

Enrico Ambrosini

Starter Kit per Multisim 13

testo di supporto ai corsi

Elettrotecnica ed Elettronica

Telecomunicazioni

© 2014 RCS Libri S.p.A. - Milano

Prima edizione: gennaio 2009

Seconda edizione: gennaio 2012

Terza edizione: gennaio 2014

© 2008-2013 National Instruments Corporation. Tutti i diritti riservati. LabVIEW, National Instruments, NI e ni.com sono marchi commerciali di National Instruments. Altri prodotti e nomi aziendali citati sono marchi commerciali delle rispettive aziende.

I diritti di traduzione e riproduzione, totali o parziali anche ad uso interno e didattico con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i paesi.

Per segnalazioni o suggerimenti relativi al presente testo scrivere a:
Direzione Editoriale RCS Libri S.p.A. - Divisione Education, via Rizzoli 8, 20132 Milano, fax 02 25842351.
L'editore è presente su Internet all'indirizzo: www.rcseducation.it.
Indicazioni ed aggiornamenti relativi al presente volume saranno disponibili sul sito.

L'editore è a disposizione degli aventi diritto con i quali non gli è stato possibile comunicare per eventuali involontarie omissioni o inesattezze nella citazione delle fonti dei brani o delle illustrazioni riprodotte nel volume. L'editore si scusa per i possibili errori di attribuzione e dichiara la propria disponibilità a regolarizzare. Le immagini utilizzate in questo libro non vanno interpretate come una scelta di merito da parte dell'editore, né come invito all'acquisto di prodotti. Le illustrazioni o riproduzioni sono state riportate a scopo esclusivamente didattico.

Premessa

Gli Starter Kit per Multisim 13 e Ultiboard 13 sono concepiti come supporto ai corsi *Elettrotecnica ed Elettronica* edizioni 2012, 2013 e 2014 e *Telecomunicazioni edizione 2012*, della casa Editrice Tramontana. Come tali, non affrontano tutti gli aspetti legati a questi software ma si limitano a fornire un aiuto a comprendere al meglio le modalità operative delle molte simulazioni e i molti progetti di PCB proposti nel suddetto corso.

I volumi del corso che potranno trovare pieno supporto da questi scritti sono:

Elettrotecnica ed Elettronica vol. 1 + DVD edizione 2012

ISBN 978-88-2333513-4

Elettrotecnica ed Elettronica vol. 2 edizione 2012

ISBN 978-88-233-3612-4

Elettrotecnica ed Elettronica vol. 2 + fascicolo per articolazione Elettronica edizione 2012

ISBN 978-88-2333686-5

Elettrotecnica ed Elettronica vol. 2 + fascicolo per articolazione Elettrotecnica edizione 2012

ISBN 978-88-2333685-8

Elettrotecnica ed Elettronica vol. 3 per articolazione Elettronica edizione 2014

ISBN 978-88-2333522-6

Elettrotecnica ed Elettronica vol. 3 per articolazione Elettrotecnica edizione 2014

ISBN 978-88-2333521-9

Elettrotecnica ed Elettronica vol. 3 per articolazione Automazione edizione 2014

ISBN 978-88-2333526-4

Telecomunicazioni vol. unico + DVD edizione 2012

ISBN 978-88-2333422-9

Telecomunicazioni vol. 1 + DVD edizione 2012

ISBN 978-88-2333436-6

Telecomunicazioni vol. 2 edizione 2012

ISBN 978-88-2333417-5

Telecomunicazioni vol. 3 edizione 2014

ISBN 978-88-2333430-4

Elettrotecnica ed Elettronica 1 per articolazione Elettrotecnica edizione 2014

ISBN 978-88-2334392-4

Elettrotecnica ed Elettronica 2 per articolazione Elettrotecnica edizione 2014

ISBN 978-88-2334200-2

Elettrotecnica ed Elettronica 3 per articolazione elettrotecnica edizione 2015

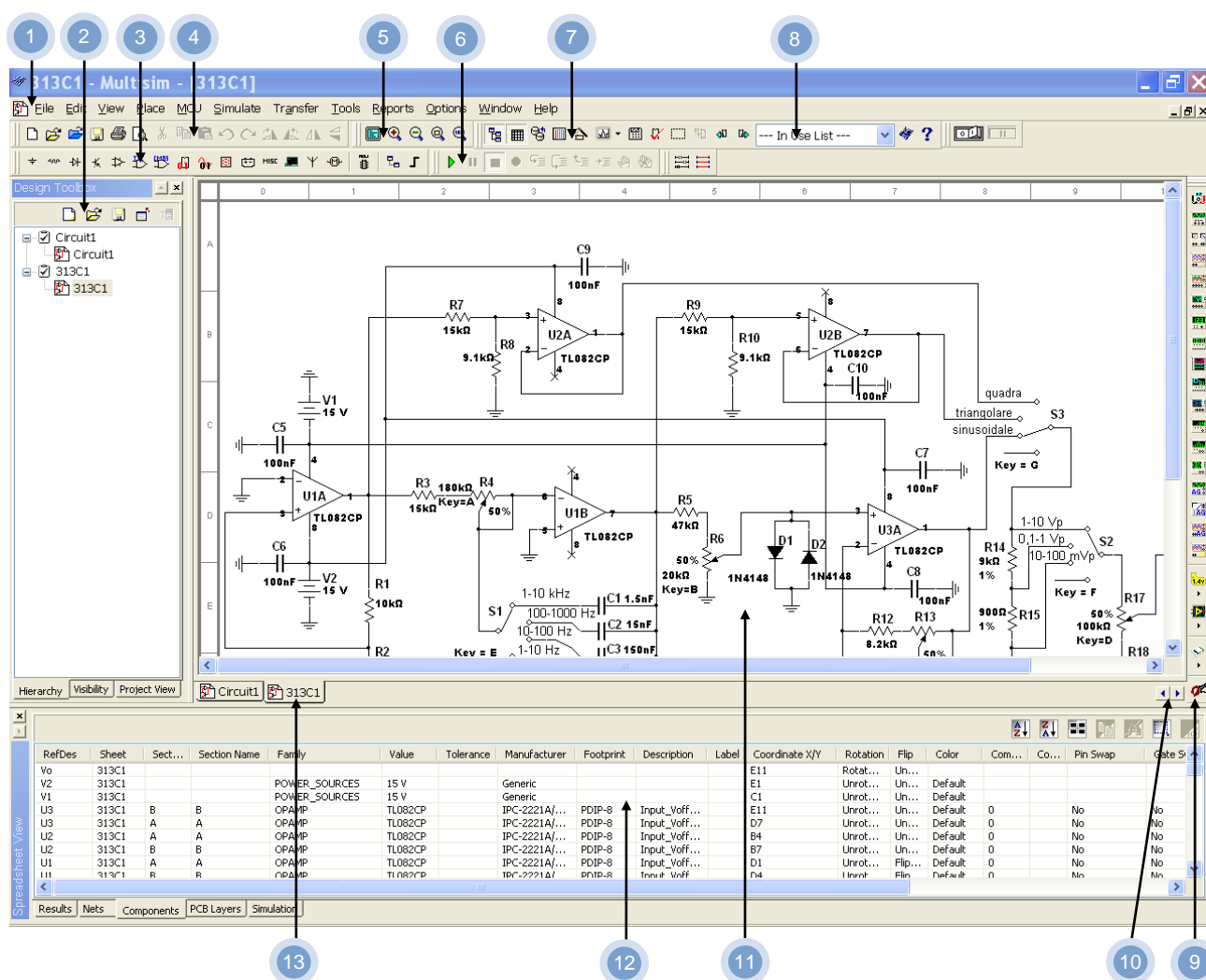
In preparazione

Indice

1. Introduzione all'uso di Multisim	5
2. La realizzazione di un circuito	6
2.1. I componenti e il loro inserimento	6
2.2. Posizionamento e collegamento componenti	8
2.3. Le funzioni copia, taglia e incolla	9
3. La personalizzazione	9
3.1. La personalizzazione dei comandi	9
3.2. La personalizzazione del circuito	10
3.3. La personalizzazione del componente	12
4. La funzione Capture screen area	13
5. Gli strumenti di Multisim	13
6. La simulazione	14
7. L'analisi in DC	14
7.1. Uso degli strumenti di misura	15
7.2. Uso del menu Simulate	16
8. L'analisi nel dominio del tempo	18
8.1. Analisi a regime periodico con l'oscilloscopio	18
8.2. Uso del generatore di funzioni	19
8.3. Analisi a regime periodico con il menu Simulate	19
8.4. Analisi in transitorio con l'oscilloscopio	21
8.5. Analisi in transitorio con il menu Simulate	21
8.6. Il caso particolare del regime sinusoidale	22
8.7. La misura della potenza a regime sinusoidale	24
9. Il tracciamento dei diagrammi di Bode	24
9.1. Il tracciamento dei diagrammi di Bode di una funzione di trasferimento con il Bode Plotter	24
9.2. Il tracciamento dei diagrammi di Bode di una funzione di trasferimento con il menu Simulate	25
9.3. Il tracciamento dei diagrammi di Bode partendo dal circuito	26
10. L'analisi armonica	27
10.1. L'uso del menu Simulate	27
10.2. L'uso dello strumento Spectrum Analyzer	28
11. L'analisi dei circuiti digitali	29
11.1. Lo strumento Logic Converter	29
11.2. L'uso del Word Generator e del Logic Analyzer	30
12. La creazione di blocchi funzionali	31
12.1. Il percorso Place>New Subcircuit	31
12.2. Simulazioni analogiche e simulazioni digitali	32
12.3. Il percorso Place>New Hierarchical Block	32
13. La simulazione in modalità sweep	32
13.1. La simulazione DC sweep	32
13.2. La simulazione Parameter sweep	33
14. I dispositivi elettromeccanici	34
15. L'elettronica di potenza	36
16. I connettori di Multisim	37
16.1. Il collegamento a Bus	37
17. Due importanti funzionalità	38
17.1. La funzione Converge Assistant	38
17.2. La funzione update component	38
18. Altri strumenti di misura	39
18.1. Gli strumenti commerciali Agilent e Tektronix	39
18.2. Gli strumenti creati in LabVIEW	39
18.3. I supporti didattici NI ELVIS II e NI MyDAQ	39
19. Ulteriori possibilità offerte da Multisim	40
19.1. La simulazione dei microprocessori	40
19.2. Progettazione e simulazione di circuiti con PLD	41
19.3. I circuiti ladder	41
20. Interazioni con LabVIEW	41
21. Funzionalità per la didattica	42
21.1. Le restrizioni	42
21.1.1. Le restrizioni globali	42
21.1.2. Le restrizioni sul circuito	42
21.2. Inserimento guasti	42
21.3. Rottura componenti	42
21.4. Montaggio su breadboard con visualizzazione 3D	42
21.5. Progettazione assistita	43
22. Per ulteriori approfondimenti	43

1. Introduzione all'uso di Multisim

Di seguito è riportata la schermata iniziale di Multisim: può darsi che a chi legge, dopo l'installazione, si presenti leggermente diversa: dipende dalla personalizzazione che si può fare, sia nella scelta delle icone, sia nella posizione dei diversi menu che è possibile spostare trascinandoli con il mouse (per sbloccarli **Options/Lock Toolbars**).



1 Menu Bar	5 View Toolbar	8 In Use List	11 Circuit Window
2 Design Toolbox	6 Simulation Toolbar	9 Instruments Toolbar	12 Spreadsheet View
3 Component Toolbar	7 Main Toolbar	10 Scroll Toolbar	13 Active Tab
4 Standard Toolbar			

La **barra dei menu** (*Menu Bar*) ci permette di poter accedere ai menu delle diverse funzioni.

Il **Toolbox di progetto** (*Design Toolbox*) permette di visualizzare la gerarchia delle diverse fasi dei progetti aperti.

La **barra dei componenti** (*Component toolbar*) contiene i tasti per la selezione dei componenti da inserire nel circuito da realizzare.

La **barra standard** (*Standard toolbar*) contiene i tasti per le funzioni più comuni come salva, stampa, taglia e incolla.

La **barra per la visualizzazione** (*View toolbar*) contiene i tasti per modificare le modalità di visualizzazione (tutto schermo, ingrandimento e riduzione immagine).

La **barra delle simulazioni** (*Simulation toolbar*) contiene i tasti per funzioni di simulazione inizio, pausa, interruzione ed altro.


La **barra principale** (*Main toolbar*) contiene i tasti per le funzioni più comuni di Multisim.

L'**elenco in uso** (*In use List*) contiene l'elenco di tutti i componenti usati nel disegno.

La **barra degli strumenti** (*Instruments toolbar*) contiene i tasti per inserire gli strumenti di misura disponibili.

La **finestra del circuito** ovvero il luogo di lavoro (*Circuit Window*) è lo spazio dello schermo dove sviluppare i disegni dei circuiti.

La **vista del foglio elettronico** (*Spreadsheet View*) permette l'immediata osservazione e modificazione dei parametri circuitali. Gli utenti possono cambiare i parametri per uno o tutti i componenti ed effettuare un certo numero di altre funzioni.

Attenzione per ingrandire la finestra del circuito è possibile chiudere le finestre del foglio elettronico e del toolbox di progetto con gli appositi tasti . Per ripristinare entrare nel menu **View** e spuntare le specifiche voci.

2. La realizzazione di un circuito

Vediamo ora come è possibile realizzare uno schematico con Multisim.

2.1 I componenti e il loro inserimento


















Sono disponibili due categorie di componenti:


- 1) **reali**;
- 2) **virtuali**.

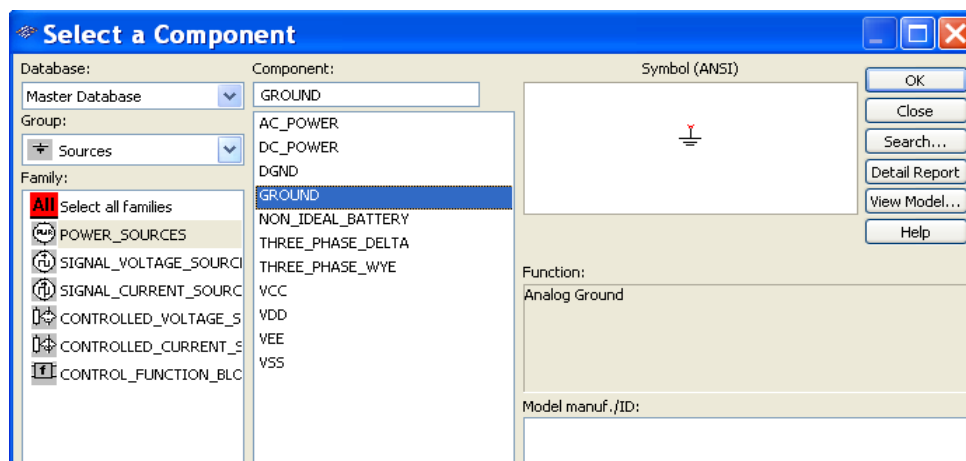
Quelli virtuali presentano la possibilità di definire a piacimento diversi parametri ma non dispongono di uno specifico contenitore e quindi vanno bene per personalizzare la simulazione, secondo specifiche esigenze, ma non vanno bene per la creazione di uno schematico da trasferire in Ultiboard per la creazione del PCB (comunque, a simulazione effettuata, si potrà sempre sostituire il componente virtuale con uno che ha il contenitore corretto).

Quelli reali hanno i parametri e i contenitori previsti dai costruttori dei singoli dispositivi.

Per inserire un componente nel circuito si può partire dal menu principale: **Place/Component/Master Database/Group** e scegliete il gruppo di componenti desiderati. In alternativa è possibile scegliere il gruppo dalla **Component Toolbar**, selezionando il tasto componenti desiderato:

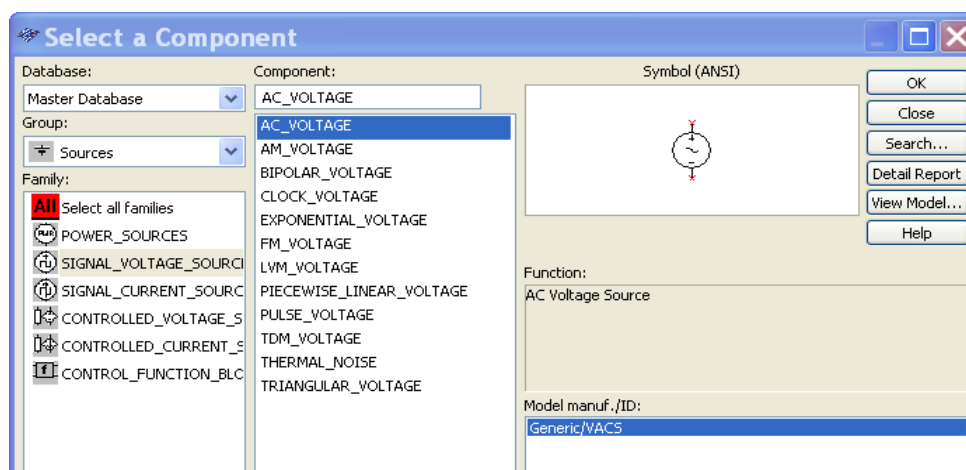
	Source: sorgenti di segnali continui e variabili, massa e massa digitale, blocchi funzionali
	Basic: componenti di base: resistori, condensatori, potenziometri, switch, relè, connettori ecc.
	Diodes: raddrizzatori, zener, tiristori, LED
	Transistor: BJT, JFET, MOSFET, Darlington ecc.
	Analog: operazionali, comparatori e altre funzioni speciali di tipo analogico
	TTL: integrati SSI e MSI delle diverse famiglie TTL
	CMOS: integrati SSI e MSI delle diverse famiglie CMOS
	Misc Digital: linee di trasmissione, memorie e altri dispositivi digitali
	Mixed: dispositivi vari: timer, multivibratori, switch analogici, PLL, ADC e DAC, ecc.
	Indicator: dispositivi di visualizzazione: voltmetri, amperometri, display, lampadine, buzzer, ecc.
	Power: alimentatori, tensioni di riferimento, dispositivi per controllo di fase e PWM, fusibili e driver
	Misc: trasduttori, accoppiatori ottici convertitori switching, linee in alta frequenza, ecc.
	Advanced Peripherals: tastiere numeriche, LCD ed altro
	RF: componenti per radiofrequenze
	Electromechanical: dispositivi elettromeccanici
	NI Component: connettori per DAQ
	MCU: microcontrollori 805x, PIC16F84A, RAM e ROM

Se, ad esempio, serve un simbolo di massa si preme il tasto  e si apre la finestra seguente:




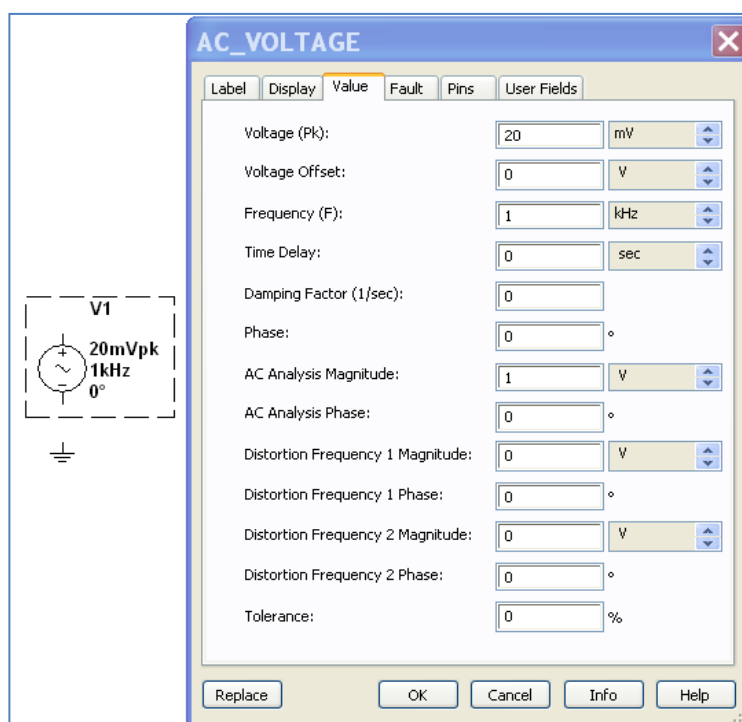
Si seleziona la famiglia **POWER_SOURCES**, il componente **GROUND** e si preme **OK**: apparirà il simbolo di massa che potrà essere trascinato con il mouse dove desiderato. Premendo il tasto sinistro del mouse si fisserà la sua posizione.

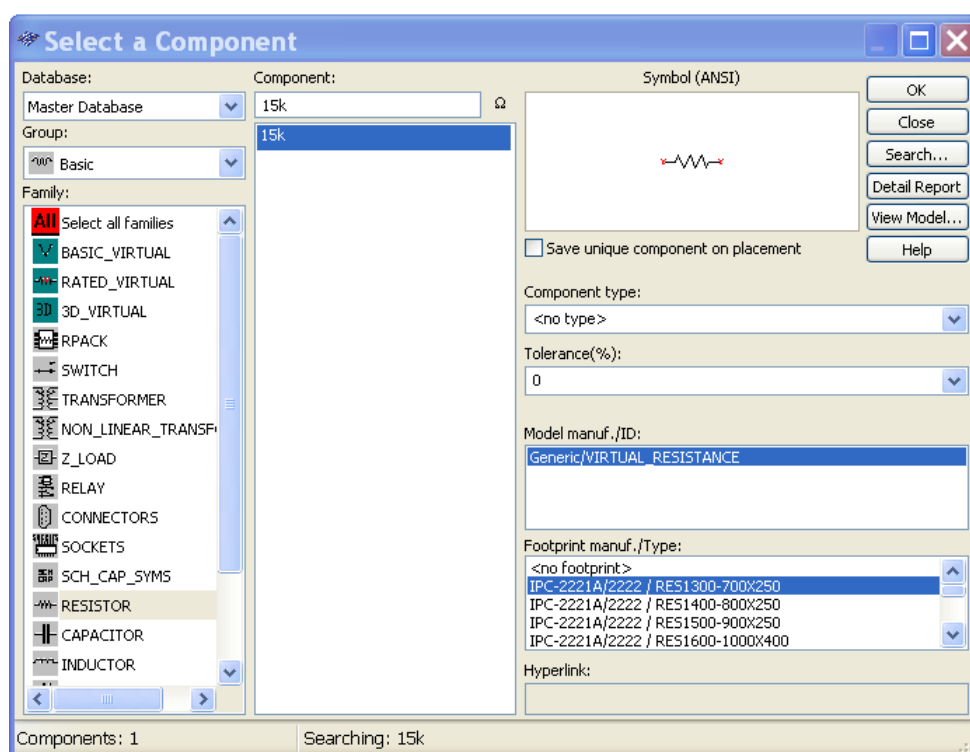
Dopo aver fissato la posizione della massa si riaprirà la finestra per la selezione dei componenti:



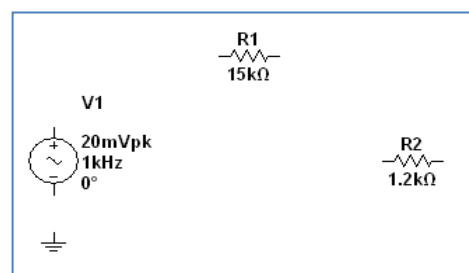
Se ora selezioniamo la famiglia **SIGNAL_VOLTAGE_SOURCE** e il componente **AC_VOLTAGE** premendo **OK** potremo inserire nel nostro circuito un generatore sinusoidale. Al riapparire della finestra per la selezione dei componenti premiamo **Close** per chiuderla, e tornare al circuito. Ora con un doppio clic sul generatore apriamo la finestra che ci permette di fissare i valori (noi abbiamo fissato un'ampiezza di picco di 20 mV e una frequenza di 1 kHz). Premendo **OK** si chiuderà la finestra e torneremo al circuito.

Supponiamo ora che si vogliano inserire due resistori uno da 15 kΩ e l'altro da 1,2 kΩ. Con il tasto  apriremo la finestra per la selezione dei componenti, dove sceglieremo la famiglia **RESISTOR** e fisseremo per il componente il valore 15k; se prevediamo di esportare il circuito in Ultiboard fissiamo anche il contenitore scelto (Footprint manuf.):





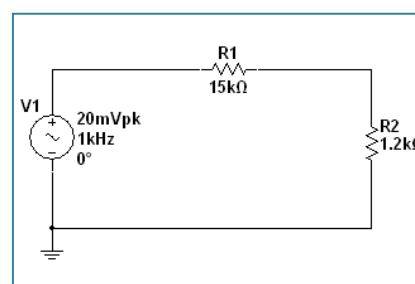
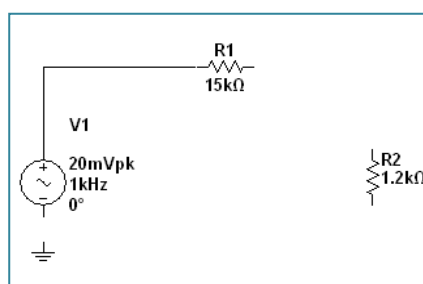
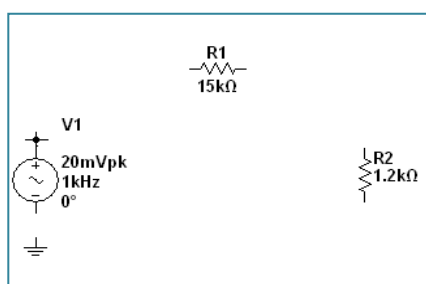
Premendo **OK** porteremo il resistore nel circuito e poi, procedendo allo stesso modo, porteremo nel circuito l'altro resistore fissando il valore 1.2k (attenzione mettere il punto e non la virgola). La situazione sarà del tipo a lato:



2.2 Posizionamento e collegamento componenti




A questo punto dobbiamo imparare a posizionare i componenti e a collegarli tra loro; in particolare per spostarli basta posizionare il cursore del mouse sul componente e tenendo premuto il tasto sinistro trascinare il componente dove si desidera. In modo analogo si può spostare la posizione del simbolo e del valore numerico del singolo componente. Prima di fare i collegamenti supponiamo che nel nostro esempio R2 debba essere ruotato di 90°: posizioniamo il cursore del mouse sul componente e premiamo il tasto destro: si aprirà un menu nel quale selezionerete la funzione indicata con il simbolo ; in alternativa è possibile personalizzare i comandi inserendo questo pulsante in una delle barre disponibili (vedi paragrafo 3). Per effettuare i collegamenti basterà spostare il cursore del mouse in corrispondenza di un terminale di componente: apparirà un simbolo del tipo indicato in figura sottostante a sinistra. Premendo il tasto sinistro e tenendolo premuto fino a raggiungere un altro terminale nascerà il filo di raccordo: un clic completerà il collegamento come nella figura sottostante centrale.

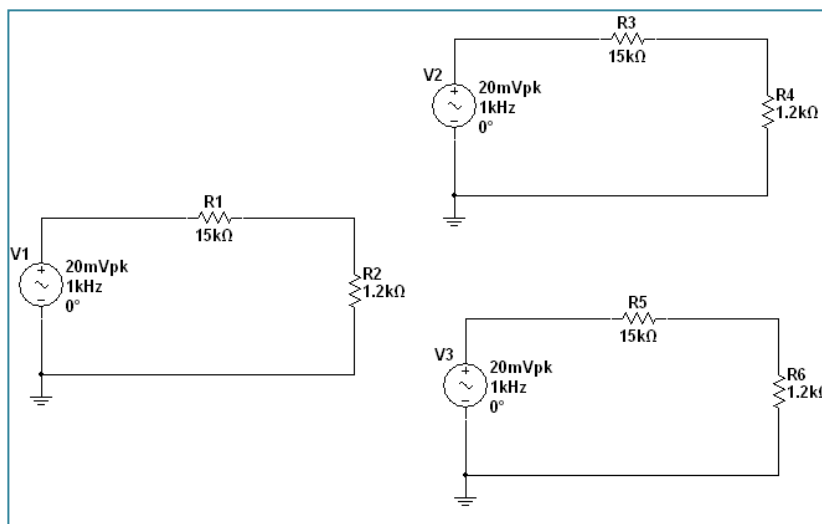
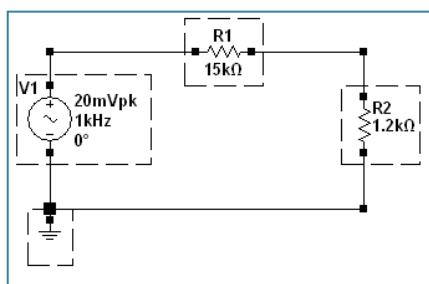
A questo punto procedendo allo stesso modo si completeranno i collegamenti come nella figura sottostante a destra: se necessario, i singoli componenti potranno ancora essere riposizionati o ancora con il mouse o, dopo averli evidenziati con il tasto destro del mouse, usando i tasti freccia del PC.



Talvolta può capitare di dover collegare due fili privi di terminali aperti in questo caso la procedura precedente non va bene. Si può risolvere il problema con **Place/Junction**: apparirà, trascinato dal cursore del mouse, un pallino che, posizionato su uno dei due fili, creerà un nodo. Ora partendo da questo nodo sarà possibile collegare i due fili.

2.3 Le funzioni copia, taglia e incolla

I tasti  **taglia** e  **copia** in abbinamento al tasto  **incolla** possono essere usati come nei programmi di Office e sono molto utili per copiare e ripetere componenti o parti di circuito da riprodurre uguali; se, ad esempio, con il tasto sinistro del mouse si evidenzia uno o più parti circuitali è possibile copiarle e poi incollarle: in figura a sinistra l'evidenziazione di tutto il circuito del nostro esempio, a destra il risultato del copia e incolla (il circuito copiato è stato incollato due volte).

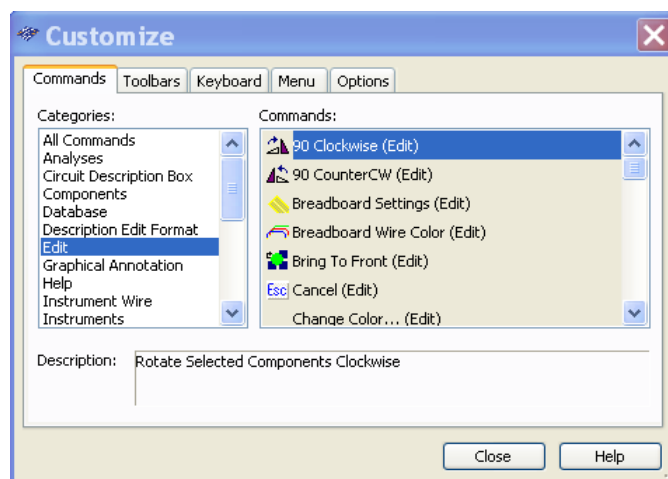


I valori elettrici dei singoli componenti incollati potranno poi essere modificati con un doppio clic su ognuno. Va peraltro osservato che le funzioni di taglia e incolla (ma anche quella di **Delete**) sono anche gestibili da mouse con le tipiche modalità di Office (tasto destro per aprire il menu e tasto sinistro per scegliere il comando).

3. La personalizzazione

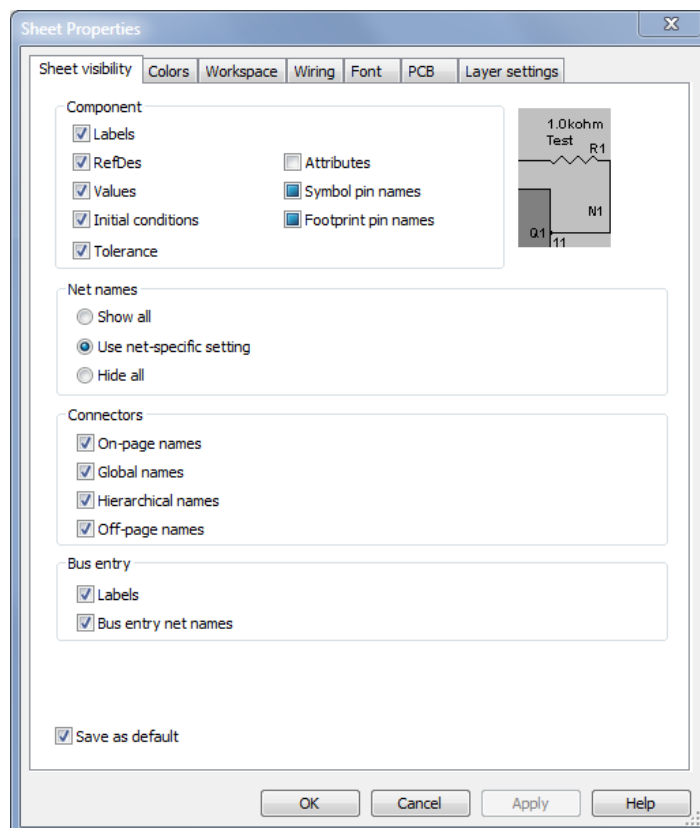
3.1 La personalizzazione dei comandi

Tramite il menu **Option/Customize Interface** è possibile aprire la finestra **Customize** e procedere all'inserimento nelle barre dei comandi di singoli pulsanti corrispondenti a specifici comandi di uso frequente raggiungibili così più velocemente piuttosto che attraverso i percorsi dei diversi menu. L'elenco è molto lungo e dipende da personali esigenze ed abitudini e quindi non ci si sofferma.



3.2 La personalizzazione del circuito

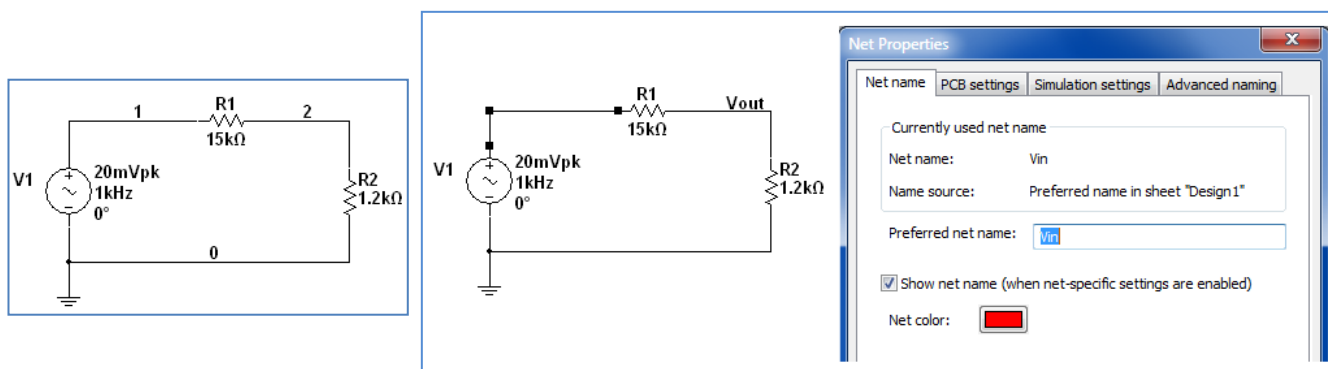
Tramite il percorso **Edit/Properties** si apre la finestra **Sheet Properties**:



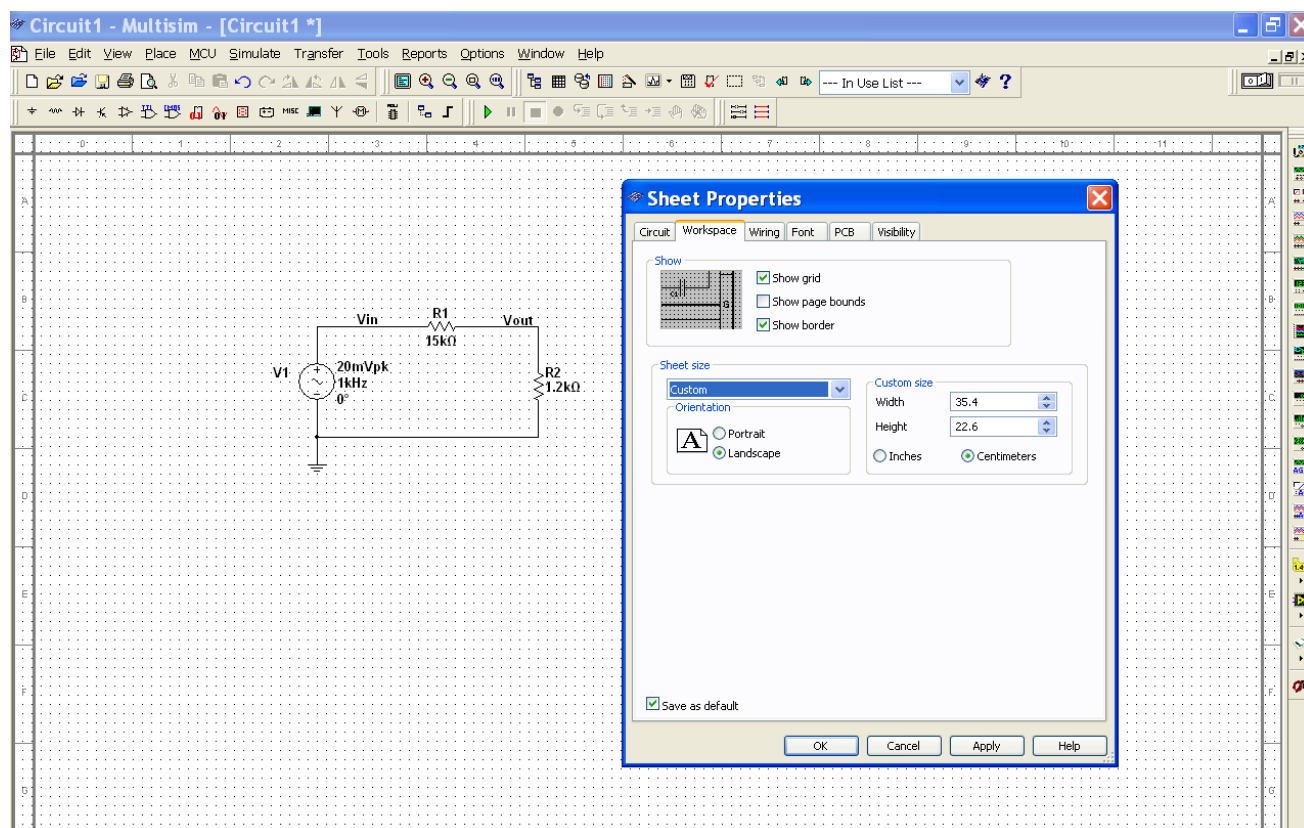
Con il pulsante **Color** sono definibili le modalità di visualizzazione. Tra le diverse modalità le più interessanti sono **White Background** (sfondo bianco e colori diversi per componenti e collegamenti), **White & Black** (bianco e nero), **Custom** (personalizzata nei diversi colori definibili a piacere).

Con il pulsante **Sheet visibility** (visibilità del foglio) si può stabilire cosa visualizzare e in particolare:

- **Component.** Si consiglia di spuntare **Labels** per evidenziare eventuali etichette assegnate ai singoli componenti, **RefDes** per i simboli alfa numerici dei singoli componenti (R1, C2 ecc.), **Values** per i valori numerici dei parametri elettrici o per le sigle dei dispositivi elettronici (10 nF, 1 kΩ, LM741, 74HC00, ecc.). Altri termini potranno risultare utili su singoli componenti e verranno chiariti più avanti.
- **Net Names.** Con **Show All** vengono indicati i numeri di tutti i nodi del circuito (successiva figura a sinistra); con **Use Net-specific setting** vengono indicati solo i nodi scelti (figura centrale): con un doppio clic sul tratto di collegamento interessato si apre una finestra che permette di assegnare al nodo il valore voluto (spuntare **Show net name** e poi **OK**: immagine a destra con già assegnato il nome a un nodo (Vout) e in via di assegnazione l'altro); con **Hide All** si rinuncia alla visualizzazione dei nodi.

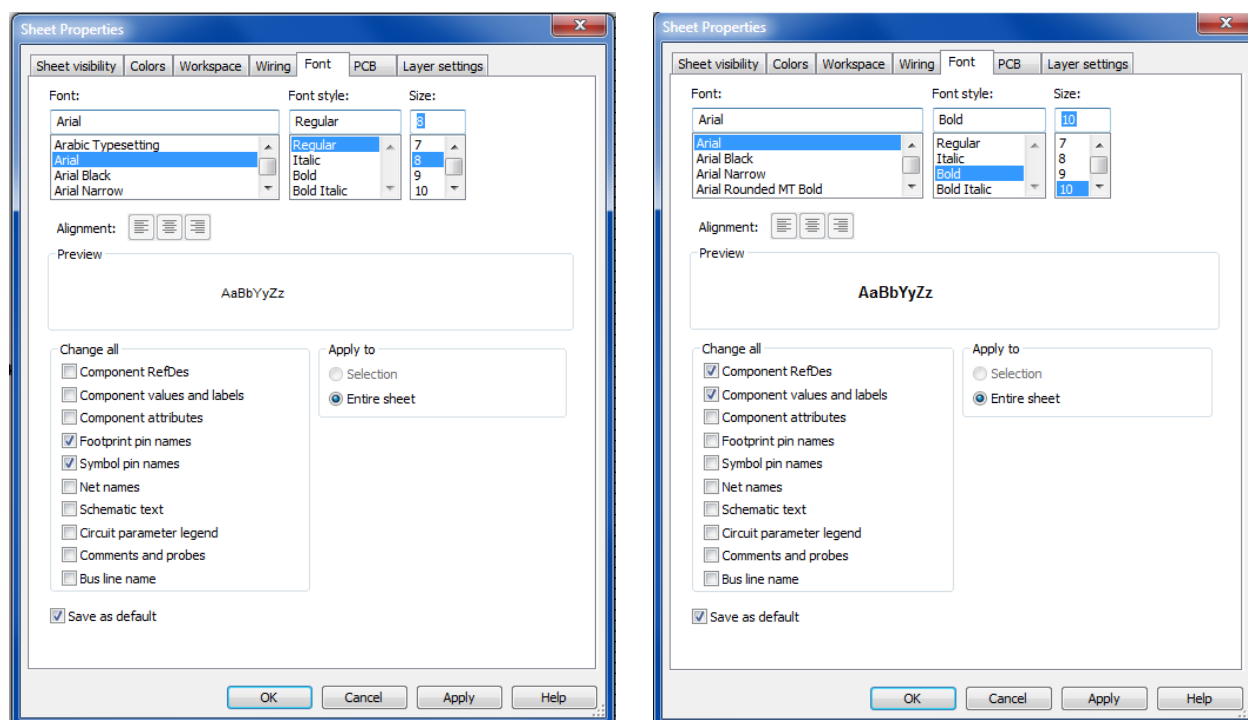


Con il pulsante **Workspace** è possibile stabilire la presenza/assenza della griglia (**Show grid**), mostrare i limiti della pagina (**Show page bond**), mostrare un bordo di contorno del foglio (**Show border**), definire il formato della pagina e qualora si decida di personalizzarlo (**Custom**) di definirne le dimensioni:

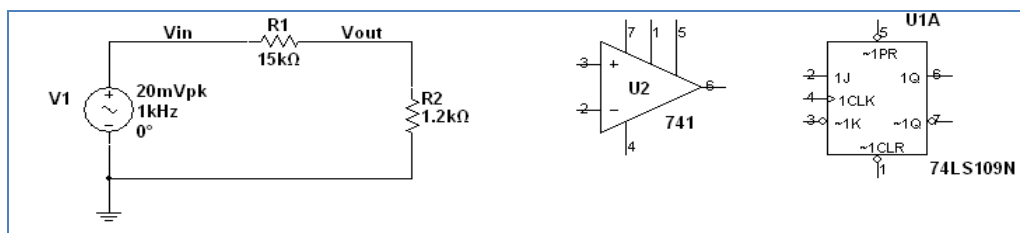


Attenzione, ai fini di sfruttare tutto lo schermo per la visualizzazione, la soluzione personalizzata è la migliore, mentre, ai fini della stampa, la scelta deve essere quella del formato dei fogli usati). Infine, si può anche stabilire l'orientamento del foglio.

Con il pulsante **Font** è possibile definire il tipo e il corpo del carattere per le varie funzioni di visualizzazione:

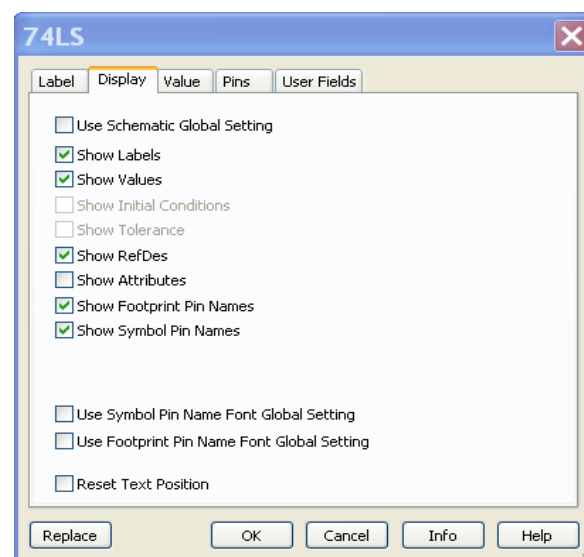
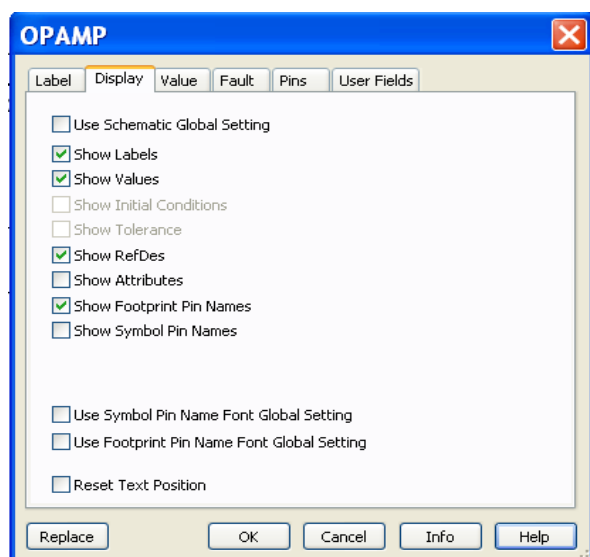


Nella finestra a sinistra sono definiti il carattere Arial con stile Regular e corpo 8 per i numeri e i simboli dei pin degli integrati. A destra si fissa il carattere Arial con stile Bold e corpo 10 per i riferimenti ai vari componenti, i valori dei parametri elettrici, le sigle dei dispositivi elettronici e le eventuali etichette. Il risultato sarà del tipo della seguente figura:

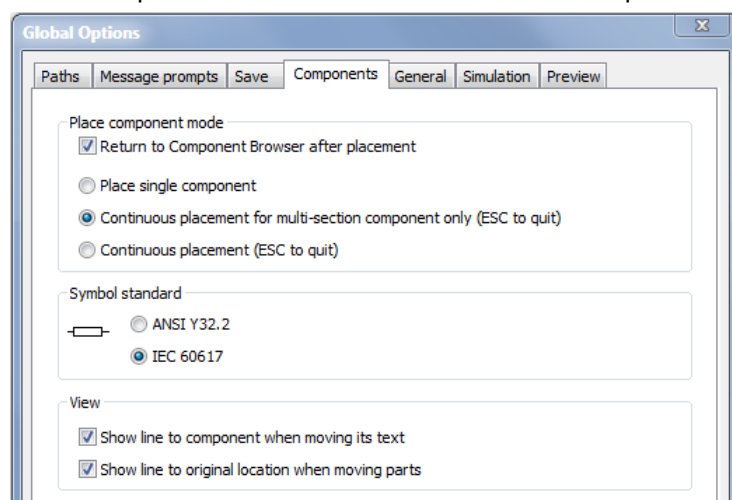


3.3 La personalizzazione del componente

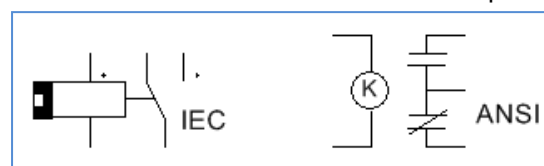
Se nella personalizzazione del circuito si è scelto di visualizzare solo i riferimenti dei vari componenti e i relativi valori, i dispositivi elettronici (transistor, diodi, integrati ...) appariranno senza i numeri ai piedini e senza i nomi simbolici assegnati ai vari terminali. Per risolvere questo problema si può agire con un doppio clic del mouse per aprire una finestra che permette la personalizzazione del singolo dispositivo:



A sinistra si è scelto, per un amplificatore operazionale, di evidenziare i numeri dei piedini ma non i nomi simbolici, perché con gli spazi disponibili si avrebbero delle sovrapposizioni che renderebbero incomprensibile lo schema. A destra per un dispositivo digitale della famiglia 74LS si è invece scelto di indicare anche i simboli dei diversi piedini. La situazione risultante sarà del tipo dell'ultima figura del precedente paragrafo 3.2.

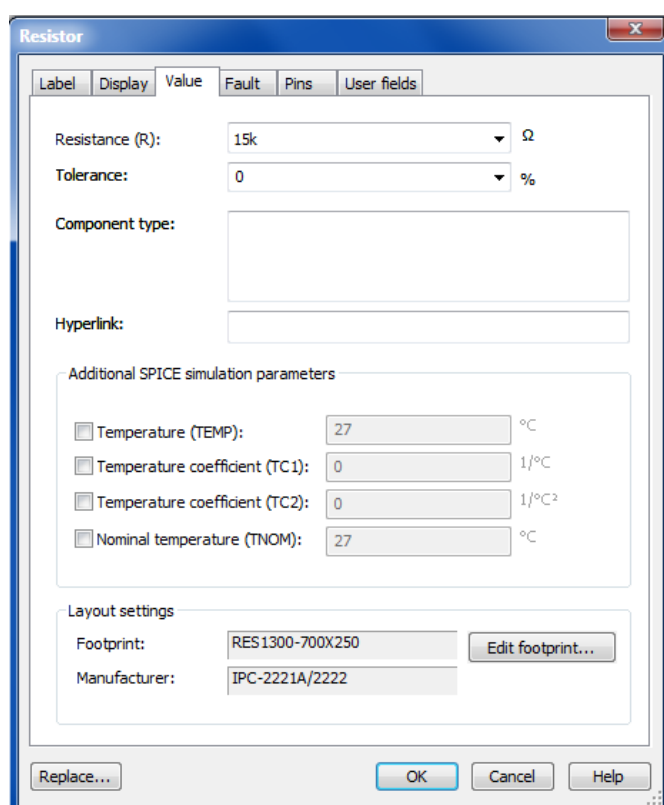
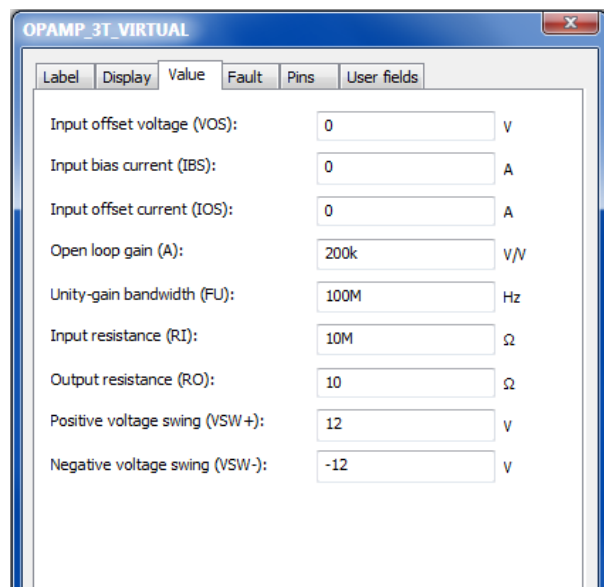


Con il percorso **Option/Global options/Components** è possibile scegliere la visualizzazione dei componenti secondo le norme ANSI o le norme IEC. Attenzione è possibile passare da una visualizzazione all'altra all'interno dello stesso schema perché la modifica agisce solo sui componenti non ancora inseriti. Sebbene i simboli delle norme ANSI siano i più diffusi in alcuni casi vale il contrario, ad esempio, per il relè è sicuramente più usato il simbolo DIN. Dovendo inserire questo




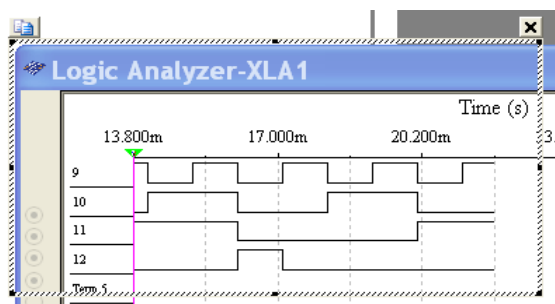
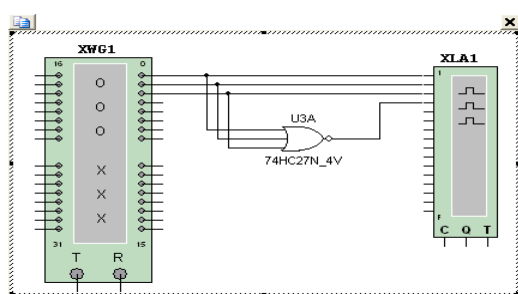
componente converrà quindi passare da ANSI a IEC e poi tornare ad ANSI.

Con un doppio clic sul singolo componente è anche possibile modificare a piacimento i parametri elettrici a componenti, come resistori e condensatori, ma anche ai dispositivi complessi, purché di tipo virtuale: a lato il caso di un resistore e sotto quello di un amplificatore operazionale virtuale.



4. La funzione Capture screen area

Con **Tools/capture screen area** (tasto ) è possibile aprire un rettangolo di dimensioni regolabili, che permette la cattura, negli appunti di Windows come immagine, dell'area contenuta nel rettangolo. In questo modo risulterà facile copiare circuiti e grafici di simulazione e trasferirli, ad esempio, in Word per realizzare una relazione, ma anche in Paint per manipolare l'immagine:



5. Gli strumenti di Multisim

Se ne possono considerare tre categorie:

- 1) quelli appositamente creati per Multisim;
- 2) quelli creati con LabVIEW e resi disponibili all'interno di Multisim;
- 3) quelli delle piattaforme ELVIS e MyDAQ della National Instruments e importabili per la simulazione all'interno di Multisim caricando gli appositi driver.

Per l'uso di questi strumenti, limitatamente ai più usati della prima categoria, si rinvia agli esempi sviluppati all'interno delle modalità di simulazione considerate nel prosieguo di questo breve manuale.

Per gli altri una essenziale, ma completa, panoramica verrà proposta nel par. 17.

Gli strumenti sono raggiungibili, oltre che con i pulsanti dell'apposita Toolbar (di seguito descritti), anche con il percorso **Simulate/Instruments**.

	Multimetro
	Generatore di funzioni
	Wattmetro
	Oscilloscopio a doppia traccia
	Oscilloscopio a 4 canali
	Bode plotter (per tracciare i diagrammi di Bode)
	Frequenzimetro
	Generatore di parole binarie
	Analizzatore di stati logici
	Convertitore logico (per creare il circuito logico dalla tabella della verità e viceversa)
	Tracciacurve (di diodi, transistor, triac...)
	Distorsimetro (per la misura della distorsione armonica)
	Analizzatore di spettro
	Analizzatore di reti (per applicazioni in alta frequenza)
	Generatore di funzioni Agilent 33120A (vedi anche par. 17)
	Multimetro Agilent 34401 (vedi anche par. 17)
	Oscilloscopio Agilent 54622D (vedi anche par. 17)
	Oscilloscopio Tektronix TDS2024 (vedi anche par. 17)
	Sonda per misurare tensione, corrente, frequenza, fase e guadagno
	Pinza amperometrica per la misura della corrente
	Strumenti provenienti da LabVIEW (vedi anche par. 17)
	Strumenti di Elvis e MyDAQ (disponibili solo installando i relativi driver; vedi par. 17)






Premendo sul singolo pulsante con il tasto sinistro del Mouse e tenendolo premuto si potranno trascinare gli strumenti nel circuito e procedere ai collegamenti procedendo come nella realizzazione dei circuiti.

Con un doppio clic con il tasto sinistro del mouse e con il cursore sullo strumento scelto è possibile ingrandirlo in modo da vederne tutti i comandi e funzioni.

6. La simulazione

Si possono considerare due tipi di simulazioni:

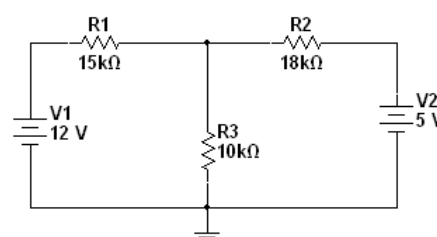
- 1) usando gli strumenti;
- 2) con il menu **Simulate**.

Nel primo caso, una volta inseriti gli strumenti, si deve avviare la simulazione con il tasto  o con l'interruttore . A simulazione attiva si potrà interromperla, sempre con lo stesso interruttore, o con il pulsante . Si può anche introdurre una pausa nella visualizzazione della simulazione con uno di questi pulsanti:  ; una volta ripresa, la simulazione ripartirà da dove si era fermata.


Nel secondo caso l'attivazione della simulazione avviene tramite il menu **Simulate** secondo le modalità descritte nei successivi paragrafi per i diversi tipi di simulazioni.

7. L'analisi in DC

Dopo aver realizzato lo schematico riportato a lato (ricordarsi di inserire la massa), è possibile procedere con due modalità diverse descritte di seguito.




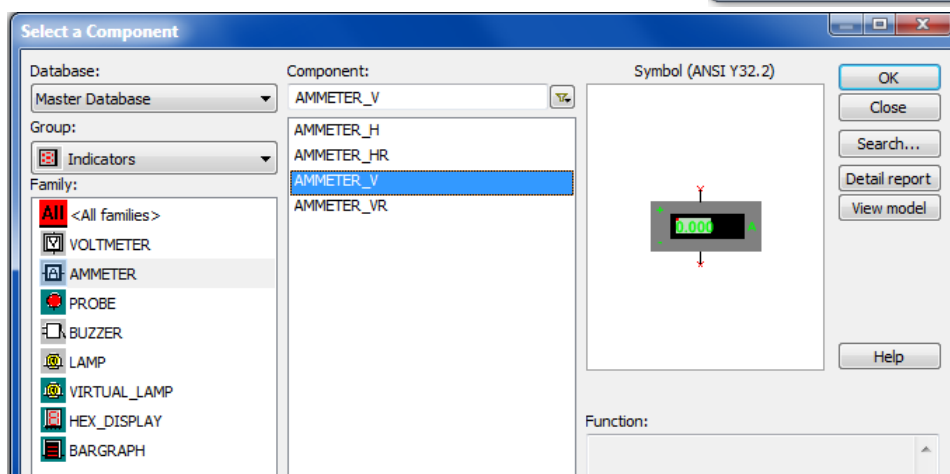
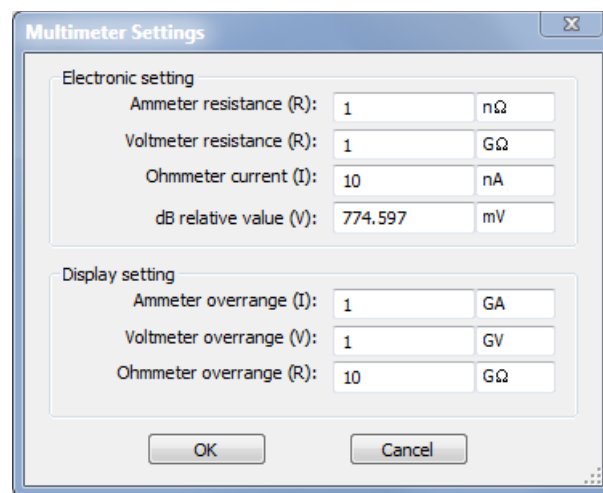
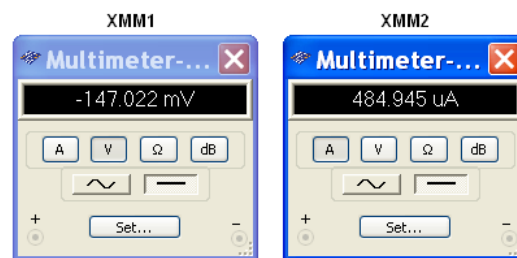
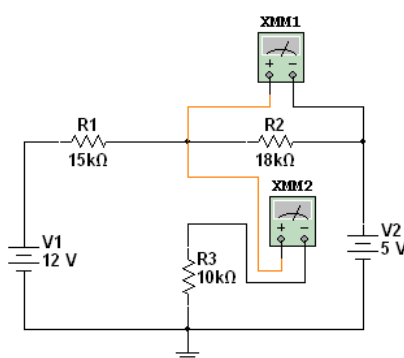
7.1 Uso degli strumenti di misura

Sono disponibili voltmetri, amperometri e sonde di misura. Per i voltmetri e gli amperometri si può scegliere il multimetro selezionabile tra gli strumenti di misura con il simbolo  (Multimeter).

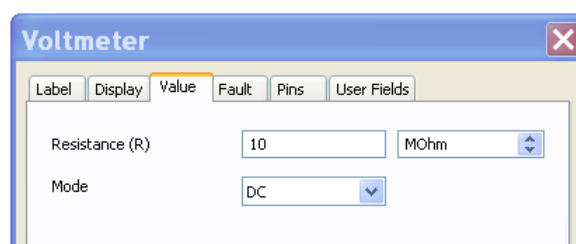
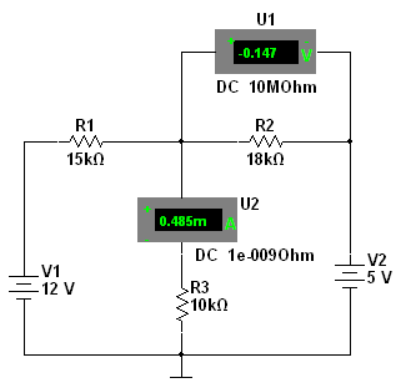
Nel nostro esempio abbiamo previsto una misura di corrente e una di tensione (doppio clic sui multimetri per ingrandirli) e attivando la simulazione si potranno leggere i valori numerici delle tensioni e correnti desiderate.


Il pulsante **Set..** permette di aprire una finestra per il settaggio dei parametri dello strumento: comunque i valori di default sono, nella maggioranza dei casi, adatti. Se però, per esempio, si volessero fare delle valutazioni sugli autoconsumi degli strumenti si potrebbe decidere, per renderli più evidenti, di ridurre le resistenze dei voltmetri e aumentare quelle degli amperometri.

In alternativa si può ricorrere al tasto dei componenti indicatori  (**Place Indicator**) e scegliere i voltmetri e gli amperometri desiderati (immagine sottostante).



Anche in questo caso, procedendo al solito modo, sarà possibile inserire gli strumenti in circuito e procedere alle misure desiderate (al solito con un doppio clic sui singoli strumenti si potranno definire le relative caratteristiche):

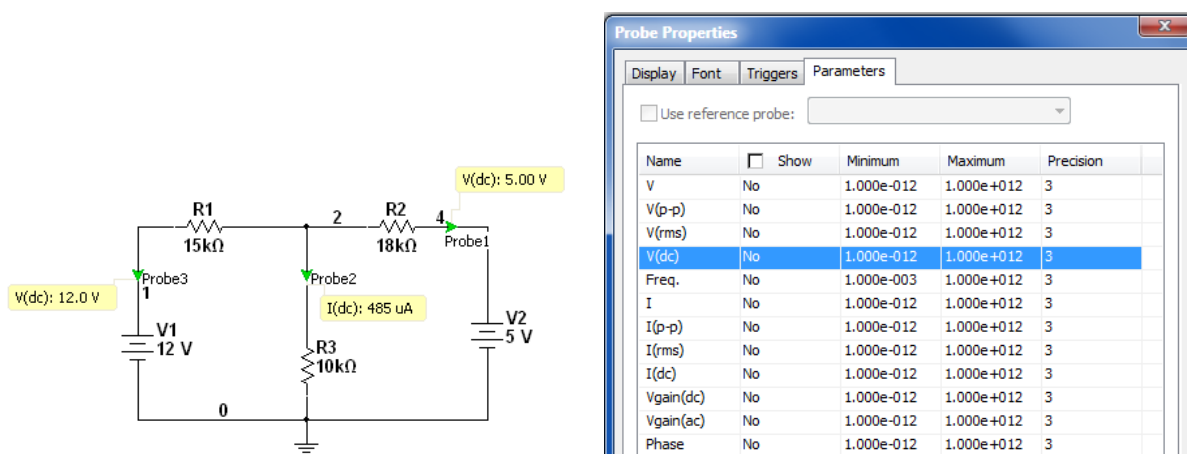


Un ultimo modo è quello di utilizzare lo strumento sonda  (**Measurement Probe**); se ne potranno mettere quante se ne vuole e settarle per diverse possibili misure:

- **V**: valore istantaneo della tensione;
- **V(p-p)**: valore picco-picco della tensione
- **V(rms)**: valore efficace della tensione;
- **V(dc)**: valore continuo della corrente;
- **I**: valore istantaneo della corrente;
- **I(p-p)**: valore picco-picco della corrente;
- **I(rms)**: valore efficace della corrente;
- **I(dc)**: valore continuo della corrente;
- **Freq**: frequenza della tensione misurata;
- **Vgain (dc)**: guadagno in dc rispetto al riferimento scelto (use reference probe);
- **Vgain (ac)**: guadagno in ac rispetto al riferimento scelto (use reference probe);
- **Phase**: misura di fase rispetto al riferimento scelto (use reference probe).

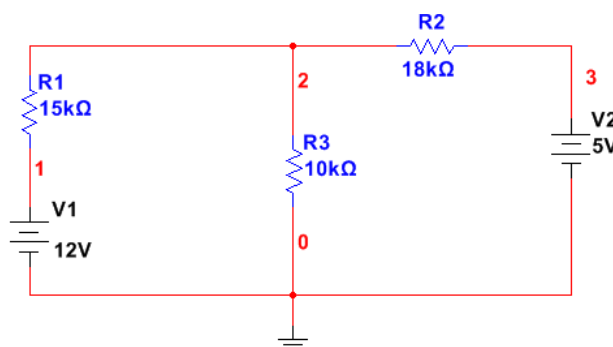
Il settaggio delle singole sonde inserite può essere effettuato con il solito doppio click del mouse o con il percorso **Simulate\Dynamic Probe Properties**. Nella figura sottostante un esempio. Cliccando su **Parameters** possiamo definire le proprietà della sonda: di default sono attive tutte le possibili misure togliendo lo spunto a Show si disattivano tutte le misure e poi con un click sulle singole righe si possono attivare solo quelle che interessano. Si noti anche che con un doppio click sulle singole voci è possibile cambiare il nome che verrà visualizzato per la misura (esattamente come si fa in Windows per rinominare un file), gli estremi di misura e il numero di cifre significative.

Di default le misure di tensione sono valutate rispetto a massa.



7.2 Uso del menu Simulate

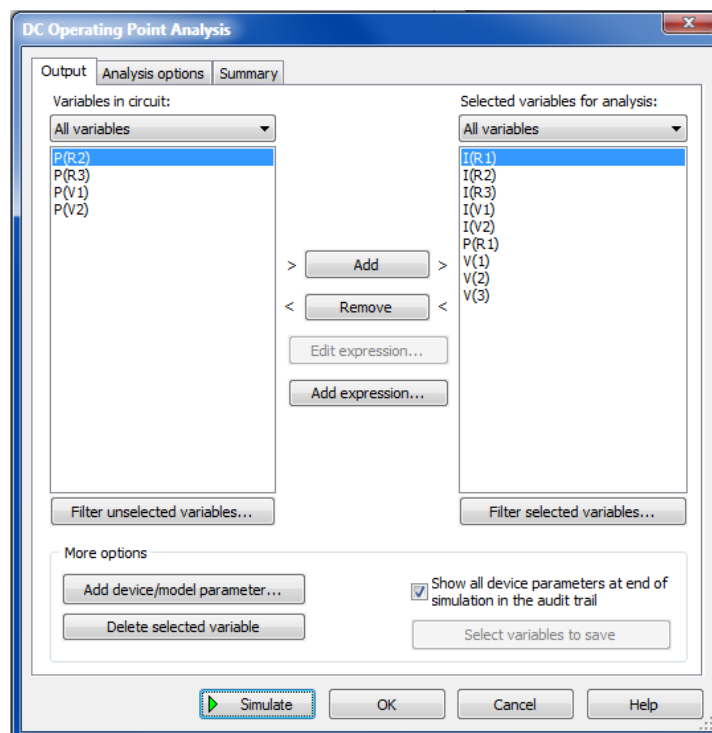
Una volta realizzato il circuito sarà necessario, se già non avviene, visualizzare i nodi (**Option/Sheet Properties/Sheet visibility**) e spuntare **Show All** per visualizzarli tutti o **Use Net-specific Setting** per visualizzare solo quelli precedentemente scelti (vedi par. 3.2):



In questo caso abbiamo anche modificato la modalità di visualizzazione del circuito scegliendo **White Background** (vedi ancora par. 3.2) inserendo così il colore.

A questo punto, con **Simulate/Analyses\DC operating point** si potrà accedere alla schermata per la simulazione in DC e scegliere le variabili da valutare (a sinistra quelle non considerate e a destra quelle scelte).

La scelta è tra tutte le tensioni ai nodi valutate rispetto a massa (nodo 0), le correnti dei generatori (considerate convenzionalmente positive se entranti dal terminale positivo), le correnti nei resistori e le potenze di generatori e resistori.



Nel nostro caso, cliccando su **Simulate** si otterrà:

	Variable	Operating point value
1	V(1)	12.00000
2	V(2)	4.85000
3	V(3)	5.00000
4	I(R.1)	476.66667 u
5	P(R.1)	3.40817 m
6	I(R.2)	8.33333 u
7	I(R.3)	485.00000 u
8	I(V.1)	-476.66668 u
9	I(V.2)	-8.33334 u

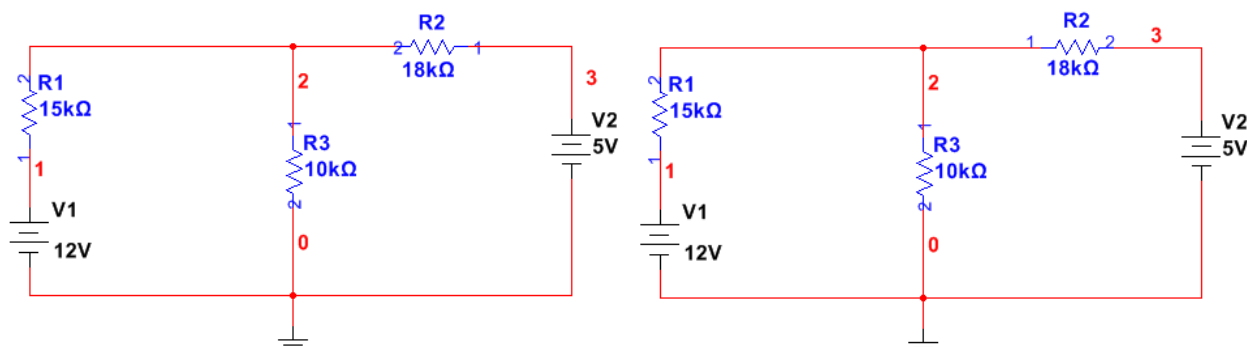
Selected Diagram: DC Operating Point Analysis

V(1), V(2) e V(3) sono le tensioni ai nodi, rispettivamente, 1, 2 e 3 valutate rispetto a massa (nodo 0)
 I(V.1) e I(V.2) sono le correnti dei generatori V1 e V2 convenzionalmente positive se entranti dai poli positivi (nel nostro caso sono quindi entrambe uscenti).

P(R.1) è la potenza dissipata in R1.

I(R.1), I(R.2) e I(R.3) sono le correnti che scorrono nei tre resistori.

Il lettore attento si starà sicuramente ponendo la seguente domanda: come fare a capire i versi corretti delle correnti nei resistori? Il modo più semplice è quello di ricavarli dall'analisi degli altri risultati numerici. Ad esempio, essendo il nodo 1 a potenziale più alto del nodo 2 la corrente in R1 andrà dal nodo 1 al nodo 2. Multisim comunque segue un criterio ben preciso. Per comprenderlo è opportuno inserire tra i dati da visualizzare anche la voce **Footprint pin names**; così facendo appariranno per i singoli resistori due numeri (1 e 2) che indicano rispettivamente l'ingresso e l'uscita (convenzionali) dei singoli resistori: le correnti sono positive se entranti (ovvero entrano da 1 ed escono da 2) e negative in caso contrario. Nella successiva figura si riportano due situazioni circuitualmente equivalenti, ma che determinano segni diversi nelle correnti.



Il caso a sinistra corrisponde ai risultati numerici precedentemente visti: tutte e tre le correnti dei resistori sono positive e quindi $I(R1)$ va dal nodo 1 al nodo 2, $I(R2)$ va dal nodo 3 al nodo 2 e $I(R3)$ va dal nodo 2 al nodo 0. Nel caso a destra non cambia nulla per $R1$ e $R3$ ma invece si è invertita la situazione per $R2$ e quindi questa corrente ripetendo l'analisi in DC risulterà negativa (e quindi, ovviamente, scorre ancora dal nodo 3 al nodo 2).

Esempi di analisi in DC si possono trovare nei volumi 1 dei corsi di *Elettrotecnica ed Elettronica* e nel volume 1 del corso di *Telecomunicazioni* in tre volumi.

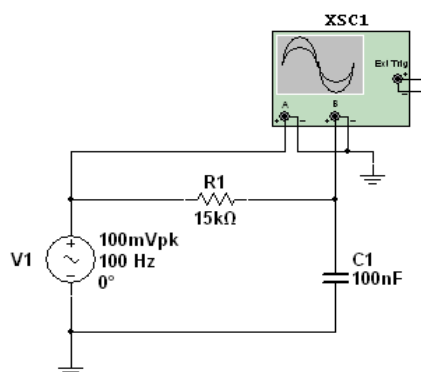
8. L'analisi nel dominio del tempo

Considereremo due casi:

- 1) l'analisi a regime periodico;
- 2) l'analisi in transitorio.

8.1 Analisi a regime periodico con l'oscilloscopio

Se ad esempio si vuole valutare il funzionamento di un circuito RC a regime sinusoidale si può realizzare questo circuito:

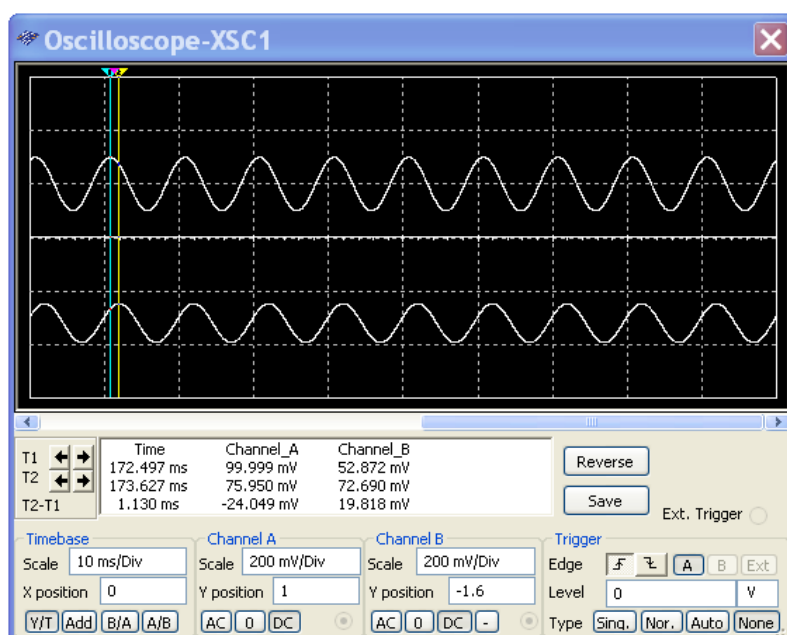


Dove si è inserito un oscilloscopio per valutare i segnali in ingresso e ai capi del condensatore: attenzione sebbene il simulatore funzioni comunque correttamente si è preferito evidenziare anche sull'oscilloscopio i collegamenti di massa che nella realtà vanno ne-

cessariamente fatti.

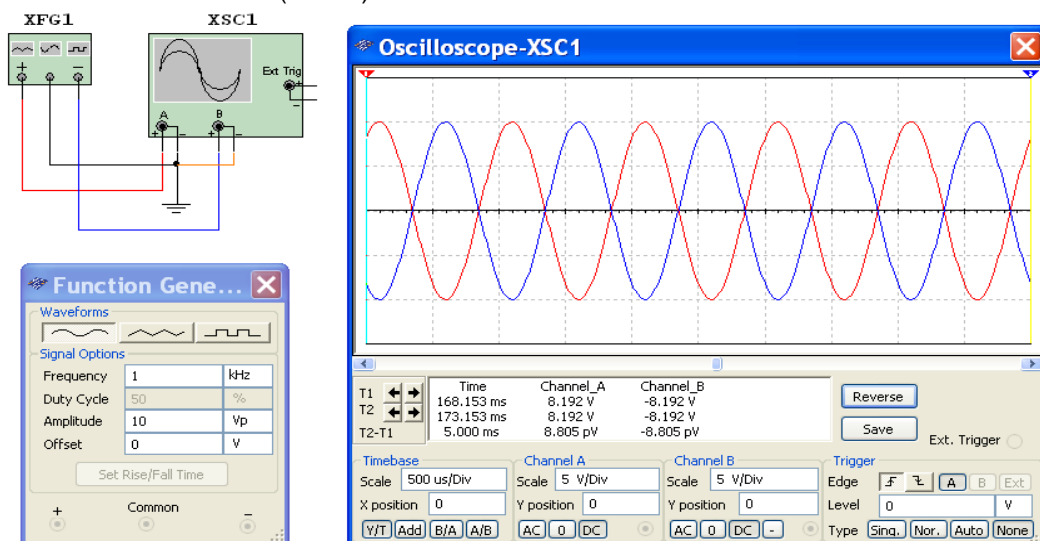
Con il solito doppio clic con il puntatore del mouse sull'oscilloscopio lo si può ingrandire.

Rinunciando a descrivere il funzionamento dell'oscilloscopio, che si dà per noto, si osservino i tasti freccia T1 e T2, utilizzabili per spostare i cursori mobili 1 (azzurro) e 2 (giallo), che in alternativa possono essere spostati per trascinamento con il mouse, e che permettono la lettura dei tempi e delle tensioni nei punti in cui sono posizionati. In particolare, è interessante osservare che è possibile misurare anche la differenza dei tempi $T2-T1$ che, nel caso considerato, permetterebbe di valutare lo sfasamento tra le due sinusoidi. Si noti anche il tasto **Reverse** per ottenere lo schermo con sfondo bianco anziché nero. Molti esempi di analisi di questo tipo si trovano nei volumi citati in premessa (con particolare riferimento ai volumi 1 e 2 di tutti i corsi).



8.2 Uso del generatore di funzioni

In alternativa ai generatori presenti nella barra dei componenti si può usare, come sorgente di segnale, lo strumento Generatore di Funzioni (G.d.F.).

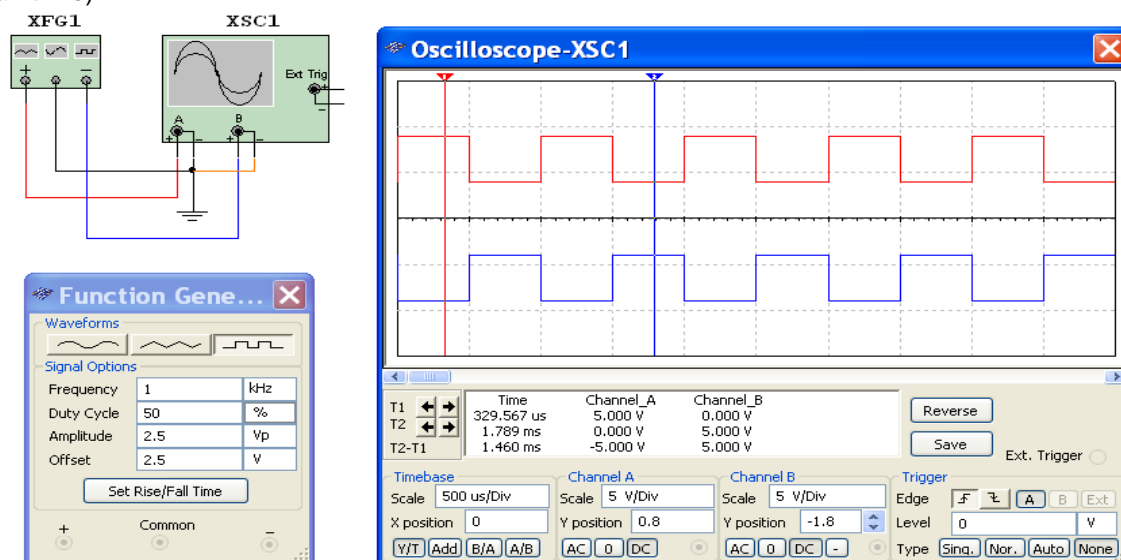


Nell'immagine soprastante si usa il G.d.F. per ottenere due sinusoidi in opposizione di fase: le uscite + e - del generatore producono segnali di pari ampiezza e frequenza ma in opposizione di fase rispetto al terminale centrale (common), che fa da riferimento di massa. Si noti anche la possibilità di ottenere tre tipi di segnali alternati (ovvero periodici a valor medio nullo) di tre forme d'onda e con la possibilità di regolare ampiezza e frequenza e di aggiungere un offset di tensione continua.

Si osservi anche come assegnando ai fili colori diversi (con il cursore del mouse sul filo cliccare con il tasto destro e scegliere **Segment color**) è possibile ottenere gli stessi colori per le tracce dell'oscilloscopio.

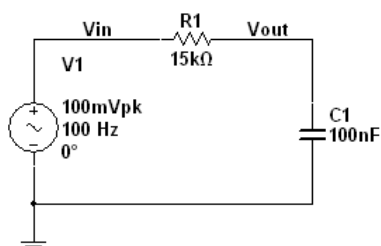
Nell'immagine sottostante si sfrutta la possibilità di introdurre un offset per sovrapporre all'onda quadra alternata di 2,5 V di picco una componente continua di +2,5 V, in modo da ottenere un'onda quadra 0÷5 V (compatibile TTL o CMOS). È la situazione tipica dei circuiti digitali, in alternativa si poteva usare il componente **CLOCK_VOLTAGE** (per esempi di analisi di circuiti digitali vedi i volumi 1 di tutti i corsi).

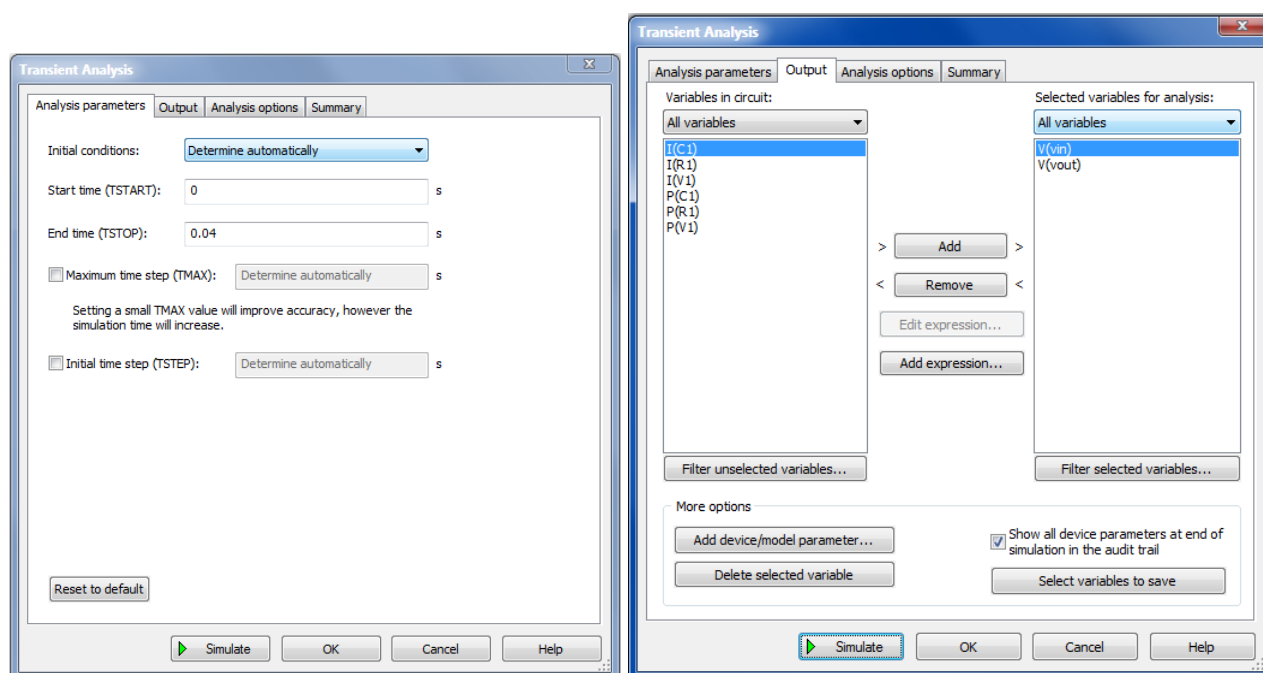
Si noti, infine, la possibilità di regolare il duty cycle e i tempi di salita e discesa (questi ultimi con il tasto **Set Rise/Fall time**).



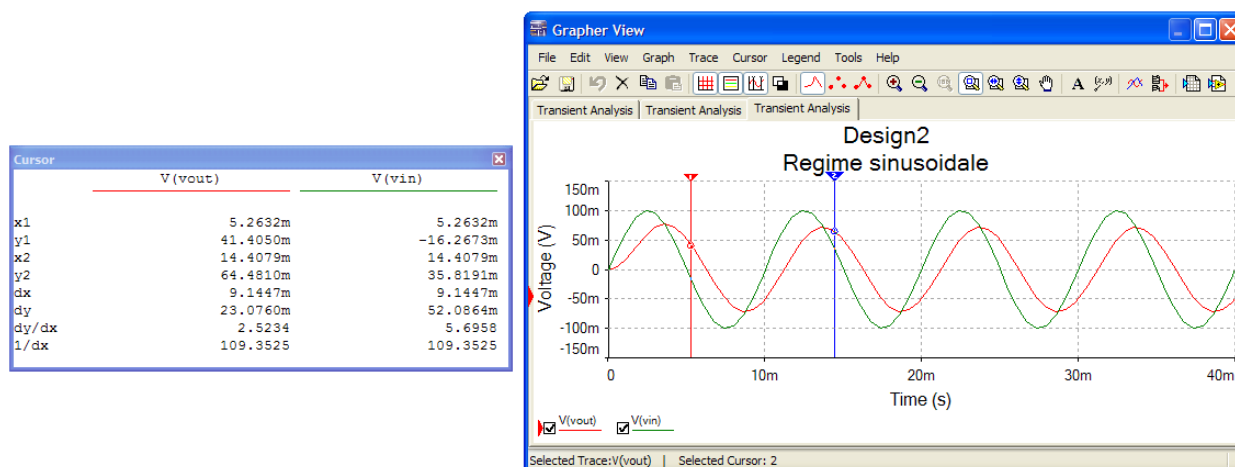
8.3 Analisi a regime periodico con il menu Simulate

Dopo aver realizzato il circuito ed evidenziato i nodi (abbiamo scelto di evidenziare solo i due nodi che ci interessano e che abbiamo chiamato Vin e Vout: vedi paragrafo 3.2), con il percorso **Simulate/Analyses/Transient analysis** è possibile aprire la finestra **Transient Analysis**:





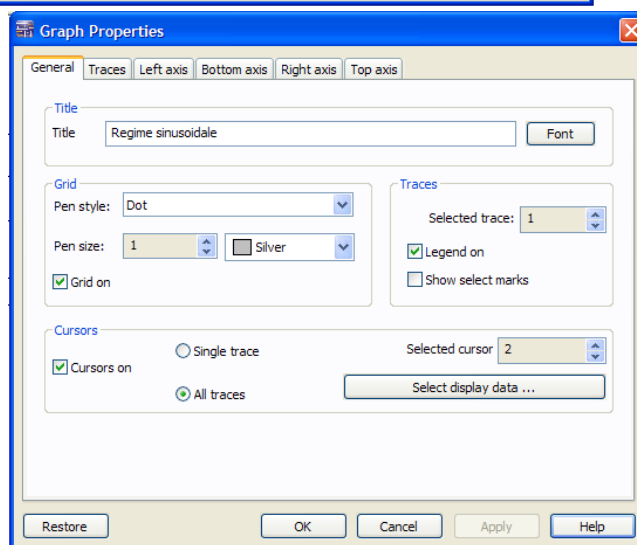
A sinistra vediamo il settaggio dei tempi di inizio e fine analisi: visto che la sinusoide ha un periodo di 10 ms, con il tempo assegnato di 40 ms si dovranno vedere le prime quattro sinusoidi prodotte dal generatore. A destra vediamo la scelta delle tensioni rispetto a massa che devono essere visualizzate. Dopo aver cliccato su **Simulate** è possibile vedere il grafico desiderato:



A lato del grafico sono indicati i valori numerici nelle posizioni indicate dai due cursori mobili inseribili con il pulsante (e spostabili con il mouse); il cursore rosso è il numero 1 e il blu il numero 2. Il pulsante permette di definire lo sfondo bianco o nero. Il pulsante permette di inserire, come nel nostro caso, una griglia di sfondo al grafico. Con il pulsante è possibile conoscere le corrispondenze tra colori e grandezze elettriche.

Come si nota nell'immagine a lato, si possono anche personalizzare i grafici (titolo, colore e spessore delle tracce, ecc) o le scale degli assi con il percorso **Graph/Properties**.

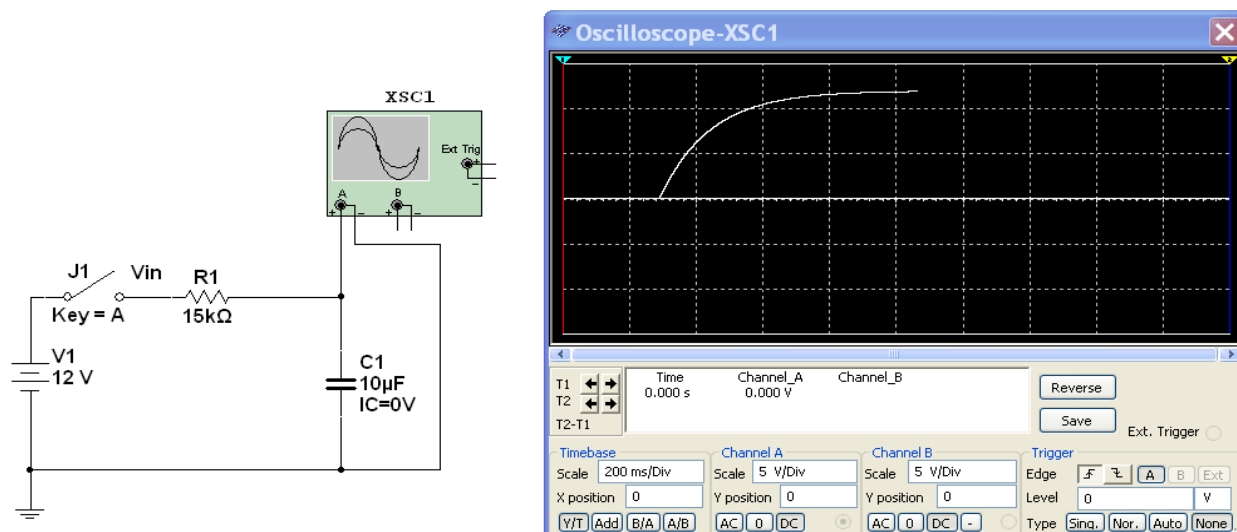
Notare che è stato tolto lo spunto alla voce **Show select marks** e che per agire sulle diverse voci di questa finestra è anche possibile utilizzare il tasto destro del mouse con il cursore opportunamente posizionato



sul grafico (ad esempio posizionando il cursore su una traccia con il tasto destro del mouse potremo visualizzare diverse opzioni su colore, spessore, ecc. e fare la scelta opportuna).

8.4 Analisi in transitorio con l'oscilloscopio

Consideriamo il caso del transitorio di carica di un condensatore:



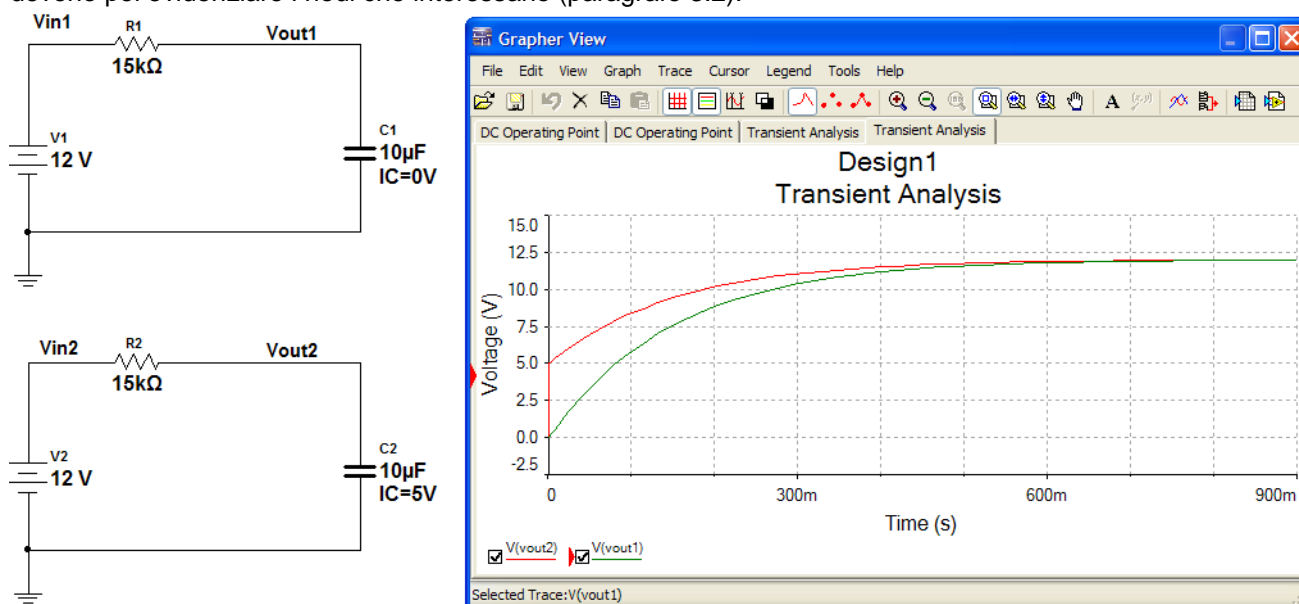
Con il percorso **Simulate/Interactive simulation setting** alla voce **Initial conditions** si sceglie l'opzione **User-defined** (di default è **Determine automatically**).

Ora è possibile iniziare la simulazione con l'interruttore aperto (si può aprire o chiudere con il pulsante A o quello da voi stabilito con il solito doppio clic o con il pulsante sinistro del mouse quando il cursore si trova sull'asticella): appena si chiuderà il tasto si vedrà iniziare il transitorio di carica.

Può essere interessante modificare la condizione di carica iniziale del condensatore, ponendolo ad esempio a 5 V (per farlo doppio clic sul condensatore, spuntare la voce **Initial conditions** e fissare il valore iniziale); ora ripetendo la simulazione il transitorio non sarà più tra 0 V e 12 V bensì tra 5 V e 12 V.

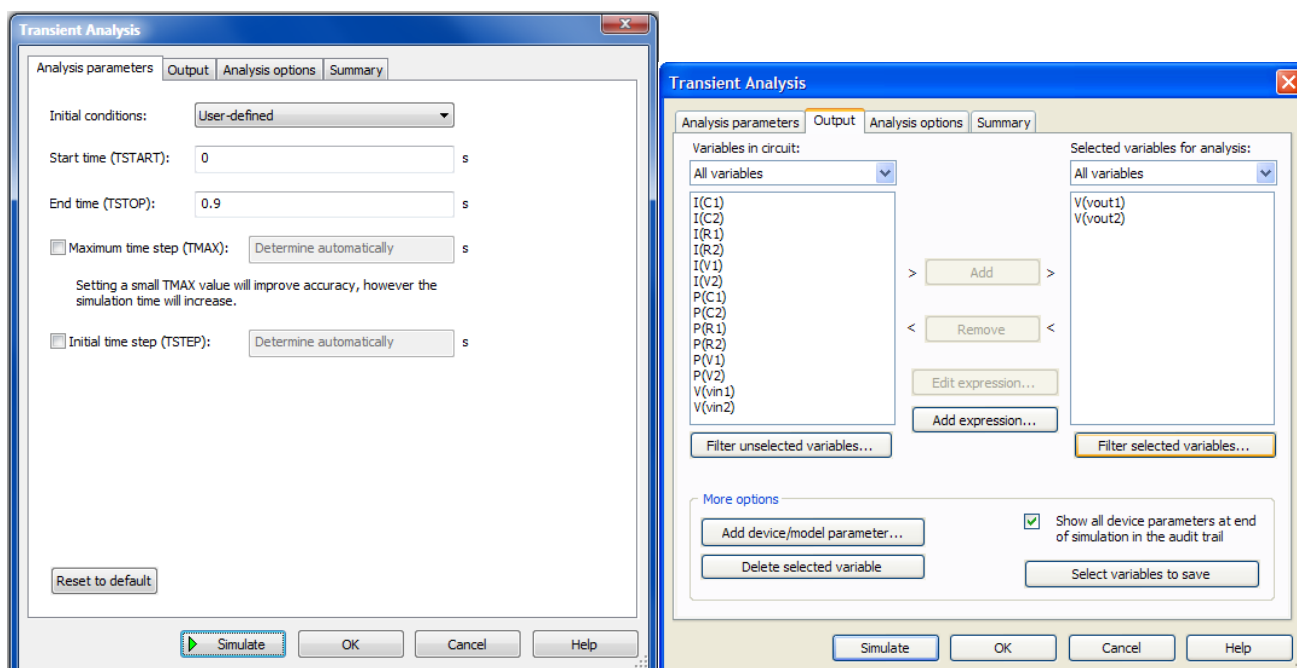
8.5 Analisi in transitorio con il menu Simulate

Si deve realizzare il circuito assegnando al condensatore il valore di tensione iniziale (doppio clic del mouse sul dispositivo scelto). Noi abbiamo previsto due circuiti uguali uno con tensione iniziale 0 V e uno con 5 V. Si devono poi evidenziare i nodi che interessano (paragrafo 3.2).



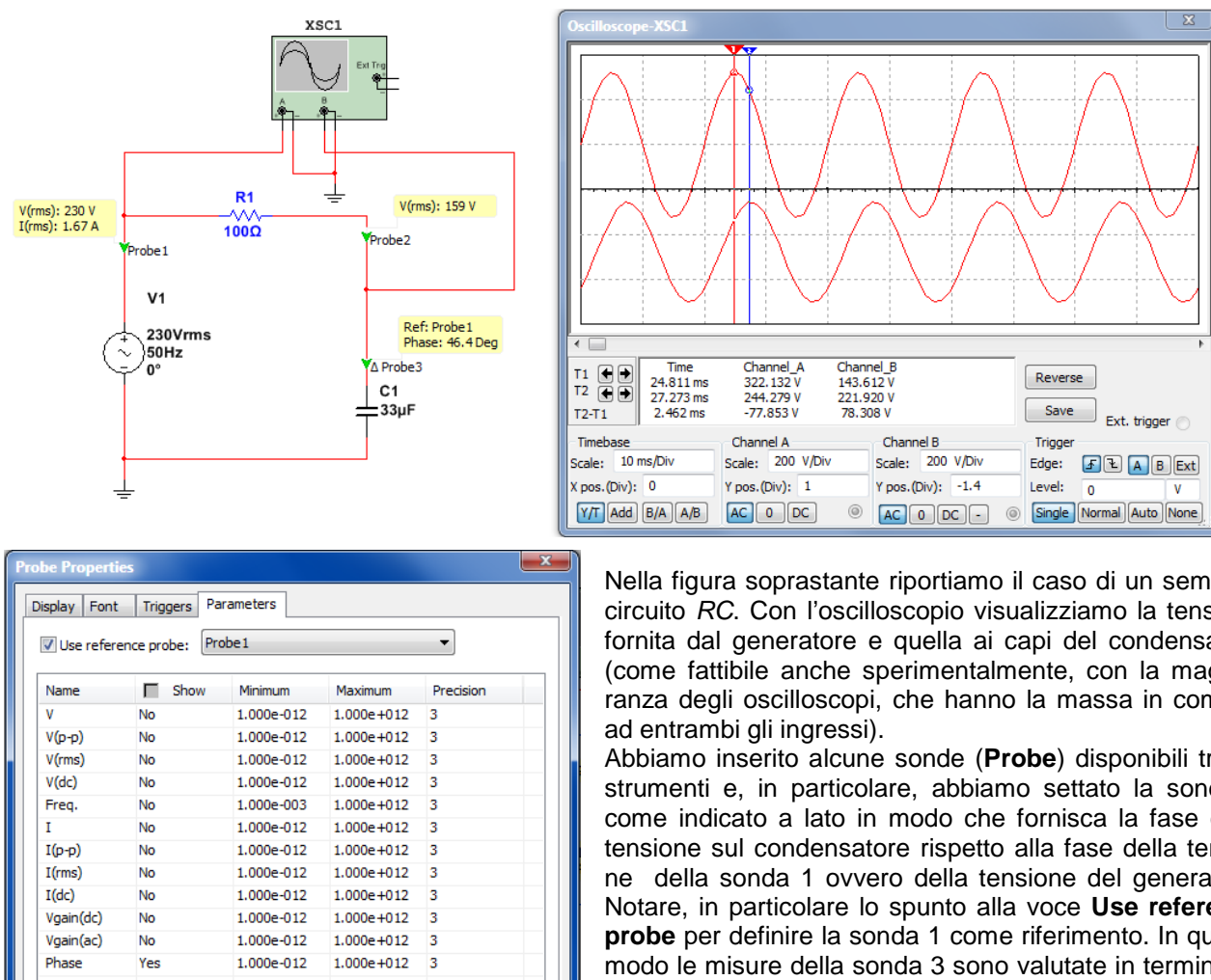
Con il percorso **Simulate/Analyses/ Transient analysis** è possibile settare le condizioni di analisi. Noi abbiamo stabilito una durata della simulazione di 0,9 s perché essendo la costante di tempo di 150 ms in questo modo si possono analizzare 6 costanti di tempo e valutare completamente il transitorio che dura 5-RC e ab-

biamo stabilito che la simulazione inizi dalle condizioni iniziali fissate (**User-defined**). Abbiamo poi previsto la simulazione delle due tensioni sui condensatori (**Vout1** e **Vout2**).



8.6 Il caso particolare del regime sinusoidale

Vediamo direttamente con degli esempi come procedere.



Nella figura soprastante riportiamo il caso di un semplice circuito RC. Con l'oscilloscopio visualizziamo la tensione fornita dal generatore e quella ai capi del condensatore (come fattibile anche sperimentalmente, con la maggioranza degli oscilloscopi, che hanno la massa in comune ad entrambi gli ingressi).

Abbiamo inserito alcune sonde (**Probe**) disponibili tra gli strumenti e, in particolare, abbiamo settato la sonda 3 come indicato a lato in modo che fornisca la fase della tensione sul condensatore rispetto alla fase della tensione della sonda 1 ovvero della tensione del generatore. Notare, in particolare lo spunto alla voce **Use reference probe** per definire la sonda 1 come riferimento. In questo modo le misure della sonda 3 sono valutate in termini dif-

ferenziali rispetto ai valori della sonda 1 e quindi, per evitare letture di non sempre chiara interpretazione, è opportuno usare questa sonda (e in generale le sonde che hanno un'altra sonda come riferimento) solo per la misura della fase.

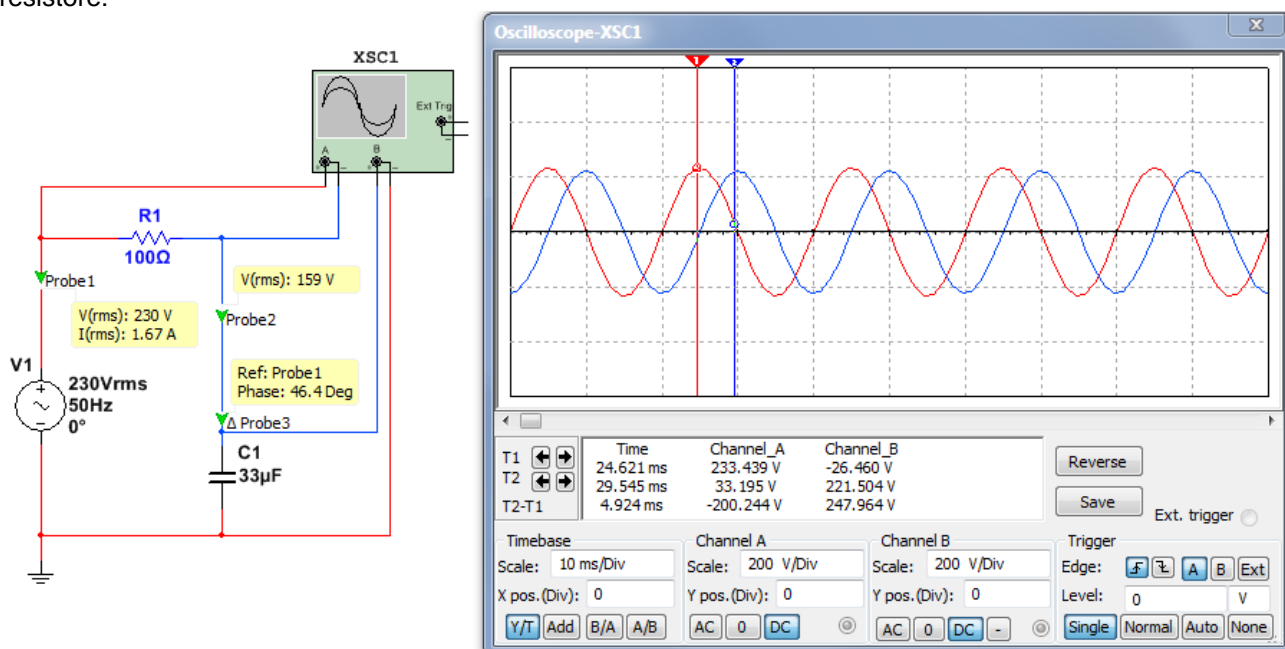
Dovreste anche aver notato che lo sfasamento indicato è positivo anziché negativo, come desumibile dalla teoria (la tensione sul condensatore è in ritardo rispetto a quella del generatore). In effetti *la convenzione usata da Multisim è opposta a quella usata nei corsi di riferimento per questo manuale*. Pertanto le fasi misurate con queste sonde *vanno sempre cambiate di segno* per essere correttamente interpretate.

La valutazione della fase può anche essere effettuata usando le letture dell'oscilloscopio:

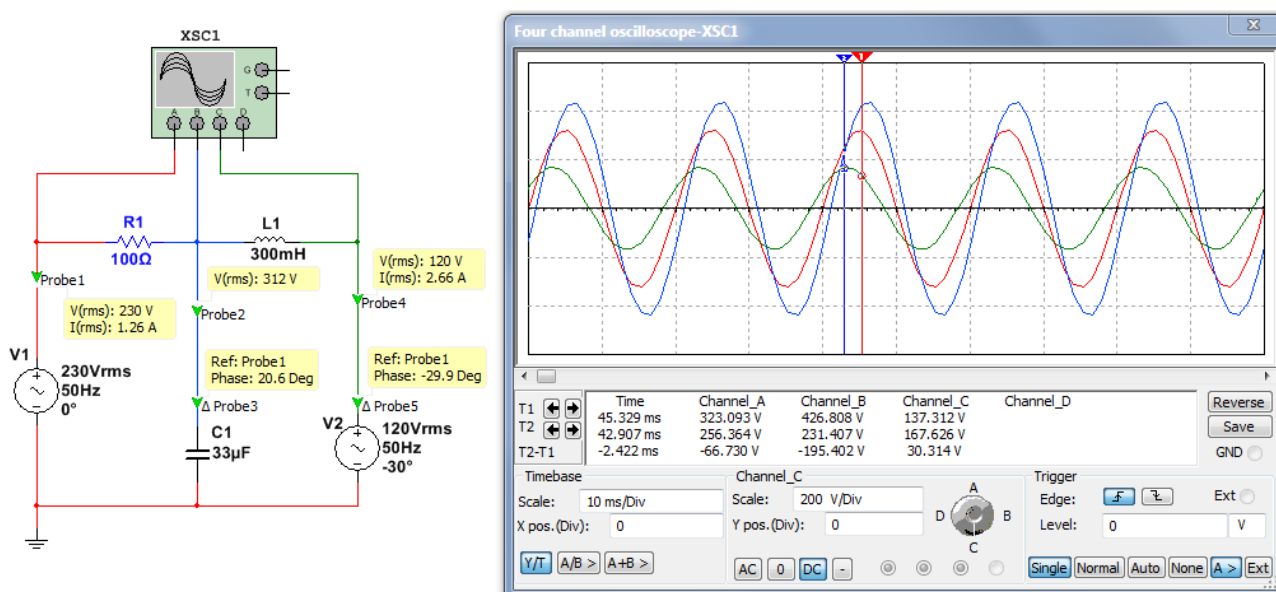
$$\varphi = -2\pi f (T_2 - T_1) = -2\pi \cdot 50 \cdot 4,924 \cdot 10^{-3} \approx -0,773 \text{ rad} \Rightarrow \varphi^\circ = -0,773 \frac{180}{\pi} \approx -44,3^\circ$$

Come generatore sinusoidale abbiamo utilizzato quello disponibile tra i generatori di potenza (**Sources/POWER_SOURCES/AC_POWER**), che si differenzia da quello tra i generatori di segnali (**Sources/SIGNAL_VOLTAGE_SOURCES/AC_VOLTAGE**), oltre che per i valori di default, anche per il fatto di richiedere come valori di tensione quelli efficaci (RMS) anziché quelli di picco (Vpk).

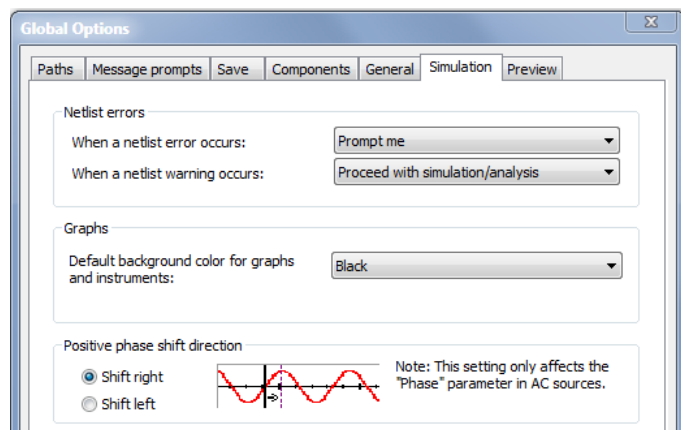
Nel successivo esempio l'oscilloscopio di Multisim è utilizzato sfruttando i suoi ingressi differenziali, in modo da poter visualizzare due tensioni che non hanno la massa in comune e lo sfasamento tra le due tensioni, come facilmente verificabile, risulta di 90° con la tensione sul condensatore in ritardo rispetto a quella sul resistore:



Come ulteriore esempio consideriamo un circuito con due generatori:



Dagli oscillogrammi possiamo vedere che la tensione sul condensatore è in ritardo rispetto a quella del generatore V1 (e infatti, ricordando che si deve cambiare il segno, la sonda indica $-20,6^\circ$) e che invece quella del generatore V2 è in anticipo rispetto a quella del generatore 1 ($+29,9^\circ$ o più correttamente $+30^\circ$, come impostato nel generatore).



Va, a questo punto, chiarito che con il percorso **Option/Global Options/Simulation** è possibile (come indicato a lato) scegliere (limitatamente ai generatori; come indica la nota) tra due convenzioni per la fase:

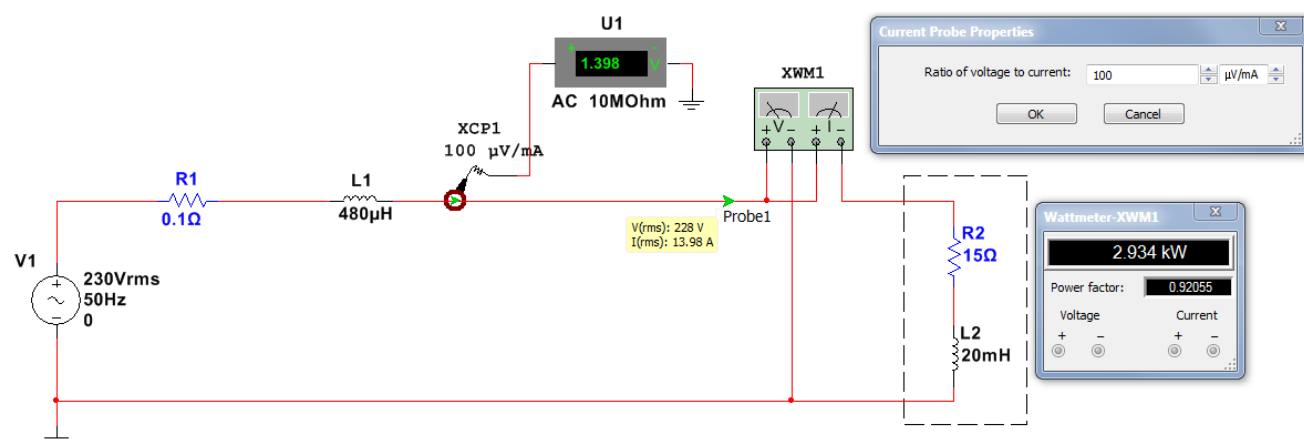
- **Shift right**
- **Shift left**

Nel primo caso gli angoli positivi esprimono ritardi e quelli negativi anticipi (come con le sonde); nel secondo gli angoli positivi esprimono anticipi e quelli negativi ritardi (come nei libri di riferimento). Ripetiamo che comunque *questa modifica agisce solo sui segni delle fasi dei generatori ma non sui valori indicati dalle sonde* (nell'immagine della figura del nostro esempio abbiamo usato la conven-

zione **Shift right** e infatti generatore e sonda presentano la fase con lo stesso segno).

8.7 La misura della potenza a regime sinusoidale

Il circuito, qui sotto proposto, evidenzia alcune classiche situazioni tipiche. In particolare, si può supporre che R1 ed L1 siano i parametri serie equivalenti di una linea elettrica di distribuzione a bassa tensione e che R2 ed L2 siano i parametri equivalenti del carico utilizzatore in arrivo alla linea.



Per misurare la potenza attiva assorbita dal carico è presente in arrivo alla linea un wattmetro che, nel caso specifico, fornisce anche la misura del $\cos\phi$ del carico (fattore di potenza) e quindi volendo è facile risalire anche alle potenze reattiva ed apparente. Per poter procedere alla misura della corrente di linea senza doverla interrompere abbiamo previsto l'inserimento di una pinza amperometrica (indicata con XCP1) di tipo classico ottenuta con un trasformatore TA. Il rapporto di trasformazione è di $100 \mu\text{V}/\text{mA} = 0,1 \text{ V}/\text{A}$ e quindi la tensione letta sul voltmetro al suo secondario moltiplicata per 10 esprime la corrente di linea. Abbiamo anche inserito una sonda (Probe1) che equivale a una moderna pinza digitale che permette, sempre senza interrompere la linea, di misurare sia la corrente che la tensione.

9. Il tracciamento dei diagrammi di Bode

Consideriamo due situazioni:

- 1) tracciamento dei diagrammi partendo dalla funzione di trasferimento;
- 2) tracciamento dei diagrammi partendo dal circuito.

9.1 Il tracciamento dei diagrammi di Bode di una funzione di trasferimento con il Bode Plotter

Si suppone di voler tracciare i diagrammi di questa funzione di trasferimento:

$$G(s) = \frac{5s}{(1 + 1,6 \cdot 10^{-3}s)(1 + 10,6 \cdot 10^{-6}s)}$$

Per farlo si seleziona il menu dei componenti **Source**, si preleva dalla famiglia **CONTROL_FUNCTION_BLOCKS** il dispositivo **TRANSFER_FUNCTION_BLOCK** e si realizza il semplice circuito riportato qui a lato, inserendo come strumento il **Bode Plotter**. Tenere presente che senza il generatore in ingresso la simulazione non è possibile. I valori di frequenza, ampiezza e fase di questo generatore non hanno importanza, ad esclusione delle voci **AC analysis magnitude** e **AC analysis phase** che devono assumere i valori di default che sono rispettivamente 1 V e 0°.

Il programma suppone la funzione di trasferimento del tipo:

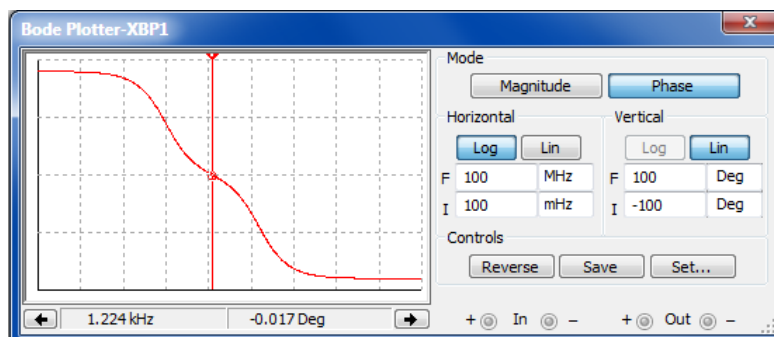
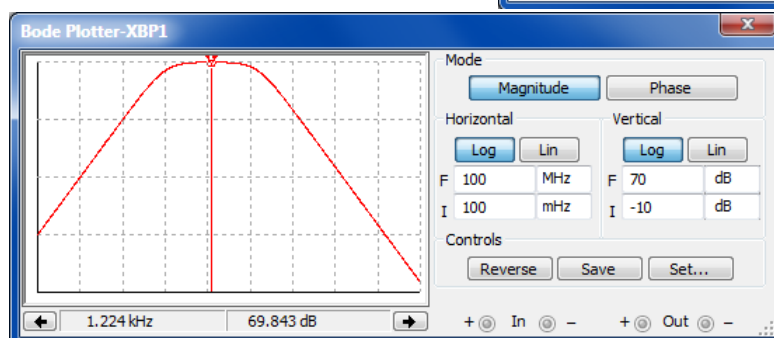
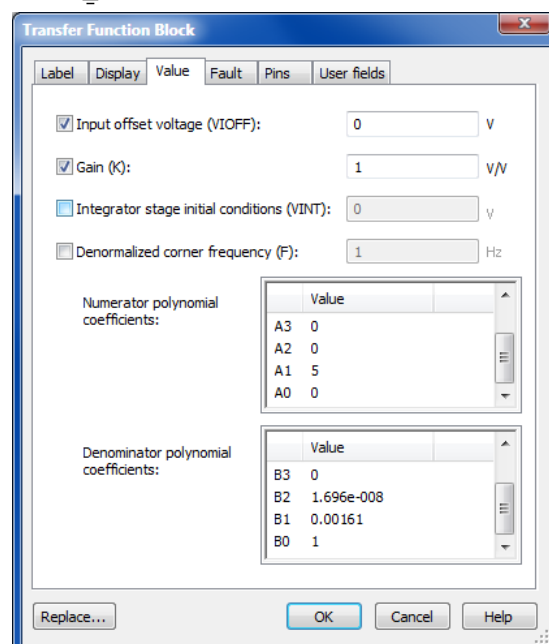
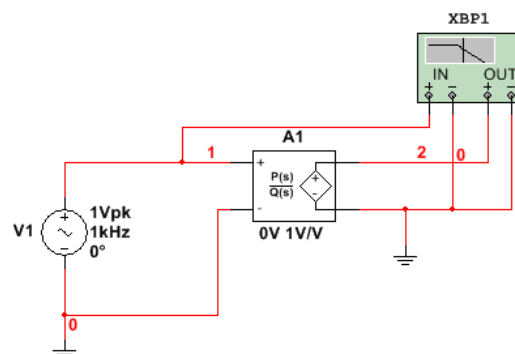
$$G(s) = \frac{A_m s^m + \dots + A_2 s^2 + A_1 s^1 + A_0 s^0}{B_n s^n + \dots + B_2 s^2 + B_1 s^1 + B_0 s^0}$$

Quindi bisogna esprimere la nostra funzione di trasferimento come rapporto di polinomi svolgendo i prodotti:

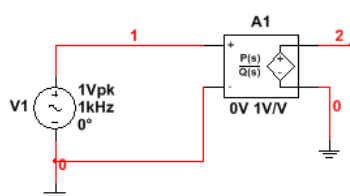
$$G(s) = \frac{5s}{16,96 \cdot 10^{-9} s^2 + 1,6106 \cdot 10^{-3} s + 1}$$

Ora con il solito doppio clic si apre la finestra che permette di inserire la funzione di trasferimento nel nostro blocco: A0-A1-A2... sono i coefficienti del polinomio al numeratore (nel nostro caso esiste solo il coefficiente A1 di s); B0-B1-B2... sono i coefficienti del polinomio al denominatore. Nel nostro caso il guadagno K vale 1 (in alternativa potevamo porre K=5 e A1=1).

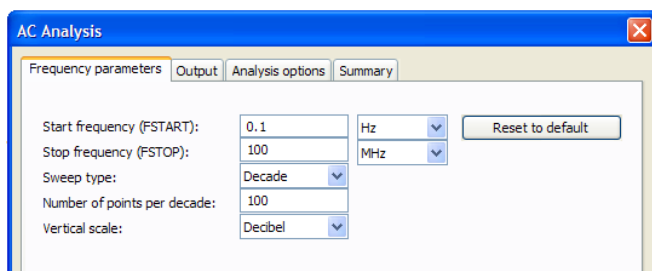
Attivando la simulazione è, infine, possibile tracciare i diagrammi cercati: (si noti, al solito, la presenza di un cursore mobile per leggere i valori nei vari punti del singolo grafico)



9.2 Il tracciamento dei diagrammi di Bode di una funzione di trasferimento con il menu Simulate



In questo caso per poter disporre del nodo di uscita possiamo inserire un punto di connessione con **Place Junction**.



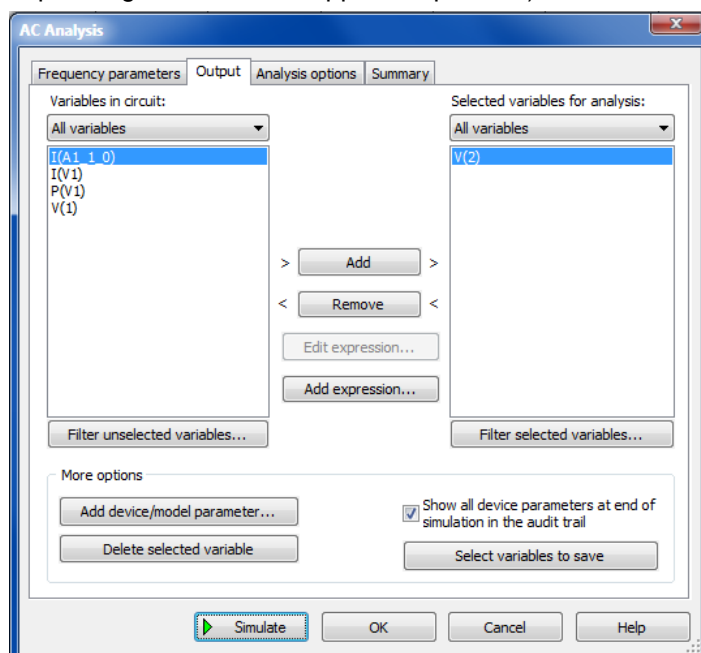
Con il percorso **Simulate/Analyses\AC analysis** è possibile definire gli intervalli di frequenza, le scale degli assi e il numero di punti per la costruzione del grafico (100 per decade sono normalmente sufficienti per un grafico che non appaia a spezzate).

Nella figura a lato la scelta del nodo: in linea generale ne potremmo scegliere anche di più a cui riferire i diagrammi.

Premendo **Simulate** si ottengono i diagrammi cercati (figura sottostante).

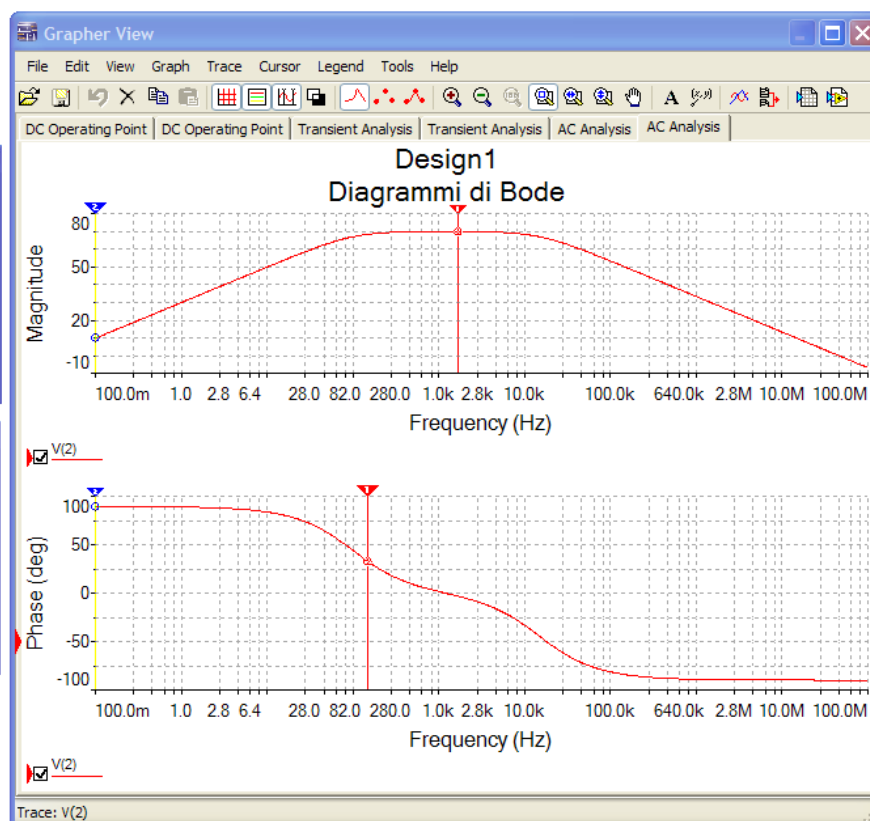
Anche in questo caso i cursori mobili ci agevolano nella lettura e volendo sarà possibile personalizzare i grafici.

Per la teoria relativa ai diagrammi di Bode si può vedere i volumi 2 dei corsi di *Elettrotecnica ed Elettronica* o il volume 2 del corso di *Telecomunicazioni*.



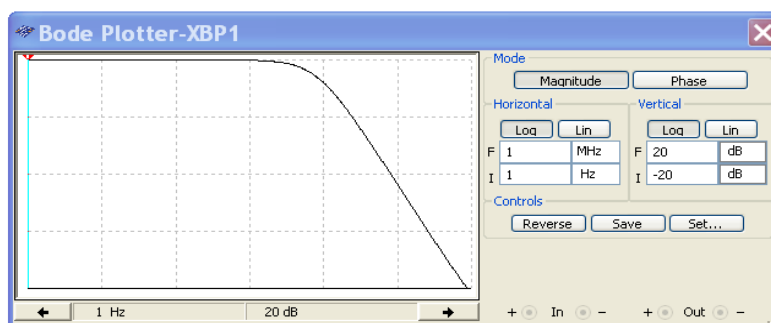
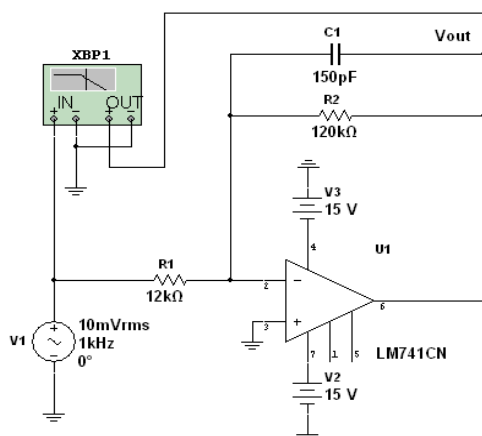
Cursor	
V (2)	
x1	1.6876k
y1	69.8306
x2	100.0000m
y2	9.9430
dx	-1.6875k
dy	-59.8876
dy/dx	35.4887m
1/dx	-592.5882μ

Cursor	
V (2)	
x1	146.7799
y1	33.5755
x2	100.0000m
y2	89.9420
dx	-146.6799
dy	56.3665
dy/dx	-384.2823m
1/dx	-6.8176m



9.3 Il tracciamento dei diagrammi di Bode partendo dal circuito

Valgono considerazioni analoghe a quelle viste ai punti precedenti. Ci si limita a riportare un esempio di simulazione con un amplificatore operazionale che usa il **Bode plotter** ma che potrebbe essere fatta anche ricorrendo al menu Simulate.

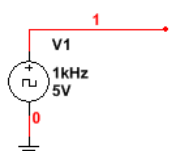


Molti esempi di diagrammi di Bode riferiti a circuiti sono presenti nei volumi 2 dei corsi di *Elettrotecnica ed Elettronica* e di *Telecomunicazioni*.

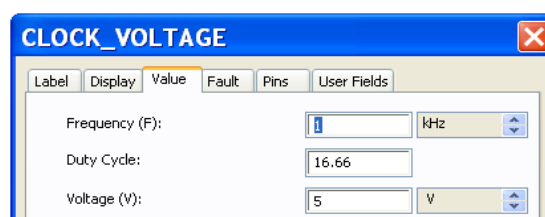
10. L'analisi armonica

Anche in questo caso si può usare il menu **Simulate** o un apposito strumento.

10.1 L'uso del menu Simulate



Supponiamo di voler fare l'analisi armonica di un segnale periodico come, ad esempio, uno impulsivo a valore minimo nullo con duty cycle 1/6 e ampiezza 5 V. A sinistra è riportato il semplice circuito che ci serve e a destra la finestra del componente con i valori richiesti e aperta con un doppio clic.

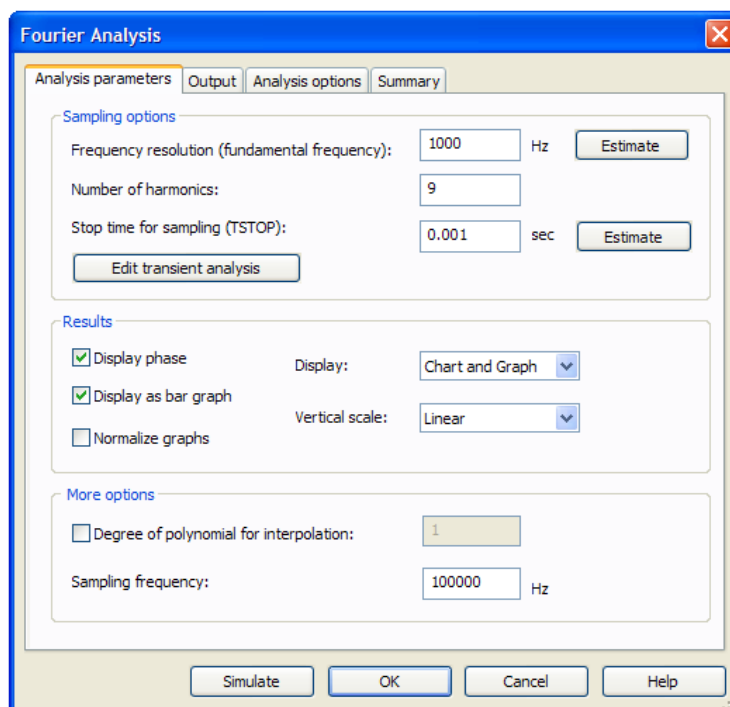


Ora con il percorso **Simulate\Analyses\Fourier analysis** si potrà aprire la finestra **Fourier Analysis**.

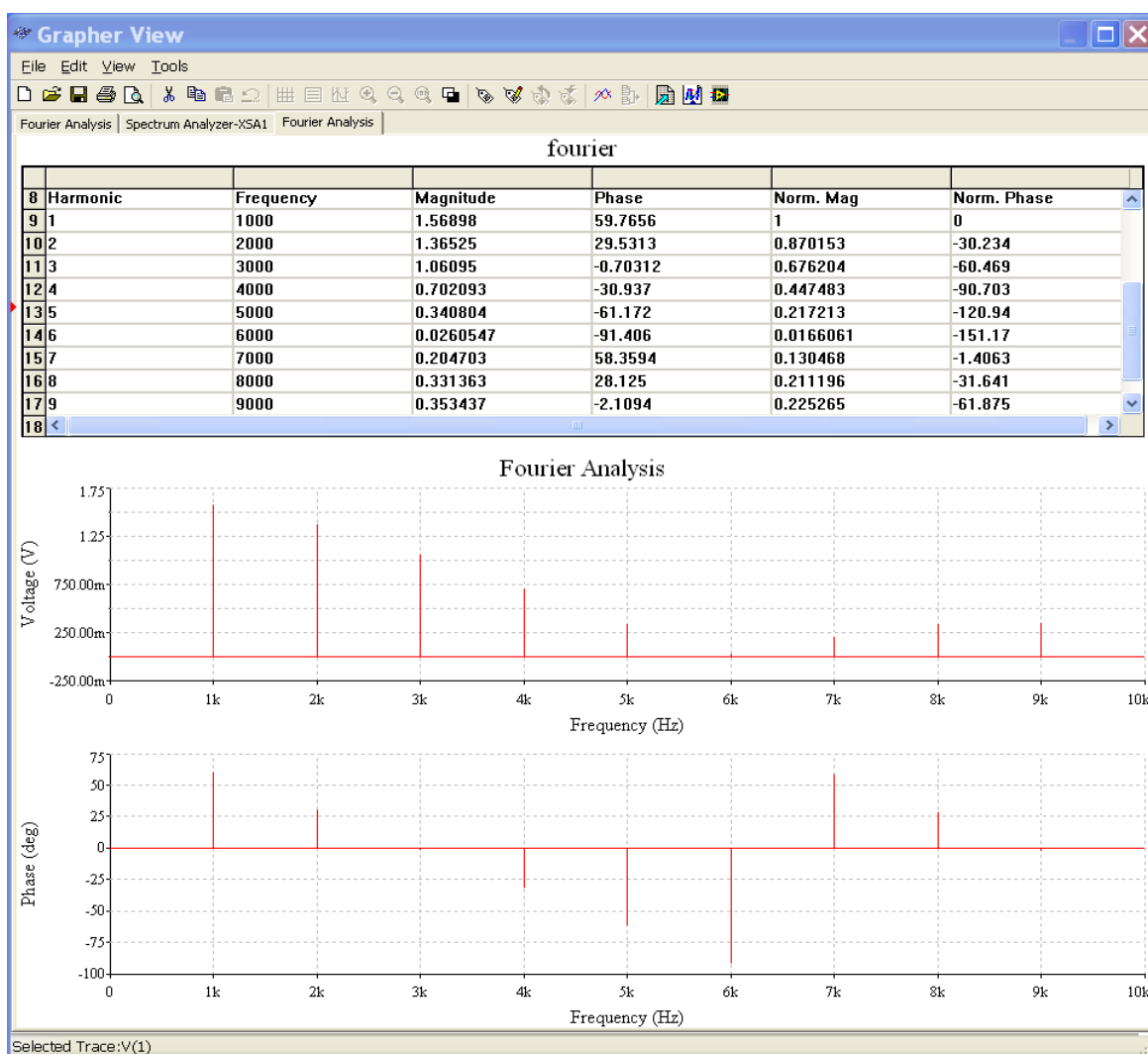
Come si vede, si deve fissare la frequenza della fondamentale (nel nostro caso 1000 Hz) e il numero di armoniche che si vogliono valutare (noi abbiamo scelto 9). Si può poi decidere di visualizzare solo una tabella con i valori numerici (**Chart**) o solo i grafici (**Graph**) o entrambe le cose come nel nostro caso. Si può anche stabilire il tipo di scala per l'asse y (noi abbiamo scelto quella lineare ma ne sono possibili anche altre).

Si deve poi spuntare **Display as bar graph** per ottenere i classici grafici a barre degli spettri. In caso contrario si avranno grafici di tipo continuo che descrivono gli involucri degli spettri. Si potrà poi spuntare anche **Display phase** per avere lo spettro anche della fase. Infine spuntando **Normalize graph** si possono ottenere grafici con i valori normalizzati (vedi più oltre).

Cliccando su **Output** si può anche aprire la finestra (non riprodotta) per la scelta della variabile oggetto dell'analisi armonica: nel nostro caso sarà evidentemente V(1).



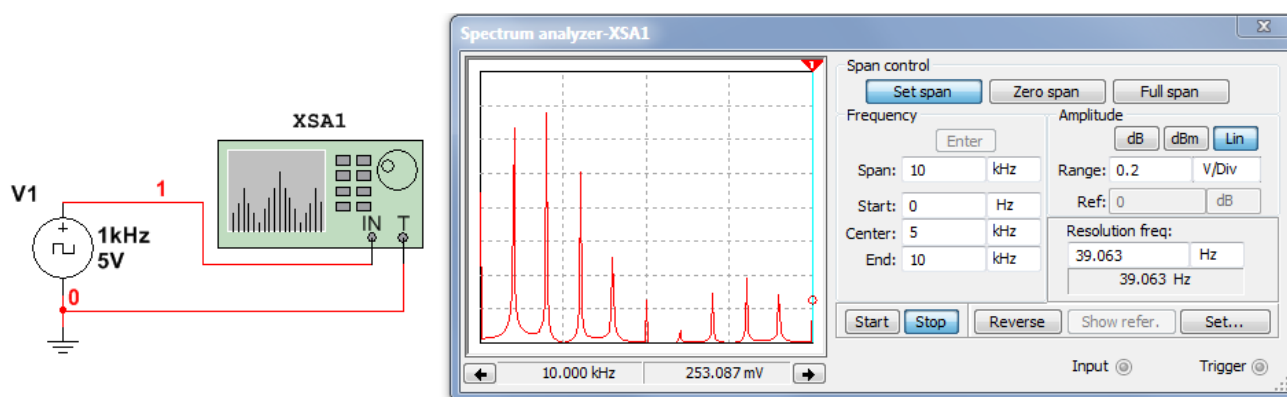
A questo punto cliccando su **Simulate** si otterrà la simulazione cercata:



Nella tabella si possono notare, oltre ai valori delle ampiezze e delle fasi delle 9 armoniche considerate, anche i corrispondenti valori normalizzati (per le ampiezze sono i rapporti delle singole ampiezze con l'ampiezza della fondamentale; per le fasi sono le differenze tra le singole fasi e la fase della fondamentale).

10.2 L'uso dello strumento Spectrum Analyzer

Manteniamo per comodità il circuito precedente e applichiamo l'analizzatore di spettro:



Con il comando **Set Span** abilitiamo lo strumento alla definizione dei valori di frequenza. Esistono due modalità classiche:

- 1) fissare la frequenza di inizio analisi (**Start**) e la frequenza di fine analisi (**End**) e a simulazione spenta premere **Enter** per assegnare in automatico gli altri due valori;

- 2) fissare la frequenza centrale (**Center**) e l'intervallo di simulazione (**Span**) e a simulazione spenta premere **Enter** per assegnare in automatico gli altri due valori.

Prima di iniziare la simulazione conviene anche fissare la risoluzione della frequenza a un valore piccolo rispetto alle frequenze in gioco, definire il tipo di scala (nel nostro caso lineare) e il suo range.

Per uno studio teorico dell'analisi armonica si possono considerare i volumi 2 dei corsi di *Elettrotecnica ed Elettronica* o il volume 2 del corso di *Telecomunicazioni*.

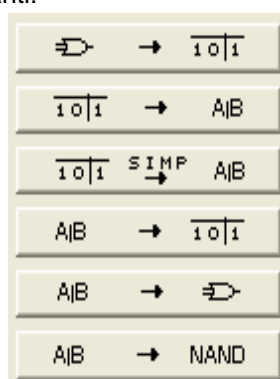
11. L'analisi dei circuiti digitali

Sebbene l'analisi dei circuiti digitali possa avvenire con molti degli strumenti già considerati e, in particolare oscilloscopio, generatore di funzioni, multimetro e sonda esistono appositi strumenti per i sistemi digitali che meritano attenzione:

- il convertitore logico (**Logic Converter**)
- il generatore di parole (**Word Generator**);
- l'analizzatore di stati logici (**Logic Analyzer**).

11.1 Lo strumento Logic Converter

Questo strumento, disponibile in Multisim, aiuta nello studio dei circuiti combinatori realizzati a porte logiche elementari. Per la comprensione di questo strumento conviene analizzare le funzionalità dei diversi suoi pulsanti:

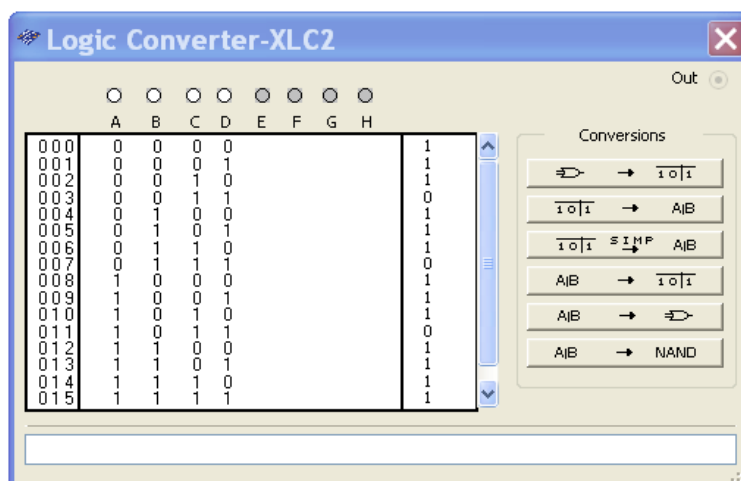
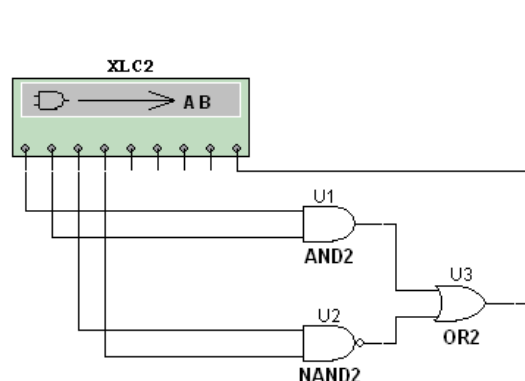


1)	Noto il circuito logico e collegati i suoi ingressi e la sua uscita allo strumento permette di ottenere la tabella della verità.
2)	Inserita nello strumento la tabella della verità, permette di ricavarne l'espressione nella corrispondente prima forma canonica.
3)	Inserita nello strumento la tabella della verità, permette di ricavarne l'espressione logica minima ricavata dalla prima forma canonica.
4)	Data una espressione logica, permette di ricavare la corrispondente tabella della verità.
5)	Data una espressione logica permette di ricavare il circuito corrispondente in termini di somma di prodotti.
6)	Data una espressione logica permette di ricavare il circuito corrispondente in termini di sole porte NAND.

Pulsante 1

Si dovrà creare e collegare il circuito allo strumento e premere il pulsante.

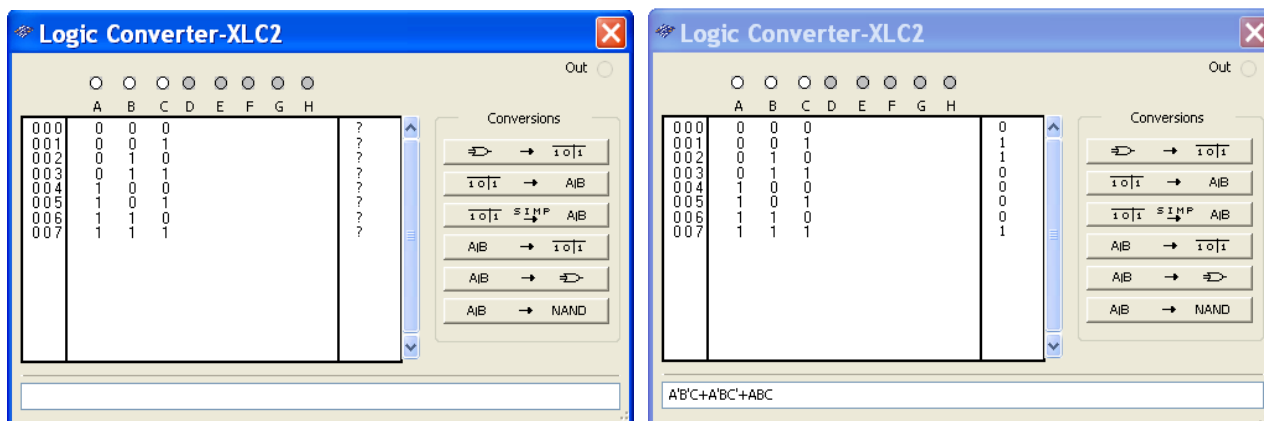
Per la realizzazione del circuito, trattandosi di una simulazione puramente logica, si consigliano i dispositivi **TIL**, raggiungibili con il tasto dei componenti **Misc Digital**.



Pulsante 2

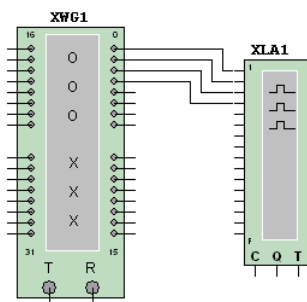
Immagine a sinistra: se la tabella non è già inserita la si può creare cliccando con il tasto sinistro del mouse quando il cursore è posizionato sui pallini delle singole variabili di ingresso: noi abbiamo cliccato su A, B e C, ottenendo le combinazioni di ingresso.

Immagine a destra: per fissare i valori in uscita posto il cursore del mouse sul singolo punto di domanda con un clic si ottiene 0, con due clic si ottiene 1 e con tre x (condizione di indifferenza). Ora cliccando sul pulsante 2 otterremo l'espressione della prima forma canonica (tenere presente che le complementazioni sono indicate con dei ').



Gli altri casi dovrebbero risultare evidenti senza ulteriori chiarimenti. Si tenga solo presente che l'espressione logica, se non ottenuta da passaggi precedenti, potrà essere direttamente scritta nello spazio previsto, tenendo presente quanto già detto per la complementazione (pulsante 2).

11.2 L'uso del Word Generator e del Logic Analyzer



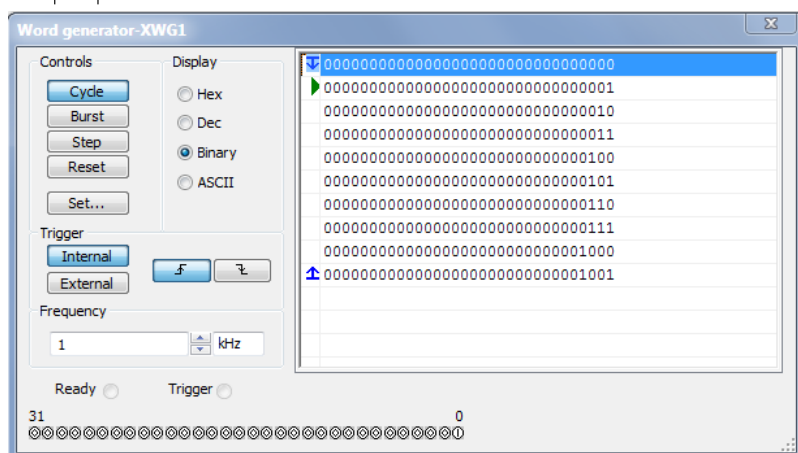
Il **Word Generator** genera parole binarie a 32 bit che possono modificarsi ciclicamente secondo diverse modalità.

Il **Logic Analyzer** permette la visualizzazione dei singoli bit in termini di diagrammi temporali. In pratica si tratta di un oscilloscopio a 32 canali che però può funzionare solo con segnali binari.

Nella figura a lato si vede un esempio d'uso di entrambi gli strumenti. Si tratta di un collegamento diretto del generatore di parole (XWG1) all'analizzatore di stati logici (XLA1). In particolare il collegamento avviene tra le uscite dei quattro bit meno significativi del Word Generator con quattro ingressi del Logic Analyzer.

Nel Word Generator la visualizzazione delle parole binarie può avvenire scegliendo nel settore **Display** tra esadecimale (Hex), decimale (Dec), binario (Binary) e ASCII. L'assegnazione delle singole parole può avvenire posizionando il cursore del mouse su una di esse e dopo avere cliccato con il tasto sinistro si può scrivere la parola con la tastiera del PC.

Per scegliere la modalità di successione delle parole in uscita al generatore di parole si clicca su **Set...** e si ottiene la finestra **Setting**.

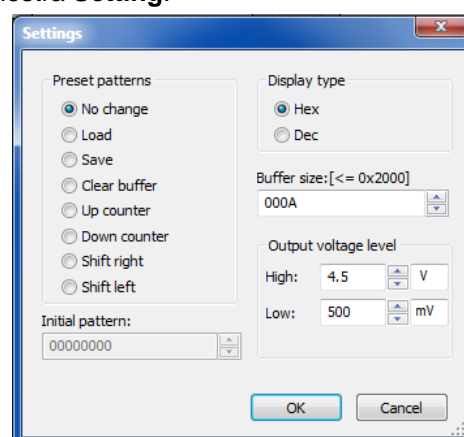


Di default nel settore **Preset Patterns** sarà attiva l'opzione **No Change**: se i valori precedentemente impostati vanno bene lasciamola e stabiliamo il numero (in binario o in esadecimale) di parole da considerare (che corrisponderà a quelle che avevamo precedentemente scritto) scrivendo in **Buffer Size**.

Con il tasto **OK** potremo tornare al pannello del generatore e definire la modalità di funzionamento:

- **Cycle** per ottenere in uscita le parole scritte una dopo l'altra ciclicamente;
- **Burst**: per avere la sequenza una sola volta;
- **Step**: per avere una esecuzione passo-passo.

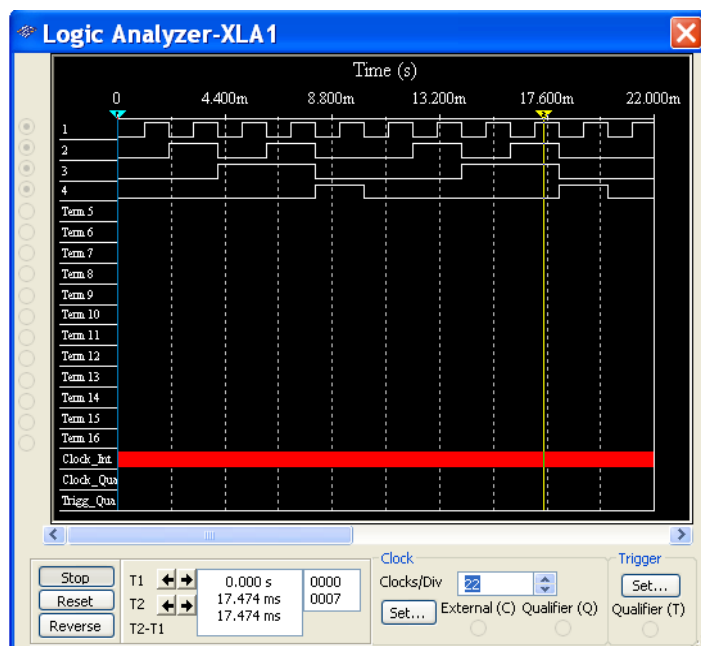
Nel settore **Frequency** dovremo poi fissare la frequenza di succes-



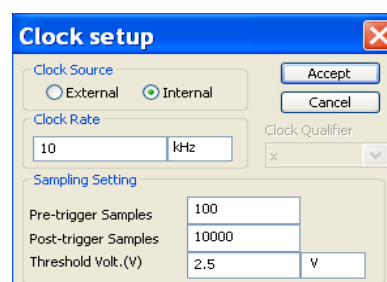
sione delle parole.

Ritornando alla finestra **Setting** possiamo scegliere anche tra altre opzioni vediamo alcune:

- **Up Counter:** stabilito il numero iniziale (**Initial Pattern**) si avrà una sequenza di conteggio in avanti definita dal numero che fisseremo in **Buffer Size** (nell'esempio in figura il conteggio avverrà da 0 a 9);
- **Down Counter:** come sopra ma con il conteggio all'indietro;
- **Shift Right:** fissato il valore iniziale con **Initial Pattern** e il numero di parole con **Buffer Size** otterremo, passando da una parola alla successiva, uno shift binario verso destra;
- **Shift Left:** come il precedente ma lo shift è verso sinistra.
- Nel settore **Output voltage level** è possibile fissare i livelli di tensione H ed L



L'analizzatore di stati logici visualizza le sequenze di bit in uscita al generatore di parole: nel nostro esempio il generatore conta ciclicamente da 0 e 9 e questo è ciò che viene visualizzato. In rosso il clock interno dello strumento, che va settato a una frequenza molto maggiore a quella dei segnali da visualizzare. Per farlo cliccare su **Set** e fissare il valore del **Clock Rate**, mentre sul pannello dell'analizzatore alla voce **Clock** potremo fissare il numero di questi clock corrispondenti a una divisione.

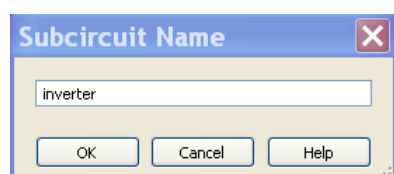


Per la teoria sui circuiti combinatori ed esempi di simulazioni con gli strumenti qui considerati si vedano i volumi 1 dei corsi di *Elettrotecnica ed Elettronica* o anche il volume 1 di *Telecomunicazioni*.

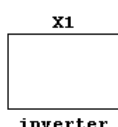
12. La creazione di blocchi funzionali

Spesso si rende necessario racchiudere in un unico blocco funzionale circuiti di una certa complessità. Il menu **Place** presenta, al riguardo, diverse possibilità.

12.1 Il percorso Place\New Subcircuit

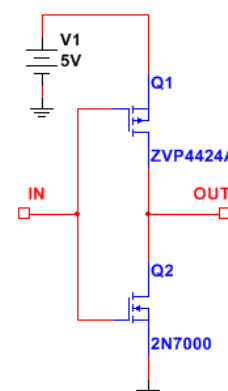
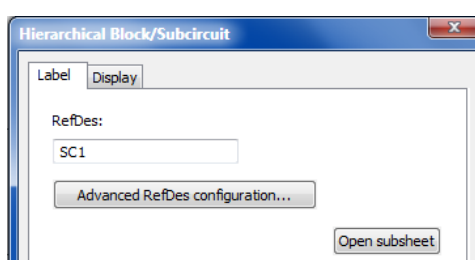


Supponiamo di voler realizzare un circuito che contenga un blocco. Con questo percorso si aprirà una finestra per assegnare al blocco da creare il nome desiderato. Con OK verrà inserito nel nostro circuito un blocco del tipo in figura.



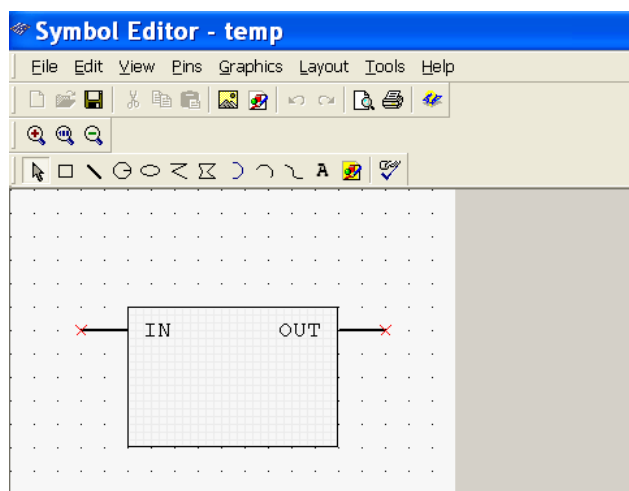
A questo punto cliccando con un doppio clic con il tasto sinistro del mouse con il cursore sul blocco si aprirà la finestra **Hierarchical Block/Subcircuit** per definire le modalità di visualizzazione del blocco esattamente come nei normali componenti elettronici (tasto **Display**). A noi ora però interessa il tasto **Open sub-sheet**, infatti cliccando su di esso si aprirà una nuova finestra di lavoro dove realizzare il circuito del nostro blocco. Noi ipotizziamo di voler realizzare il circuito interno di un inverter CMOS, come riportato a lato.

Si noti come nel circuito siano presenti dei terminali da usare per tutti i punti di accesso al nostro blocco e raggiungibili con il percorso **Place/Connectors Hierarchical Connector**.

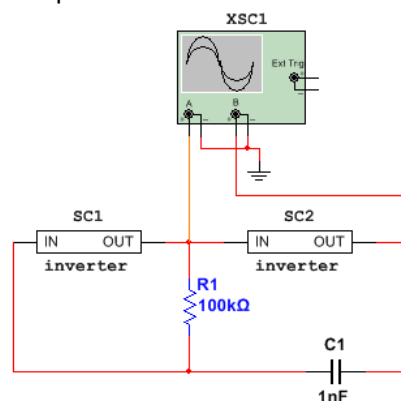


Senza questi terminali il nostro blocco risulterebbe privo di punti di accesso.

Ora in basso a sinistra nello schermo del PC con il mouse cliccheremo sul pulsante che ci riporta al circuito dove vogliamo inserire il nostro blocco. Se il blocco non ha le caratteristiche visive volute le potremo modificare; per farlo portarsi con il cursore del mouse sul blocco e cliccare con il tasto destro e scegliere **Edit/Symbol/Title Block** (immagine sottostante a sinistra).



Noi ci siamo limitati a modificarne le dimensioni e a realizzare un circuito multivibratore. Naturalmente siccome servivano due inverter abbiamo usato le normali funzioni di copia e incolla:



12.2 Simulazioni analogiche e simulazioni digitali

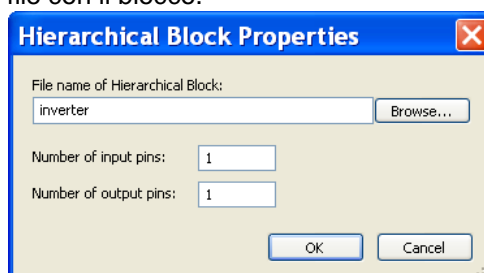
Ci si potrebbe chiedere come mai abbiamo realizzato i due inverter, anziché usare i tanti disponibili tra i componenti di Multisim. La motivazione è semplice: i modelli matematici usati nei componenti digitali non sono adatti a simulazioni analogiche, come questa, che richiede il funzionamento dell'inverter su tutta la sua caratteristica di trasferimento. Il problema si risolve in due modi: realizzare in Spice un modello analogico dell'inverter o più semplicemente realizzare il suo circuito usando componenti che hanno un modello di tipo analogico: è quello che abbiamo fatto in questo caso.

12.3 Il percorso Place/New Hierarchical Block

Con questo percorso si aprirà una finestra dove inserire il nome del blocco da creare, il numero dei pin di ingresso e di quelli di uscita, e il percorso (**Browse...**) dove salvare il file con il blocco.

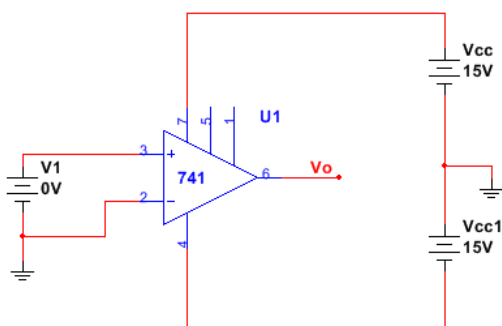
Con **OK** si aprirà la finestra di lavoro dove creare il blocco. A questo punto valgono considerazioni analoghe a quelle del punto precedente.

La modalità precedente crea il blocco internamente al file dove viene inserito, l'attuale invece crea il blocco come file autonomo. Per inserirlo in un circuito il blocco dopo essere stato salvato può essere recuperato con il percorso **Place/Hierarchical Block from File**. È quindi possibile creare una libreria di blocchi funzionali inseribili in circuito come dei normali componenti.



13. La simulazione in modalità sweep

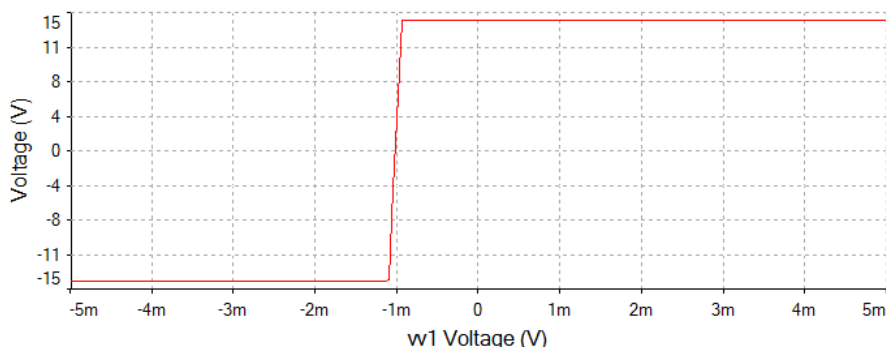
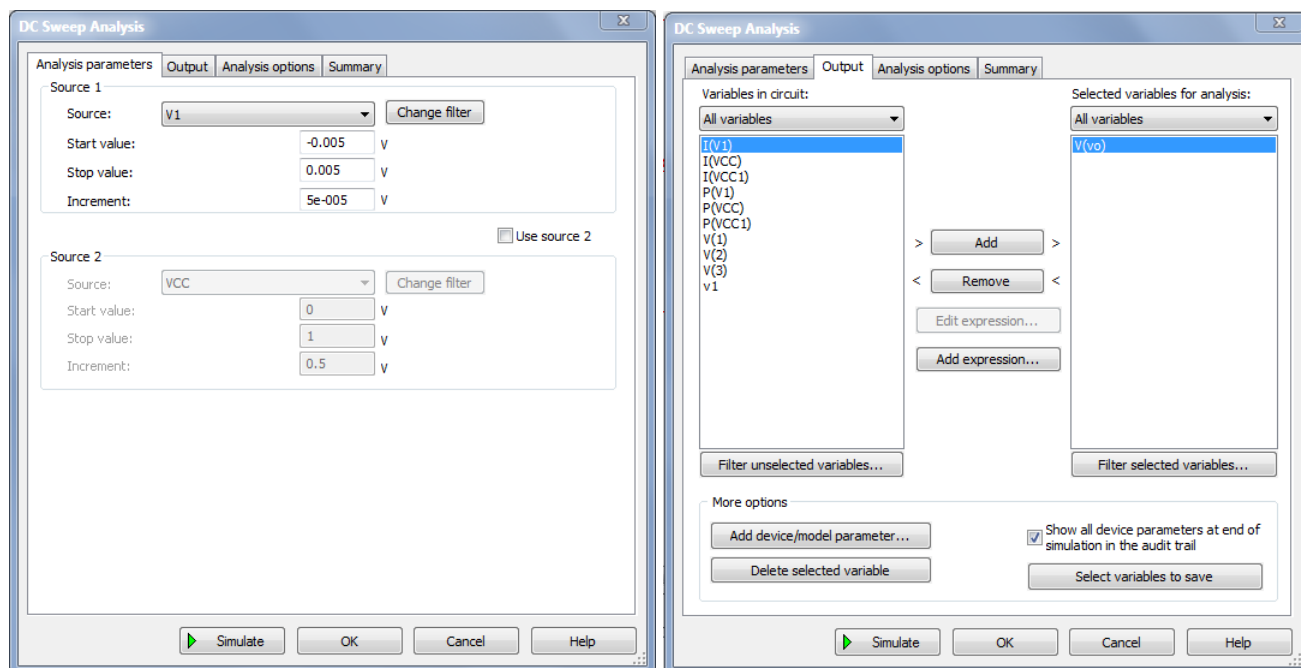
13.1 La simulazione DC sweep



Con questa modalità di simulazione è possibile valutare il comportamento di un circuito al variare nel tempo di una o due tensioni continue.

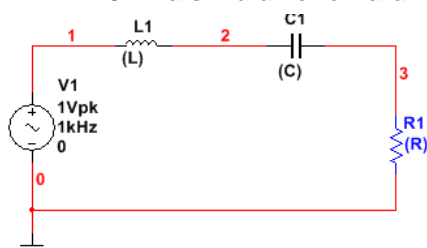
A lato il circuito proposto per tracciare la caratteristica di trasferimento di un operazionale ad anello aperto.

Una volta realizzato il circuito possiamo entrare nella simulazione con il percorso **Simulate/Analyses/DC sweep** e con il pulsante **Analysis Parameter** definire (successiva immagine a sinistra) i due estremi del valore di V1 (-5mV e +5mV) e il passo di incremento (50 μV). Successivamente con il pulsante **Output** (successiva immagine a destra) potremo selezionare la grandezza in uscita.



A questo punto si potrà avviare la simulazione, ottenendo la caratteristica cercata (notate la presenza di un offset di tensione in ingresso all'operazionale di circa 1 mV, valore coerente a quanto dichiarato nei data sheet dell'operazionale usato).

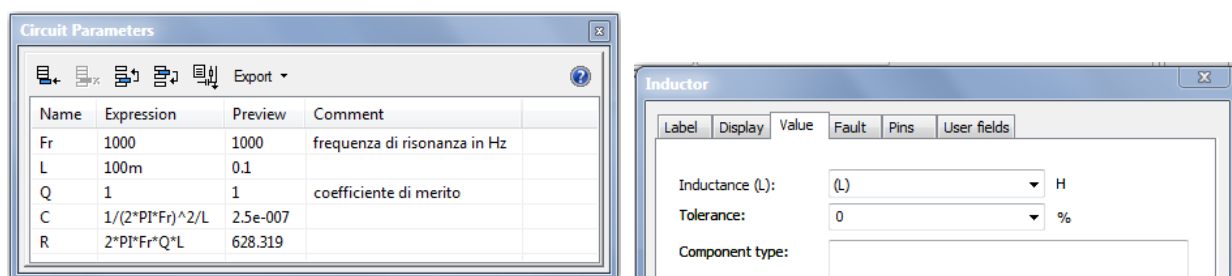
13.2 La simulazione Parameter sweep



Si tratta di una modalità che permette di agire sui i parametri circuitali. La descriviamo attraverso un esempio lasciando all'iniziativa del lettore l'analisi delle ulteriori possibilità offerte da questa modalità.

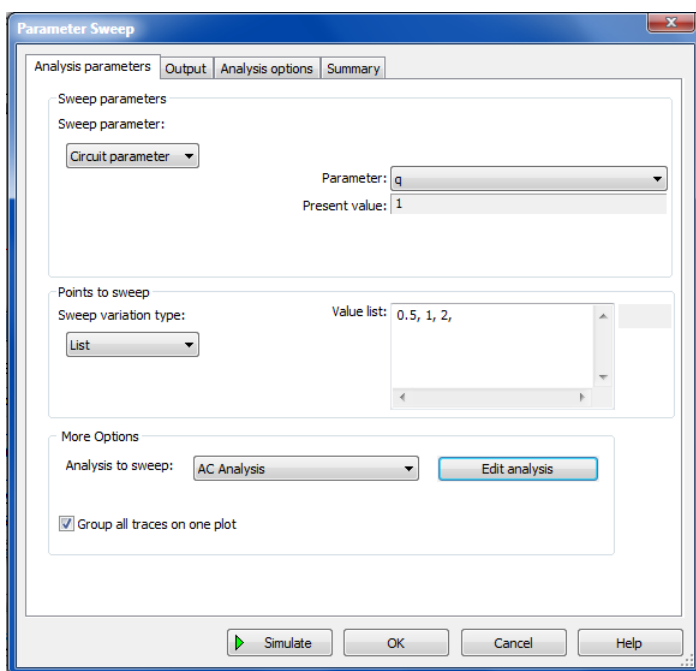
La simulazione proposta è relativa a un circuito risonante RLC serie. Dopo avere realizzato lo schematico riportato a lato, si deve aprire la finestra **Circuit Parameters** (dal menu **View**) e assegnare i parametri circuitali (immagine sottostante sulla sinistra): notare come R e C siano espressi in formula in funzione degli altri tre.

Ora con il solito doppio clic potremo assegnare a $L1$, $C1$ e $R1$ i valori letterali L , C e R (indicati tra parentesi per comodità, vedi il caso dell'induttanza riportato nella figura sottostante sulla destra).

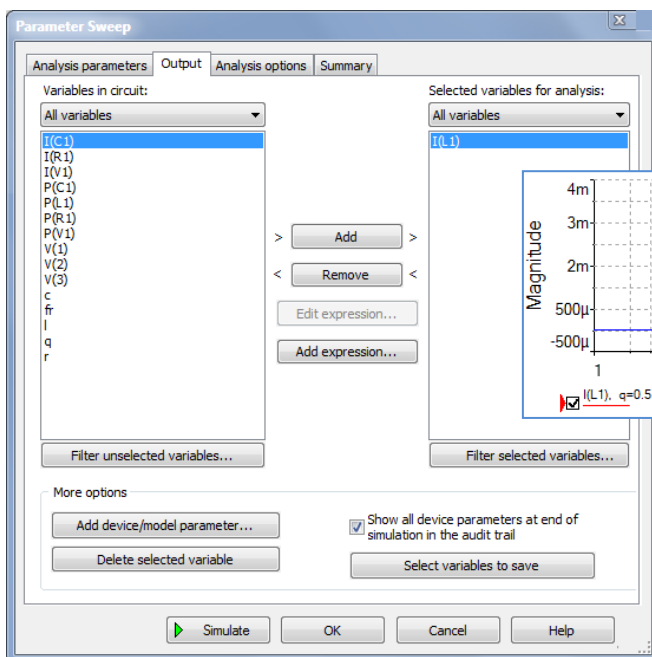
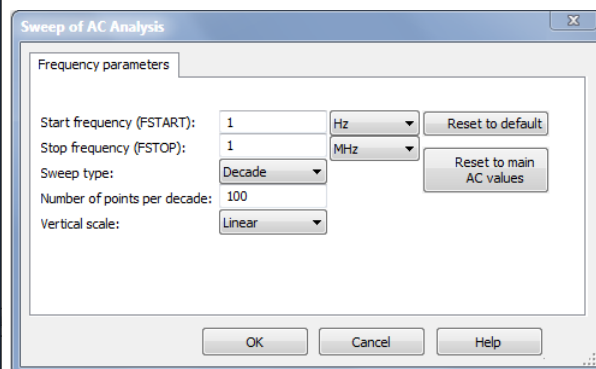


A questo punto possiamo entrare nella simulazione con **Simulate/Analyses/Parameter sweep** e in **Analysis parameter** selezionare:

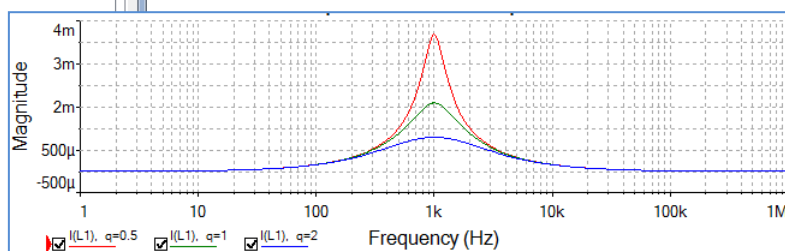
- il coefficiente di qualità Q ,



- la modalità dello sweep per punti fissando la lista (**list**) dei valori,
- la modalità di sweep su **AC Analysis** e cliccando su **Edit analysis** la modalità di visualizzazione e i numeri di punti usati nel grafico.

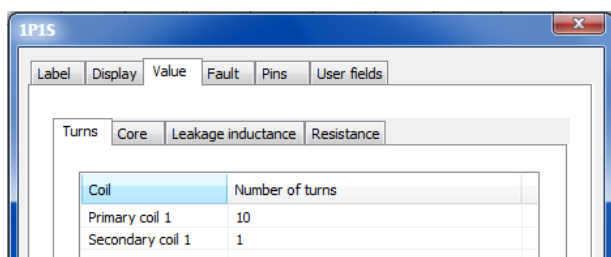


Potremo poi selezionare con **Output** la grandezza da visualizzare (abbiamo scelto $I(L1)$) e, infine, avviando la simulazione ottenere il grafico della corrente al variare della frequenza e per i diversi valori di Q scelti:



Come già precisato, l'esempio proposto descrive solo una delle possibili modalità d'uso della simulazione **Parameter sweep**.

14. I dispositivi elettromeccanici



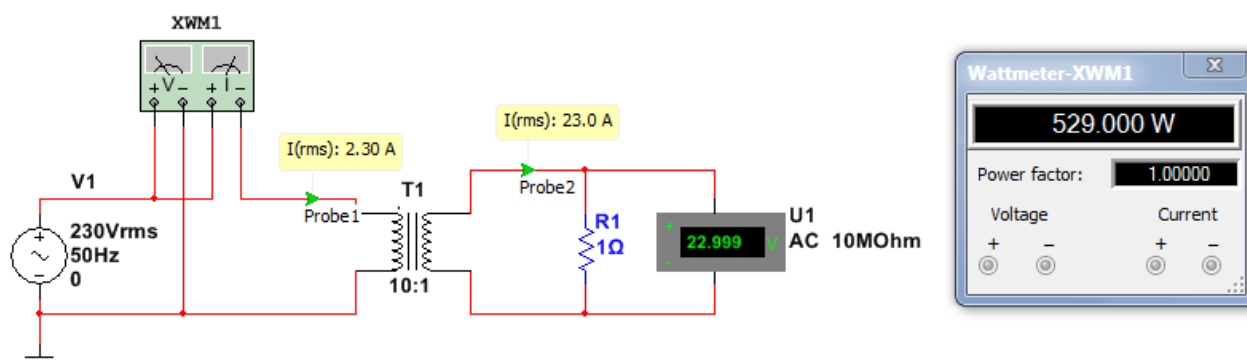
Con Multisim è possibile simulare anche diversi dispositivi elettromeccanici. Proponiamo due semplici esempi utili per valutare la potenzialità di Multisim anche in questo ambito.

Il primo usa un trasformatore ideale **Basic/TRASFORMER/1P1S** con rapporto di trasformazione $V1/V2=10$. A lato la finestra per assegnare il rapporto di trasformazione; per quanto riguarda gli altri valori (induttivi e resistivi) abbiamo lasciato le condizioni ideali.

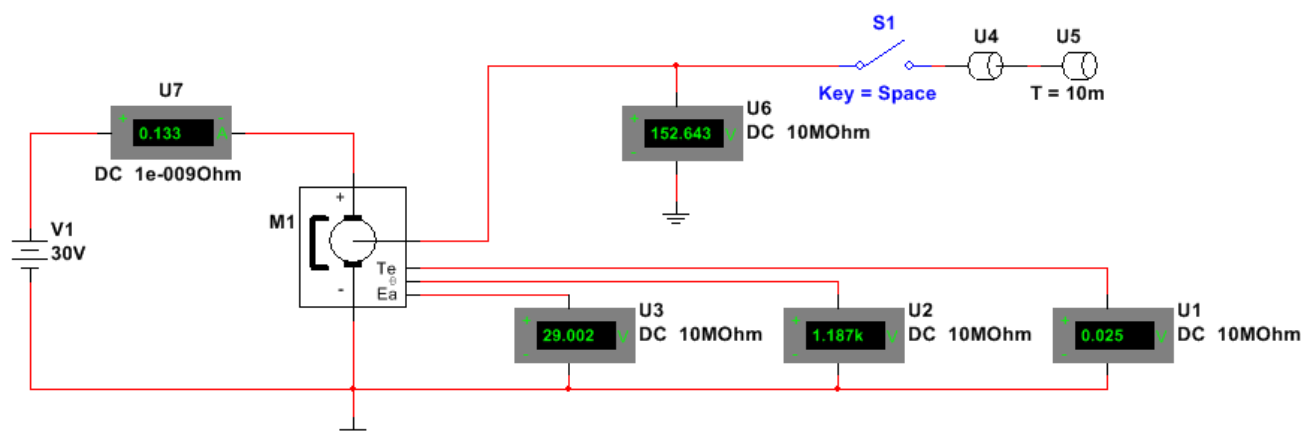
Nel circuito proposto possiamo notare come il trasformatore sia totalmente ideale, infatti la potenza assorbita al primario coincide con quella dissipata dal carico ed inoltre il $\cos\phi$ è unitario.

Volendo un trasformatore reale è possibile introdurre i parametri nel modello di Multisim ma, personalmente, consigliamo di creare il circuito equivalente scelto aggiungendo i valori resistivi ed induttivi in modo che il cir-

cuito equivalente risulti anche visivamente evidente (nonché concettualmente corrispondente a quanto studiato nella teoria).



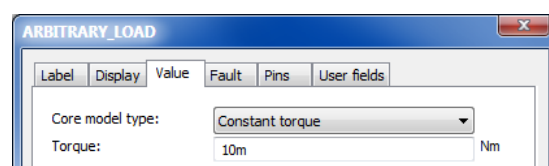
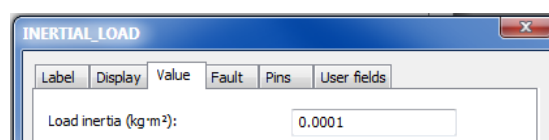
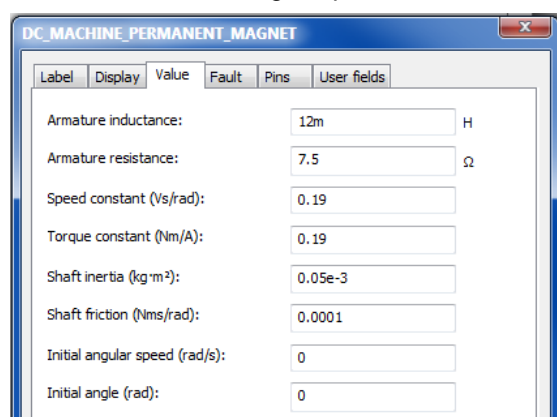
Nella successiva figura si propone la simulazione di un motore in corrente continua a magnete permanente (**Component/Electro_Mechanical/MACHINES/DC_MACHINE_PERMANENT_MAGNET**).



In questo circuito U4 esprime il valore inerziale del carico mentre U5 esprime un carico meccanico da noi fissato a coppia resistente costante.

Questi componenti sono reperibili con il percorso **Component/Electro_Mechanical/MECHANICAL_LOADS**.

Nelle successive immagini riportiamo i valori assegnati ai parametri del motore e del carico meccanico.



Completiamo l'analisi del circuito osservando che:

- la tensione del voltmetro U1 esprime il valore della coppia motrice in Nm;
- la tensione del voltmetro U2 esprime l'angolo di rotazione in radianti (e quindi il suo valore continua a crescere durante la simulazione);
- la tensione del voltmetro U2 esprime il valore della f.e.m. indotta del motore;
- la tensione del voltmetro U6 esprime la velocità di rotazione del motore in rad/s;
- l'interruttore S1 permette di confrontare il funzionamento a vuoto e sotto carico del motore.

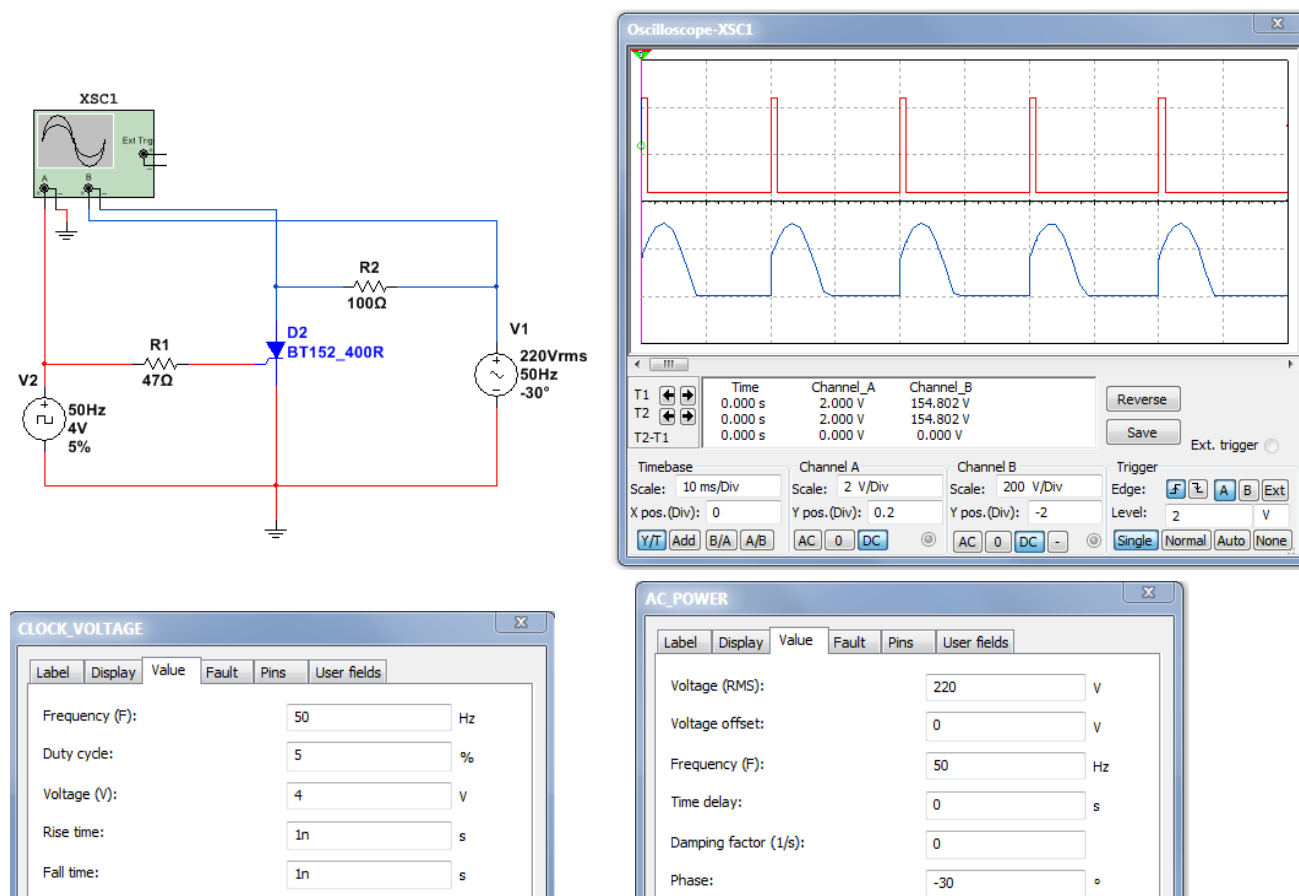
Per la teoria sul trasformatore si può consultare uno dei seguenti volumi: i fascicoli di supposto al vol. 2 del corso di Elettrotecnica ed Elettronica ed. 2012, il vol. 2 del corso di Elettrotecnica ed Elettronica per articolazione Elettrotecnica ed. 2014 o il vol. 3 del corso di Elettrotecnica ed Elettronica per articolazione Automazione ed. 2013. Per la teoria sul motore in corrente continua si può consultare: il vol. 3 del corso di Elettrotecnica ed Elettronica articolazione Elettrotecnica ed. 2013, il vol. 3 del corso di Elettrotecnica ed Elettronica articolazione Automazione ed. 2013.

zione Automazione ed. 2013 o il fascicolo per Elettronica di supporto al vol. 2 del corso di Elettrotecnica ed Elettronica ed. 2012.

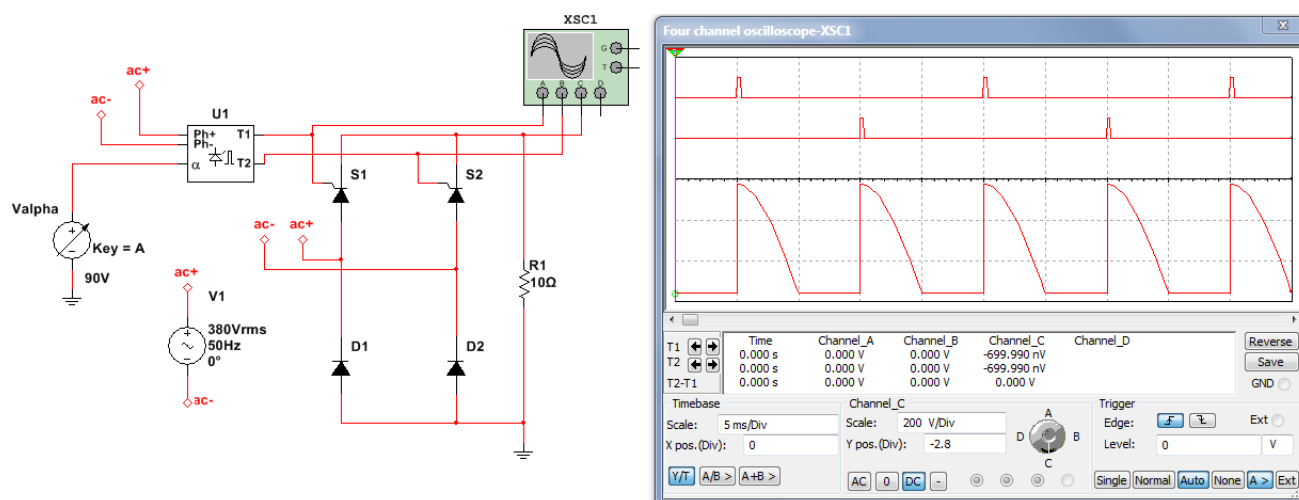
15. L'elettronica di potenza

Anche in questo caso ci si limita ad alcuni esempi.

Nell'immagine sottostante un esempio di pilotaggio di un SCR (questi dispositivi sono nel gruppo **Diodes**) con innesco a parzializzazione della forma d'onda. Per modificare la parzializzazione basta agire sulla fase del generatore sinusoidale. Di seguito è anche visualizzato il settaggio dei due generatori.

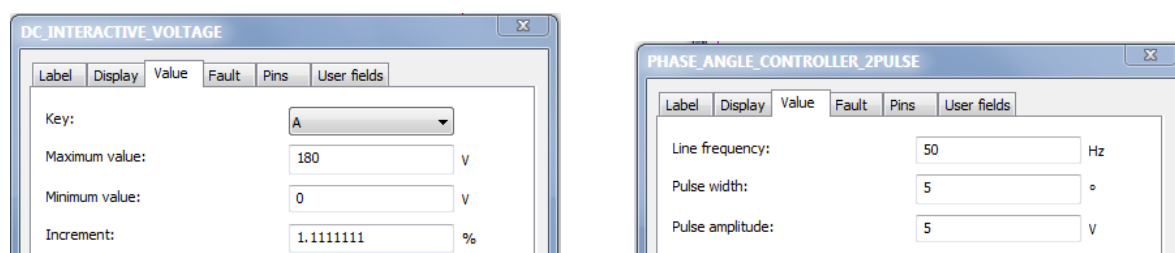


Nella successiva immagine proponiamo un raddrizzatore a ponte semiconduttore.



Il dispositivo U1 (**Component/POWER/POWER_CONTROLLERS/PHASE_ANGLE_CONTROLLER_2PULSE**) fornisce gli impulsi per il pilotaggio dei due SCR, con la possibilità di modificare lo sfasamento rispetto alla

tensione di rete tramite il generatore **Valpha** la cui tensione variabile coincide con lo sfasamento degli impulsi con la tensione di rete. Notare i connettori del tipo **Place/Connectors/On-page connector** che, a parità di nome, sono tra loro tutti collegati, evitando così di inserire molti fili (per i dettagli vedi il successivo paragrafo). Nell'immagine sottostante il settaggio del generatore **Valpha** e del generatore di impulsi.

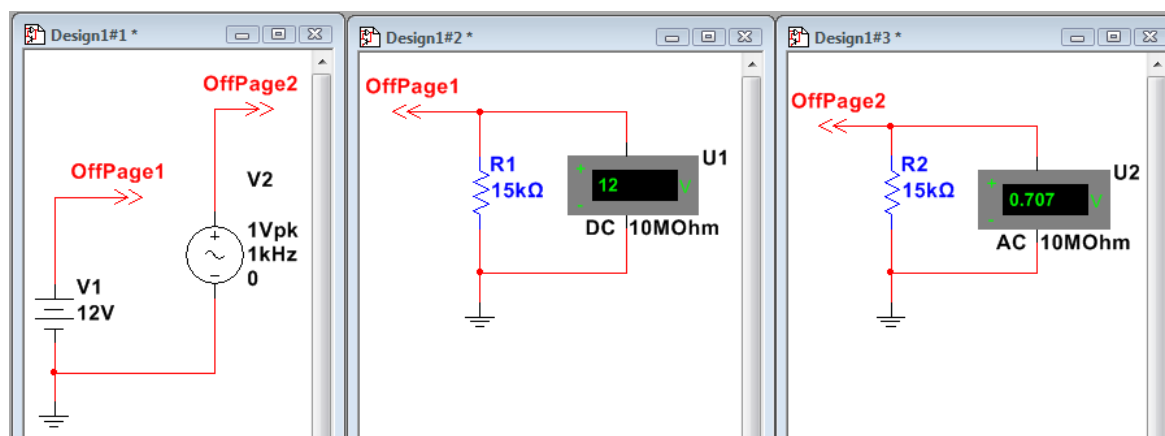


16. I connettori di Multisim

Con il percorso **Place/Connectors** è possibile selezionare diversi tipi di connettori. Iniziamo con questi tre:

- **On-page connector**: tutti i connettori di questo tipo, con assegnato lo stesso nome, sono tra loro elettricamente collegati, senza dover procedere al tracciamento dei fili di connessione. Li abbiamo usati nel secondo esempio del precedente par. 15 e permettono di semplificare lo schematico. Tutti i connettori con lo stesso nome vanno inseriti nella stessa pagina del nostro schematico (vedi oltre).
- **Global connector**: si differenziano dai precedenti perché il collegamento tra connettori con lo stesso nome vale anche se i connettori sono posti in pagine diverse dello stesso schematico.
- **Off-page connector**: permette di collegare elettricamente le parti di circuito che si trovano in pagine diverse.

Va a questo punto chiarito che, qualora si renda necessario, uno schematico complesso può essere realizzato in più pagine. Per farlo: **Place/Multi-page**. Multisim chiederà di dare un nome a questa nuova pagina (se è la seconda proporrà 2). Nella successiva immagine un esempio volutamente elementare realizzato su tre pagine:



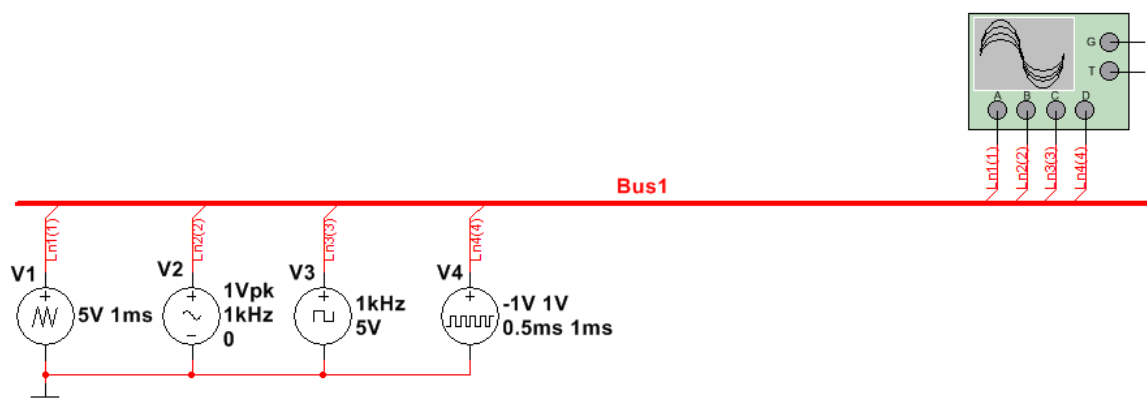
Si può facilmente vedere come i connettori del tipo **Off-page** (opportunamente nominati) colleghino le tre parti di circuito posizionate nelle tre pagine, rendendolo così unico.

Un'altra categoria di connettori è quella per la creazione dei blocchi funzionali (**Place/Connectors Hierarchical Connector**) già introdotta nel par. 12. Vogliamo solo osservare che questi connettori possono essere definiti come bidirezionali (**Generic**), come ingressi (**Input**) e come uscite (**Output**). Con il solito doppio clic si può modificare la situazione originariamente scelta.

16.1 Il collegamento a Bus

Nel caso di molti collegamenti si può anche ricorrere al collegamento a Bus, tipico di collegamenti digitali con molti bit funzionalmente omogenei, ma che nulla vieta di utilizzare anche in situazioni diverse.

La figura successiva ne riporta un esempio elementare:



Per creare il Bus: **Place/Bus** e tracciate la linea con il mouse. Partendo dai singoli generatori tracciate con il mouse delle linee che si avvicinino, senza toccarlo, al bus: ora con un clic create il collegamento (con un poco di pratica imparerete a fare tutti i colleganti visivamente uguali). Ora collegate anche gli ingressi del nostro oscilloscopio: mentre prima per i nomi assegnati ai collegamenti si potevano usare quelli di default (ma nulla vieta di cambiarli), ora dovrete scegliere come nome dei singoli collegamenti quello corrispondente alla linea desiderata. Notate che tra parentesi Multisim indica anche il nome dei singoli nodi di connessione.

Tornando ai connettori osservate anche i:

- **Bus hierarchical connector**;
- **Bus off-page connector**.

che a questo punto dovrebbero risultare funzionalmente chiari.

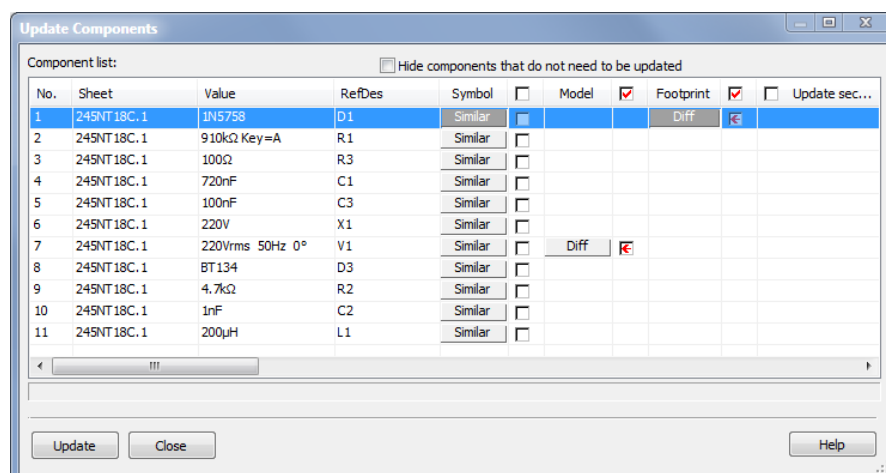
17. Due importanti funzionalità

17.1 La funzione Converge Assistant

La convergenza è il punto di arrivo di ogni algoritmo che utilizza l'iterazione o la ricorsione per elaborare una serie di dati. Può succedere che i parametri di default usati nella simulazione non permettano la convergenza, ovvero il raggiungimento di risultati univoci. Quando un errore di convergenza si verifica, durante la simulazione in Multisim, appare un messaggio che chiede se si desidera eseguire il **Convergence Assistant** per tentare di risolvere automaticamente il problema. Difficilmente vi capiterà con le semplici simulazioni sin qui proposte ma comunque, siccome prima o poi vi capiterà, è utile sapere subito come procedere se succede:

1. fare clic su **Yes** quando il messaggio in questione appare;
2. inizierà in automatico la procedura di risoluzione del problema attraverso una sequenza di passaggi per ricercare la convergenza, attraverso l'ottimizzazione di diversi parametri di simulazione;
3. a convergenza raggiunta apparirà in una finestra di dialogo una relazione di sintesi con il dettaglio sulle modifiche apportate (attenzione si tratta di modifiche sui parametri usati da Multisim ma non riguardano il circuito);
4. nel caso che la convergenza non avvenga, ricontrollate il circuito perché potrebbe presentare errori e leggete le indicazioni fornite da Multisim sul tipo di errore riscontrato.

17.2 La funzione Update Component



Se viene utilizzato un circuito creato in una versione di Multisim precedente a quella in uso il programma converte automaticamente il tutto in modo da risultare compatibile con la nuova versione. Tuttavia non sempre questa conversione avviene in modo completo e in questi casi la simulazione può non funzionare correttamente. Comunque anche se la simulazione avviene correttamente può essere utile verificare se non sia opportuno procedere comunque ad un aggiornamento. Per farlo **Tools/Update component**. Così fa-

cendo Multisim indicherà gli eventuali componenti che a livello di modello Spice (**Model**), di simbolo circuitale (**Symbol**) o ancora di contenitore (**Footprint**) presentano differenze significative (**Diff**) o di poco conto (**Similar**). Fatte le scelte opportune si può procedere all'aggiornamento (**Update**).

18. Altri strumenti di misura disponibili

18.1 Gli strumenti commerciali Agilent e Tektronix

Come già detto nel par. 5, si tratta di un generatore di funzioni, un multimetro digitale e due oscilloscopi commerciali perfettamente imitati nell'immagine visiva e (quasi) perfettamente imitati nelle funzionalità. Per il loro funzionamento si rimanda alla documentazione ufficiale dei relativi costruttori. Qui è comunque opportuno osservare che la simulazione di questi strumenti presenta alcune limitazioni nelle funzionalità rispetto al caso degli strumenti ideali (il che spiega il precedente quasi). Una essenziale esposizione delle funzionalità di questi strumenti e di quelle non supportate a livello di simulazione è disponibile in *NI Multisim User Manual* (January 2009).

18.2 Gli strumenti creati in LabVIEW

Si tratta di ulteriori esempi di strumenti di misura, e non solo, creati con il software NI LabVIEW e disponibili in Multisim. Operando in LabVIEW è anche possibile crearne di nuovi.

Qui ci limitiamo a riportare l'elenco di quelli forniti in automatico installando Multisim:

- BJT analyzer;
- Impedance Meter
- Microphone
- Speaker
- Signal Analyzer
- Signal Generator
- Steaming Signal Generator

Un'interessante applicazione del microfono e dell'altoparlante è proposta nel vol. 2 del corso di *Elettrotecnica ed Elettronica* ed. 2012. Sempre nello stesso volume potete trovare un esempio di strumento creato con LabVIEW (comparatore a finestra) e importato in Multisim; lo stesso esempio è anche presente nel materiale digitale del volume di *Elettrotecnica ed Elettronica* ed. 2014.

Anche per questi strumenti una essenziale esposizione delle loro funzionalità è disponibile in *NI Multisim User Manual* (January 2009).

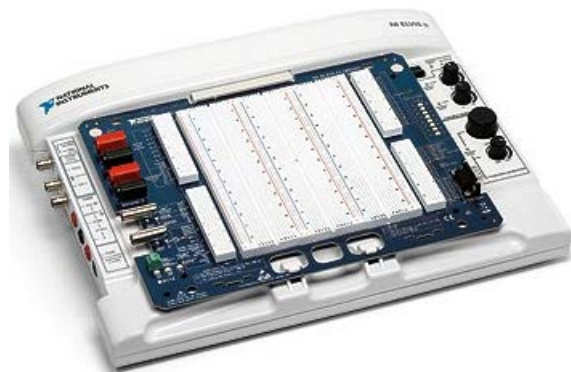
18.3 I supporti didattici NI ELVIS II e NI MyDAQ

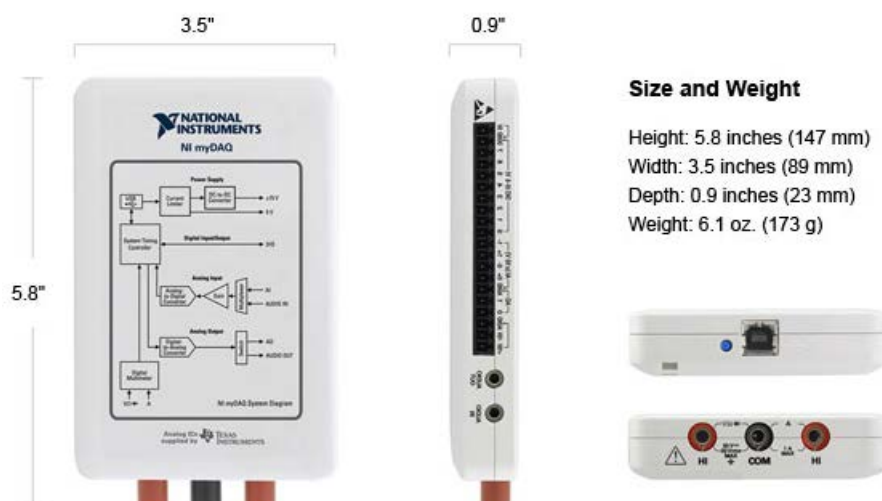
Si tratta di due supporti hardware e software NI che sono simulabili all'interno di Multisim, con la possibilità, quindi, di confrontare i risultati simulati e quelli misurati sul prototipo usando i medesimi strumenti di misura in entrambi i casi e in contemporanea.

La loro simulazione è possibile, prescindendo dal loro effettivo possesso, pur di installare il file NI ELVISmx, che contiene i relativi driver, scaricabile (gratuitamente previa registrazione) dal sito NI e valido per entrambi gli hardware (in sede di installazione di Multisim verrà chiesto se si vuole installare ELVISmx ma comunque si potrà installarlo anche in un secondo tempo).

L'**ELVIS II** interfacciato a un PC tramite porta USB dispone di:

- dodici strumenti integrati (multimetro, oscilloscopio, alimentatore, generatore di funzioni, generatore di forme d'onda arbitrarie, analizzatore di segnali, generatore digitale e lettore digitale, analizzatore di impedenze, Bode plotter, traccia curve a due e tre vie) con i relativi pannelli visualizzati sullo schermo del PC;
- otto ingressi analogici differenziali o dodici non differenziali, due uscite analogiche e ventiquattro I/O digitali;
- piano breadboard per la realizzazione circuiti sperimentali.





Size and Weight

Height: 5.8 inches (147 mm)
Width: 3.5 inches (89 mm)
Depth: 0.9 inches (23 mm)
Weight: 6.1 oz. (173 g)



Il **MyDAQ** è il fratello minore di ELVIS e, per il suo basso costo, rappresenta una soluzione ottimale per realizzare un completo laboratorio elettronico per uso personale.

Anche lui opera in abbinamento a un PC ma è molto più compatto e il circuito va realizzato su una piastra breadboard a parte.

Dispone di:

- nove strumenti integrati (multimetro, oscilloscopio, alimentatore, generatore di funzioni, generatore di forme d'onda arbitrarie, analizzatore di

segnali, generatore digitale e lettore digitale, Bode plotter) con i relativi pannelli visualizzati sullo schermo del PC;

- due ingressi analogici di tipo differenziale;
- due uscite analogiche;
- otto I/O digitali;
- un ingresso e un'uscita audio.

Per la funzionalità di questi strumenti, oltre alla relativa documentazione, si può consultare l'Help di Multisim (come per gli strumenti Agilent e Tektronix non tutte le funzionalità sono supportate a livello di simulazione). Un esempio d'uso del MyDAQ (termometro) è proposto nei volumi 3 del corso di *Elettrotecnica ed Elettronica* per le articolazioni Elettronica e Automazione ed. 2013.

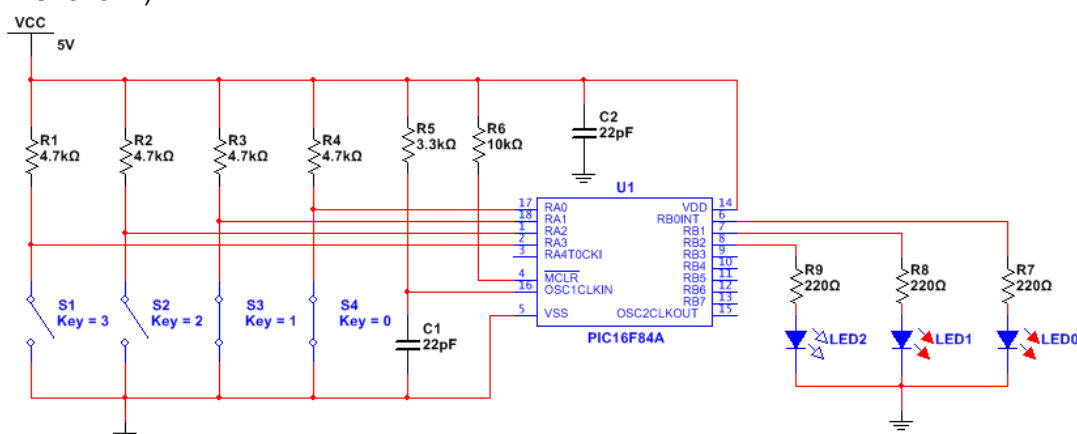
19. Ulteriori possibilità di simulazione offerte da Multisim

Questo breve manuale non può entrare in tutti i dettagli delle molteplici possibilità offerte da Multisim. Per un ulteriore, e comunque sempre parziale, approfondimento si può considerare il corso *Conoscere e usare NI Multisim* (di Ambrosini-Spadaro) scaricabile gratuitamente dal sito Internet della rivista *Elettronica In e*, naturalmente oltre all'Help in linea, i manuali originali NI (le versioni fornite in sede di installazione non sono complete, se si vuole un manuale più dettagliato si può ricorrere all'edizione 2009 di *NI Multisim User Manual* che, anche se riferito a una edizione precedente di Multisim, è sicuramente più completo).

Di seguito vengono comunque introdotte, a scopo informativo, tre specifiche funzionalità di Multisim, che meritano attenzione. Delle prime due comunque se ne parla con un certo dettaglio nei volumi riportati nella premessa a questo manuale (come esplicitamente richiamato nel seguito di questo scritto).

19.1 La simulazione dei microprocessori

L'ambiente di sviluppo per microcontrollori (MCU) di Multisim permette di simulare circuiti elettronici con microcontrollore, attraverso l'esecuzione dei propri listati o di codice compilato. Il modulo MCU simula i microcontrollori Intel 8051 e 8052, Microchip PIC16F84 e PIC16F84A (nella successiva figura un Full-Adder realizzato con il PIC16F84A).



Usando l'Editor dell'ambiente **MCU** è possibile scrivere il codice sorgente per il microcontrollore scelto, direttamente all'interno di Multisim, compilarlo, eseguirlo ed, eventualmente, accedere agli strumenti di **Debug** per svolgere il codice passo-passo a livello di istruzione, ottenendo anche vedute della memoria e dei registri interni del MCU. Le funzionalità per il debug sono raggiungibili usando il menu **MCU** nella barra dei menu di Multisim.

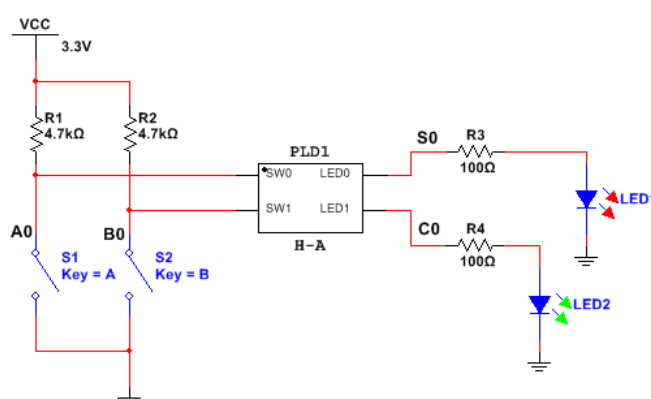
Il modulo di simulazione Multisim MCU prevede la programmazione in assembly e in C, oltre a permettere l'importazione a bordo del MCU di codice macchina già compilato con gli strumenti software propri del microcontrollore che si sta usando (ad esempio, MPLAB per il PIC16F84A).

Esempi, adeguatamente commentati, si trovano nei vol. 1 di *Elettrotecnica ed Elettronica* ed. 2012 e 2013 o anche nel vol. 1 di *Telecomunicazioni*. In particolare, l'esempio dell'immagine precedente è descritto nel volume 1 di *Elettrotecnica ed Elettronica* per l'articolazione Elettrotecnica ed. 2014.

19.2 Progettazione e simulazione di circuiti con PLD


All'interno di Multisim è disponibile l'ambiente di sviluppo **PLD Design** che, grazie alla disponibilità di tutti gli elementi logici necessari, permette la creazione e simulazione di sistemi digitali complessi che, sempre all'interno di Multisim, possono essere esportati in formato VHDL (creato sempre da Multisim). Sarà quindi possibile implementare questo progetto nell'ambiente per FPGA scelto (ad esempio utilizzando la FPGA Board della NI).

Esempi adeguatamente commentati si trovano nei vol. 1 di *Elettrotecnica ed Elettronica* ed. 2012 e 2014 (l'immagine a lato si riferisce al caso di un Half-Adder proposto nel vol. 1 ed. 2014).

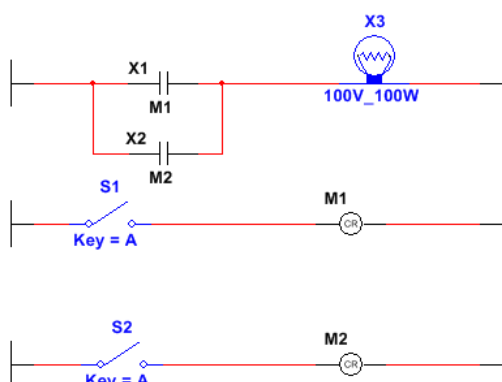


19.3 I circuiti ladder

Multisim dispone di un set completo di strumenti per la programmazione a contatti tipica dei PLC (moduli di I/O, temporizzatori, contatori, ecc.).

Per questa funzionalità è disponibile una specifica toolbar  che contiene:

- **Place Ladder Diagram** che permette di selezionare i componenti desiderati (raggiungibili anche con il percorso **Place/Components/Ladder_Diagram**);
- **Place Ladder Rungs** che serve per l'inserimento dei **rung** (pioli) del diagramma: con questa modalità si inseriscono direttamente i due **rung** destro e sinistro già tra loro collegati (il collegamento verrà poi alterato dall'inserimento dei diversi componenti; dopo l'inserimento di una o più coppie di rung per interromperne l'ulteriore l'inserimento cliccare con il tasto destro del mouse). In alternativa tra i componenti del gruppo **Ladder_Diagramm** sono prelevabili i singoli **rung**



A lato un esempio di funzione logica OR le cui bobine M1 e M2 sono pilotate da due switch S1 e S2: per accendere la luce basta che se ne chiuda uno dei due.

I contatti normalmente aperti X1 e X2 dei relè sono raggiungibili con il percorso **Ladder_Diagram/ LADDER_CONTACTS/ RELAY_CONTACT_NO**; la luce si trova in **Indicators/LAMP**; gli switch in **Basic/SWITCH/DIPS1** e le bobine M1 e M2 dei relè in **Ladder_Diagram/LADDER_RELAY_COILS/RELAY_COIL**.

20. Interazioni con LabVIEW

Sebbene non rientri nelle intenzioni di questa breve guida, è importante osservare come esistano diverse possibilità di interazione tra Multisim e il software LabVIEW, anch'esso della NI. In particolare esiste la possibilità di interazione a livello di strumenti creati con LabVIEW e utilizzabili in Multisim (vedi il par. 17.2) ma ancora più ampiamente di trasferire dati tra i due software sfruttando circuiti creati in Multisim e strumenti creati in LabVIEW. Per queste applicazioni esiste un apposito software il *Multisim API Toolkit per LabVIEW* che si in-

stalla con Multisim 13. Esiste anche una ancora più ampia possibilità di interazione tra i due software attraverso una effettiva co-simulazione, che però richiede l'installazione in LabVIEW di *NI LabVIEW Control Design and Simulation Module* (non fornita con la versione Student).

21. Funzionalità per la didattica

21.1 Le restrizioni

Multisim permette di introdurre delle restrizioni all'uso dello stesso per impedire allo studente di accedere ad alcune funzionalità.

21.1.1 Le restrizioni globali

Le restrizioni globali riguardano tutti i circuiti riferiti al percorso scelto e possono riguardare le Toolbar, i database, la versione completa o semplificata di Multisim e le simulazioni. Per accedere a questa funzione: **Options/Global restrictions**. Una volta definita la restrizione verrà chiesta una password: quella di default è presente nel manuale che si installa con Multisim (*Multisim for Education*) e dovrà essere modificata. In particolare se si attiva la restrizione che limita l'uso alla sola versione semplificata lo studente avrà a disposizione solo le funzioni di base e un più limitato numero di strumenti e di analisi.

21.1.2 Le restrizioni sul circuito

In questo caso le restrizioni introdotte (ad esempio l'impossibilità di leggere i valori di alcuni componenti) agiscono solo sul circuito scelto. Anche in questo caso la restrizione si attiva inserendo una password ma ora non ne esiste una di default.

21.2 Inserimento guasti

Con il solito doppio clic su uno specifico componente e selezionando la voce **Fault** è possibile inserire tra due terminali del componente un cortocircuito o un circuito aperto e anche una perdita (di valore resistivo definibile) tra un terminale e massa.

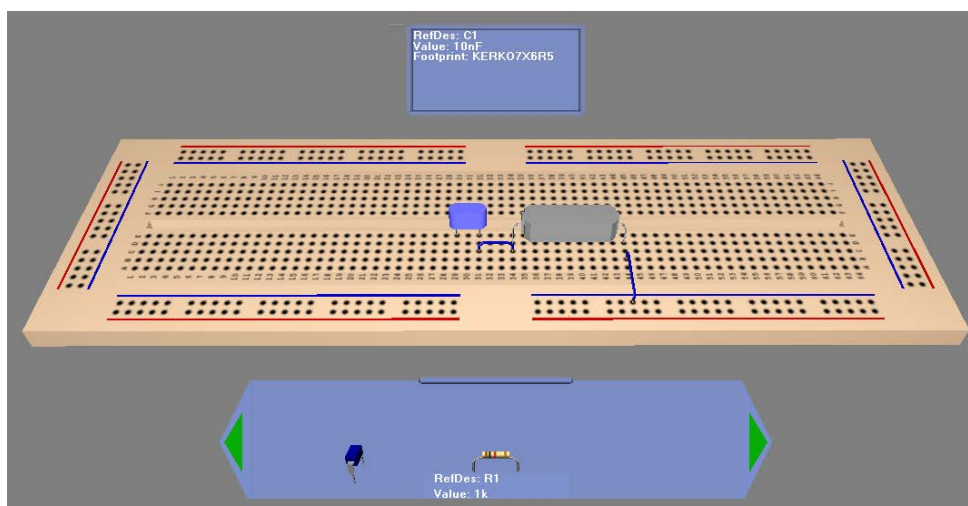
Se questa funzionalità è introdotta con una restrizione sul componente in modo da non risultare visibile può essere usata per allenare gli studenti alla ricerca guasti.

21.3 Rottura componenti

Se vengono utilizzati nel circuito componenti della categoria **Basic/RATED_VIRTUAL** è possibile assegnare ai componenti scelti diversi parametri significativi (ad esempio in un resistore la massima potenza dissipabile, in un diodo la tensione inversa di rottura, in un BJT le tensioni limite, ecc.). Se durante la simulazione i valori limite fissati vengono superati Multisim simula la rottura del componente (lo si vede attraverso una simbolica alterazione del simbolo e attraverso l'alterazione dei risultati della simulazione).

21.4 Montaggio su breadboard con visualizzazione 3D

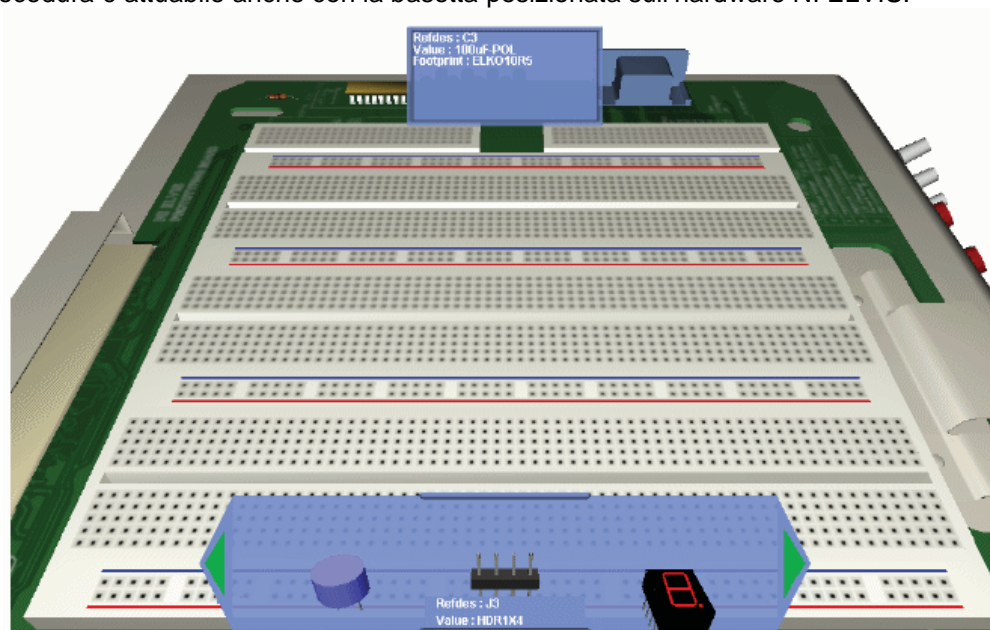
Dopo aver realizzato uno schematico e verificata la sua correttezza tramite simulazione. Con il percorso Tools/View Breadboard è possibile visualizzare un'immagine di questo tipo:



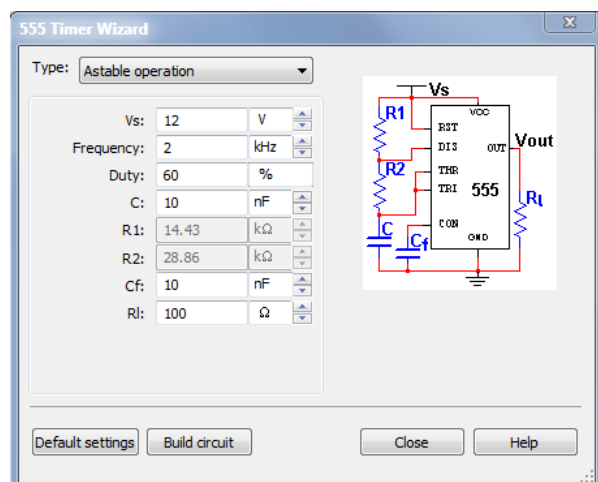
Nella parte inferiore appaiono i componenti da inserire sulla basetta (trascinandoli con il mouse) e nella parete in alto i dati relativi al componente su cui è posizionato il mouse. Sempre tramite mouse è possibile inserire i fili di collegamento e modificare l'orientamento tridimensionale della basetta.

Con questa modalità lo studente può esercitarsi sul montaggio anche senza usare componenti reali e il docente può controllare la correttezza del montaggio prima che questo avvenga effettivamente.

La stessa procedura è attuabile anche con la basetta posizionata sull'hardware NI ELVIS:



21.5 Progettazione assistita



Con il percorso **Tools/Circuit wizards** è possibile procedere rapidamente alla progettazione di alcuni semplici circuiti:

- monostabile e astabile con il timer 555 (vedi figura a lato);
- filtri;
- operazionali in configurazione invertente e non invertente;
- amplificatore ad emettitore comune.

Inserendo alcuni valori e cliccando su **Built circuit** vengono ricavati in automatico i rimanenti e si ottiene lo schematico pronto per la simulazione.

22. Per ulteriori approfondimenti ...

Quanto qui esposto descrive solo una minima parte delle possibilità offerte da Multisim. Per ulteriori notizie, oltre all'Help in linea spesso molto essenziale, si possono consultare le guide che si installano con Multisim che nella versione Education sono:

- *Circuit Design Suite 13.0 Getting Started*
- *Circuit Design Suite 13.0 Installation Guide*
- *Multisim for Education*

Si tratta, in effetti, di guide molto snelle e quindi decisamente insufficienti.

Per altre informazioni si può consultare *Conoscere e usare NI Multisim* di Ambrosini-Spadaro; si tratta di una guida riferita alla versione 11 e scaricabile gratuitamente dal sito della rivista *Elettronica IN*. Pur non coprendo tutte le possibilità è sicuramente un testo più completo di questo Starter Kit.

Una guida decisamente più completa e scaricabile dal sito NI risulta *NI Multisim User Manual (January 2009)*, che però risalendo al 2009 non risulta pienamente rispondente alle funzionalità di Multisim 13.

Su singoli argomenti è poi possibile trovare notizie nel sito NI.