Viene fornito come risultato il "Grado percentuale EMC" espresso in % con un colore secondo la seguente tabella:

- Blu: 100%
- Verde 90% - 99%
- Giallo 50% - 89%
- Porpora 1% - 49%
- Rosso 0%

Il colore rosso 0% rappresenta la situazione peggiore ed è quella in cui sono stati superati i limiti imposti dalle normative. Il colore blu 100% rappresenta una situazione di nessuna influenza tra una traccia e l'altra e non crea problemi.

Il risultato apparentemente bizzarro per cui allo zero corrisponde il massimo accoppiamento, scaturisce da questa formula

$$\text{Grado percentuale EMC} = 100 - (V_{\text{dist}} : V_{\text{segn}}) \times 100$$

V_{dist} = tensione di disturbo.

V_{segn} = tensione del segnale

Il grado percentuale fornito dal calcolo rappresenta la differenza espressa in % fra una situazione di disturbo massima in cui il disturbo è uguale al segnale, e la situazione reale attuale disturbo/segnale. Praticamente i valori bassi del grado percentuale fornito dal calcolo sono quelli da evitare in quanto rappresentano una situazione prossima a quella proibita.

7.3 Procedura: impostazione dei dati

Apertura: si va nel foglio di disegno del PCB.

- *Action > Start EMC Check*, oppure
- Icona della bacchetta magica > Icona del grafico.

Si apre una finestra di dialogo divisa in due colonne. Quella di sinistra, nella prima linguetta *Signals* contiene elencati tutte le tracce dello schema (*signals*). Si può selezionare una di loro e confrontarla con una delle stesse rappresentate anche nella colonna di destra.

M11 sul nome del segnale (traccia) apre una finestra " *Set the EMC properties of the signal*"

Occorre rispondere alle voci di questa finestra.

<i>Type (fine)</i>	Elenca il tipo di circuito che stiamo analizzando, TTL,CMOS, Analog switching ecc.
<i>Type (rough)</i>	Livello di potenza in gioco.
<i>Current</i>	Picco massimo di corrente
<i>Voltage</i>	Picco di tensione
<i>Analog</i>	Circuito analogico. Inserire la frequenza di lavoro
<i>Digital</i>	Inserire il tempo di salita del fronte dell'onda, la durata dell'impulso,

	il periodo.
<i>Inner resist.</i>	Resistenza interna equivalente della linea
<i>Allowed dist.volt</i>	Massima tensione ammessa del disturbo
<i>Back conductor</i>	Nome del conduttore di ritorno.

Importante specificare il nome del conduttore di ritorno rispetto a quello che si sta analizzando, per es.: la massa stessa (GND) del circuito, o un altro conduttore riportato nell'elenco. Questa assegnazione serve per il calcolo di: Accoppiamento induttivo, capacitivo e fattore di accoppiamento.

La seconda linguetta della finestra *Signal types* serve nel caso si vogliono aggiungere altre caratteristiche. Per aggiungere altre caratteristiche sceglierle e poi premere *New*. In genere questa linguetta si può trascurare.

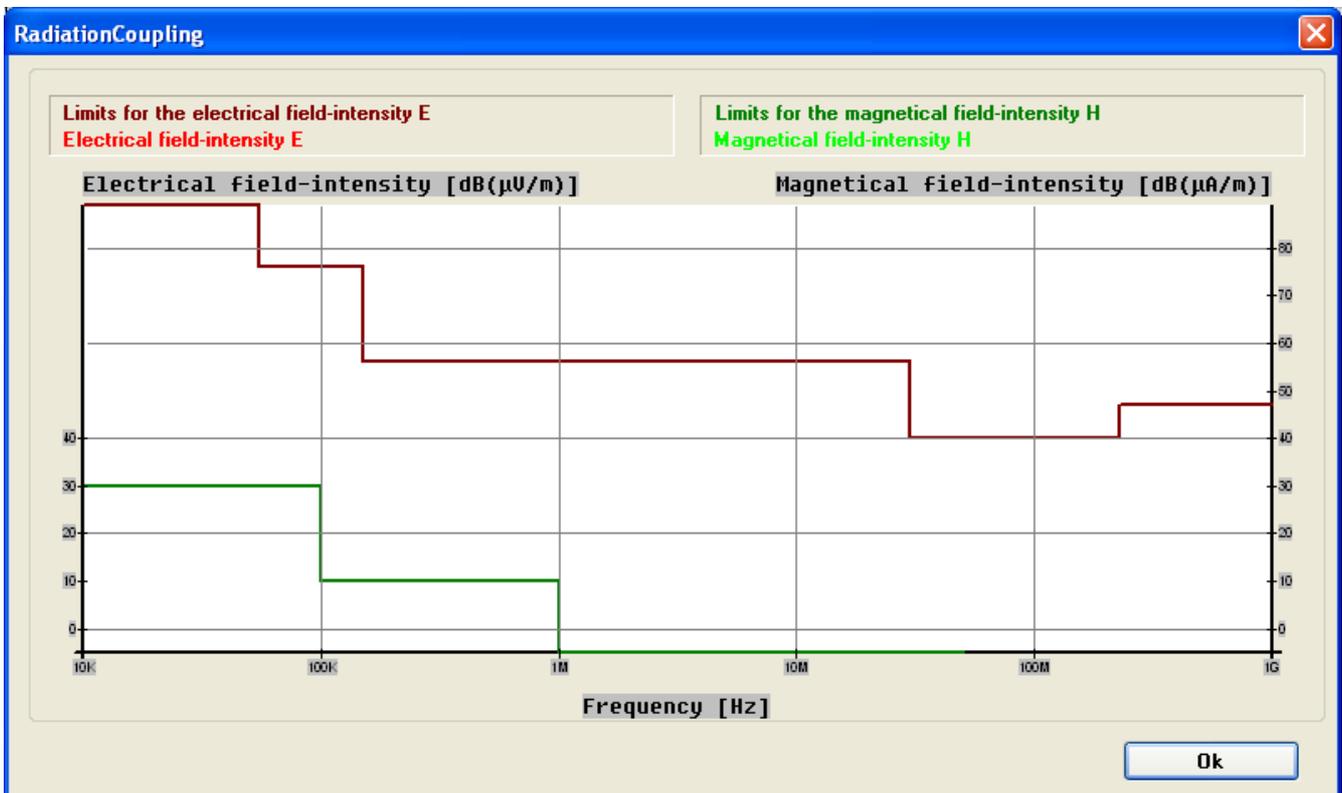
La linguetta *Options* è importante e serve per assegnare le caratteristiche della basetta del PCB, spessore della basetta in μm e spessore del rame delle tracce in μm . Sono già inseriti i valori più comuni.

7.4 Calcolo degli accoppiamenti

Si passa adesso nella finestra di destra e si seleziona il segnale (la traccia) su cui si vuole vedere l'effetto provocato dal segnale (traccia) di sinistra di cui abbiamo specificato le caratteristiche.

Accoppiamento per energia irradiata

Attivare la funzione facendo M2 sulla casellina. Poi M11 su *Radiation coupling*. Appare un grafico. I risultati vengono inseriti dal programma nel grafico, disegnato secondo la normativa Europea EN55022 e Tedesca VDE0871/B, intitolato "Radiation Coupling" che si potrebbe tradurre liberamente "Grado di accoppiamento elettro-magnetico".

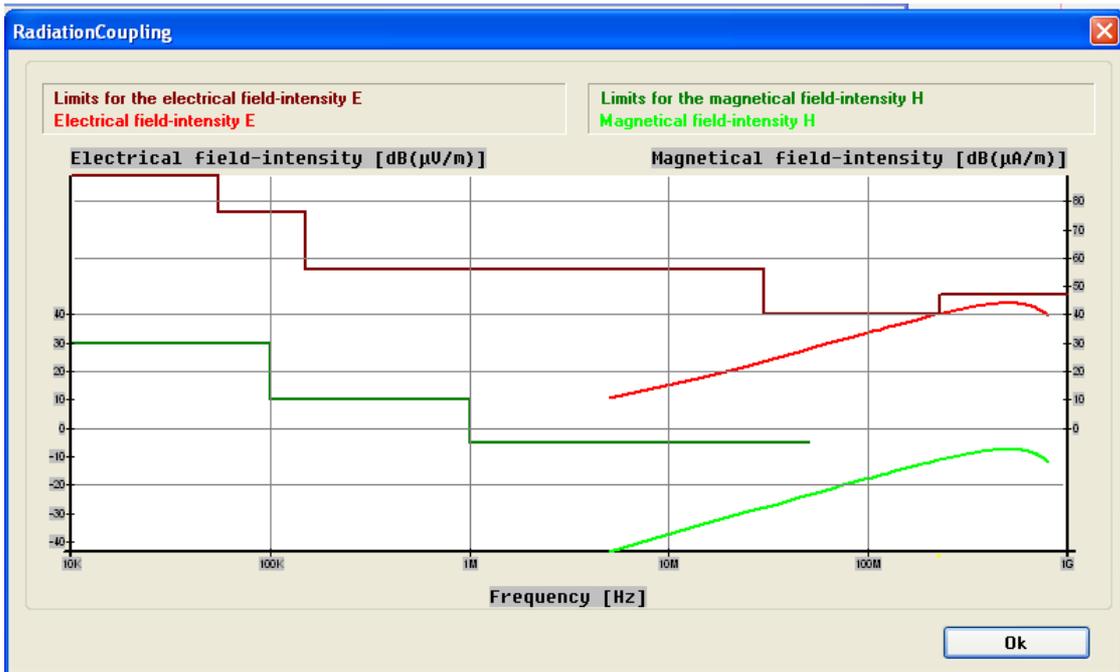


Il grafico riporta in ascisse (X) la frequenza in scala logaritmica. In ordinate (Y) riporta: a sinistra l'intensità di campo elettrico " E " generato dalla traccia espresso in dB($\mu\text{V}/\text{m}$)

a destra l'intensità di campo magnetico" H " espresso in dB(μ A/m).

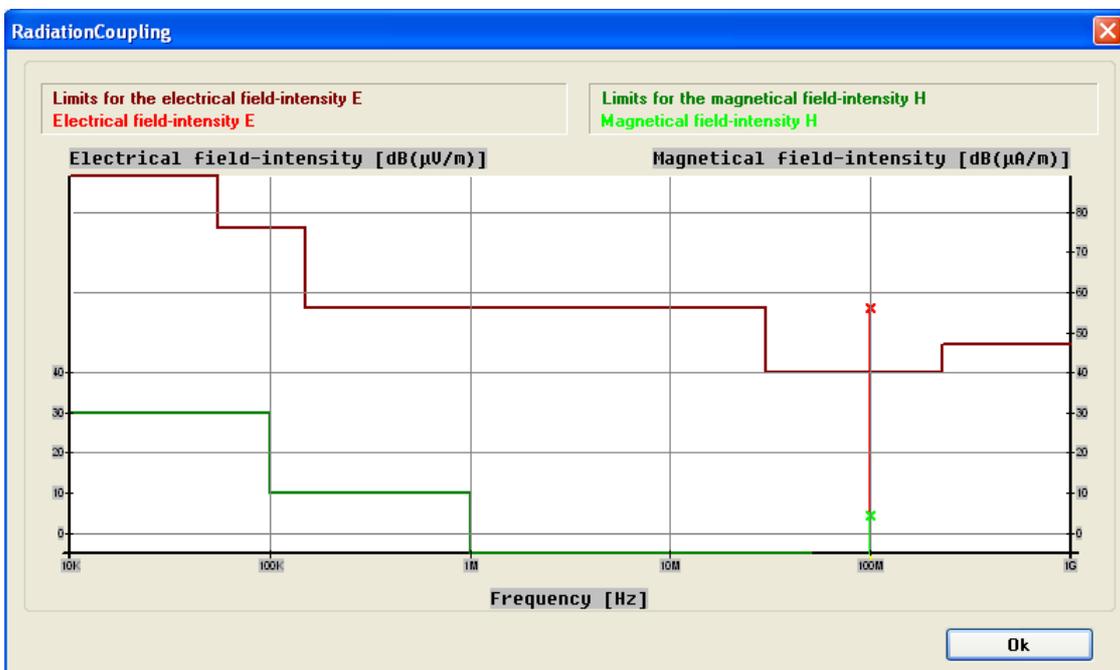
Nello stesso grafico sono riportate le linee limite ammesse dalla normativa per i due campi, quella verde rappresenta il limite per il campo magnetico e quella marrone il limite per il campo elettrico. A seguito del calcolo vengono generate due curve rappresentanti il campo elettrico e quello magnetico generato. Per il rispetto delle normative, le curve non possono superare i limiti segnati.

Nell'esempio sottostante la curva rossa che rappresenta il campo elettrico generato per ogni valore della frequenza, sfiora in un punto a circa 300 MHz il limite ammissibile. Il campo magnetico si mantiene sempre al disotto dei limiti massimi.



L'esempio si riferisce a un segnale di tipo digitale in cui lo spettro di emissione continuo copre un ampio campo di frequenze. Infatti un segnale digitale si comporta come una fonte di disturbo molto fastidiosa perché genera uno spettro di frequenze continuo esteso, che aumenta con il diminuire del tempo del fronte di salita e discesa (*rise/fall time*).

Nella figura sottostante è riportato invece il caso in cui la sorgente è un segnale analogico, la frequenza è fissa ed è quella impostata nel campo di sinistra della finestra di dialogo.



Pertanto otterremo non più una curva continua ma un punto che rappresenta il massimo disturbo alla frequenza fissa impostata.

L'esempio riportato in figura mostra una situazione in cui sono state violate le normative, perché sia il campo elettrico (crocetta rossa) che quello magnetico (crocetta verde) superano i limiti rispettivi dettati dalla normativa.

Accoppiamento galvanico.

Due conduttori, uno di andata ed uno di ritorno della stessa corrente si accoppiano sia per il campo magnetico generato dalla corrente che scorre in uno e che induce una corrente di disturbo nell'altro, sia per le capacità distribuite fra le tracce che generano passaggi di corrente alternata. Il calcolo fornisce:

- la resistenza DC della traccia di rame,
- la sua induttanza
- *Distortion voltage*: tensione di disturbo sulla traccia disturbata e prodotta dall'accoppiamento galvanico.
- Infine fornisce in percento il grado EMC.

Lunghezza della traccia

Fornisce

- la lunghezza della traccia, L_t
- la massima lunghezza ammessa, L_m
- grado EMC espresso in %, così formulato:

$$\text{Grado EMC \%} = 100 - (L_t : L_m \times 100)$$

Rappresenta lo scostamento da una situazione di disturbo non consentita.

Per cui se il rapporto $L_t : L_m$ è prossimo ad uno, cioè situazione di rischio, il grado percentuale della formula è basso. Alto rischio => basso valore percentuale.

Accoppiamento capacitivo

Vengono elencate tutte le altre tracce e per ciascuna di esse il calcolo fornisce:

- La capacità di accoppiamento (pF)
- La corrente e tensione di distorsione del disturbo (mA) (mV). La corrente è quella che circola nella traccia disturbata per effetto della azione di quella disturbante.
- La tensione è quella che si stabilisce ai capi della resistenza interna R_i del circuito della traccia disturbata percorsa dalla corrente generata dalla traccia disturbante attraverso la capacità di accoppiamento.
- Il grado percentuale EMC per verificare se ambedue le tracce rientrano nei limiti delle norme.

Accoppiamento induttivo

Vengono elencate tutte le altre tracce e per ciascuna di esse il calcolo fornisce:

- La mutua induttanza (nH)
- La tensione del disturbo (mV) indotta in quella disturbata generata da quella disturbante.
- Il grado percentuale EMC per verificare se ambedue le tracce rientrano nei limiti delle norme.

Fattore di accoppiamento

Vengono elencate tutte le altre tracce e per ciascuna di esse il calcolo fornisce:

- Il fattore di accoppiamento K tra la traccia disturbata e quella disturbante per effetto induttivo e capacitivo reciproco.
- La resistenza d'onda (ohm)
- Il grado percentuale

8 - COMPLEMENTI SULLA SIMULAZIONE

8.1 Modalità di analisi disponibili

Il programma di simulazione comprende una modalità Standard accessibile tramite l'omonima linguetta nella finestra principale, e una modalità Extended individuata anch'essa dalla linguetta adiacente.

8.2 MODALITA' STANDARD

Consente di vedere i segnali del circuito in funzione del tempo. Il programma calcola tutte le forme d'onda, ma è possibile non rappresentarle tutte insieme, ma fare una selezione secondo quanto interessa vedere.

Il primo passo è quello di assegnare dei nomi intuitivi ai vari collegamenti dello schema. Infatti il programma assegna di default dei nomi non significativi. Occorre fare M11 su ogni collegamento dello schema e assegnare il nome intuitivo, come gen per generatore, cc per tensione di alimentazione, g per gate ecc.

Quindi si accede alla simulazione e appare la finestra principale "*Target3001 Simulation*".

Per impostare la modalità standard si procede come segue:

Impostare il tempo massimo nella casella "*Simulation for*". Se si vuole visualizzare non tutto il tempo impostato, ma solo la parte finale, dopo il transitorio, si fa M1 sulla casella a destra "*Extended settings for transient analysis*" e si imposta il tempo totale, e sotto quello della sola parte finale che si vuole visualizzare.

Sotto ancora si definisce la durata dello step di campionamento. Il primo è quello alle condizioni iniziali al tempo $t=0$. Segue un passo di campionamento che non è fisso, ma viene deciso automaticamente dal programma secondo quello che sta rappresentando: es.: minimo per tempi di salita e discesa, massimo per tratti orizzontali. Per questo motivo viene definito anche un passo massimo che il programma non deve superare. Se il passo si fa troppo lungo la rappresentazione appare una serie di rette spezzate, se troppo corto la durata della analisi si allunga.

La spunta *Use initial condition*, consente di includere la rappresentazione delle condizioni iniziali, ad es.: quelle di un condensatore già carico alla partenza.

Attenzione! Se non necessario deselezionare il quadratino delle condizioni iniziali, altrimenti il programma calcola partendo dalla impostazione delle condizioni iniziali (es.: condensatori impostati con $IC=0$) di ogni singolo componente e non da quelle di regime, rappresentando immagini in transitorio e non immagini a regime raggiunto.

La casella sottostante a destra "*Edit Selection*" apre la finestra "*Probe*" che permette di selezionare i soli segnali da visualizzare. Nel riquadro si fa M2 > *Add* > *Voltage against ground / Voltage/ Current*. Selezionare se si vuole una tensione riferita a massa, una tensione flottante, una corrente. Appare sullo schema elettrico una freccetta da posizionare sul conduttore che interessa : selezionare con M1. Poi si va sul secondo conduttore e via di seguito. I segnali selezionati appaiono nella finestra con accanto una casella vuota. Per renderli visibili M2 > *Show immediately*. Per disattivarli si fa click di nuovo su "*Show immediately*".

La sottostante casella Oscilloscope, visualizza il grafico secondo quanto impostato.

8.3 Frequenza.

Il difetto di questa modalità standard è che non consente di valutare a colpo d'occhio la frequenza dei segnali, come del resto avviene nei vecchi oscilloscopi. Per valutare la frequenza, occorre misurare il periodo e fare l'inverso. Una valutazione precisa del periodo

si ottiene selezionando nello schermo dell'oscilloscopio *Edit > Couple cursor to graph > Graph*. Si legge sulle ascisse la distanza fra due punti omologhi sulla curva, corrispondenti a un periodo. Da qui, calcolando l'inverso, si risale alla frequenza.

8.4 Calcolo di curve

Si può rappresentare una curva risultante da un calcolo effettuato su una già esistente. Sulla barra dello schermo dell'oscilloscopio si seleziona *Graph calculator > Editor*. Nella casella *Graph* si inserisce la curva che interessa, scelta tra quelle disponibili. Il suo nome viene riportato anche nella casella orizzontale alta. Col tastierino di destra si esegue l'operazione sulla curva richiamata.

Se invece si vuole applicare ad un grafico una espressione matematica tra quelle riportate nel tastierino di sinistra, prima si preme il tasto relativo alla espressione, poi si fa M1 sulla freccetta della casella di *Graph* e si sceglie la curva operanda. Questa appare come argomento della espressione. Quindi si preme OK. Nello schermo appare ora la nuova curva calcolata applicando l'operatore matematico alla curva operanda.

Per rappresentare un'altra funzione, dalla barra orizzontale dello schermo si seleziona nuovamente *Graph calculator > New (Analog)*.

8.5 MODALITA' EXTENDED

Questa modalità permette di effettuare varie analisi: Analisi dei transistori, Analisi AC, Analisi DC, Imposizione di condizioni iniziali, Posizione della sonda (Probe), ecc.

8.6 Analisi dei transistori

Questa analisi fornisce un grafico in funzione del tempo, mettendo in evidenza il transitorio. I segnali che vengono analizzati sono quelli impostati e attivati nella casella *Edit selection* vista prima, oppure andando in modalità *Extended*, nella casella *Probe*.

Procedura:

Impostare le grandezze da analizzare. Finestra principale > *Edit selection* e attivarle.

Finestra principale > M1 su casella *Extended* > M2 > Add > *Transient analysis*.

Nella casella *Simulation end* inserire la durata del transitorio. Sotto inserire il passo di campionamento *Step* e quello massimo. (vedi 8.2)

M1 su casella *Create target Cir > Start simulation*. Appare il transitorio in funzione del tempo.

Muovendo il cursore sulla curva si possono leggere in basso i corrispondenti valori di x ed y, cioè l'ampiezza (y) in funzione del tempo (x).

8.7 Analisi AC (banda passante)

Questa analisi fornisce un grafico che riporta le ampiezze in funzione della frequenza del segnale applicato in ingresso, fornisce cioè il grafico della banda passante del circuito.

Procedura.

Prima di tutto occorre impostare l'ampiezza del segnale, selezionando con (M11) il generatore sinusoidale che la fornisce > M1 su *Simulation value* > M1 su *Edit*. Assegnare un valore a *AC magnitude* che non sia superiore alla ampiezza VA. Oppure inserire *COMPONENTVALUE* così che sarà possibile variarlo semplicemente nella casella *Simulation value* della prima finestra.

Ora, se non già fatto, occorre assegnare nomi intuibili ai collegamenti. (vedi 8.2)

Poi si apre la finestra della simulazione. Impostare le grandezze da valutare nella casella *Edit selection* come descritto prima.

Nella finestra "Extended" si fa M2 nel riquadro, poi M1 > Add AC analysis > Impostare la frequenza iniziale, quella finale e i punti di campionamento. In genere si mette 100.

Quindi "Create Target Cir" > "Start simulation". Il programma varia per ogni punto di campionamento la frequenza del segnale AC in ingresso, mantenendone costante l'ampiezza in ingresso, e riporta in ordinate l'ampiezza del segnale impostato in Edit selection, che di solito è l'uscita del circuito in esame.

Appare il grafico riportante in ascisse il campo di frequenze impostato e in ordinate l'ampiezza delle grandezze scelte in funzione della frequenza.

Per cambiare le impostazioni della banda, fare M1 nella finestra "Extended" e scegliere Edit. Poi di nuovo Create Target Cir > Start simulation.

Per oscurare o attivare una grandezza, basta selezionare direttamente sulla barra sopra al grafico View > Graph . Per variare la scala delle ampiezze selezionare Zoom.

Per ottenere un grafico con l'asse delle frequenze logaritmico, M1 su View nella barra orizzontale della finestra della immagine, poi selezionare X-axis logarithmic

8.8 Analisi DC

Serve a valutare le condizioni di riposo del circuito, cioè i valori delle grandezze corrente o tensione in regime continuo in cui cioè i condensatori sono circuiti aperti e le induttanze corti circuiti.

Viene realizzato un grafico che riporta in ascisse (x) il campo di variazione di tensione (o di corrente) di una sorgente presente nel circuito, per esempio una tensione continua siglata Sim1, che si fa variare in un campo da impostare, e in ordinate (y) tutte le grandezze che sono state selezionate, e che si modificano in funzione del valore x della sorgente.

Occorre prima di tutto definire nella casella "Edit selection" le grandezze che si vogliono analizzare. Poi si procede così

Si va in Extended > M2 > Add > DC Analysis.

Sempre in Extended > M2 > Edit . Appare la finestra "DC Analysis".

Riempire le caselle Source, Start value, End value, Increment.

La casella Source riporta le sorgenti presenti nel circuito, Sim1, Sim 2 ...una delle quali va selezionata, cioè quella in funzione della quale si vogliono osservare le altre grandezze.

Infine "Create target cir" > "Start simulation". Appare il grafico .

Questa analisi si presta a disegnare le caratteristiche statiche dei componenti quali diodi, transistori, valvole ecc. Un esempio è il seguente.

8.9 Rilevare la caratteristica di un diodo zener con l'analisi DC.

Aprire una pagina nuova e disegnare il seguente schema

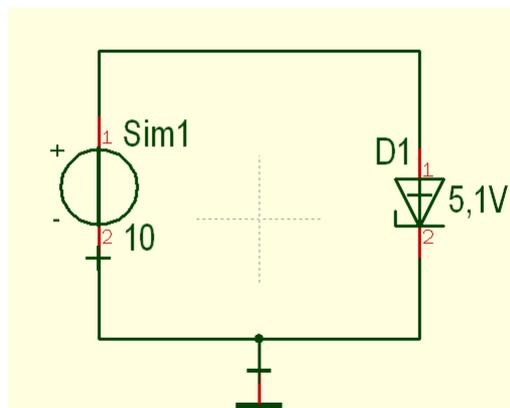


Fig.8.1

I componenti debbono essere dotati di modello di simulazione. Il diodo zener è ZPD5.1V. M11 sul collegamento dell'anodo e assegnare un nome ad esempio "anodo".
 Icona bacchetta magica > icona sinusoidi > *Extended settings for..* > 5 – 0 – 1m - 50m.
 Casella sottostante *Edit selection* > M2 > Add > Current selezionare l'anodo del diodo e M1. M1 su casella I(D1,1) > *Show immediately*
 A questo punto si passa alla simulazione.
Extended > M2 > Add > DC Analysis. Assicurarsi che anche *Probe* sia selezionato.
Edit > Source > VSim1 Start = - 5.4 End = 1 Increment = 0.01 OK
Create Target Cir > Start Simulation
 Deve apparire la seguente immagine

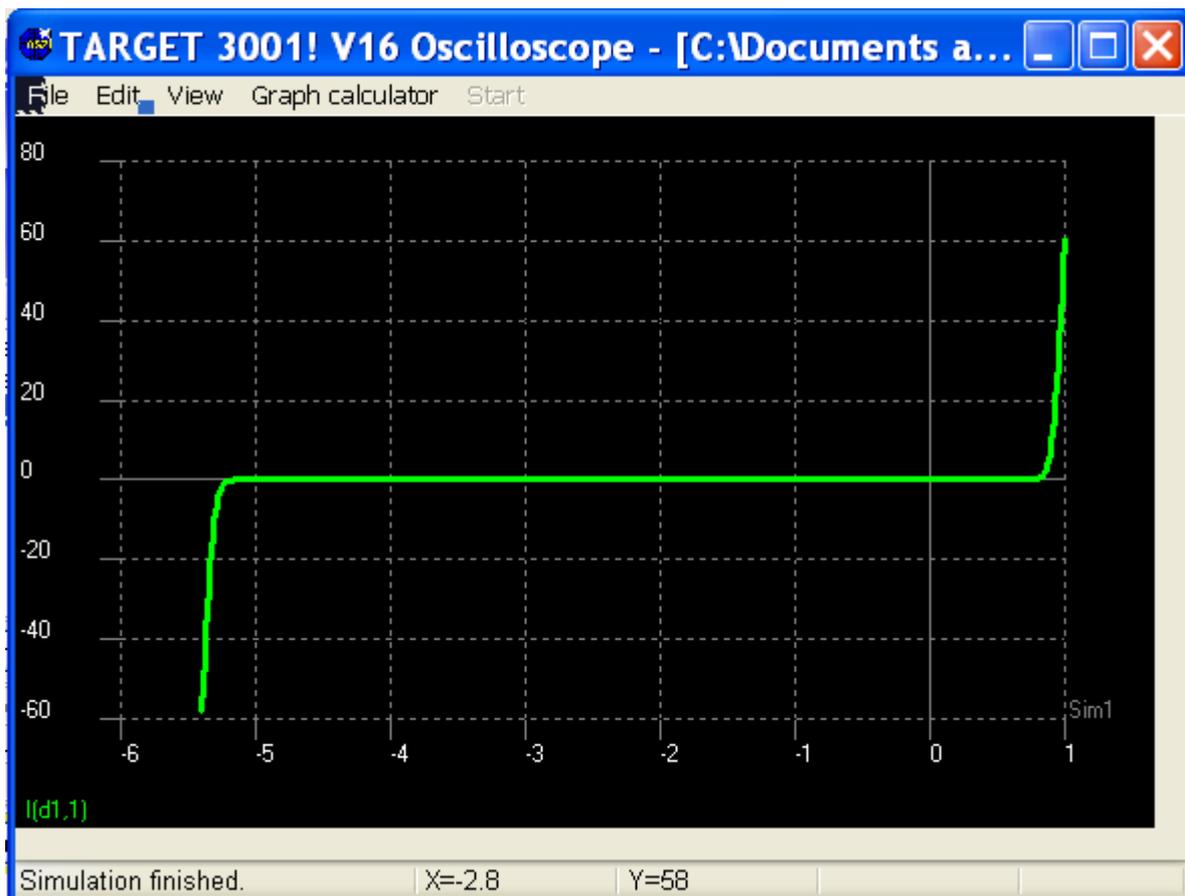


Fig.8.2

In ascisse è riportata la tensione fornita da Sim1, applicata al diodo, che il programma fa variare tra -5.4 e 1 V come impostato.
 In ordinate è riportata la corrente nel diodo in funzione di VSim1. Il campo delle correnti è esagerato a valori che nella realtà sarebbero insopportabili per il diodo (- 60 / 60 A).
 Serve solo per dare un effetto dimostrativo.

8.10 Rilevare la caratteristica dei transistori.

Si possono rilevare analogamente anche le caratteristiche di componenti attivi : transistor BJT, FET, Mosfet diodi a vuoto triodi, pentodi .
 A titolo di esempio rileviamo la caratteristica diretta I_c - V_{ce} del transistor NPN BC547A.
 Per prima cosa in una pagina nuova disegniamo lo schema seguente.

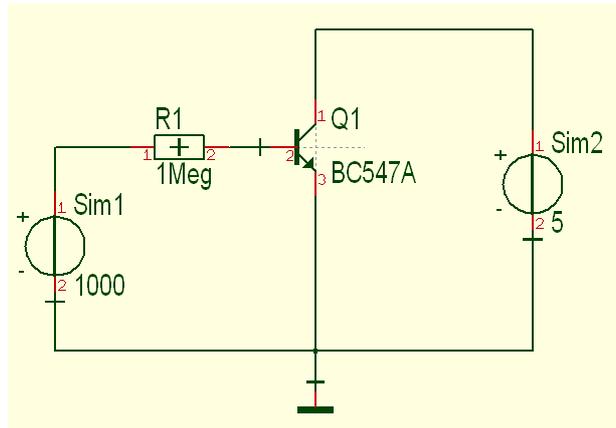


Fig.8.3

Fra collettore ed emettitore è applicata una tensione continua di 5 V.

Poiché il transistor è pilotato in corrente, dobbiamo crearci una sorgente di corrente. Una sorgente di corrente si ottiene con un generatore di tensione con in serie una resistenza di alto valore. Nella fattispecie la resistenza è di 1 Meg, e la tensione 1000V. Otteniamo una corrente di 1mA che inietteremo nella base (la V_{be} diventa trascurabile rispetto alla sorgente Sim1). Avremmo potuto usare anche un generatore di corrente già disponibile in Target, ma questo ci crea problemi di polarizzazione.

Andiamo a simulare il circuito prima in modalità *Standard*. Assegnamo nomi intuibili ai collegamenti Andiamo in *Extended setting* e impostiamo 1 – 0 - 1m - 50m.

Poi in *Edit selection* > M2 > Add > Current e selezioniamo la corrente di collettore I(Q1,2). Poi M2 > Show immediately. Infatti quello che vogliamo vedere è la corrente di collettore in funzione della V_{ce} fissato un valore della corrente di base I_b . Passando alla simulazione standard, con i valori impostati, leggiamo una corrente $I_c = 103 \text{ mA}$ a $V_{ce} = 5\text{V}$ e per $I_b = 1\text{mA}$. Già da qui possiamo trovare il guadagno di corrente continua ad emettitore comune, rappresentato dal parametro ibrido $h_{FE} = I_c/I_b = 103$ per $V_{ce} = 5\text{V}$.

Per rappresentare la caratteristica andiamo in modalità *Extended* e selezioniamo *Probe* e *DC-Analysis*. Poi *Edit* > Source = Vsim2 > Start value =0, End value = 5 Increment = 0.1V. Per avviare la simulazione *Create Target Cir* > Start simulation. Vedremo una singola curva, quella per corrente di base $I_b = 1\text{mA}$.

Noi però vorremmo vedere nello stesso piano anche le altre curve relative ad altri valori di I_b . Vogliamo cioè che per ogni incremento della V_{ce} , vi sia la possibilità di variare la corrente di base ad esempio con passi di 0,1 mA, da zero a 1 mA. L'analisi DC offre anche questa possibilità.

Mettere una spunta alla casella *Nested DC analysis (inner)* a destra della finestra *DC Analysis*. Poi riempire le caselle come segue. Source= VSim1, Start value = 0, End value = 1000, Increment = 100. Significa che all'interno del campo di variazione della V_{ce} come impostato prima, vogliamo far variare la tensione Sim1 da 0 a 1000 V con incrementi di 100 V. In questo modo la corrente di base varierà da 0 a 1mA con incrementi di 0,1mA.

OK > Create Target Cir > Start simulation. Quello che otterremo è l'immagine di Fig.8.4.

Appaiono le note caratteristiche del transistor BJT.

Partendo dall'alto si legge la curva per $I_b = 1\text{mA}$, poi quella per $I_b = 0.9$, per $I_b = 0.8$...fino a $I_b = 0$.

La funzione *Nested* (letteralmente: contenuto l'uno dentro l'altro) ci ha fornito un grado di libertà in più che ci ha consentito di variare anche il parametro I_b (inner = interno) durante la variazione di V_{ce} .

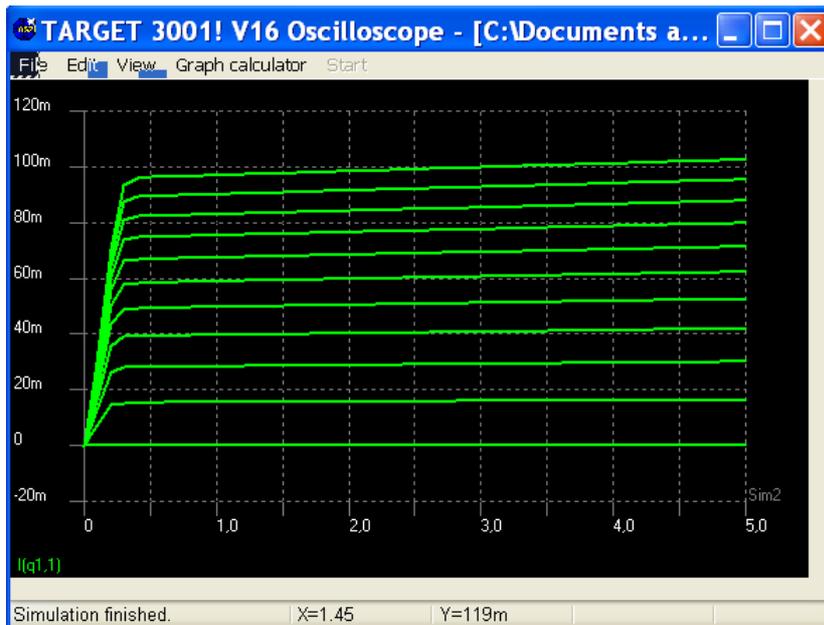


Fig.8.4

E' possibile anche vedere in uno stesso grafico le caratteristiche di trasferimento (I_c-I_b) e quelle di ingresso ($V_{be}-I_b$), entrambe con V_{ce} come parametro. Nella stessa finestra di *DC-Analysis*, fare M11 su *Probe* e selezionare oltre alla corrente di collettore $I(Q1,1)$ già presente, anche la V_{be} . con M2 > *Add* > *Voltage against ground*. Per impostare i nuovi valori > M1 su *DC-Analysis* > *Edit*. A sinistra impostare *Source=VSim1*, *Start value= 0*, *End value= 1000*, *Increment = 100*. A destra impostare *Source=Vsim2*, *Start value= 0*, *End value= 5*, *Increment = 1*. Si ottiene il grafico di fig.8.5 in cui in ascisse è riportata la corrente di base che varia nel campo da 0 a 1K ovvero da 0 a 1mA ove 1K corrisponde a 1mA. In ordinate sono rappresentate in verde la tensione V_{be} nel campo 0 - 900mV e in rosso la I_c nel campo 0 - 900mA. M1 su *View* ed escludere o l'una o l'altra per vederne una sola.

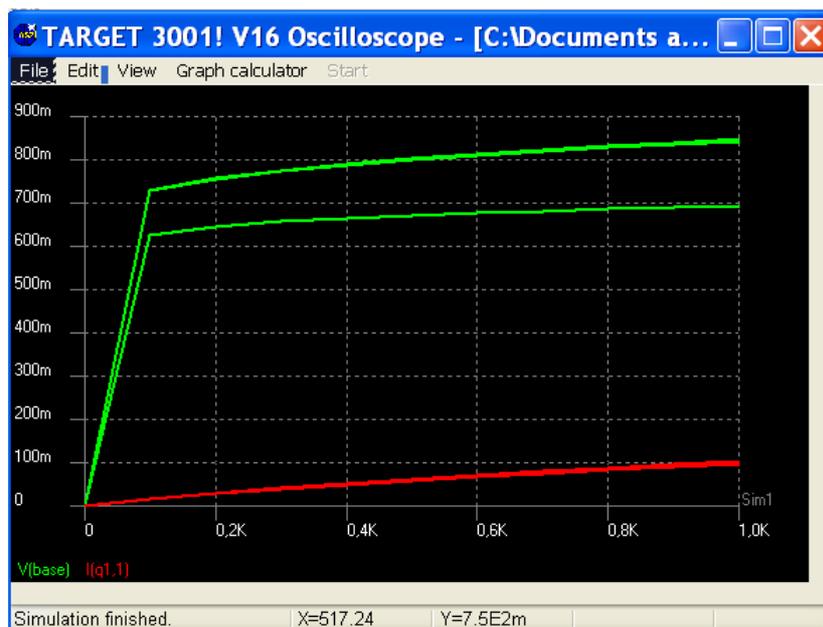


Fig.8.5

9 – APPENDICE A

Tasto "F"	Funzioni richiamate con i tasti "F"
F1	Richiesta di aiuto
F2	Ricerca in libreria
F3	Cambio foglio da schema a PCB e viceversa
F4	Unità di misura (mm, µm, Inch and e mil)
F5	Griglia visibile / invisibile
F6	Puntatore a passi di griglia
F7	Immagine su schermo intero
F8	Inserisce/disinserisce croce sul puntatore
F9	Avvia Autorouter / Simulatore
F10	Menu "Mode "

Funzione dei caratteri della tastiera

Carat-tere	Espressione in Inglese	Descrizione della funzione
0	Circle (fill)	Disegna un cerchio (pieno)
Cntr+0	Circle	Disegna una circonferenza
1	Place pin/pad	Inserisce un piedino nello schema o una piazzola nel PCB
2	Signal / Track	Inserisce un segnale o una traccia
Cntr+2	Line	Disegna una linea
3	Triangle (fill)	Disegna un triangolo pieno
Cntr+3	Draw triangle	Disegna il perimetro di un triangolo
4	Rectangle (fill)	Disegna un rettangolo pieno
Cntr+4	Rectangle	Disegna il perimetro di un rettangolo
5	Poligon	Disegna un poligono
a	Arc/ Torus	Disegna un arco nello schema o un toro nel PCB
b	Bus/Bridge	Nello schema un bus, nel PCB fa un ponte con una traccia
c	Capture window	Finestra di cattura
d	Displace/move	M1 su oggetto e " d " -> Muove l'oggetto
e	Edit	M1 su oggetto poi "e" -> Edit, cioè cambia le caratteristiche
f	Find	Trova un componente e lo seleziona
g	Drag	M1 su linea, curva, arco poi "g" -> Piega stretta , trascina
i	Insert	Inserisce un simbolo nello schema o un package.
L	Air wire	Inserisce un elastico nel PCB senza schema.
m	Mirror O	Funzione specchio. M1 poi m -> ribalta orizzontalmente
Shift+m	Mirror V	Funzione specchio. M1 poi Shift + m -> ribalta verticalmente
n	Signal name	M1 preciso su segnale -> assegna un nome a un segnale
o	Options	Apre la finestra delle opzioni
r	Reference	Apre la finestra dei simboli di riferimento
Cntr+r	Resto of symbols	Inserisce il resto dei simboli (integrati)
s	Select element	Seleziona un singolo elemento di un simbolo.
t	Rotate	M1 e "t" -> Ruota
u	Measure distance	Misura distanze: u su partenza, u su arrivo, u per visualizz.
v	Rename signals	Rinomina i segnali
w	Draw air wires	Nel PCB senza schema disegna gli elastici
x	Export	Esporta un simbolo/package nella libreria
y	Merge to symbol	Raggruppa gli elementi selezionati (con M1h) in un unico simbolo
"	Enter Text	Apre la finestra delle opzioni del testo e inserisce (M1 su OK)
.	Node	Nello schema mette un nodo. Nel PCB > traccia > via + cambia layer
Esc	Exit mode	Interrompe una funzione

10 – APPENDICE B SPICE 3F5 e TARGET

10.1 Introduzione

Il programma di simulazione adottato da Target è SPICE 3F5 che rappresenta l'ultima versione del programma originale edito dalla Università di Berkeley in California.

TARGET legge anche simulazione scritta in PSPICE.

Esistono nel web i manuali 3F5 solo in lingua inglese per quanto di mia conoscenza, ma necessariamente sono lunghi almeno 300 pagine, e all'inizio manca la voglia di sorbirseli.

Queste note iniziali scritte per mio uso personale, non hanno certo l'ambizione di essere esaustive, ma servono solo per iniziare a saper leggere i modelli di simulazione scritti da altri, e questo è già molto utile. Inoltre ci permettono anche di scrivere nostri modelli personali, magari semplici, e allora queste note diventano sicuramente interessanti. Il terzo vantaggio è che rendono appassionante il programma di simulazione e stimolano a saperne di più. E' a questo punto che ci assale la voglia di sorbirsi il manuale in inglese, di cui prima ci mancava lo stimolo

10.2 Il modello di simulazione

Il modello di simulazione è un listato di istruzioni (netlist) che vengono interpretate dal programma per simulare lo schema elettrico che ci interessa.

La prima riga contiene necessariamente il titolo. L'ultima riga è sempre .END (punto end) e informa il programma che la descrizione è finita. Fra queste due righe ci sono le altre che descrivono chi sono e come sono collegati i componenti dello schema da simulare e assegnano loro un valore.

Ciascun componente del circuito è rappresentato in una sua riga nella quale sono indicati il codice di individuazione, i nodi di collegamento e il valore.

Un asterisco all'inizio di una riga indica che trattasi di un commento e non avrà effetto sul programma di calcolo. Il punto e virgola in una riga rende invisibile al programma tutto quello che è scritto a destra.

10.3 Scrittura dei numeri e dei fattori di scala.

I numeri possono essere interi e decimali, se necessario seguiti da un elevatore a potenza.

Modi di scrittura ammessi:

Esempio: 1000 1000.0 1000Hz 1e3 1.0e3 1KHz 1K Tutti rappresentano lo stesso numero che nell'esempio è 1000 Hz.

Notare che la lettera "e" qui è usata per indicare l'elevazione a potenza e non va confusa con il numero di Nepero $e = 2,718$.

Notare anche che non è riconosciuta l'espressione 10^3 perché SPICE non capisce che 3 è l'esponente. Per farglielo capire occorre scrivere 10^3 o $10^{^3}$ che informa che il numero che segue è la potenza. Così sono validi 10^2 3^3 n^{1^2} a^b .

Fattori di scala ammessi

T = 10^{12} (tera) G = 10^9 (giga) Meg = 10^6 (mega) K = 10^3 (kilo) m = 10^{-3} (milli)

u = 10^{-6} (micro) n = 10^{-9} (nano) p = 10^{-12} (pico) f = 10^{-15} (femto)

Attenzione: per indicare Mega, usare l'espressione "meg". Se si usa M come siamo abituati a scrivere, il programma, dato che non riconosce la differenza tra maiuscole e minuscole, lo interpreta come m = milli

10.4 Convergenza

Abbiamo appreso fino qui che per simulare un circuito reale, SPICE interpreta i collegamenti fra nodo e nodo dei componenti inizialmente dotati di valori di default, costruendo una rete che rispecchia il circuito reale.

Una volta che avremo assegnato i valori reali a quelli di default di ciascun componente, il programma calcola tutti i valori di tensione applicata ad ogni nodo verso massa e i valori di corrente che scorrono in ogni componente e li mostra in uscita.

Per trovare le soluzioni del circuito sotto esame e mostrare il risultato il programma utilizza per ogni componente il relativo algoritmo di calcolo, ma non arriva a una soluzione netta. Il risultato è ottenuto con un processo iterativo di calcoli successivi che si avvicina sempre più alla soluzione finale e termina quando i valori di tensione e corrente trovati per ogni nodo ed in ogni ramo approssimano almeno allo 0,1% il valore asintotico finale. Significa che ogni procedimento di calcolo *converge* ad un risultato con uno scarto massimo dello 0,1% e lo mostra come soluzione in uscita sotto forma di grafico.

10.5 Modelli primitivi

Il programma contiene un gran numero di componenti cosiddetti " **Primitivi** " cioè che simulano il comportamento fisico di ciascun tipo di componente, resistenza, condensatore diodi, transistor (NPN/PNP), JFET, ecc.:ma utilizzano parametri iniziali di default riportati in una lista detta MODEL CARD. Per poter simulare un componente specifico, occorre sostituire nella Modelcard i parametri di default con quelli reali del componente, operazione che viene eseguita in Target quando si assegna un modello ad un componente. Come esempio di modelcard, scegliere il diodo 1N4007 che è già dotato di modello di simulazione. Fare M2 nella casella del componente a sinistra, sotto *Component Name*. Poi *Symbol,package,3D simulation > Show simulation model > Edit*. Appare la Modelcard ma i valori di default sono stati sostituiti con quelli reali del diodo 1N4007.

I componenti primitivi più usati già compresi nel programma SPICE, sono resistenze condensatori induttanze, induttanze accoppiate, diodi, transistori (BJT), FET (JFET) Mosfet (MOSFET).

Per vedere la lista dei primitivi in Target, scegliere nella finestra *Components*, un componente dotato di simulazione. M2 sulla sua casella > *Symbol, package,3D, Simulation > Show simulation model > Select*. Si vede una lista figurata che contiene i modelli sia dei sub-circuiti che dei componenti primitivi.

Per quanto riguarda la scrittura dei modelli nel listato, si comincia con una lettera iniziale identificativa del tipo di componente R,C,L, K ecc.) riconosciuta da SPICE rispettivamente come resistenza, condensatore, induttanza, induttanza accoppiata. La lettera è seguita da uno o più caratteri alfanumerici, es.: R1, C7, Lp. Poi seguono i nodi espressi con uno o più caratteri alfanumerici, es. 3,5, n1, in, out. ecc. La cifra "0" è riservata alla terra o massa del circuito. Il circuito deve avere sempre una terra di riferimento, altrimenti il programma dà errore.

Infine viene indicato il valore del componente.

Uno spazio separa ogni informazione fornita. Lo spazio può essere seguito da altri spazi.

Per i condensatori e le induttanze viene richiesto anche il valore iniziale "IC " (*Initial Condition*) di tensione per il condensatore e di corrente per l'induttanza al momento dell'inizio della simulazione. Di default vale zero. Se si lascia in bianco vale 0.

Di seguito sono riportate le tabelle esplicative, con esempi di scrittura di ogni riga.

10.6 Componenti passivi

Componente	Sigla	Sintassi di scrittura	Esempi
Resistenza	R	RX n1 n2 valore	R1 1 n1 1K
Condensatore	C	CX a1 b2 valore IC	Cps a1 n1 25p IC=3V
Induttore	L	Lx 1 2 Valore IC	L1 1 2 11mH IC=11mA
Induttore accoppiato	K	Kx Ly Lz Valore del coeff. di accoppiamento.($0 < K < 1$)	Ktrasf L1 L2 0.999

Con X si intende uno o più caratteri alfanumerici maiuscoli o minuscoli

10.7 Diodi e componenti attivi a stato solido.

Componente	Sigla	Sintassi di scrittura	Esempi
Diodo	D	DX n1 n2 Nome	D3 12 13 1N4148 Dr n2 n3 Drev
Transistor BJT	Q	QX Nc Nb Ne Nome	Q2 3 2 4 BC337 Qa n1 n2 n3 BC547
JFet	J	JX Nd Ng Ns Nome	J1 n1 n2 n3 J310 Js d g s JM1
Mosfet	M	MX Nd Ng Ns Nb Nome Nb è il terminale del substrato Di solito coincide con il drain	M13 2 7 5 2 IRF830

La scrittura del listato di cui sono stati dati alcuni esempi ha solo lo scopo di informare il programma che i dispositivi D,Q,J ecc. sono collegati ai nodi indicati, ma non sono ancora stati assegnati i parametri specifici di ogni dispositivo. Per i componenti passivi basta assegnare loro il valore numerico. Per quelli attivi, dopo aver scritto le righe informative dei nodi bisogna aggiungere le righe dei parametri. Quindi nel listato vengono aggiunte le righe seguenti.

Cominciano sempre con .MODEL (punto model) per informare che si sta scrivendo il modello; segue il nome del componente che può coincidere con la sigla del dispositivo o altro, infine la lettera identificativa del tipo di componente (D per diodo, NPN/PNP per transistor npr/pnp, J per fet M per mosfet.) Segue fra parentesi la serie di parametri che può essere molto lunga . Se un parametro non è riportato il programma assegna il valore di default. Per informarsi sul significato di ogni parametro riferirsi al manuale originale SPICE. Si avvisa comunque che detti parametri non sono quelli che siamo abituati a leggere nei data sheet, come ad esempio α o β o i parametri ibridi hFE, hfe, hie ecc. dei transistori. Solo pochi parametri coincidono con quelli a noi familiari. Ad esempio per i diodi, IS rappresenta la corrente inversa di saturazione, ma tutti gli altri non li troveremo mai specificati nei data sheet. Per fugare ogni delusione o scoraggiamento, il problema non sussiste perché i valori dei parametri si trovano riportati sul web per ogni componente e una volta copiato il modello, Target lo elabora immediatamente e assegna automaticamente la lunga lista di valori ai rispettivi parametri. Vedere l'esempio successivo.

Scrittura del modello di un diodo

```
.MODEL 1N4148 D(IS=0.1P RS=16 CJO=2P TT=12N BV=100 IBV=3.867E-10)
```

Scrittura del modello per transistori npn e pnp

```
.MODEL BCXXX NPN(IF= NS= ISE= NF= BF=..lunghissima serie di
parametri)
.MODEL BCYYY PNP(IF= NS= ISE= NF= BF=..lunghissima serie di
parametri)
```

Per i modelli degli altri componenti riferirsi al manuale di SPICE 3F5.

Di seguito è riportato un esempio di listato per un diodo 1N4148.

```
D1 n1 n3 IN4148 ; riga per assegnare i nodi n1,n3 al diodo
..... ; il primo nodo è sempre l'anodo
.....
.....
```

* segue la riga che assegna i parametri del 1N4148 al modello.

```
.MODEL 1N4148 D(IS=0.1P RS=16 CJO=2P TT=12N BV=100 IBV=3.867E-10)
```

10.8 Assegnare un modello a un componente primitivo in Target.

Con l'esempio che segue si spiega come assegnare in Target il modello del transistor BC337-40 inizialmente non dotato di modello di simulazione.

Apriamo la finestra *Components*, facendo M1 sull'icona dell'amplificatore operazionale.

In *Target components* cercare BC337. Nella casella a sinistra accanto alla sigla BC337 fare M2 > *Symbol,Package,3D,Simulation* > *Edit simulation model*. Alla richiesta di creare una copia USER rispondere Sì. Nella casella a sinistra accanto a USER fare M2 Si apre la finestra *Models for BC337*. M1 su Search. Si apre una finestra in due sezioni, destra e sinistra. Nella sezione di destra fare M1 sulla freccia blu e scegliere la ricerca su Google.

Nella pagina di internet scrivere BC337 nella casella *Model Spice* e cercarsi il modello, es.: quello fornito da Philips. Copiare il listato in un file di testo e salvarlo col nome BC337. Copiare di nuovo il listato, tornare nella finestra *Simulation model browser* e M1 di nuovo sulla freccia blu di destra > *Reload from* > *Clipboard*. A questo punto avviene il miracolo! Target si copia tutti i parametri e sono tanti. Inoltre appare una casellina grigia col nome del componente come indicato nel listato, ad es. QBC337. Per vedere la lista dei parametri M2 > *Edit/Show*. Appare la lunga fila di parametri.

M2 di nuovo > *Import*. Con questo passo importiamo a sinistra il nuovo modello. Rispondere Sì alla eventuale richiesta di *Refresh*. A questo punto abbiamo inserito in Target il modello di simulazione del BC337.

Tornare alla finestra *Components* e fare M2 nella finestra di BC337 a sinistra.>*Symbols,Packages,3D Simulation* > *Edit simulation model*. Nella finestra *Models for BC337* M1 su *Select*. Appare la lista dei primitivi. Scorrere fino a trovare il simbolo del transistor. Nella casella *Modelcards* in alto a destra scegliere il nome, nel nostro caso QBC337. Immediatamente Target sostituisce ai valori di default i parametri propri del BC337.

Nella casella *Pinassignment* trascinare il numero 1 da sinistra a destra nella casella gialla collettore, 2 in quella della base, 3 in quella dell'emettitore. OK. Chiudere tutte le finestre. (non importa inserire Level).

Ora abbiamo un transistor dotato di modello di simulazione e pronto per essere importato in un circuito.

10.9 Sorgenti di tensione e corrente.

SPICE contiene anche i modelli primitivi di sorgenti di tensione e corrente, sia indipendenti, cioè autonome, che dipendenti da altre tensioni e correnti pilota. La dipendenza può essere lineare, ma è prevista anche una dipendenza non lineare.

Tutte queste sorgenti sono già riportate nella lista dei modelli primitivi di Target, menzionata prima, ed è interessante andarla a scorrere voce per voce. I modelli in Target permettono all'utente di importarli nello schema da simulare e di assegnare loro i valori richiesti.

10.10 Esempio di assegnazione dei parametri ad una sorgente.

Ad es.: per importare una sorgente sinusoidale, M11 sull'icona delle sorgenti nella barra verticale a destra nella lista *Components*. Si apre la finestra *Components* e a sinistra appare la finestrella *Components name*, che riporta vari tipi di sorgenti. Scegliere quella sinusoidale e importarla. Per assegnarle i valori che ci interessano, M11 > *Simulation Value* > *Edit*. Appaiono tutti i parametri da personalizzare. La lista verticale di sinistra è riservata ai parametri necessari per fare una simulazione AC. Questa simulazione riporta in un grafico l'ampiezza in funzione della frequenza, dell'uscita del circuito sotto esame. Il segnale sinusoidale in entrata ha una ampiezza come specificata nella casella *AC magnitude*. ([vedi 8.7](#))

Per tutti gli altri casi lasciare a zero.

Nella colonna centrale si richiede il valore di V_0 che rappresenta una eventuale componente continua della sinusoide. Se si vuole una sinusoide simmetrica all'asse delle ascisse inserire 0.

Nella casella VA viene riportata l'ampiezza della sinusoide della sorgente. La casella Freq. serve per impostare la frequenza della sinusoide.

Nella lista a destra è richiesto TD che rappresenta il ritardo in sec. con cui parte la sinusoide dal momento di inizio della simulazione, mentre THETA rappresenta il *Damping factor*, cioè il fattore di smorzamento nel caso che l'ampiezza della sinusoide si attenui con il tempo.

Poi si passa al *Pinassignment* per collegare la sorgente allo schema elettrico.

Se si vuole assegnare direttamente l'ampiezza alla sinusoide, senza passare per tutta questa trafila, si fa M11 sul componente, e appare la finestra *Change symbol*. Poi > *Simulation value* > *Edit* e nella casella VA fare M1 sull'icona della calcolatrice e scrivere COMPONENTVALUE. Non scrivere direttamente nella casella di VA ma in quella della calcolatrice. Infatti in quest'ultima vanno scritti i valori letterali e le formule, mentre nella casella di VA solo numeri.

Chiudere tutte le finestre OK-OK-Close-OK. Ovviamente se si chiudessero con un click sulla crocetta rossa in alto a destra le modifiche non verrebbero effettuate.

D'ora in poi si potrà assegnare l'ampiezza subito nella casella *Value* di *Change Symbol*.

10.11 Scrittura delle istruzioni di una sorgente

Per scrivere noi stessi le istruzioni di modelli di simulazione, ci occorre conoscere come inserire le sorgenti nel listato del modello.

La sintassi per la scrittura di queste sorgenti è riportata nei manuali di SPICE 3F5 cui si rimanda per la lettura. Qui si riportano solo alcuni esempi di scrittura che ci serviranno nel seguito.

Le sorgenti sono suddivise in indipendenti, dipendenti linearmente e dipendenti non linearmente.

10.12 Sorgenti indipendenti in continua e periodiche.

Di seguito è riportata la sintassi di scrittura delle sorgenti indipendenti di tensione e corrente sia continue (DC) che alternate (AC) e periodiche.

Sintassi	Esempio
Vxx n+ n- DC valore	Vcc 3 0 DC 12
Vxx n+ n- AC ampiezza fase	Vin n1 n2 AC 1 45 SIN(0 1 1K 0 0) Vmis 12 4

Nel primo esempio dopo Vcc e l'indicazione dei nodi, il primo positivo, il secondo negativo, DC sta ad indicare che trattasi di una sorgente continua. 12 rappresenta il valore in volt. L'espressione DC è opzionale e si usa quando la tensione è costante nel tempo, come nel caso di un alimentatore DC. Se il valore della tensione è zero, si può omettere 0. (vedi terzo esempio Vmis)

Una tensione di valore nullo è utile in quanto si può usare come amperometro! Infatti SPICE calcola sia la tensione che la corrente che scorre in ogni componente. Se nella sorgente, la tensione è posta nulla, la sua introduzione nel circuito non lo perturba, non ha effetto, mentre SPICE calcola comunque la corrente che scorre nella sorgente.

Nel secondo esempio si vede che trattasi di una tensione alternata (AC) di ampiezza 1 di fase 45°, di forma sinusoidale. Fra parentesi è indicato prima una eventuale componente continua (0) sovrapposta alla sinusoide, poi l'ampiezza (1) poi la frequenza in Hertz (1 K) infine il ritardo con cui parte (0) e il fattore di smorzamento nel caso l'ampiezza si attenuasse con il tempo.

Per le sorgenti di corrente la sintassi è identica; cambia solo la V iniziale che diventa I.

10.13 Sorgenti dipendenti lineari

SPICE contiene il modello di 4 sorgenti linearmente dipendenti:

$$i = g.v \quad v = e.v \quad i=f.i \quad v=h.i$$

con g, e, f, h costanti rispettivamente trans conduttanza, guadagno di tensione, guadagno di corrente e trans resistenza.

La sintassi è la seguente

- **Sorgente di corrente controllata da tensione. "G"**

Sintassi	Esempio
Gx n+ n- nc+ nc- valore	G1 2 0 3 7 9mmho

Sigla G seguita da alfa numero, nodo positivo, nodo negativo della corrente, nodo positivo, nodo negativo della tensione pilota, valore della trans conduttanza espresso in mho, che è l'inverso di ohm. 1 milli mho = 1 mmho = 1 mA/V.

- **Sorgente di tensione controllata da tensione. " E "**

Sintassi	Esempio
Ex n+ n- nc+ nc- valore	E1 2 0 3 7 2.0

Sigla E seguita da alfa numero, nodo positivo, nodo negativo della tensione, nodo positivo, nodo negativo della tensione pilota, valore del guadagno di tensione.

- **Sorgente di corrente controllata da corrente. " F "**

Sintassi	Esempio
Fx n+ n- nomeV valore	F2 3 5 Vmis 10

Sigla F seguita da alfa numero, nodo positivo, nodo negativo della corrente, nome della tensione percorsa dalla corrente pilota e che è usata come amperometro, guadagno di corrente

- **Sorgente di tensione controllata da corrente. “ H ”**

Sintassi	Esempio
Hx n+ n- nomeV valore	H9 2 0 Vmis 0.5K

Sigla H seguita da alfa numero, nodo positivo, nodo negativo della tensione, nome della tensione percorsa dalla corrente pilota e che è usata come amperometro, valore in ohm della trans resistenza.

La direzione positiva della corrente di controllo è sempre dal nodo positivo attraverso la sorgente di tensione usata come amperometro, al nodo negativo della stessa.

10.14 Sorgente non linearmente dipendente . “ B “

La sorgente può essere una tensione o una corrente. La dipendenza viene espressa da una funzione matematica.

Sintassi	Esempio
Bx n+ n- funzione	B3 5 7 I=3*sin(3*V2)+4
	Bn n1 n2 V=5*cos(Ip^3)
	BX n1 n2 I= cos(v1) + sin(v2)
	B1 3 4 I=17

Se c'è la lettera V significa che trattasi di sorgente di tensione, se c'è la I significa che è una sorgente di corrente.

Le funzioni matematiche comprendono oltre alle 4 operazioni aritmetiche, l'elevazione a potenza, la radice quadrata, tutte le funzioni trigonometriche, i logaritmi in base dieci e in base “e” . La lista è la seguente:

Abs sqrt log ln asinh cosh sin acos atan exp sinh
acosh tanh asin cos tan.

Inoltre sono contemplate anche le seguenti funzioni:

10.15 Funzione URAMP

Funzione molto utile per rappresentare dispositivi attivi non compresi tra quelli primitivi, come i tubi elettronici, ancora molto apprezzati dagli audiofili.

Quando l'argomento x è negativo la funzione è nulla. Quando è positivo la funzione è uguale al valore dell'argomento. In un diagramma cartesiano, per x negativo è zero. mentre per $x > 0$ è rappresentato da una retta uscente dall'origine e inclinata di 45° rispetto alle ascisse.

Questa funzione opportunamente modificata, serve egregiamente per rappresentare la caratteristica ad es. di un diodo a vuoto, di un triodo, di un pentodo ed altri dispositivi più moderni.

Funzione “u” (gradino unitario)

Il valore della funzione è uno per $t > t_0$. E' zero per $t < t_0$.

10.16 Sub-circuiti

Fino ad ora abbiamo conosciuto solo i componenti primitivi. Esistono però molti altri componenti che non sono compresi tra i primitivi. Per simularli occorre creare dei circuiti appositi realizzati con più componenti primitivi racchiusi in un contenitore ideale con terminali di ingresso e uscita che andranno collegati allo schema elettrico esterno.

Creeremo così una macro che verrà letta dal programma come un nuovo componente, e sarà eseguita secondo le istruzioni riportate nel modello.

Le istruzioni iniziano con . SUBCKT (punto subckt) che informa il programma che iniziano le istruzioni del sub circuito.

Segue il nome che abbiamo assegnato al sub circuito.

Seguono i numeri o lettere che indicano i nodi assegnati al sub circuito che andranno collegati ai terminali dello schema elettrico.

PARAMS: informa il programma quali sono i parametri del sub circuito, cioè variabili cui dobbiamo assegnare di volta in volta un valore, es.: valori dei componenti, numeri spire, coefficienti di accoppiamento ecc..

I parametri che verranno impiegati nel modello debbono essere tutti dichiarati all'inizio, dopo PARAMS. I valori numerici assegnati ai parametri, sono valori iniziali di default, ma saranno da noi modificati per ogni nuovo progetto, inserendoli a mano nella apposita lista dei parametri, quando apriremo di nuovo la simulazione. Se, per qualche voce, va bene il valore di default assegnato nel listato, lasciare la scritta default.

Se, nella scrittura dei parametri, una riga non è sufficiente, si va a capo, si mette il segno + e si continua.

10.17 Regole per la scrittura delle istruzioni

- Il sub-circuito deve iniziare sempre con **.SUBCKT** seguito dal nome e dai nodi che lo collegano con l'esterno. Può seguire la definizione dei parametri se esistono. Segue la descrizione dei componenti.
- Quei componenti che intendiamo considerare parametri, e solo quelli, dovranno essere riportati nella lista dopo l'espressione **PARAMS:** . Indicheremo la loro sigla e un valore iniziale di default che modificheremo per ogni nuovo progetto. Es.: R1=5K. I parametri non sono solo componenti; possono essere qualsiasi valore che interviene nella descrizione del sub-circuito, quali numero spire di un componente avvolto, frequenza, periodo, guadagno, ecc.. Tali valori interverranno nelle formule che seguono nelle istruzioni successive.
- Se una riga non è sufficiente per accoglierli tutti, i parametri continuano in righe successive antepoendo + all'inizio di ogni riga.
- Tutti i componenti racchiusi nel sub-circuito debbono essere dichiarati, affinché il programma li possa utilizzare e possa interpretare lo schema dei collegamenti. Perciò è necessario scrivere una riga per ciascuno che contenga la sigla (R1, Ra, C1, Ct, D1, Q1 ecc..) cui seguono, espressi con caratteri alfanumerici, i nodi di collegamento, e infine il valore del componente. Il primo nodo scritto è quello positivo in cui entra la corrente. Tutte queste indicazioni sono separate da spazi bianchi, uno o più di uno indifferentemente.
Quei componenti, cioè elementi dotati di nodi, già inseriti nella lista dei parametri, dovranno anch'essi essere dichiarati al pari degli altri componenti, per indicare al programma i loro nodi e il valore anche se già attribuito in Params. Es.: R1 n1 n2 {R1}. Spiegazione: n1, n2 sono i nodi. Racchiuso tra parentesi graffe è la sigla stessa R1 il cui valore è già stato assegnato precedentemente tra i parametri
- Se il valore è un numero, si può scrivere tale e quale. Se è un valore letterale o una formula, occorre racchiudere l'espressione fra parentesi graffe. Es.: {C3}, {Lp*n^2}.
- L'impostazione dei parametri si effettua con M11 sul sub-circuito > *Change Symbols* > *Simulation value* > *Edit* > *Parameter*. Se un valore di default va bene come è, lasciare la scritta Default.
- Oltre alle righe di dichiarazione dei componenti, nel listato di un sub-circuito seguono le dichiarazioni delle sorgenti, e le istruzioni, come ad es.: **.MODEL** descrittive delle caratteristiche di componenti primitivi a stato solido, precedentemente già dichiarati. Per altre istruzioni si rimanda al manuale originale.
- L'ordine con cui vengono inserite le righe dopo PARAMS è libero

- **.ENDS** è obbligatoriamente l'ultima riga e informa il programma che la descrizione del sub circuito è terminata. Quando il sub circuito è inserito in un altro sub circuito, occorre far seguire a ENDS il nome del sub circuito che è finito. Se non inserito in altro sub circuito non è necessario aggiungere il nome dopo .ends.

10.18 Esempio di sub circuito: simulazione di un trasformatore

```
*
.SUBCKT TRASFALIM 1 2 3 4 PARAMS: Np=300 Ns=30 Rp=100K Rs=1
E 5 4 1 2 {Ns/Np}
F 1 2 VM {Ns/Np}
VM 5 6 0
Rp 1 2 {Rp}
Rs 6 3 {Rs}
.ENDS
```

Spiegazione:

Dopo .SUBCKT segue il nome TRASFALIM e i 4 terminali 1,2,3,4.

PARAMS (senza il punto iniziale, ma con : dopo) informa che vengono dichiarati i parametri Np,Ns,Rp,Rs e viene loro assegnato un valore provvisorio di default.

Nelle righe successive sono riportate tre sorgenti, le prime due (E,F) dipendenti e la terza (Vm) indipendente.

E 5 4 1 2 {Ns/Np} ; tensione ai terminali 5,4 al secondario proporzionale a quella ai nodi 1,2 al primario. Il fattore di proporzionalità è il rapporto spire {Ns/Np}. Notare che Ns/Np è fra parentesi graffe trattandosi di espressione letterale e non di un numero.

F 1 2 VM {Ns/Np} ; corrente nel primario che entra nel nodo 1 e esce dal 2, comandata dalla corrente nel secondario misurata dall'amperometro Vm = 0V connesso tra i nodi 5,6. Il fattore di proporzionalità è {Ns/Np} .

Rp 1 2 {Rp} e Rs 6 3 {Rs} sono le resistenze in serie al primario e al secondario di valore {Rp} e {Rs}.

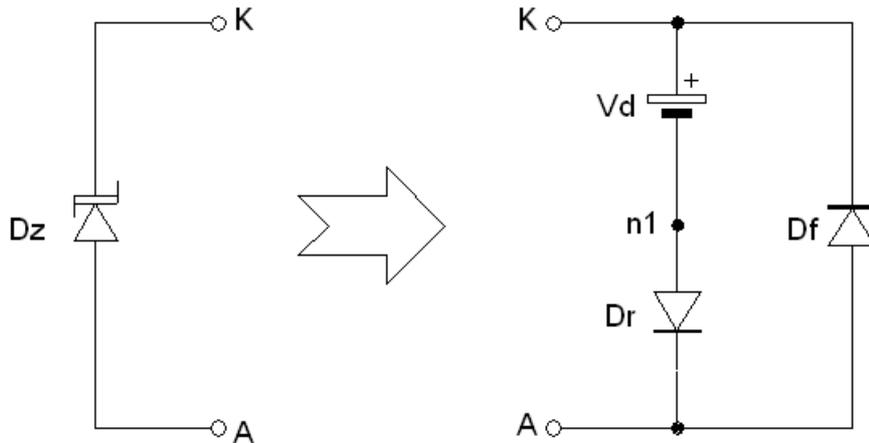
.ENDS ; Terminano le istruzioni del sub circuito.

10.19 Esempio di modello di diodo Zener.

```
*
*
***** Diodo Zener BZX85C9V1 *****
*
.SUBCKT BZX85C9V1 A K
D1 A K DF
D2 n1 A DR
Vd K n1 8.4

.MODEL DF D ( IS=522.2E-18 N=1.004 RS=.12 KF=1 XTI=3 EG=1.11
+ CJO=96.83E-12 M=.3303 VJ=.7662 FC=.5 BV=9.215
+ IBV=.4354 TT=93.78E-9 )
```

```
.MODEL DR D (IS=2.88f RS=13.1 N=3 )
.ENDS
```



Spiegazione:

Il modello si realizza con due diodi Df e Dr collegati in contropase e una tensione Vd.

Il diodo Df simula il diodo Zener polarizzato direttamente. Il diodo Dr simula il diodo Zener polarizzato inversamente.

La tensione $V_d = 8,4 \text{ V}$ sommata alla tensione di soglia di Dr polarizzato direttamente e alla caduta sulla resistenza interna del diodo, parametro RS, simula la tensione di Zener.

Righe: D1 A K DF , D2 n1 A DR ; i diodi sono dichiarati e assegnati ai rispettivi nodi.

Vengono poi forniti, con l'istruzione .MODEL, i parametri caratteristici dei due diodi.

10.20 Esempio di simulazione di pentodo EL84

E per finire... un tuffo nel passato romantico dei tubi elettronici.

```
*
* Piedinatura Zoccolo > Modello
*
* -----
* 7 Anodo A
* 9 Schermo S
* 2 Griglia G
* 3 Catodo K
*
* -----
*
.SUBCKT EL84 A S G K
*
* Corrente di catodo
*
Bat at 0 V=0.636*ATAN((V(A)-V(K))/15)
Bgs gs 0 V=URAMP((V(S)-V(K))/19+V(G)-V(K)+(V(A)-V(K))/1400)
Bgs2 gs2 0 V=V(gs)^1.5
Bcath cc 0 V=V(gs2)*V(at)
*
* Corrente Anodica
*
Ba A K I=3.2E-3*V(cc)
*
```

```

* Corrente di schermo
*
Bscrn sc 0 V=V(gs2)*(1.1-V(at))
Bs S K I=2.0E-3*V(sc)
* Corrente di griglia (approssimazione! - non modella bassi va/vs)
*
Bg G K I=(URAMP(V(G)-V(K)+1)^1.5)*50E-6
*
* Capacità
*
Cg1 G K 10.8p
Cak A K 6.5p
Cg1a G A 0.5p

.ENDS

```

Spiegazione:

Dopo .SUBCKT, e il nome, segue la lista dei nodi del subckt (A,S,G,K) che andranno collegati ai rispettivi piedini dello zoccolo della valvola come rappresentato nello schema elettrico.

Le righe successive servono a rappresentare le caratteristiche del tubo elettronico tramite sorgenti dipendenti non lineari (B). Cxy sono le tre capacità interelettrodiche.

Si vede come la funzione URAMP venga utilizzata per adattarsi il più possibile alla curva caratteristica da rappresentare.

In genere queste funzioni vengono ricavate automaticamente da appositi programmi che catturano il disegno della curva caratteristica rilevata nei data sheet, riproducono una loro copia della curva, la convertono in lista di numeri infine forniscono le istruzioni in linguaggio SPICE 3F5, PSPICE o altri.

Nota importante!

Spesso si trovano in internet modelli in cui la tensione fra due punti 1,2 è rappresentata con V(1,2). Ad esempio la tensione fra anodo e catodo è scritta V(A,K).

Il programma di simulazione in Target rifiuta questa sintassi. Occorre al posto di V(A,K) scrivere V(A) -V(K) facendo dopo molta attenzione alle parentesi (V(A) -V(K)) che dobbiamo aggiungere per non modificare l'espressione matematica della funzione.

11 - APPENDICE C SIMULAZIONE DEI TRASFORMATORI

11.1 La simulazione dei trasformatori in SPICE 3F5

Spice non contiene fra i suoi componenti il modello del trasformatore, tutt'al più contiene il modello di due o più induttanze accoppiate, con fattore di accoppiamento K .

Per simulare un trasformatore abbiamo due possibilità

1. Utilizzare il modello primitivo delle induttanze accoppiate
2. Creare un sub circuito che simula il comportamento del trasformatore ideale, cioè senza perdite e aggiungervi i componenti che simulano dette perdite.

Questo secondo metodo è nettamente più adatto del precedente per la possibilità di valutare le perdite nel rame, nel ferro e quelle per flusso disperso.

I primi due esempi che seguono utilizzano il fattore di accoppiamento, mentre il terzo riporta la simulazione di un trasformatore tramite un sub circuito contemplando anche le perdite.

11.2 Esempio di simulazione: trasformatore di alimentazione

La simulazione si riferisce a un modello semplificato di trasformatore e non tiene conto delle varie perdite rappresentate nello schema equivalente completo. Pertanto il suo impiego è limitato a trasformatori di alimentazione funzionanti a 50Hz supponendo assenza di flusso disperso dal primario al secondario, e nulle le correnti di Foucault nel ferro.

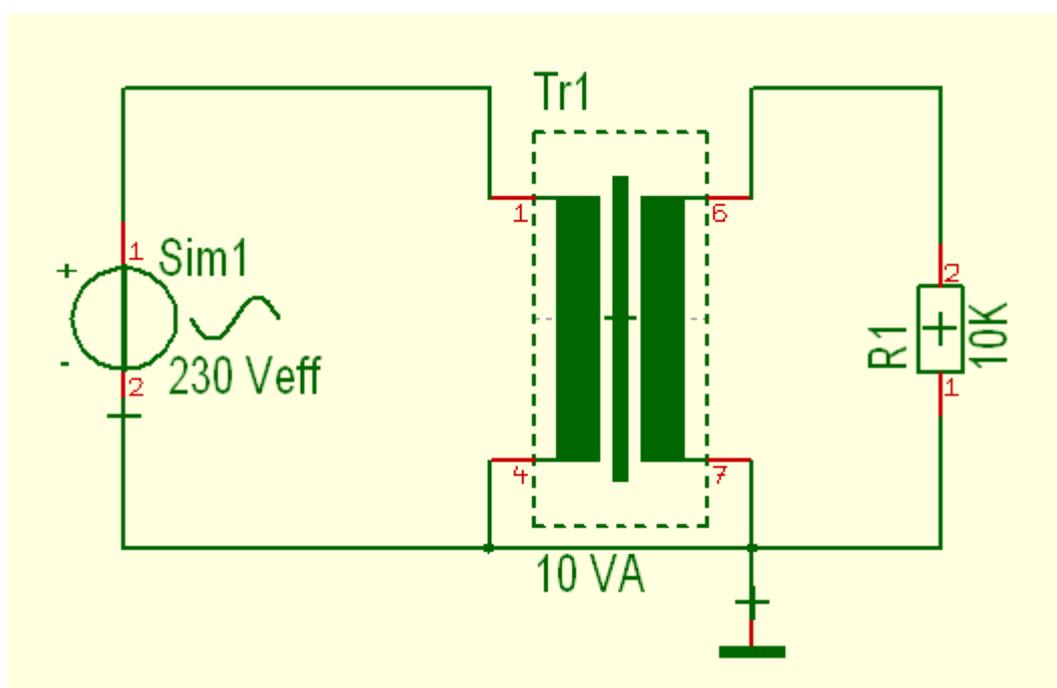
Il trasformatore che andremo a disegnare, non è dotato di modello primitivo di simulazione; pertanto dovremo crearne uno noi stessi. Se siamo in fase di progetto e il trasformatore non è ancora realizzato, dovremo ricavare dal calcolo i parametri richiesti dalla simulazione. Se disponiamo di un trasformatore simile, potremmo anche, in prima approssimazione, ricavare parametri simili tramite misura su detto componente e adattarli a quello che vogliamo simulare.

11.3 Disegno dello schema elettrico.

Dapprima disegniamo lo schema elettrico del progetto; per il trasformatore possiamo utilizzare lo schema di uno già fatto, purché con singolo secondario, ad es.: EE20_Pri230V-Sek24V/21MA della libreria di Target.

Si apre un nuovo progetto e si importa il trasformatore nello schema.

Poi si completa lo schema elettrico come in figura.



Come resistenza di carico R1 da 10 Kohm, si usa una già dotata di modello di simulazione, come ad es.: R_MET_10K_0207. Non importa se la potenza di targa non è quella appropriata ad un funzionamento reale.

La sorgente di alimentazione è V_SINUS, anch'essa dotata di modello, ma che dovremo impostare a 230Veff.

M11 sul simbolo della sorgente. Nella casella *value* si mette 230 Veff. Poi M1 su *Simulation values > Edit*. Nella casella *AC magnitude* si mette 0. Nella casella *VA* si mette l'ampiezza $(230 \times 1.42) = 325$ V. Nella casella *FREQ* si mette 50 Hz. Chiudere tutte le finestre.

Poi occorre importare il simbolo della massa. Si effettuano i collegamenti.

Il modello di simulazione utilizzato richiede che entrambi gli avvolgimenti siano collegati galvanicamente a massa.

11.4 Ricerca dei parametri di simulazione.

Nella figura seguente è rappresentato, a sinistra lo schema elettrico e a destra il circuito equivalente del trasformatore semplificato con funzionamento a frequenza di rete e utilizzato dal modello di simulazione in oggetto.

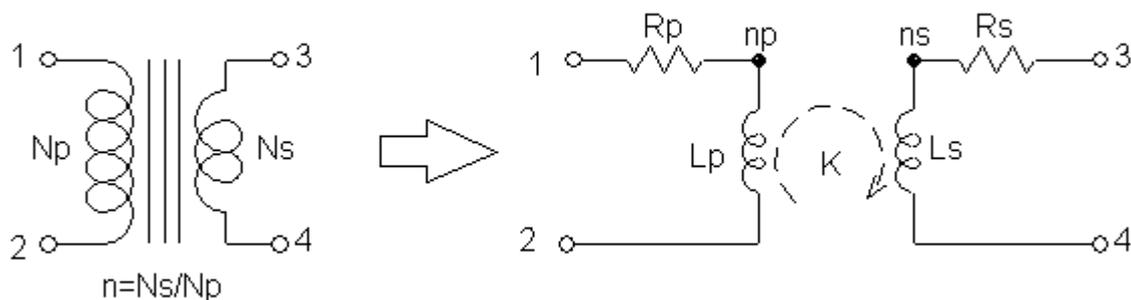


Fig.11.2

- L_p rappresenta l'induttanza al primario ottenibile dal calcolo a progetto oppure, con grossolana approssimazione, misurando con un adatto induttanzimetro, su un trasformatore simile, l'induttanza ai morsetti primari, con secondario aperto.
- R_p rappresenta la resistenza DC del conduttore primario, ottenibile dai calcoli o dalla misura, su realizzazione simile, con ohmetro applicato ai morsetti primari.
- L_s si ottiene allo stesso modo di L_p , riferendosi ai morsetti del secondario.
- R_s rappresenta la resistenza DC del conduttore secondario, ottenibile dai calcoli o dalla misura con ohmetro ai morsetti secondari.
- K è il coefficiente di accoppiamento tra gli avvolgimenti del trasformatore e potremo valutarlo con buona approssimazione 0,999.

Con l'occasione si ricorda che $K = M / \sqrt{L_p \cdot L_s}$ con M induttanza mutua.

Abbiamo ora i parametri necessari per scrivere il modello del trasformatore.

11.5 Modello di trasformatore di alimentazione

Il trasformatore che abbiamo importato nello schema elettrico, non è ancora dotato di modello di simulazione e dobbiamo scriverne uno noi stessi.

Il listato del modello che assegneremo è quello riportato di seguito che potrà essere copiato e incollato.

Copiare il modello che segue in un file di testo con un nome a piacere ad es.: TRASF1SEC.txt.

```
*
*Simulazione di un piccolo trasformatore di alimentazione
*
.SUBCKT TRASF1SEC 1 2 3 4 PARAMS: Lp=28.2H Ls= 0.154H Rp=412
+ Rs=2 K=0.999
*
* Avvolgimento primario
Rp 1 np {Rp}
Lp np 2 {Lp}
* Avvolgimento secondario
Rs 3 ns {Rs}
Ls ns 4 {Ls}
* Coefficiente di accoppiamento
K Lp Ls {K}
.ENDS
```

Spiegazione del listato.

Un asterisco davanti ad una riga indica che trattasi di un commento e non avrà effetto sul programma di calcolo.

.SUBCKT informa il programma che si tratta di un subcircuito, una scatola con 4 terminali che verrà letta dal programma come un nuovo componente, e sarà eseguita secondo le istruzioni riportate nel modello.

TRASF1SEC è il nome che abbiamo assegnato al subcircuito. Possiamo sostituirlo a piacere con altro.

1 2 3 4 sono i nodi assegnati ai terminali del sub-circuito rappresentato nello schema equivalente a destra in fig.11.2 e che andranno collegati a quelli dello schema elettrico del trasformatore.

PARAMS: informa il programma che segue la lista dei valori dei parametri del sub-circuito di Fig.11.2. Quelli assegnati sono valori iniziali, ma potranno essere modificati per ogni progetto, inserendoli a mano nelle apposite caselle dei valori di default, quando avremo assegnato il modello. (vedi 11.5). Se la riga non basta, si va a capo e si mette +.

Segue la lista dei componenti.

Prima viene indicata la sigla di ciascuno, es.: Rp, poi i due numeri rappresentativi dei nodi del circuito equivalente(1, np), infine il valore 100 ohm.

Quando il valore è un parametro, cioè può variare a seconda di quanto gli verrà assegnato di volta in volta ad ogni nuovo progetto, allora si scrive il valore letterale, racchiuso tra parentesi graffe {Rp}. Fra parentesi graffe potremo anche inserirvi una formula.

Lp,Ls sono le induttanze del primario e secondario, legate dal fattore di accoppiamento K.

.ENDS informa il programma che la descrizione del sub-circuito è completa.

11.6 Inserimento del modello nel componente

Fare M11 sul disegno del trasformatore. Si apre la finestra *Change Symbols*. M1 su *Simulation value > OK I understand the message> Search*.

Si apre la finestra *Simulation model browser*, composta da due sezioni. Nella sezione di destra M1 sulla freccia blu, M1 su *Reload from... > Files with (P)spice models*.

Cercare il file .txt che abbiamo precedentemente creato e aprirlo.

Immediatamente appare nel pannello di destra il nome del modello caricato TRASF1SEC. M1 sulla casellina accanto *> Import*. Il modello è ora importato e appare nel pannello di sinistra. Chiudere.

M1 su *Select* e poi M1 sull'icona del subcircuito rappresentata da un quadratino nero con freccette rosse. Si apre la finestra *Subcircuit*. M1 sulla freccetta della casella *Subcircuit* e selezionare il nome TRASF1SEC. Ora per curiosità possiamo aprire la casella *Edit* ed andare a controllare il listato del modello che abbiamo importato.

Tornati in *Subcircuit*, andare nella casella *Parameter*.

Qui sono elencati i parametri del trasformatore con accanto la scritta DEFAULT. Vuol dire che vengono adottati dal programma quelli del listato. Quando dovremo cambiare trasformatore, al posto di DEFAULT scriveremo i nuovi valori.

M1 nella casella *Pinassignment*. E' giunto il momento di assegnare ai nodi del circuito equivalente del modello, rappresentati nel quadro giallo a destra, quelli del simbolo del trasformatore come disegnato nello schema elettrico e riportati nel riquadro di sinistra.

Per trascinamento si sposta ogni numero da sinistra a destra, rispettando gli schemi.

Chiudere. Si torna in *Models for Tr1*. La casella *LEVEL* può essere trascurata. OK

Siamo tornati nella finestra *Change symbol*. Nella casella *value* possiamo scrivere ad es.: la potenza apparente 10 VA. Chiudere. Il modello è stato ora assegnato al componente disegnato nello schema elettrico.

11.7 Simulazione

Prima conviene assegnare ai singoli collegamenti dello schema elettrico, nomi intuibili.

M11 sul collegamento che dal generatore va al piedino 1 del trasformatore e scrivere ad es.: p. Al collegamento del piedino 6 assegniamo la sigla s.

Per iniziare la simulazione, M1 sulla bacchetta magica e poi su quella rappresentante le sinusoidi.

M1 su *Extended settings for transient analysis*. Inserire nelle caselle dei tempi partendo dall'alto: 100m,50m,1u,5u. Deselezionare *Use initial condition*. Chiudere.

M1 nella casella *Select particular voltage and current*. M2 nel riquadro basso *Add > Voltage against ground*. M1 sui due collegamenti p e s.

Tornati nel riquadro basso si troveranno scritti i due segnali V(p) e V(s). M2 su V(s) *> Show immediately*, per visualizzare solo la tensione di uscita al secondario.

Siamo finalmente giunti al momento della simulazione. M1 su *Start simulation*. Se tutto è andato bene deve apparire l'immagine seguente.

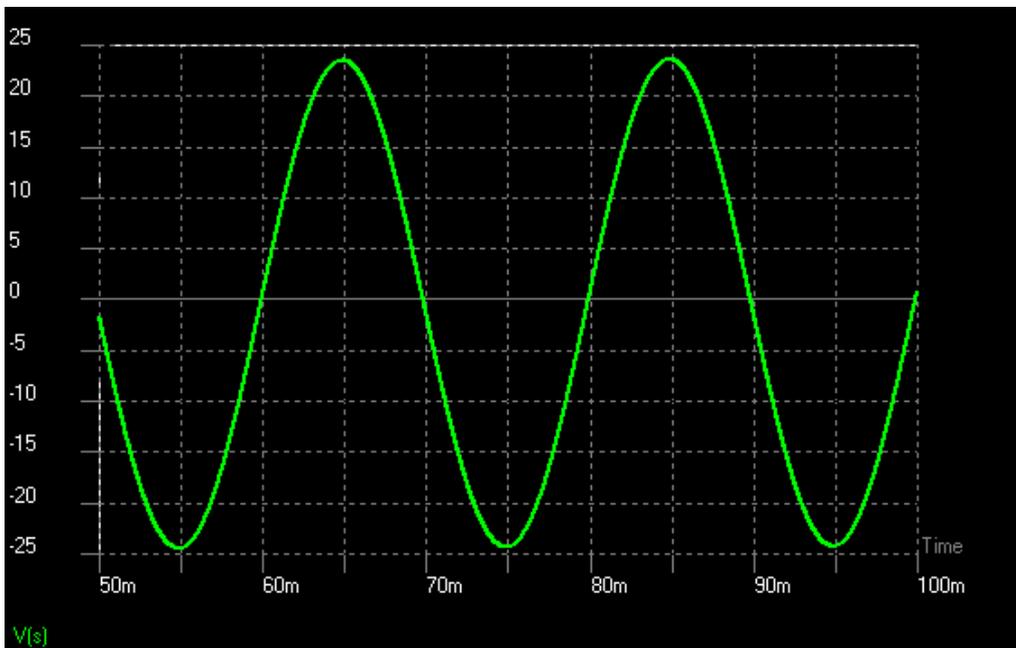


fig.11.3

Il colore della traccia viene deciso automaticamente dal programma. Per cambiarlo fare M1 su View > Graph e selezionare ogni traccia assegnando nelle caselle di destra il colore preferito e lo spessore.

11.8 Analisi della simulazione

La simulazione si riferisce a un piccolo trasformatore da 10 VA, 230 -15V.

La resistenza di carico di 10Kohm è molto elevata ed è come se il secondario fosse aperto. Pertanto quello che vediamo è una situazione a vuoto.

Proviamo ora a cambiare la resistenza con una che assorba 10 W dal trasformatore.

Operiamo per tentativi e supponiamo che sotto carico il valore di picco della tensione scenda a 20 V. La resistenza da inserire è $20^2V / (2 \times 10 W) = 20 \text{ ohm}$.

Poichè $R_s = 2 \text{ ohm}$, dovremo inserire una resistenza di 18 ohm.

Quello che vedremo è

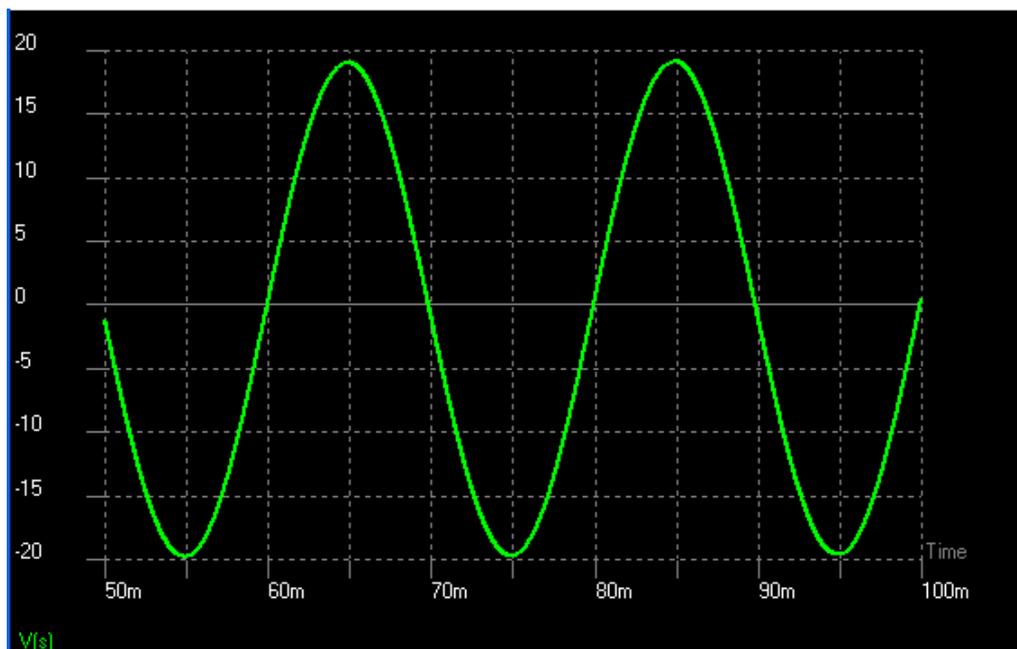


fig.11.4

Ci siamo andati vicino perchè il valore di picco è sceso a 19.5V e la potenza erogata è $19.5^2 / (2 \times 20) = 9,5W$.

La corrente che scorre nella resistenza di carico sarà: $19.5V / 18\text{ohm} = 1,08 \text{ A}$.

Detta corrente, volendo, può essere visualizzata: *Simulation > Edit selection > Add > Current* .

M1 col cursore su una estremità della resistenza di carico. Poi *Show immediately* e deselezionare la tensione di carico in modo da vedere solo la corrente.

Torniamo ora ad esaminare il listato del modello di simulazione. Nasce una domanda: tra i parametri forniti al programma si nota che manca il rapporto di trasformazione $n=N_s/N_p$, che definisce la tensione al secondario data quella al primario. Come fa il programma a fornire la tensione di uscita richiesta?

La risposta è che il rapporto di trasformazione è stato fornito senza accorgersene quando abbiamo indicato L_p ed L_s .

Infatti $L_s / L_p = n^2$ ed è per questa relazione che il programma è in grado di fornire la tensione di uscita.

Nel caso precedente $L_s / L_p = 0,154 / 28,2 = 5,46 \cdot 10^{-3}$ $n = \sqrt{5,46 \cdot 10^{-3}} = 0,074$.

Se è più comodo in alternativa possiamo indicare nel listato il valore di L_p e di n :

```
*
* Simulazione di un piccolo trasformatore di alimentazione
* con indicazione del rapporto di trasformazione "n".
*
.SUBCKT TRASF1SEC 1 2 3 4 PARAMS: Lp=28.2H n=0.074 Rp=412
+ Rs=2 K=0.999
*
* Avvolgimento primario
Rp 1 np {Rp}
Lp np 2 {Lp}
* Avvolgimento secondario
Rs 3 ns {Rs}
Ls ns 4 {Lp*n^2}
* Coefficiente di accoppiamento
K Lp Ls {K}
.ENDS
```

Se inseriamo questo listato nel trasformatore vedremo che il risultato della simulazione è lo stesso.

Nota: è comunque necessario, anche se non è più riportato tra i parametri, continuare a inserire l'induttanza L_s e il suo valore verrà espresso con la formula $L_s = L_p \cdot n^2$.

11.9 Simulazione di trasformatore di alimentazione con due secondari

Si prende ora in considerazione un trasformatore di alimentazione con due avvolgimenti secondari. Nell'esempio è stato simulato uno da 6 VA.

Seguendo il percorso di quanto già fatto con il trasformatore a singolo secondario, si parte col disegno dello schema elettrico. Per il trasformatore si utilizza uno qualunque della libreria di Target, purché abbia due avvolgimenti secondari, come EE130_PRI230-SEK2X15V/33MA. Non importa che il trasformatore sia dotato di modello di simulazione perché lo inseriremo noi.

Per le resistenze di carico si usano quelle già dotate di modello di simulazione come ad es.: R_MET_100-OHM_0207.

Il generatore è esattamente quello dell'esempio precedente impostato a 230 Veff.

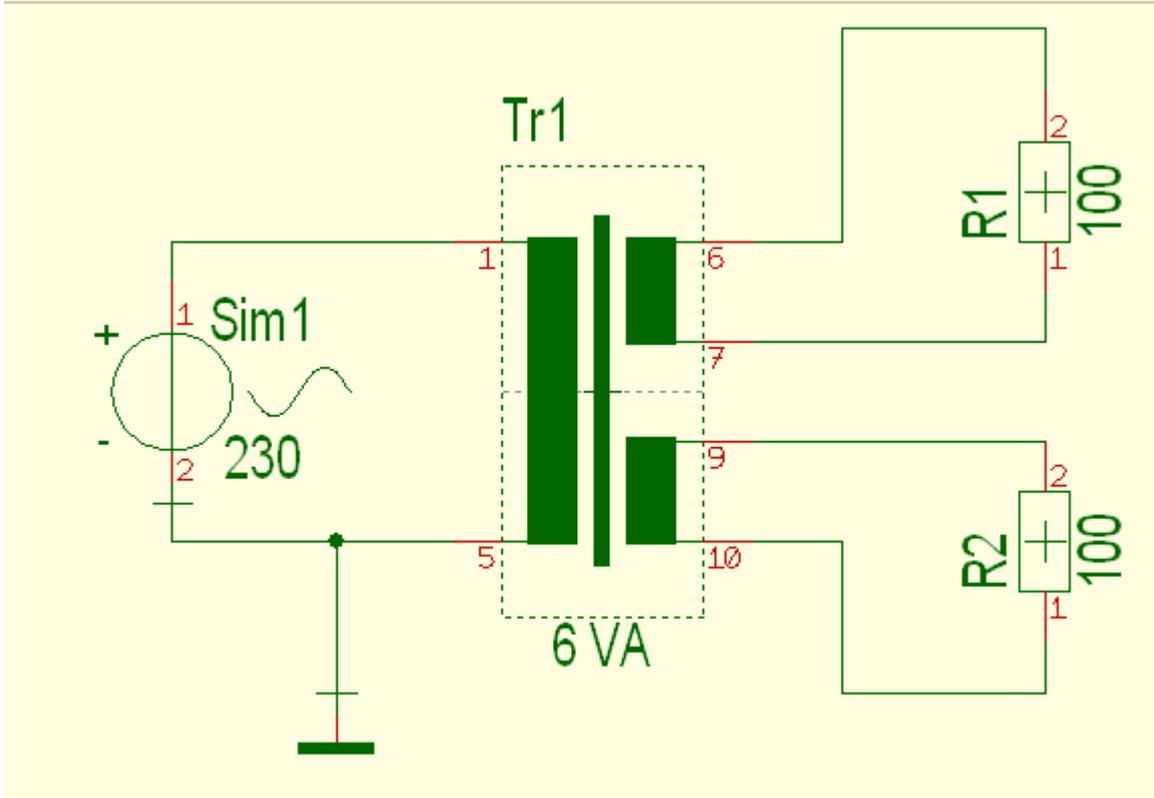


Fig.11.5

Il modello di simulazione da inserire nel trasformatore con due secondari è il seguente:

```

*
*
*
*Simulazione di un piccolo trasformatore di alimentazione
*con 2 secondari isolati tra loro.
*
.SUBCKT TRASF2sec 1 2 3 4 5 6 PARAMS: Lp=5 Rp=100 n1=0.1 n2=0.05
+ Rs1=1 Rs2=1 K1=0.99 K2=0.97 K3=0.95
*
* Rapporto spire n1 = Ns1/Np n2=Ns2/Np
*Induttanza secondario Ls1= Lp * (n1)^2 Ls2= Lp*(n2)^2
*
*

```

```

R24 2 4 1E9          ; R24,R26 sono necessarie per riferire
R26 2 6 1E9          ; a massa tutti i tre avvolgimenti
*
* Avvolgimento primario
Rp 1 np {Rp}
Lp np 2 {Lp}
* Avvolgimento secondario 1
Rs1 3 ns1 {Rs1}
Ls1 ns1 4 {Lp*(n1^2)}
* Avvolgimento secondario 2
Rs2 5 ns2 {Rs1}
Ls2 ns2 6 {Lp*(n2^2)}
* Coefficienti di accoppiamento
K1 Lp Ls1 {K1}
K2 Lp Ls2 {K2}
K3 Ls1 Ls2 {K3}
.ENDS
*
*
```

Nel listato sono state aggiunte due resistenze R24 e R26, comprese nel subcircuito e non visibili nello schema, di valore molto elevato, che collegano il morsetto basso 2 del primario, nello schema già collegato a massa, con i rispettivi morsetti bassi 4 e 6 dei secondari. Questo accorgimento è reso necessario dal programma di simulazione che impone che tutti gli avvolgimenti abbiano un riferimento galvanico (cioè DC) a massa. Potevamo eliminare le due resistenze, ma avremmo dovuto collegare a massa tutti i tre avvolgimenti. Infatti nell'esempio con un solo avvolgimento, non c'è la resistenza tra avvolgimenti dato che sono entrambi collegati a massa.

Una volta inserito il modello nel simbolo, come già fatto nel trasformatore con avvolgimento singolo, dovremo assegnare ai parametri del modello i valori reali del trasformatore. I valori misurati sul campione reale sono i seguenti:

```

Lp = 24.12 (H)
Rp = 818 (ohm)
n1 = 0.068
n2 = 0.068
Rs1 = 7 (ohm)
Rs2 = 7 (ohm)
K1 = 0.99, K2=0.97, K3=0.95
```

Questi valori vanno sostituiti al posto di DEFAULT, nella finestra *Subcircuit* senza bisogno di scrivere anche l'unità di misura.

Occorre poi eseguire il *Pinassignment*, cioè collegare i piedini del modello con quelli rispettivi dello schema elettrico del trasformatore che abbiamo importato nel disegno.

Piedini dello schema		Piedini del modello
1	>	1
5	>	2
6	>	3
7	>	4
9	>	5
10	>	6

A questo punto il modello è inserito e possiamo chiudere tutte le finestre.

Assegniamo valori intuibili ai collegamenti dello schema elettrico, e apriamo la finestra della simulazione. Vanno rinominati anche i morsetti bassi dei due secondari in quanto non a massa.

Si inseriscono gli stessi tempi dell'esempio precedente 100m,50m,1u,5u.

Poi si va nella casella *Edit selection* e si scelgono i valori di tensione delle due uscite, da visualizzare all'oscilloscopio, tenendo conto di quali conduttori sono a massa e quali non.

Premendo *Start simulation* si dovrebbe vedere la seguente immagine.

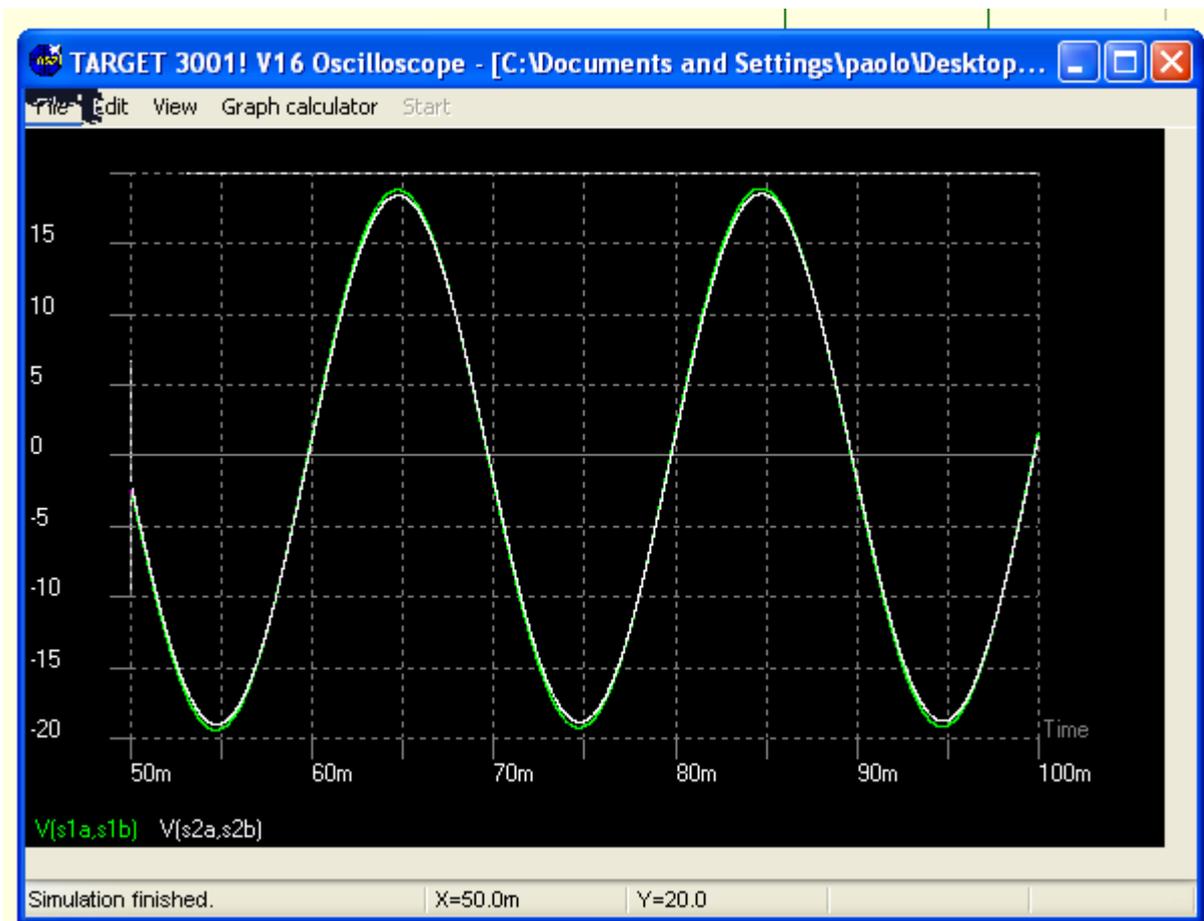


Fig.11.6

Assegnare ai grafici i colori che ci aggradano. *View > Graph* selezionare e inserire i colori a destra.

Le ampiezze dei secondari sono circa 19 V. Si noti che un secondario ha ampiezza minore dell'altro perchè ha un coefficiente di accoppiamento $K=0,97$ invece di $K=0,99$ dell'altro.

I loro valori efficaci sono quindi $19 : 1,42 = 13,38$ V su un carico di 100Ω .

La potenza assorbita da ciascun secondario è $P_s = 13,38^2 / 100 = 1,79$ W. La potenza assorbita dal primario, supponendo che l'efficienza del trasformatore sia $\eta = 0,8$

$P_p = \eta \cdot 2 \cdot P_s$ $P_p = 0,8 \times 2 \cdot 1,79 = 2,86$ W. Il trasformatore è piuttosto sottoutilizzato. Si poteva impiegare un trasformatore di 3 VA.

11.10 Il trasformatore ideale

Il trasformatore ideale è rappresentato da un circuito equivalente che rappresenta un trasformatore privo di perdite. Si tratta ovviamente di una astrazione in quanto non è possibile realizzare tale macchina. Tuttavia è utile perché permette di costruire il circuito equivalente del trasformatore reale, aggiungendo al trasformatore ideale alcuni componenti dissipativi che simulano le perdite esistenti in quello reale.

Il simbolo del trasformatore ideale è il seguente :

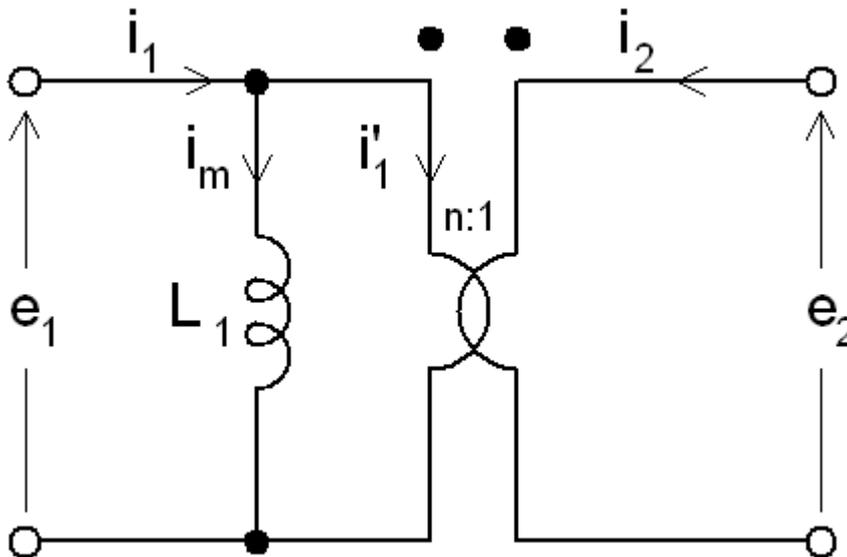


Fig.11.7

I due semicerchi che si intersecano rappresentano il simbolo che svolge la funzione di trasformazione delle tensioni e delle correnti..

L'induttore L1 simula l'induttanza di magnetizzazione, cioè l'induttanza offerta dall'avvolgimento primario a secondario aperto. In questa situazione il trasformatore richiama solo la corrente " i_m " in quadratura con la tensione al primario, quindi senza assorbimento di potenza. Quando al secondario viene collegata una resistenza di carico, circola in essa una corrente i_2 che viene trasferita dal trasformatore ideale al primario con ampiezza i'_1 e in fase con la tensione al primario.

Si definisce " rapporto di trasformazione" il rapporto $n = N_s / N_p$.

Il trasformatore ideale svolge due funzioni :

- la tensione trasformata al secondario è $e_2 = n.e_1$
- nel primario è indotta una corrente $i'_1 = n.i_2$

11.11 Circuito equivalente del trasformatore reale

Per tener conto delle perdite che inevitabilmente riguardano un trasformatore reale, occorre inserire nello schema equivalente di quello ideale, gli elementi dissipativi che simulano tali perdite.

Le perdite si suddividono in perdite nel rame, perdite per flusso disperso e perdite nel ferro.

Le perdite nel rame sono quelle dovute alla resistenza galvanica (misurabile con un ohmetro) del conduttore che costituisce ogni singolo avvolgimento. Si simula introducendo una resistenza R_p in serie al primario e una R_s al secondario. A frequenze più elevate, compaiono anche le perdite per effetto pelle e per prossimità da conglobare nella R_p .

Le perdite per flusso disperso sono dovute alla parte del flusso magnetico prodotto dall'avvolgimento primario che si disperde in aria senza concatenarsi con l'avvolgimento secondario. Le variazioni di questo flusso magnetico disperso creano per la legge di Faraday - Neumann delle tensioni di autoinduzione al pari di quelle create da quello

concatenato col nucleo; tali tensioni si aggiungono in serie all'avvolgimento primario. Anche il secondario, quando è percorso da corrente, produce un flusso magnetico che si concatena col primario, ma anche qui, in piccola parte si disperde in aria. Le tensioni di autoinduzione per flusso disperso, al primario e al secondario si simulano introducendo in serie agli avvolgimenti le induttanze simboliche L_p , L_s

Perdite nel ferro: Si distinguono in

Perdite per correnti di Foucault (eddy currents) correnti vaganti che si disperdono nel nucleo magnetico.

Perdite nel nucleo durante il ciclo di isteresi dovute all'attrito del movimento alternato di allineamento dei dipoli magnetici elementari.

Di entrambe le perdite se ne tiene conto inserendo una resistenza complessiva R_{fe} in parallelo alla induttanza di magnetizzazione.

Si può ora disegnare il circuito equivalente completo del trasformatore, valido per basse frequenze (in cui non intervengono apprezzabili effetti capacitivi):

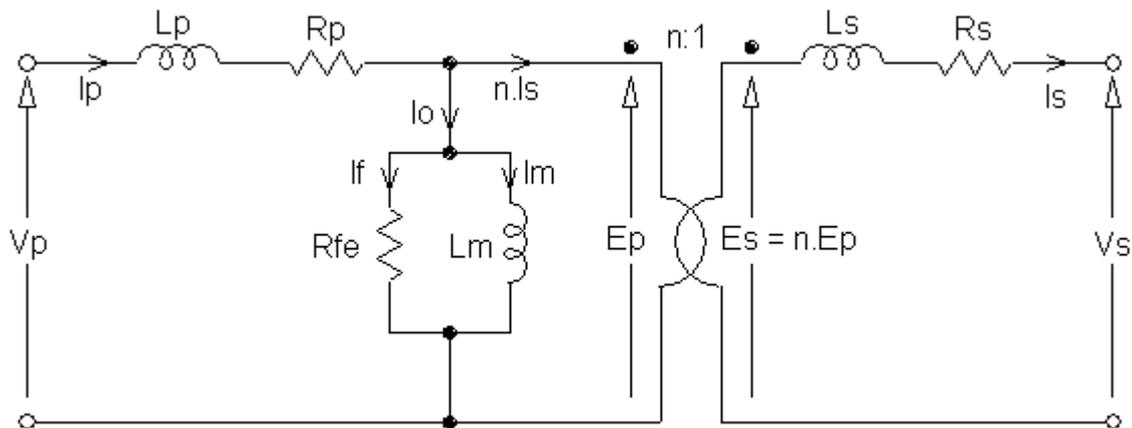


Fig.11.8

Come si vede al circuito del trasformatore ideale sono stati aggiunti i componenti dissipativi che simulano le perdite.

I due punti neri indicano il verso degli avvolgimenti e delle tensioni e correnti.

11.12 Simulazione del trasformatore ideale con il sub-circuito.

Per simulare il trasformatore in alternativa all'impiego delle induttanze accoppiate occorre servirsi di un sub circuito che riproduce il circuito equivalente che si vuole simulare.

Dapprima simuleremo il trasformatore ideale, riferendosi al suo circuito equivalente, poi simuleremo il trasformatore reale sempre partendo dal suo circuito equivalente.

Tale modello si può realizzare usando le "sorgenti linearmente controllate" funzioni già conosciute (10.13) e presenti in Spice come elementi primitivi, vale a dire sorgenti di tensione o di corrente funzioni lineari di una tensione o una corrente, o viceversa. Delle 4 funzioni linearmente dipendenti quelle che adesso ci interessano sono :

- la funzione lineare di tensione E, pilotata da una tensione con fattore di proporzionalità " n ".
- la funzione lineare di corrente F, pilotata da una corrente, con fattore di proporzionalità " n ".

Con queste funzioni possiamo simulare la funzione di un trasformatore ideale perfetto (perfetto significa senza flusso disperso). Infatti dette funzioni sono impiegate in un sub circuito che svolge le due funzioni del trasformatore ideale e cioè $e_2 = n.e_1$, $i'_1 = n.i_2$. Il circuito racchiuso nel sub circuito è rappresentato in fig.11.9

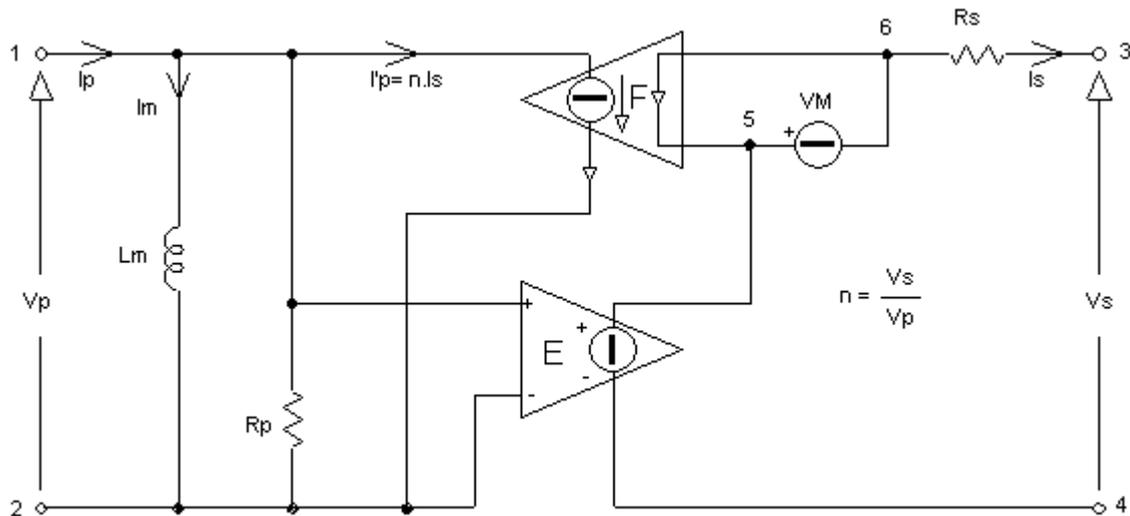


Fig.11.9

La E fornisce in uscita, tra il nodo 5 e 4 la tensione al secondario del trasformatore $V_s = n \cdot V_p$. Il coefficiente di proporzionalità della funzione lineare è n e V_p , tra i nodi 1,2 è la tensione al primario che funge da controllo della funzione E. La F fornisce tra i nodi 1,2 la corrente I_p , pari a n volte quella al secondario I_s che è misurata dall'amperometro V_M . Si realizza così la funzione $I'_p = n \cdot I_s$. Il listato è dunque il seguente:

```

*
* Questo modello serve a spiegare come simulare un trasformatore
* ideale, usando in un sub circuito, una tensione al secondario
* "E" controllata dalla tensione ai nodi 1 2 e con un fattore di
* proporzionalità  $n=N_s/N_p$ . Analogamente viene impressa una
* corrente a primario "F" controllata dalla corrente misurata da
*  $V_M=0$ , e proporzionale sempre a  $n= N_s/N_p$ .
*
*
.SUBCKT XFRM 1 2 3 4 PARAMS: Np=300 Ns=30 Rp=100K Rs=1 Lm=20H
E 5 4 1 2 {Ns/Np}
F 1 2 VM {Ns/Np}
VM 5 6 0
Lm 1 2 {Lm}
Rp 1 2 {Rp}
Rs 6 3 {Rs}
.ENDS
*

```

R_p e R_s sono necessari al programma per prevenire condizioni di singolarità. Notare che qui R_p è in parallelo al primario.

Sia l'avvolgimento primario che il secondario devono essere collegati galvanicamente a massa direttamente o tramite resistenza di alto valore.

11.13 Simulazione di trasformatore reale in bassa frequenza

La simulazione di cui sopra rappresenta il trasformatore ideale con accoppiamento perfetto, cioè senza flusso disperso. Per realizzare un modello che tiene conto del flusso disperso e delle perdite, occorre riferirsi al circuito equivalente completo che introduce i componenti dissipativi rappresentativi di dette perdite e le reattanze induttive per simulare l'effetto del flusso magnetico disperso.

Si fa riferimento al circuito equivalente di fig.11.8 che qui si riporta per comodità e con i nodi che serviranno nel sub-circuito.

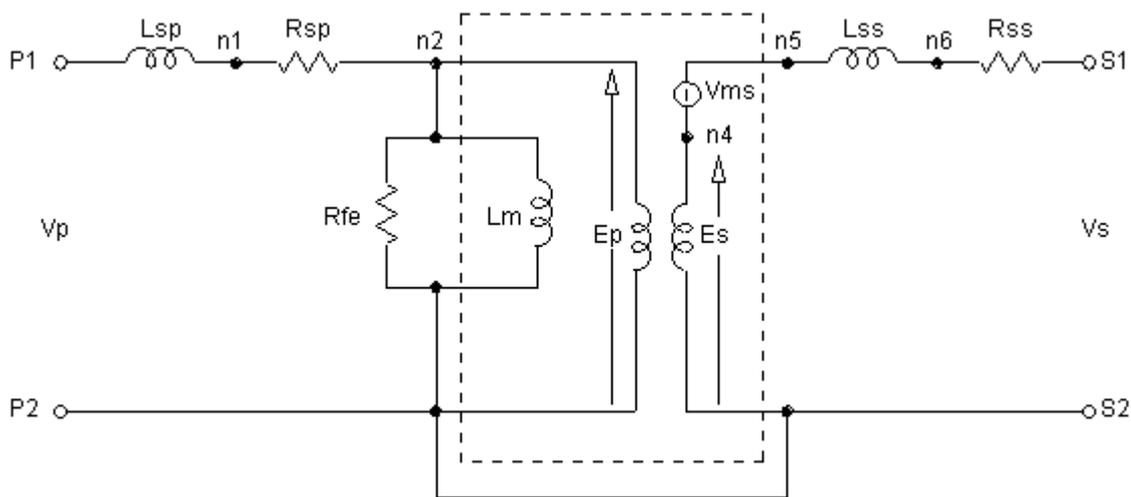


Fig.11.10

Il listato del modello che simula il circuito equivalente di fig.11.10 è il seguente:

```

*
*
*****Trasformatore reale*****
*****con flusso disperso e perdite nel nucleo****
*
.SUBCKT Xfrm P1 P2 S1 S2 PARAMS: Np=300 Ns=30
+ Rsp=100 ; Resistenza in serie a prim.
* ; dovuta alla res. del conduttore
+ Lsp=30n ; Induttanza in serie a prim.
* ; dovuta al flusso disperso primario
+ Lm=20H ; Induttanza di magnetizzazione
+ Rfe=50K ; Resist. in parall. dovuta
* ; a perdite nel ferro
+ Rss=1 ; Resist in serie a second.
+ Lss=20n ; Indutt. in serie a secondario
* ; dovuta a flusso disperso secondario.
*
***** Primario
*
Lsp P1 n1 {Lsp}

```

```

Rsp n1 n2 {Rsp}
Lm n2 P2 {Lm}
Rfe n2 P2 {Rfe}
*

***** Secondario
*
E n4 S2 n2 P2 {Ns/Np} ; Tensione al second. comandata
* ; dalla tensione fra (n2-P2) e con
* ; coeffic proporz. Ns/Np
Vms n4 n5 0 ; Tensione nulla, serve per misurare la
* ; corrente che scorre da n4 a n5.
F n2 P2 Vms {Ns/Np} ; Corrente nel primario comandata
* ; da corrente nel secondario
* ; coeff. proporz. Ns/Np
Rss n6 S1 {Rss} ; Resist serie secondario
*
Lss n5 n6 {Lss} ; Indutt. in serie secondario
* ; per flusso disperso generato
* ; dal secondario
.ENDS
*
*
```

Lsp è l'induttanza che simula il flusso disperso dall'avvolgimento primario

Rsp è la resistenza galvanica del conduttore primario.

Rfe è la resistenza che simula le perdite nel ferro che valgono $P_{fe} = V_p^2 / R_{fe}$ con V_p valore efficace della tensione primaria.

Lm è l'induttanza di magnetizzazione misurabile con un induttanzimetro collegato al primario, tenendo il secondario aperto.

Lss è l'induttanza dovuta la flusso disperso dall'avvolgimento secondario

Rss è la resistenza galvanica del conduttore secondario.

Vms è l'amperometro che comanda F

Ep, Es rappresentano le tensioni presenti nel circuito equivalente ideale

Il grado di accoppiamento qui non si esprime con il coefficiente k, ma viene definito dal valore delle induttanze Lsp, Lss; più alte sono, più basso è il coefficiente di accoppiamento.

Le perdite nel rame sono rappresentate da Rsp, Rss , resistenze misurabili con un ohmetro.

11.14 Simulazione di trasformatore reale in alta frequenza

Il circuito equivalente sopra esaminato è valido quando il trasformatore è utilizzato con frequenze basse. Quando si vuole utilizzare con frequenze elevate, oltre a aumentare le resistenze galvaniche del conduttore per l'effetto pelle e per quello di prossimità, occorre valutare anche le capacità distribuite tra le spire del conduttore, sia primario C_p che secondario C_s e quelle tra avvolgimento e avvolgimento. C_{ps} .

Il circuito equivalente per alte frequenze è il seguente (fig. 11.11)

La differenza dello schema rispetto al circuito equivalente per bassa frequenza sta solo nella introduzione delle tre capacità C_{pp} , C_{ps} , C_{ss} .

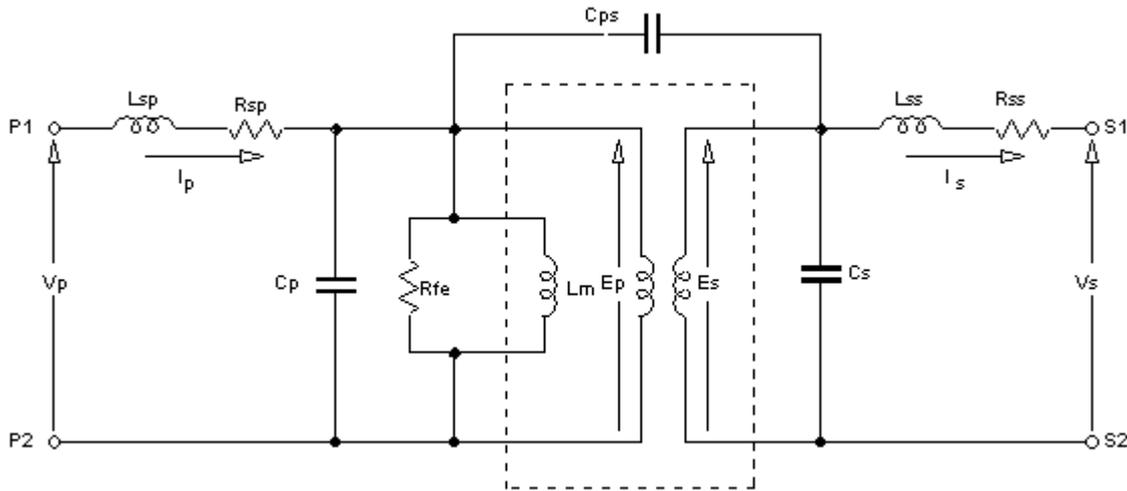


Fig.11.1

Il relativo modello di simulazione è:

```

*
***** Modello di Trasformatore per HF *****
*con flusso disperso e perdite nel nucleo
*
.SUBCKT Xfrmcompleto P1 P2 S1 S2 PARAMS: Np=300 Ns=30
+ Rsp=100 Lsp=30n Lm=20H Rm=50K Rss=1 Lss=20n
+ Cp= 2pF ; Capacità parassite primario
+ Cps=10pF ; Capacità parass. prim.- second.
*
***** Primario
Lsp P1 n1 {Lsp}
Rsp n1 n2 {Rsp}
Lm n2 P2 {Lm}
Rm n2 P2 {Rm}
Cp n2 P2 {Cp}
Cps n2 n3 {Cps}
F n2 P2 Vms {Ns/Np} ; Corrente nel primario
*
***** Secondario
E n4 S2 n2 P2 {Ns/Np} ; Tensione al second. comandata
Vms n4 n3 0 ; Tensione nulla, serve per misurare la
corrente
Rss n3 n5 {Rss} ; Resist serie secondario
Lss S1 n5 {Lss} ; Indutt. in serie secondario

```

.ENDS

*

Non compare la capacità al secondario C_s in quanto di solito ha valori trascurabili (trasformatori con $V_s \ll V_p$) .

Nota: I modelli di trasformatori reali sin qui considerati simulano le perdite e il funzionamento in alta frequenza. Tuttavia se si richiede una simulazione completa occorrerebbe valutare anche il comportamento non lineare delle caratteristiche magnetiche del nucleo, in particolare la possibilità della sua saturazione.

Gli esempi sopra riportati suppongono che il nucleo lavori solo nella zona lineare del ciclo di isteresi, del resto come deve avvenire in funzionamento normale.

Se il funzionamento del circuito in cui è inserito il trasformatore presupponesse la sua entrata in saturazione (es.: Inverter a saturazione di nucleo) allora i modelli precedenti non sarebbero più utilizzabili. Se vogliamo simulare tali circuiti occorre introdurre nella simulazione un apposito sub circuito che simula il comportamento del nucleo.

12 - APPENDICE D

Simulazione di una batteria

12.1 Creazione di un nuovo simbolo. Batteria

Può tornare utile, quando si esegue una simulazione, disporre del simbolo di una batteria per assicurarci che, almeno a batteria ragionevolmente carica, la tensione fornita sotto carico sia sufficiente ad alimentare il circuito che intendiamo realizzare, senza che si creino abbassamenti di tensione tali da rendere irregolare il funzionamento. Si tenga presente che creeremo solo il simbolo e non un componente reale dotato di Package da disegnare sul circuito stampato; lo scopo è quello di utilizzare il simbolo solo per effettuare la simulazione del progetto, così che, a progetto realizzato, saremo sicuri che potrà essere collegato a quel tipo di batteria, senza che nascano problemi di funzionamento.

Per creare il nuovo simbolo, si apre un nuovo progetto: M1 su *New project > Project file name > Batteria*. M1 su *Single sided PCB with schematic > OK*.

Utilizzando l'icona del lapis sulla barra orizzontale, disegnare un simbolo come quello di figura e aggiungere i piedini.

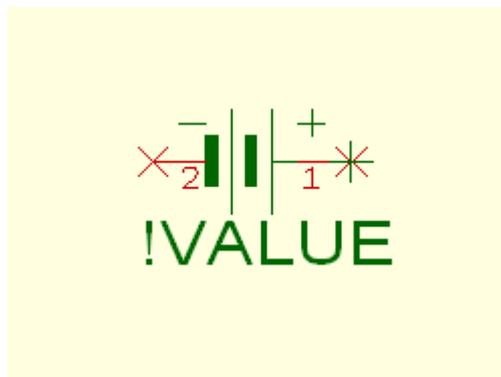


Fig.12.1

Scrivere l'espressione !VALUE richiamando sulla tastiera le virgolette (") che aprono la finestra del testo. Poi nella casella *Function* al centro in basso, scegliere *Component value*. OK

Racchiudere con M11 tutto il disegno in un rettangolo. Posizionare il puntatore esattamente sulla crocetta del piedino 1 e premere y. Ripetere e premere x.

Si apre la finestra *Export Symbol*. nella colonna di sinistra scegliere *Battery*. Nella sottostante casella, *Insert component name > English > Batteria*. La casella *Package*: lasciare bianco in quanto vogliamo solo creare un simbolo. *Component prefix: Br*. *Save component*.

Il simbolo è stato importato nella libreria *My Components*. Aprendo la finestra dei componenti si dovrebbe ritrovare la voce *Batteria*. Nella finestra a sinistra fare M2 nella riga di *Batteria*. Nella finestra che si apre fare M1 in *Import component in my component list > Libreria personale*. Libreria personale è quella che avevamo creato in precedenza e dove avevamo inserito tutti i componenti di nostro abituale interesse.

12.2 Limiti del modello di simulazione adottato.

Assegneremo al simbolo appena creato, un suo modello di simulazione, da noi stessi scritto. Tale modello è molto semplice, ed ha uno schema equivalente costituito solo da una resistenza interna fissa R_{int} e da una sorgente di tensione costante V_i che rappresenta la tensione a vuoto, cioè a batteria scollegata. La resistenza immaginaria interna R_{int} è responsabile della caduta di tensione della batteria quando è collegata al carico.

In realtà tale resistenza è tutt'altro che fissa, ma dipende almeno dalle seguenti condizioni:

- dal tipo di batteria, al piombo, a zinco-carbone, alcalina, agli ioni di litio ecc.
- dal modello
- dalla capacità in A/h della batteria
- dallo stato di carica attuale.
- dalla temperatura

Tuttavia, possiamo notare che ad es.: le batteria alcaline, che sono le più usate nei piccoli progetti, mantengono abbastanza costante la loro tensione e resistenza interna durante la scarica per poi crollare bruscamente a fine vita, per quanto riguarda la tensione e impennarsi per quanto riguarda il valore della resistenza. Inoltre potremmo trovare un modo per misurarla su un campione reale carico, così da ottenere un valore aderente alla realtà almeno a batteria ragionevolmente carica. Con queste premesse il circuito equivalente che si propone è il seguente

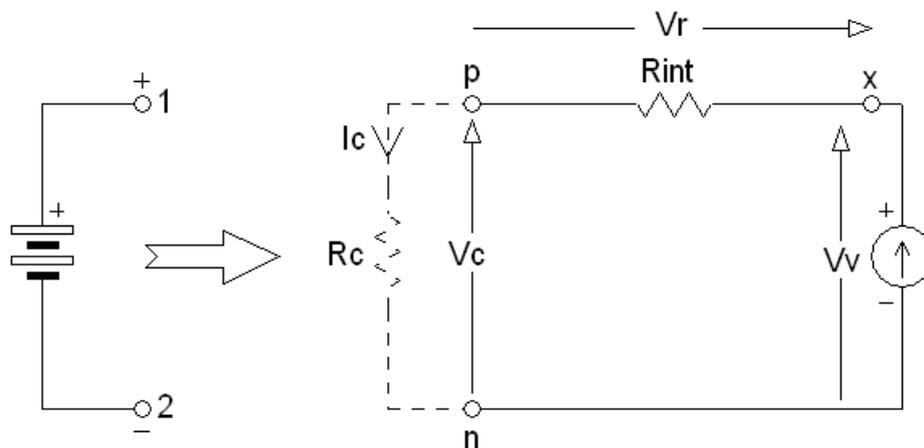


Fig.12.2

Alla resistenza fissa R_{int} assegneremo un valore misurato nel seguente modo: Misuriamo prima la tensione a vuoto V_v di un esemplare carico. Poi collegheremo una resistenza R_c di valore noto alla batteria. Misureremo la caduta di tensione a carico V_c , quindi scollegheremo subito per non scaricare la batteria. La tensione a vuoto, meno quella a carico $V_r = V_v - V_c$ rappresenta la caduta di tensione sulla resistenza interna, mentre la corrente che circolava era $I_c = V_c / R_c$. Il valore della resistenza interna è $R_{int} = V_r / I_c$. Il valore di R_{int} trovato verrà inserito nel modello di simulazione e la caduta di tensione della batteria, che si avrà quando collegata al circuito di progetto, simulerà molto bene quella reale almeno finché la batteria si mantiene sufficientemente carica.

Esempio: Pila alcalina marca Duracell da 9V, in condizione: carica.

Tensione a vuoto $V_v = 9,66V$	Res. carico impiegata	$R_c = 105 \Omega$
Tensione a carico $V_c = 9,30V$	Corrente $I_c = V_c / R_c$	$I_c = 88,5mA$
$R_{int} = (V_v - V_c) / I_c$	$R_{int} = (9,66 - 9,30) / 0,0885 =$	$4,067 \Omega$

12.3 Scrittura del modello di simulazione.

Scriviamo noi stessi il modello di simulazione, che è quello riportato di seguito, da copiare in un file di testo per poi importarlo nel simbolo della batteria.

Intanto notiamo che nel programma di simulazione di Target non esiste un modello primitivo della batteria cui assegnare valori personalizzati. Dovremo pertanto, come modello, usare un subcircuito.

*

* Modello approssimato di batteria

*

```
.SUBCKT Batteria p n PARAMS: Rint=1 Vv=12
Rint p x {Rint}
Vv x n {Vv}
.ENDS
```

Breve spiegazione:

Una riga che comincia con l'asterisco viene considerato commento ed ignorata dal programma.

Dopo la scritta `.SUBCKT` segue il suo nome (`batteria`), i piedini di collegamento con l'esterno (`p,n`) e i parametri `PARAMS:` usati nel subcircuito `Vv` e `Rint` cui dovranno essere assegnati i valori effettivi.

Le righe successive contengono il nome del componente interno al subcircuito (`Rint`, `Vv`) seguito dai nodi di collegamento e dal suo valore che può essere, come in questo caso assegnato direttamente, oppure ottenuto tramite espressione matematica fra parentesi graffe. Si noti il nodo interno (`x`) che collega in serie `Rint` e `Vv`.

Infine `.ENDS` chiude il modello

12.4 Assegnazione del modello al simbolo

Nella finestra dei componenti selezionare Batteria. Nella riga di Batteria fare `M2 > Symbol,package,3D,simulation > Edit simulation`. Si apre la finestra *Model for batteria*.

`M1` su *Search*>`M1` su freccia blu destra > *Reload from > Files with Pspice model*. Cercare il file di testo ove è stato copiato il modello e aprire. Nel pannello di destra appare il nome Batteria. Nella casellina di spunta accanto fare click `M1 > Import`. Rispondere sì al messaggio *Now refresh* e chiudere.

Nella finestra principale *Models for batteria* selezionare *Select > Device Subcircuit*. (icona con quadretto nero e ingressi rossi ai lati) Nella casella *Subcircuit* cercare il nome Batteria e selezionarlo. Con questo si è importato il modello batteria nel simbolo.

Pinassignment : trascinare 1 da sinistra nella casella gialla a destra, davanti a `p` e 2 davanti a `n`. Il modello è ora perfettamente operante.

Chiudere tutte le schede.

12.5 Simulazione

Disegnare lo schema elettrico seguente. Per la resistenza ne occorre una già dotata di modello di simulazione come la R_carbon_100-ohm_0207cui modificheremo il valore in 105 ohm.

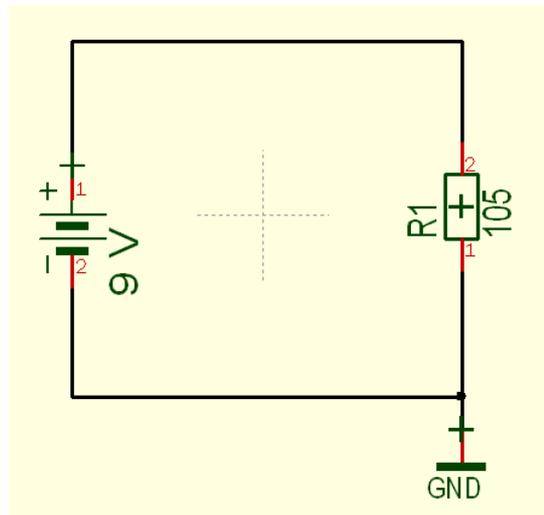


Fig.12.3

Assegnare un nome intuibile al conduttore che va da +batteria a resistenza, facendo M11 su di esso.

Aprire la simulazione. Assegnare 10s nella casella *Simulation for seconds*.

M1 sulla casella *Edit selection*. M2 > Add > Voltage against ground.

Selezionare la tensione della batteria. Poi, per la corrente che scorre in R1 selezionare *current*. M2 su tensione e corrente e M1 su *Show immediately*. M1 su Start simulation. Deve apparire la seguente immagine.

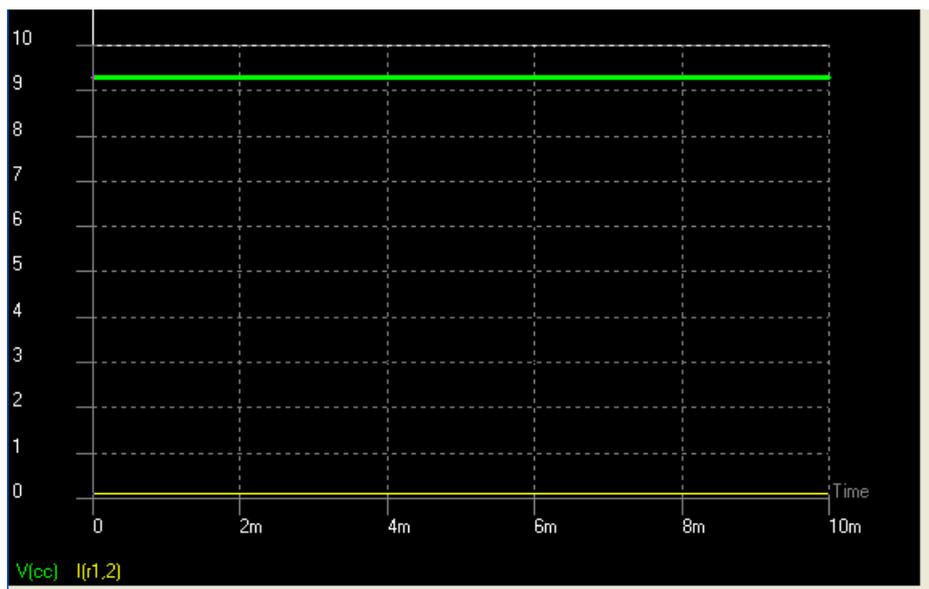


Fig.12.4

Si osserva la tensione a carico di 9,30V come da aspettativa, e una corrente non leggibile.

Per leggerla occorre fare M1 su *View > Graph*, e deselezionare la tensione. Quindi *View > Zoom* e inserire il campo 80m - 100m.

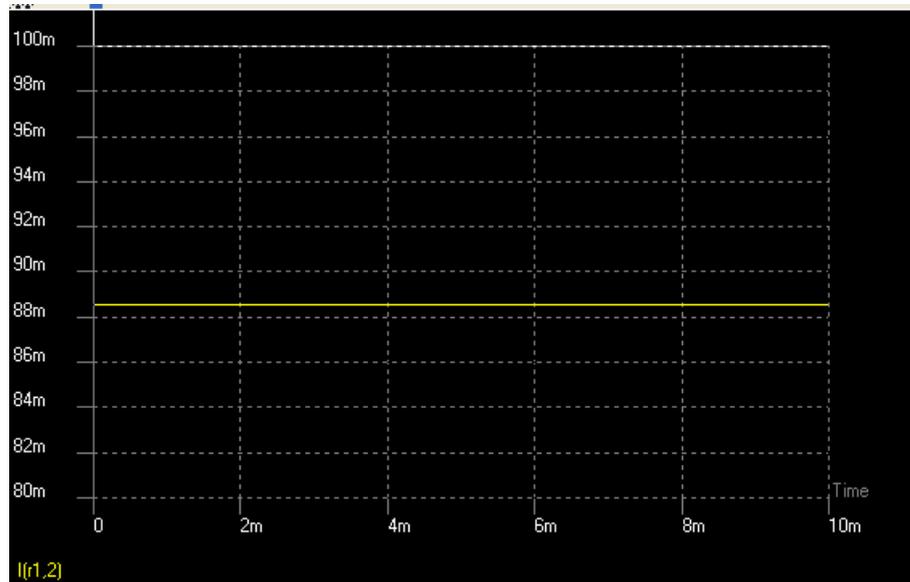


Fig.12.5

La corrente che appare è circa 88,5 mA come calcolato. Possiamo ora assegnare a R1 un valore diverso, ad es.: 470 Ω . Otterremo una caduta di tensione di circa 9,55V, mentre la corrente che leggeremo è 20,5 mA che potrebbe essere quella di un circuito da noi progettato, ove questa batteria è stata inserita.

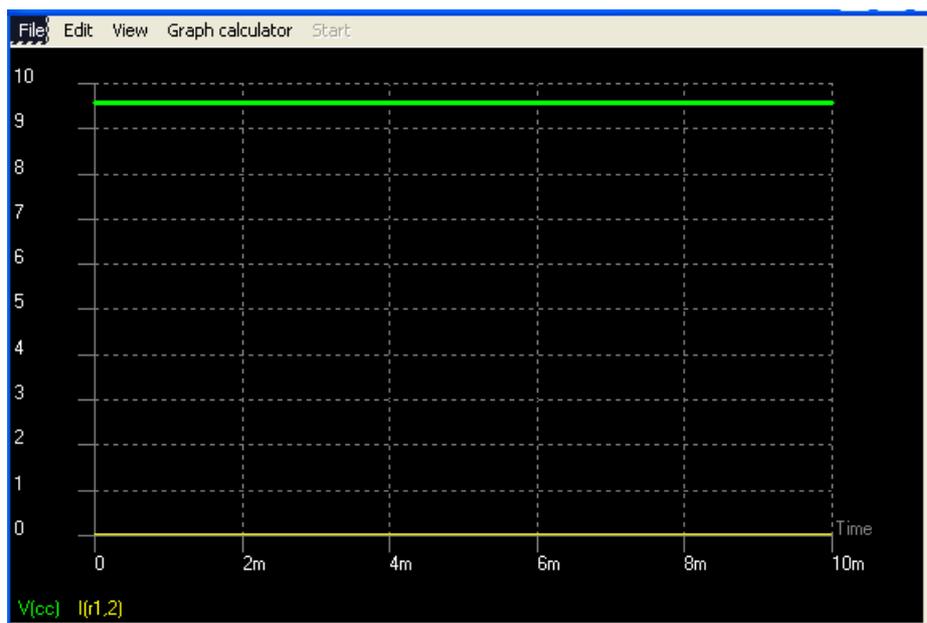


Fig.12.6

13 - APPENDICE E

Modelli di simulazione complessi

(Capitolo riservato a chi ha già acquisito le nozioni precedenti)

13.1 Introduzione

Ci proponiamo in questo capitolo di scrivere noi stessi un listato complesso, per simulare non un singolo componente, ma un intero circuito comprendente elementi passivi e amplificatori operazionali. Vorremmo a titolo di esempio scrivere il listato di un intero filtro audio attivo del secondo ordine, contenente al suo interno alcune resistenze, capacità e un amplificatore operazionale tipo LM358.

Dapprima eseguiremo una simulazione tradizionale su un circuito con componenti discreti. Poi considereremo lo stesso circuito racchiuso in un perimetro e tenteremo di scrivere il listato che lo rappresenta come se fosse un modulo integrato di filtro passa basso con un ingresso ed una uscita, e con la possibilità di programmarlo, cioè di cambiare i parametri caratteristici, quali la frequenza di taglio e il guadagno dello stadio.

13.2 Filtro audio passa basso del 2° ordine.

Lo schema che vorremmo simulare è il seguente.

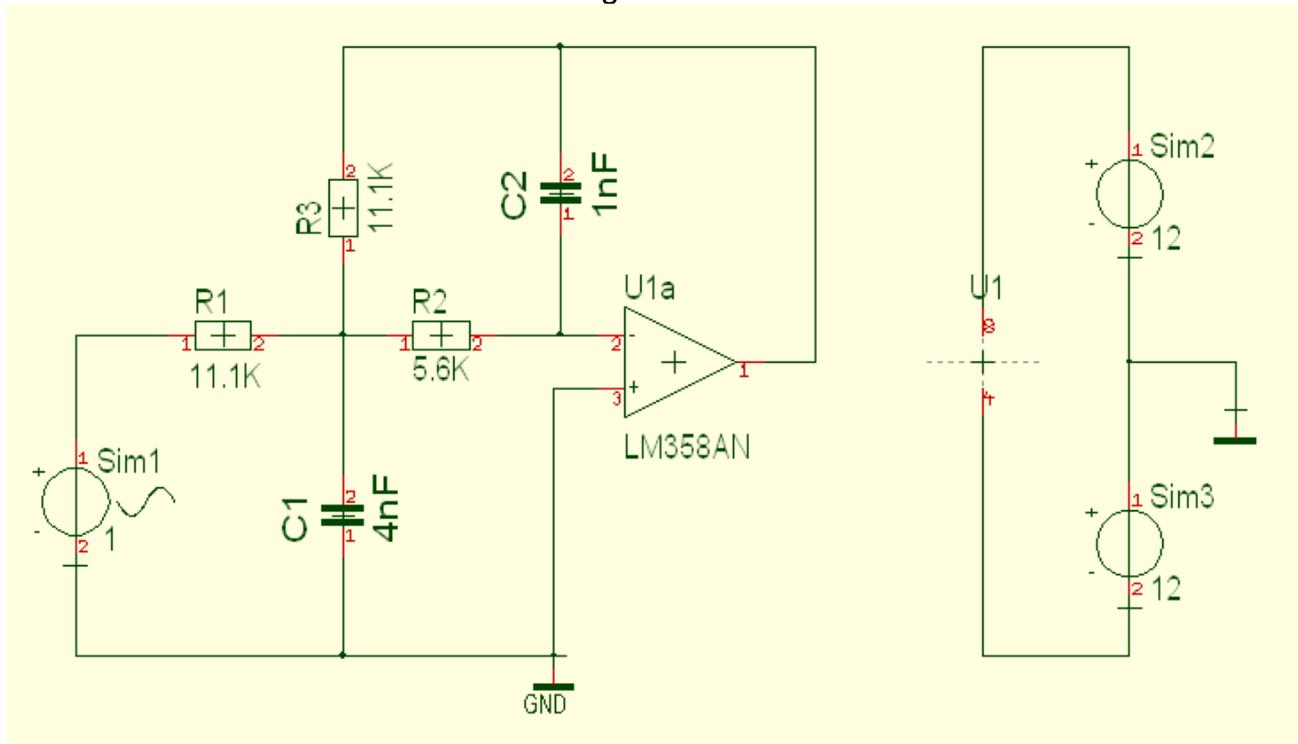


fig.13.1

Si tratta di un filtro audio attivo passa basso del secondo ordine, cioè con frequenza di taglio a 3 dB e decadimento di 12 dB per ottava. Ciò vuol dire che, salendo di una ottava dalla frequenza di taglio, cioè salendo al doppio della frequenza di taglio (1 ottava = 2 volte la frequenza di riferimento) il segnale di uscita si attenua a 12 dB cioè se in ingresso è applicato 1V e il guadagno dello stadio è 1, in uscita, dopo una ottava, il segnale cade a 0,25V.

Con i valori assegnati ai componenti passivi dello schema, si ottiene un filtro passa basso del 2° ordine con frequenza di taglio $f_t = 10$ KHz. e guadagno dello stadio $A = 1$.

Brevemente con il seguente esempio si forniscono la procedura e le formule di progetto.

Si fissa la frequenza di taglio $f_t = 10$ KHz, il guadagno $A = 1$, il fattore di merito $Q = 0,714$ e imponiamo $C_2 = 1$ nF.

Si calcolano R3, R2, R1, C1 con le seguenti formule ove le resistenze sono in KΩ e le capacità i nF.:

$$R3 := \frac{10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot f \cdot Q \cdot C2} \quad R2 := \frac{R3}{A + 1} \quad R1 := \frac{R3}{A} \quad C1 := 4 \cdot C2 \cdot Q^2 \cdot (A + 1) \cdot 10^9$$

Eseguendo i calcoli si ottengono i valori assegnati nello schema.

Se disegniamo questo circuito e lo simuliamo, in *Extended > AC Analysis*, otterremo una risposta in frequenza come in fig. 13.2

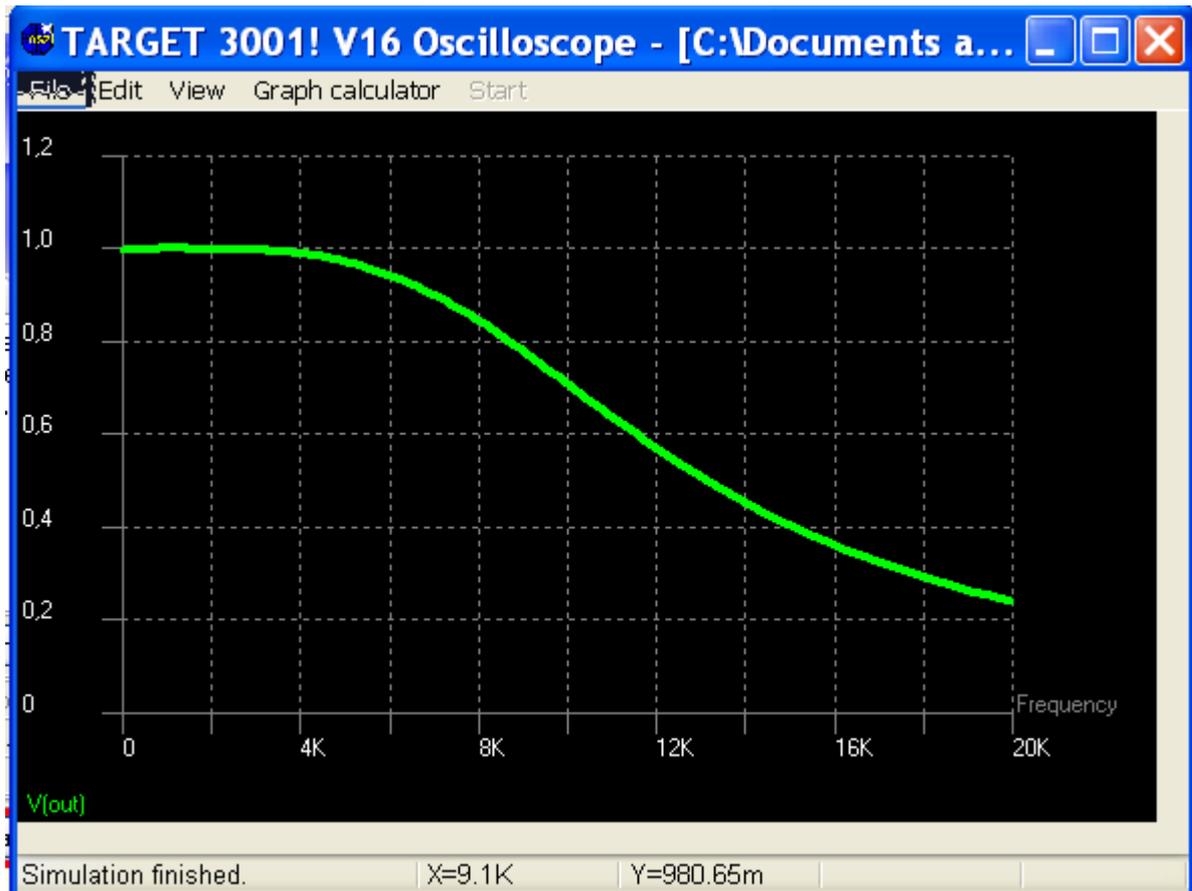


Fig.13.2

Come richiesto, il guadagno per frequenze basse è unitario, la frequenza di taglio misurata a 3 dB (cioè ove il segnale cade a 0,707) è 10KHz e il segnale, un'ottava sopra, cioè a 20KHz cade a 0,25V.

13.3 Net list per modulo di filtro passa basso programmabile.

In alternativa al metodo tradizionale sopra esposto, potremmo scrivere la net list (listato) dell'intero circuito con lo scopo di creare un modulo integrato di filtro p.basso programmabile, cioè una scatola chiusa con ingressi e uscite e con la possibilità di impostare i parametri desiderati.

Il listato inizia con l'assegnazione di un nome, poi con la dichiarazione dei componenti passivi e dei loro nodi; dovremmo quindi inserire l'amplificatore operazionale il cui listato è rappresentato da un sub-circuito che dovremo poi alimentare con tensione duale. Infine scriveremo l'istruzione .ENDS per il sub-circuito e END per terminare l'intero listato. Dovremmo poi far acquisire a TARGET il listato che abbiamo scritto.

E' a questo punto che ci accorgiamo che il programma accetta solo modelli di componenti primitivi, sub-circuiti o insiemi di sub-circuiti (*Device List*) ma non prevede la possibilità di acquisire un intero listato. Non sapremmo come farglielo accettare, e se ci proviamo inserendolo come sub-circuito, il programma lo taglia facendo apparire solo la parte di listato del sub-circuito.

Se siamo determinati e vogliamo comunque realizzare questo modulo integrato di filtro, dobbiamo aggirare il problema e seguire le regole di TARGET. Separeremo lo schema in due parti ciascuna delle quali rappresentata da un sub-circuito. Andremo a creare un nuovo componente complesso realizzato da un rettangolo con terminali di ingressi e uscite. In questo nuovo componente inseriremo come modello di simulazione, non un sub-circuito, ma due sub-circuiti, possibilità già prevista in *Select > Device List*.

13.4 Scrittura del sub circuito della rete di componenti passivi.

Nella figura seguente è rappresentato lo schema di fig.13.1 in cui i componenti passivi sono stati separati dall'ampl.operazionale e inseriti in un rettangolo tratteggiato, mentre il solo oprazionale in un altro.

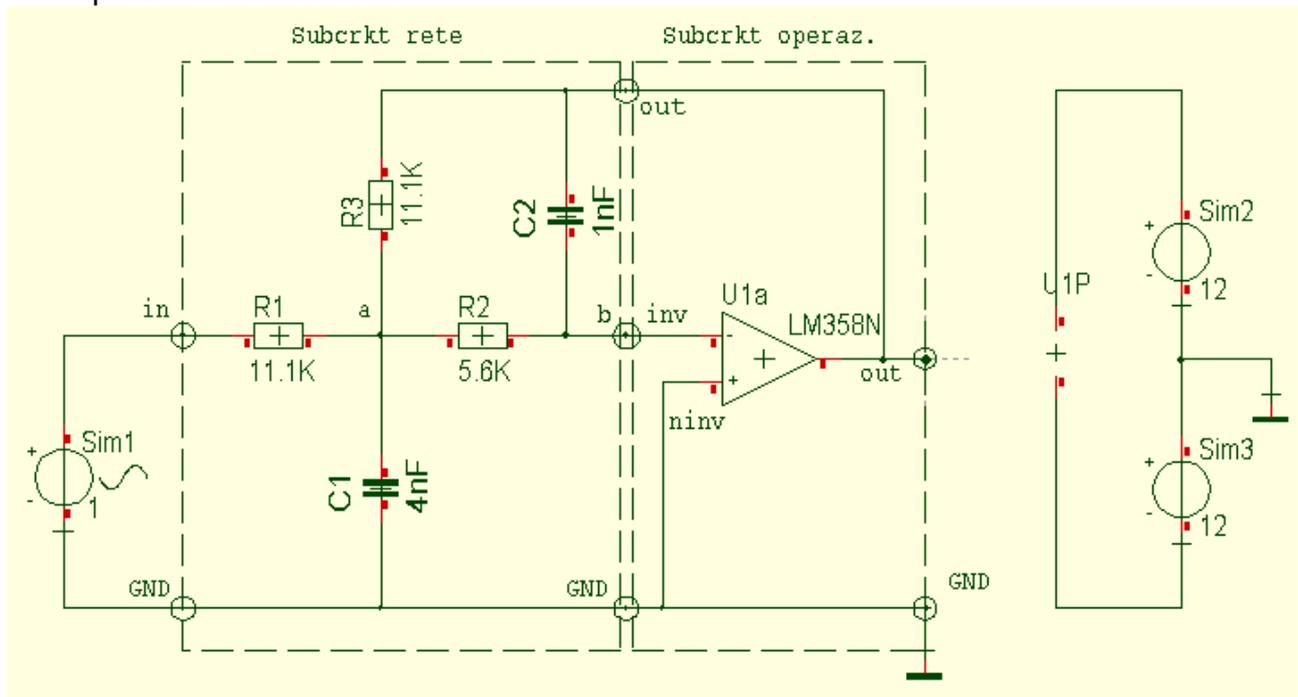


Fig.13.3

Ciascun rettangolo sarà rappresentato da un sub-circuito.

Nello schema sono riportati anche i nodi che impiegheremo nella scrittura dei sub-circuiti, e i reciproci collegamenti.

La net list della rete di componenti passivi è la seguente:

```
*
*
*****Filtri attivi del 2° ordine*****
*****Filtro passa basso*****
*****Rete dei componenti passivi *****
*
.SUBCKT RetePbasso in GND out b PARAMS: f=10K A=1 Q=0.714 C2=1nF
*
R3 a out {1/(4*pi*f*Q*C2)}
R2 a b {1/((4*pi*f*Q*C2)*(A+1))}
R1 in a {1/(4*pi*f*Q*C2*A)}
```

```

C1 a GND {4*C2*Q^2*(A+1)}
C2 b out {C2}
.ENDS

```

Spiegazione: Come si vede dallo schema, il sub-circuito ha 4 nodi: in, GND, out, b. I parametri che imposteremo sono la frequenza di taglio f , il guadagno dello stadio A , la cifra di merito Q e la capacità $C2$ che fisseremo con valore arbitrario eventualmente da correggere successivamente. La cifra di merito $Q=0,714$ è il valore ottimale per una risposta piatta senza picco di oscillazione sul finale, vicino alla frequenza di taglio. Seguono le dichiarazioni degli altri componenti con il valore ottenibile dalle formule sopra menzionate. Pi greco (π) si scrive pi.

13.5 Sub-circuito dell'amplificatore operazionale

TARGET contiene tra i suoi componenti l'operazionale LM358 già completo di modello di simulazione. Potremmo utilizzare questo, già disponibile, oppure cercare sul web il modello più completo della National o un diverso tipo. Per ora useremo il modello già contenuto in TARGET il cui listato è riportato di seguito solo per evidenza.

```

| SUBCKT LM358 1 2 3 4 5
C1 11 12 5.544E-12
C2 6 7 20.00E-12
DC 5 53 DX
DE 54 5 DX
DLP 90 91 DX
DLM 92 90 DX
DP 4 3 DX
BEGND 99 0 V=.5*V(3)+.5*V(4)
BFB 7 99 I=15.91E6*I(VB)-20E6*I(VC)+20E6*I(VE)+20E6*I(VLP)-20E6*I(VLN)
CA 6 0 11 12 125.7E-6
CCM 0 6 10 99 7.067E-9
IEE 3 10 DC 10.04E-6
HLIM 90 0 VLIM 1K
Q1 11 2 13 QX
Q2 12 1 14 QX
R2 6 9 100.0E3
RC1 4 11 7.957E3
RC2 4 12 7.957E3
RE1 13 10 2.773E3
RE2 14 10 2.773E3
REE 10 99 19.92E6
RO1 8 5 50
RO2 7 99 50
RP 3 4 30.31E3
VB 9 0 DC 0
VC 3 53 DC 2.100
VE 54 4 DC .6
VLIM 7 8 DC 0
VLP 91 0 DC 40
VLN 0 92 DC 40
.MODEL DX D ( IS=800.0E-18)
.MODEL QX PNP ( BF=250 IS=800.0E-18)
.ENDS

```

Dopo il nome LM 358 vengono forniti i nodi del modello 1, 2, 3, 4, 5. La corrispondenza dei nodi tra modello e schema (pinassignment) purtroppo non è fornita in chiaro. Verrà svelata, nel paragrafo 13.7 dove dovremo eseguire i collegamenti.

Disponiamo adesso dei due sub circuiti che ci permetteranno di creare un unico modulo di filtro.

13.6 Creazione di un nuovo componente: Filtro P.basso integrato.

Dobbiamo ora creare un nuovo componente che è un modulo di filtro p.basso, realizzato inserendovi e collegando tra loro i due sub circuiti resi ora disponibili.

Si parte dal disegno del modulo dopo aver aperto e salvato un nuovo progetto.

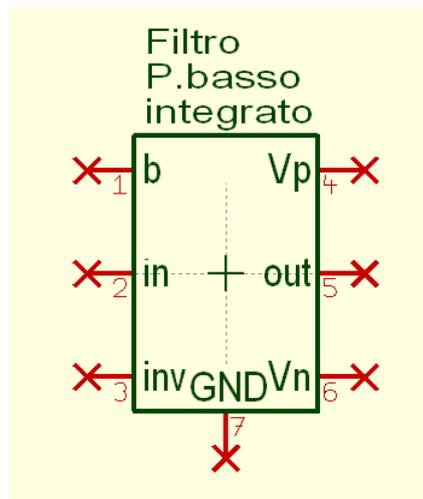


Fig.13.4

Si riconoscono le nomenclature dei nodi cui è stata assegnata una numerazione da 1 a 7. Abbiamo dovuto sdoppiare il nodo b – inv (vedi schema fig.13.3) Infatti non è eliminabile perché esegue il collegamento dei due sub-circuiti e perciò deve essere menzionato, ma se si accomuna in uno solo, crea dei problemi di simulazione. Collegheremo esternamente il nodo b con inv.

13.7 Inserimento dei modelli di simulazione nel modulo

Dobbiamo a questo punto inserire nel nuovo componente i due sub-circuiti.

Copiamo nel Clipboard il listato della rete riportato a pag.91, poi apriamo la finestra *Components* (Tab F2) e cerchiamo il Filtro Pbasso integrato che abbiamo chiamato RetePbasso. M2 nella sua casella a sinistra > *Symbol, package, 3D, Simulation* > *Edit simulation model* > *Search* > Freccia blu di destra > *Reload from* > *Clipboard* . Deve apparire il nome “RetePbasso” preceduta da una casellina grigia. Se fosse rossa ci sarebbero degli errori. M1 > *Import*. Il modello viene acquisito in libreria e passa nel riquadro di sinistra. Vi saranno messaggi vari di refresh da accettare.

Il primo sub-circuito è stato sistemato. Per quello dello LM358 controllare che sia presente scorrendo la lista nello stesso riquadro di sinistra.

L’inserimento dei due sub-circuiti nel modulo avviene con M1 su *Select* > *Device list* > *Add* > icona del sub circuito *Device sub-circuit* della lista dei *Modelcards*. Cercare nella casella *Subcircuit* il nome RetePbasso e fare M1. Poi M1 su *Pinassignment* e si eseguono i collegamenti tra i piedini numerati del modulo e i nodi della rete per trascinamento da sinistra a destra.

La corrispondenza è la seguente:

Piedini del modulo > Nodi del listato

2	in
7	GND
5	out
1	b

Salvare > OK.

E' giunto il momento di inserire il modello dell'operazionale LM358. Tornare nella finestra *Model as a list of submodels.* > Add > Device subcircuit > cercare LM358 e fare M1. Poi M1 su *pinassignment*. Eseguire i collegamenti come fatto prima seguendo la corrispondenza seguente:

Nodi dello schema elettrico		Assegnazione		
Nome	N° pin schema	Nodi	Modello LM358	
b	1	7	> 1	Ingresso non invertente
In	2	1	> 2	Ingresso invertente
Inv	3	4	> 3	Vp alimentazione +
Vp	4	6	> 4	Vn alimentazione -
Out	5	5	> 5	Uscita
Vn	6			
GND	7			

Salvare e chiudere la finestra della simulazione. Il modulo è ora dotato di modello di simulazione.

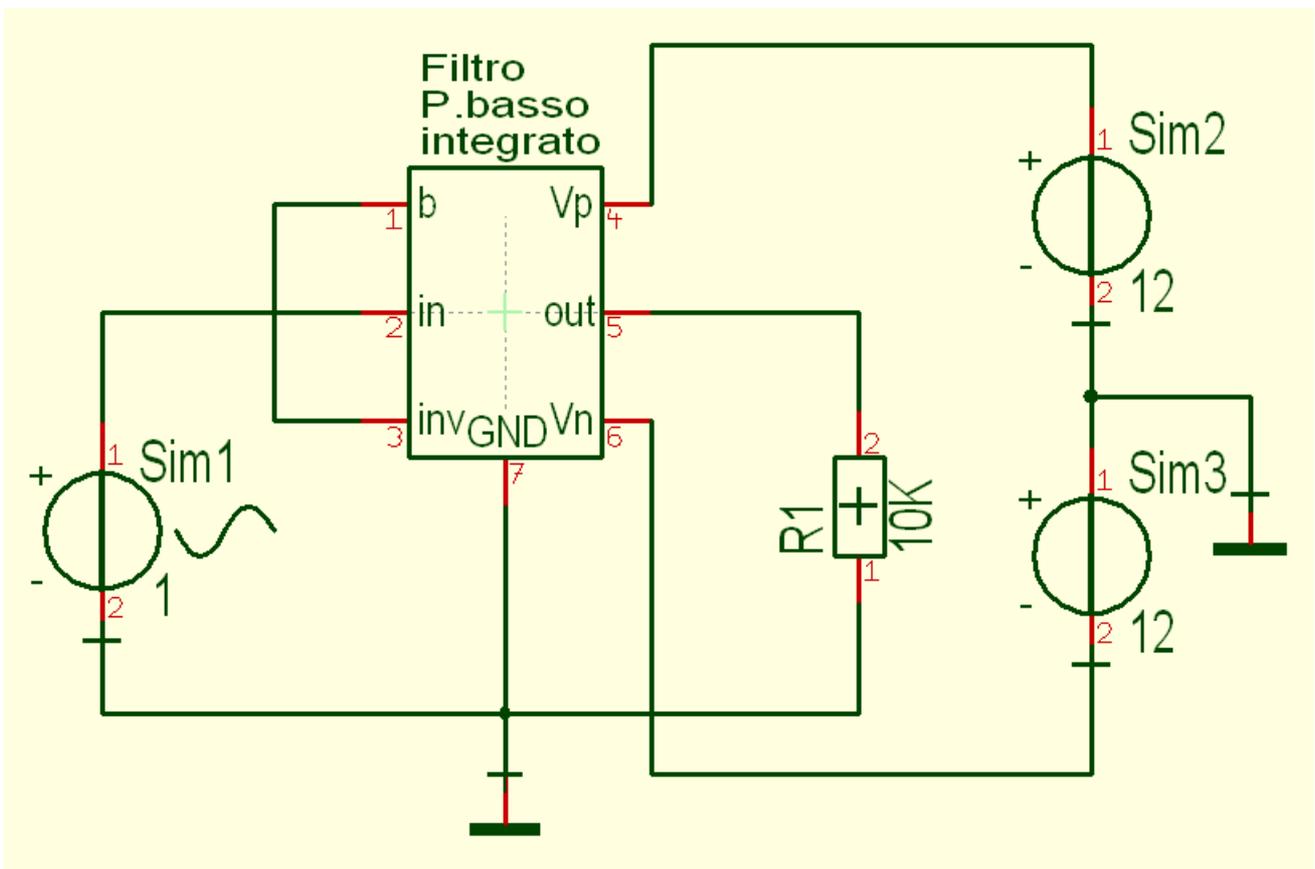


Fig.13.5

13.8 Collegamento del modulo e collaudo.

Il modulo creato come nuovo componente integrato dovrà essere collegato al mondo esterno come da schema precedente (fig.13.5) che eseguiremo dopo aver aperto un nuovo progetto.

La resistenza R1 è necessaria solo per disporre del collegamento di uscita, ma il suo valore non influenza il funzionamento.

Abbiamo inserito le due sorgenti di tensione continua duali che vanno collegate ai piedini corrispondenti del modello e forniscono l'alimentazione all'operazionale in esso racchiuso.

E' giunto finalmente il momento di eseguire il collaudo.

Alla tensione sinusoidale in ingresso assegnare 1 V sia ad *AC magnitude* che a *VA*. Frequenza $F=1\text{KHz}$.

Sostituire il nome del collegamento di uscita con *out* e quello di ingresso con *in*.

Aprire la simulazione tipo *Standard*. In *Extended settings* assegnare $10\text{m}-5\text{m}-5\text{u}-50\text{u}$ e deselezionare le condizioni iniziali. M1 su *Edit selection* > M2 su *Add* > M1 su *Voltage against ground* > *out*.

M1 su *Start simulation*. Deve apparire una senoide con ampiezza di 1V.

Si passa ora alla simulazione della banda passante.

Extended > *AC analysis* > *Edit* > *Start frequency* = 0 > *End frequency* = 20KHz > *N° freq. points* = 100.

Se tutto è andato bene dovrebbe apparire l'immagine sottostante (fig.13.6) identica alla 13.2, a conferma che abbiamo realizzato un modulo corretto.

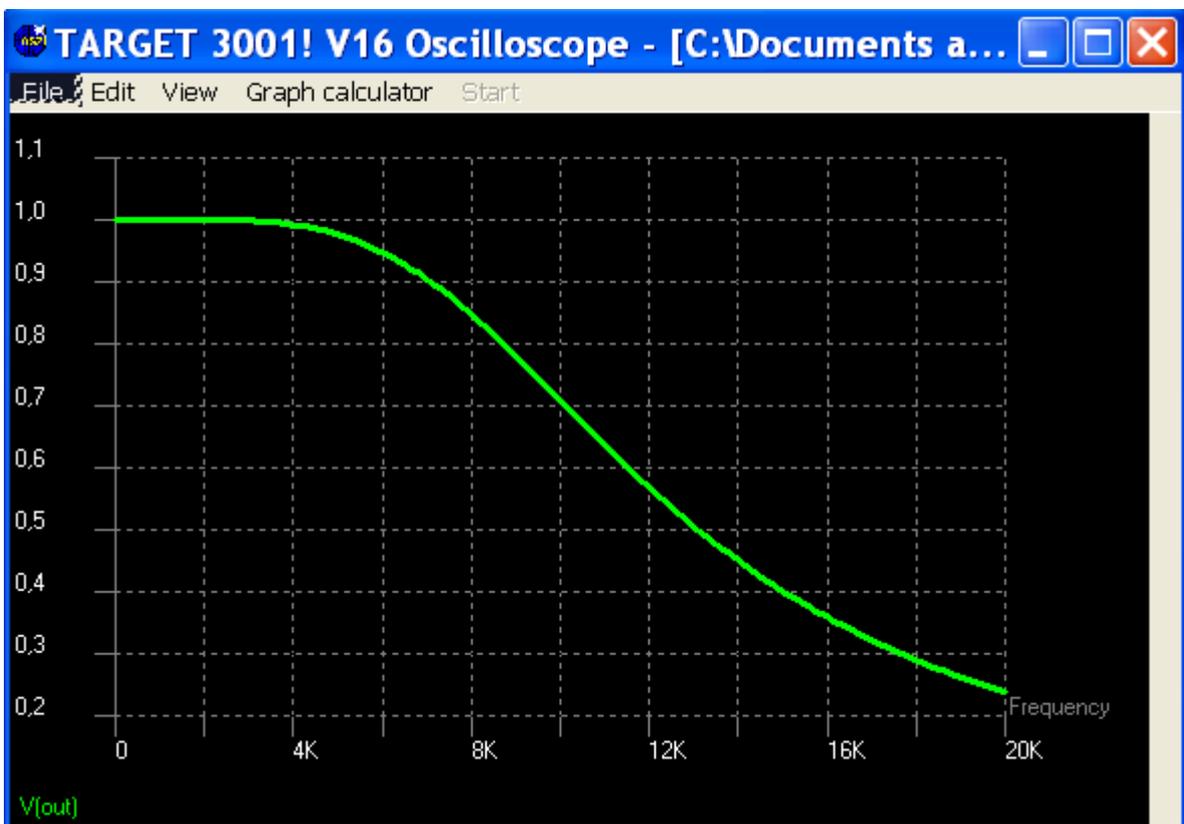


Fig.13.6

Possiamo anche provare a cambiare i parametri che lo governano, quali la banda passante e il guadagno. Fare M11 sul modello, poi *Simulation value* > *Edit* > M11 su *Device subcircuit ModPbasso*. Impostare i nuovi valori sostituendo quelli di default.

13.9 Modulo di filtro passa alto.

Se siamo soddisfatti di quanto fatto finora possiamo anche realizzare facilmente un modulo di filtro passa alto. Sono forniti di seguito lo schema elettrico e le formule di progetto.

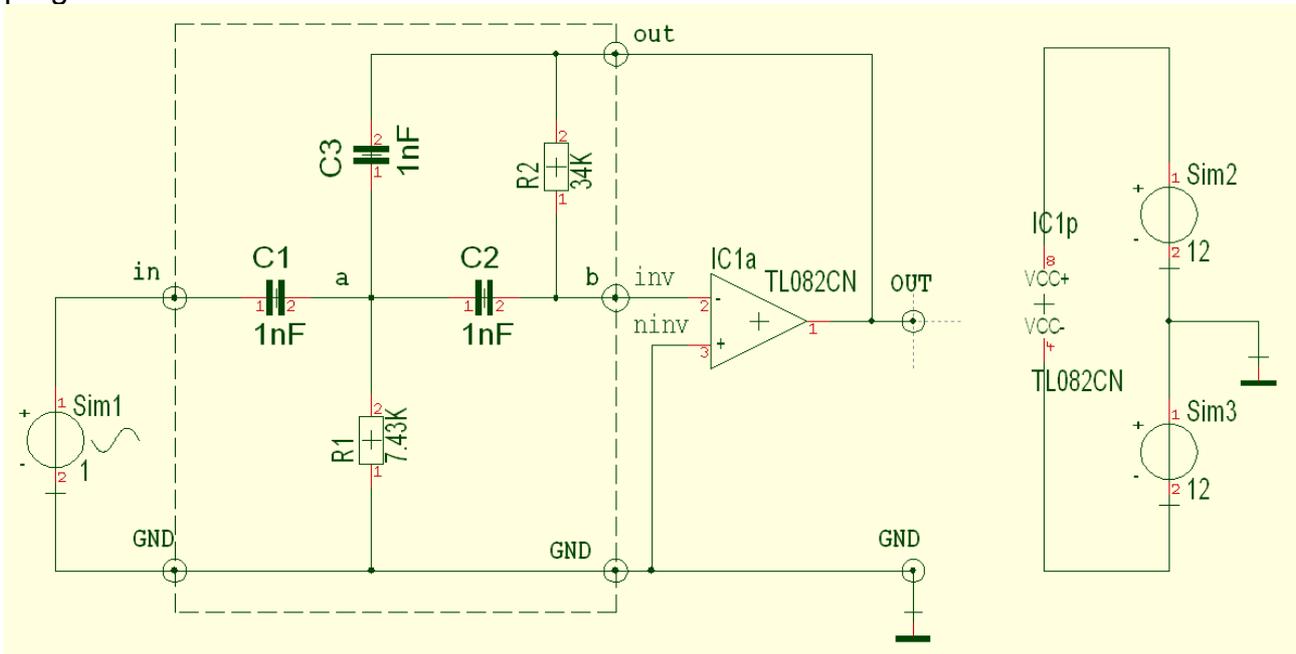


Fig.13.6

$$C2 := C1 \quad C3 := \frac{C1}{A} \cdot 10^9 \quad R1 := \frac{10^{-3}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Q \cdot \left(2 + \frac{1}{A}\right) \cdot C1} \quad R2 := \frac{Q \cdot A \cdot \left(2 + \frac{1}{A}\right)}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C1} \cdot 10^{-3}$$

Capacità espresse in nF e resistenze in Kohm.

Per il progetto si fissa la frequenza di taglio $f=10K$, il guadagno $A = 1$, la cifra di merito $Q=0.714$ e si fissa arbitrariamente $C1 = 1nF$.

Possiamo quindi passare alla simulazione, prima di tipo standard poi Extended e visualizzare la risposta in funzione della frequenza.

Per creare un modulo di filtro passa alto come nel caso precedente si fa copia del componente "Filtro Pbasso integrato" e si modifica solo il nome del componente e nel disegno dello schema elettrico si sostituisce la scritta in alto con " Filtro P.alto integrato". Si sostituisce il sub-circuito solo per la rete dei componenti passivi perché quello dell'operazionale è identico. La net list è la seguente:

```
*
*
*****Filtri attivi del 2° ordine***
*****Rete passa alto*****
*
.SUBCKT RetePalto in GND out b PARAMS: f=10K A=1 Q=0.714 C1=1nF
C2=1nF
*
C1 in a {C1}
```

```

C2 a b      {C1}
C3 a out    {C1/A}
R1 a GND    {1/(2*pi*f*Q*(2+(1/A))*C1)}
R2 b out    {(Q*A*(2+(1/A)))/(2*pi*f*C1)}
*
.ENDS

```

La simulazione AC fornisce il seguente grafico della banda passante

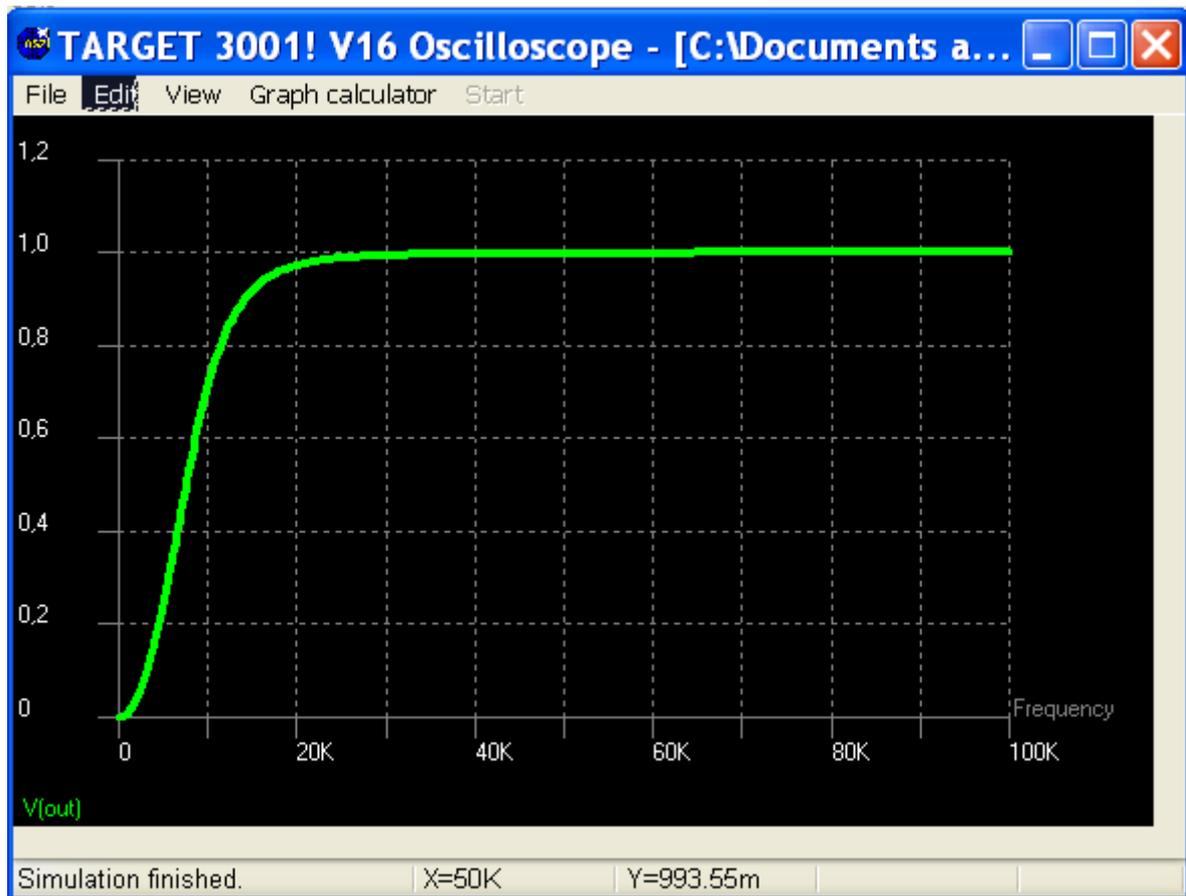


Fig.13.7

La frequenza di taglio a 3dB (0,707 vi) accade a 10KHz come da richiesta e il guadagno è unitario.

Per vedere la pendenza della banda passante per bassi valori della frequenza, impostare nella analisi AC i seguenti valori

Extended > AC analysis > Edit > Start frequency =0 > End frequency = 10KHz > N° freq. points = 100.

Si vede (fig.13.8) che a 10KHz il segnale cade a 3dB (0,707 vi) e ad una ottava sotto, cioè a 5KHz il segnale cade a 0,25 vi, essendo un filtro del 2° ordine.

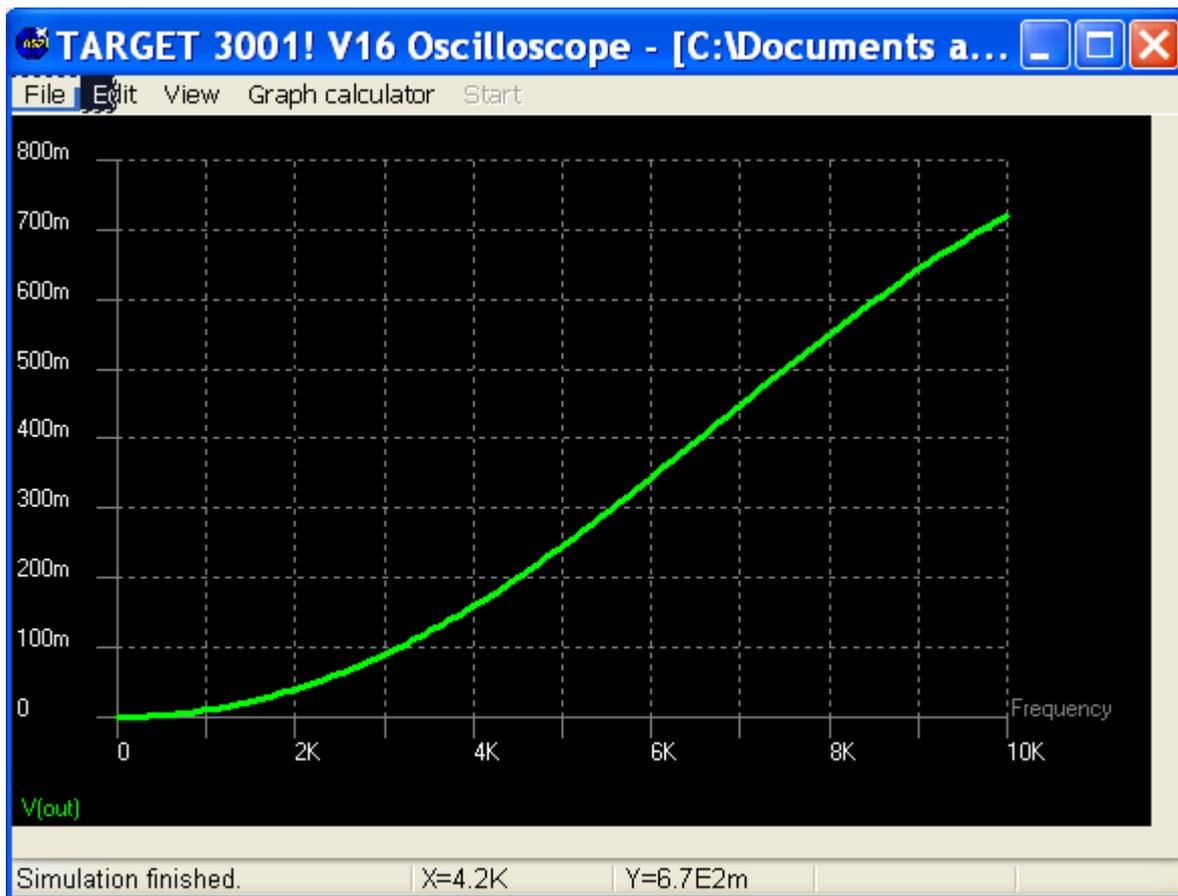


Fig.13.8

I due moduli, alto e basso possono essere collegati in cascata e programmati per formare un filtro passa banda programmabile.