

A cura del Prof. Puglisi Salvatore A.s.2011/2012

Guida all'uso del Multisim

Computer Aided Drafting di Elettronica

Prof. Puglisi Salvatore

09/07/2012



Premessa

Credo che ormai nessuno possa fare a meno dei simulatori, specialmente chi si occupa nel far didattica a livello scolastico sia che svolga un'attività professionale, appunto per queste motivazioni che cerco con tanto sforzo nel proseguire questo cammino, chiaramente non so, dove mi porterà, spesso mi pongo dei quesiti qualcuno in rete riesce ad aiutare un Prof. che vuole mantenere vivo il desiderio di imparare e di essere propositivo verso i propri allievi? Bando alle ciance andiamo alla guida del nostro famoso software Multisim 10.1 e Ultiboard 10.1 essenzialmente questo programma offre all'utente funzioni di disegno, simulazione, sbroglio e stampa, questi strumenti, così efficaci, non possono essere spesi male, esiste la rispettive versioni demo e student appunto una versione free ma che contengono in genere delle grossissime limitazioni, per la sua grande affidabilità e la sua efficacia ho deciso di realizzare una guida illustrata, certamente non troverete tutto ciò che vi serve, la presunzione di pensare questo grazie a Dio non l'ho ma comunque vi servirà come infarinatura di uno studio che deve sicuramente approfondito, cordiali saluti e buon lavoro.

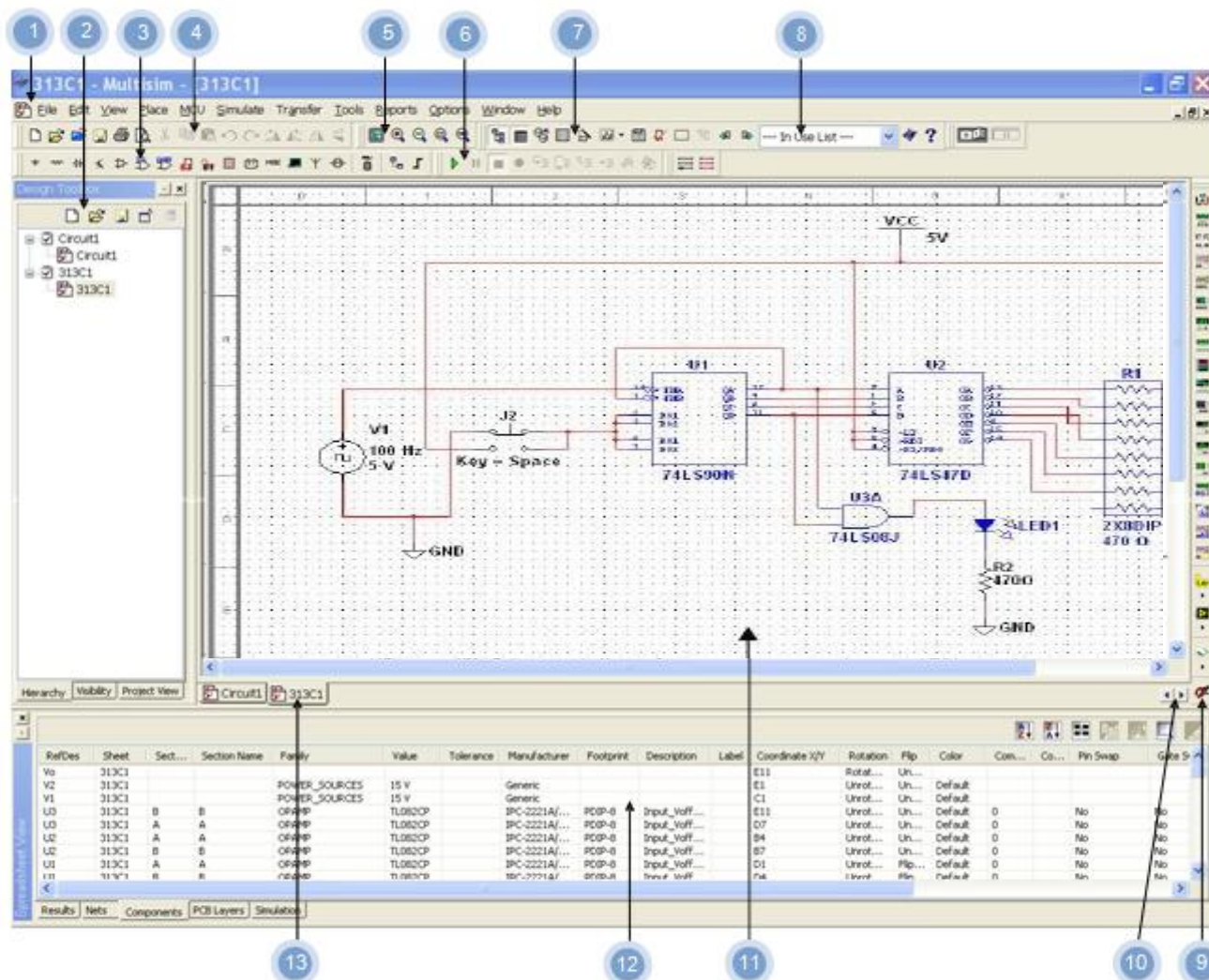
P.S. se trovate degli errori aiutatemi a migliorare la guida, segnalate l'errore nel mio sito, Grazie!

Indice

1. Introduzione all'uso di Multisim	4
2. La realizzazione di un circuito	5
2.1 I componenti e il loro inserimento	5
2.2 Disposizione e collegamenti dei 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	14
6. La simulazione	15
7. L'analisi in DC	15
7.1 Uso degli strumenti di misura	15
7.2 Uso del menu Simulate	17
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	20
8.4 Analisi in transitorio con l'oscilloscopio	21
8.5 Analisi in transitorio con il menu Simulate	21
9. Il tracciamento dei diagrammi di Bode	22
9.1 Il tracciamento dei diagrammi di Bode di una funzione di trasferimento con il Bode Plotter	22
9.2 Il tracciamento dei diagrammi di Bode di una funzione di trasferimento con il menu Simulate	24
9.3 Il tracciamento dei diagrammi di Bode partendo dal circuito	25
10. L'analisi armonica	26
10.1 L'uso del menu Simulate	26
10.2 L'uso dello strumento Spectrum Analyzer.....	27
11. L'analisi dei circuiti digitali.....	28
11.1 Lo strumento Logic Converter	28
11.2 L'uso del Word Generator e del Logic Analyzer	30
12. La creazione di blocchi funzionali.....	32
12.1 Il percorso Place>New Subcircuit	32
12.2 Simulazioni analogiche e simulazioni digitali	33
12.3 Il percorso Place>New Hierarchical Block	33

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 del menu, sia nella scelta delle icone, sia nella posizione delle diverse toolbar spostandole trascinandoli con il mouse.



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 lo schematico con Multisim.

2.1 I componenti e il loro inserimento

Sono disponibili due categorie di componenti:

- Reali;
- Virtuali.

Quelli virtuali presentano la possibilità di definire a piacimento molti parametri ma non dispongono di uno specifico contenitore e quindi sono inadatti al trasferimento dello schematico in Ultiboard per la creazione del PCB.

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

Per realizzare un circuito scegliere il tasto componenti desiderato, di seguito vengono messi in evidenza una serie di scelte possibili :



Source: sorgenti di segnali continui e variabili, massa e massa digitale

Basic: componenti di base: resistori, condensatori, potenziometri, switch, relay, connettori ecc.

Diode: 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, ecc.

Indicator: dispositivi di visualizzazione: voltmetri, amperometri, display, lampadine, buzzer, ecc.

Power Component: alimentatori lineari, tensioni di riferimento, fusibili e dispositivi analogici vari


Miscellaneous: trasduttori, accoppiatori ottici, valvole, cristalli, convertitori switching, ecc.

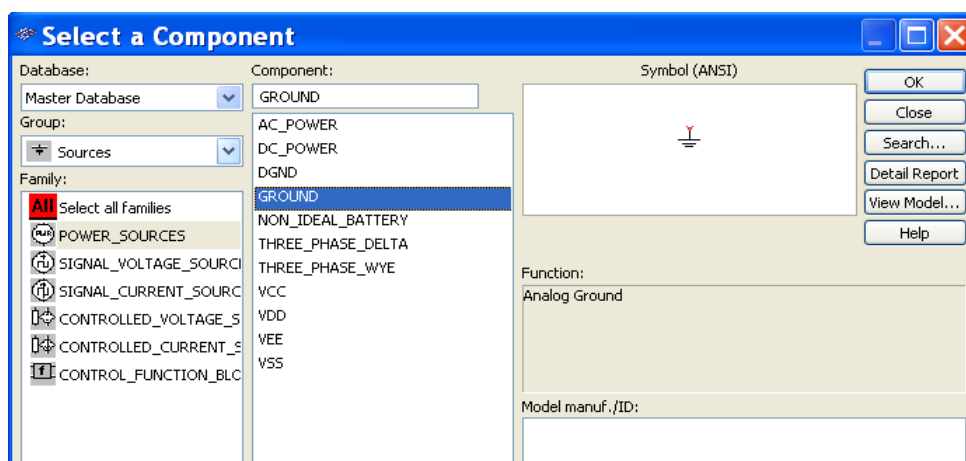
Advanced Peripherals: tastiere numeriche, LCD ed altro

RF: componenti per radiofrequenze

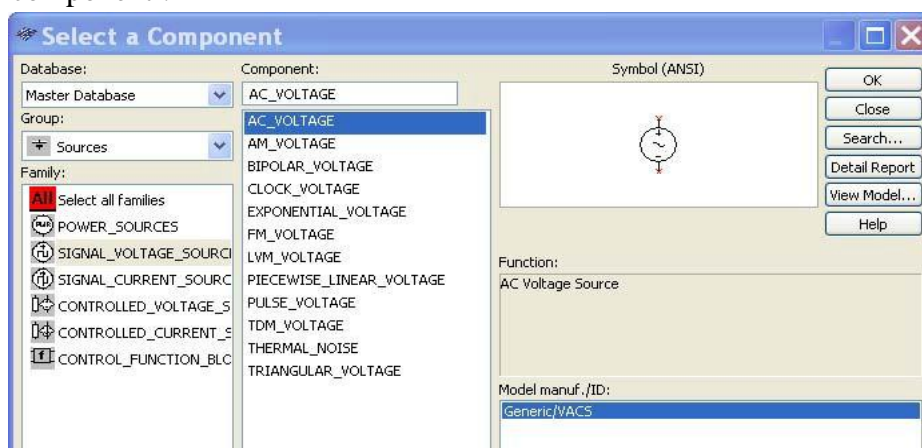
Electromechanical: dispositivi elettromeccanici


MCU: microcontrollori 805x, PIC16F84A, RAM e ROM

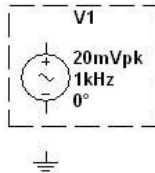
Se ad esempio serve il simbolo di massa, premi il tasto  e si apre la finestra seguente:



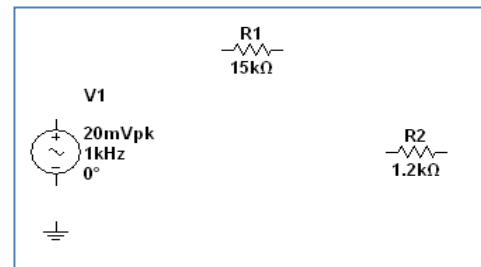
Si seleziona la famiglia POWER_SOURCES, il componente GROUND e si preme OK: apparirà il simbolo di massa che potrà essere trascinato con il mouse dove desiderato. Premendo il tasto sinistro del mouse si fisserà la posizione. Dopo aver fissato la posizione del componente si riaprirà la finestra per la 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 premiamo close per chiuderla, analizziamo il circuito con un doppio click 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 k Ω e l'altro da 1,2 k Ω , 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** fisseremo anche l'involucro del componente (fotoprint manif.).

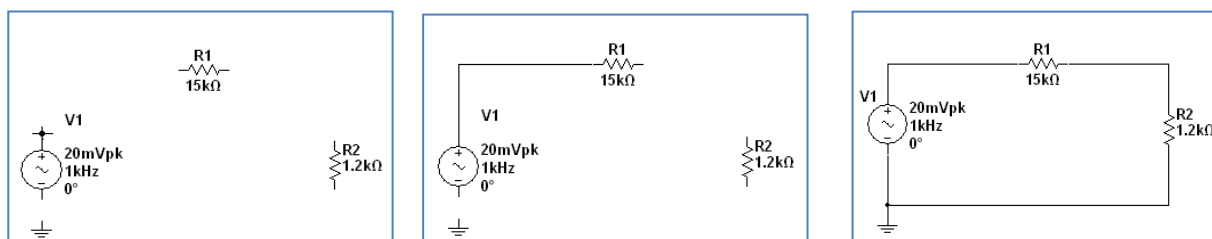


Premendo OK porteremo il resistore nel circuito e poi, procedendo allo stesso modo, porteremo nel circuito l'altro resistore fissando il valore 1.2k (attenzione mettere il punto e non la virgola). La situazione sarà di questo tipo:



2.2 Disposizione e collegamenti dei componenti

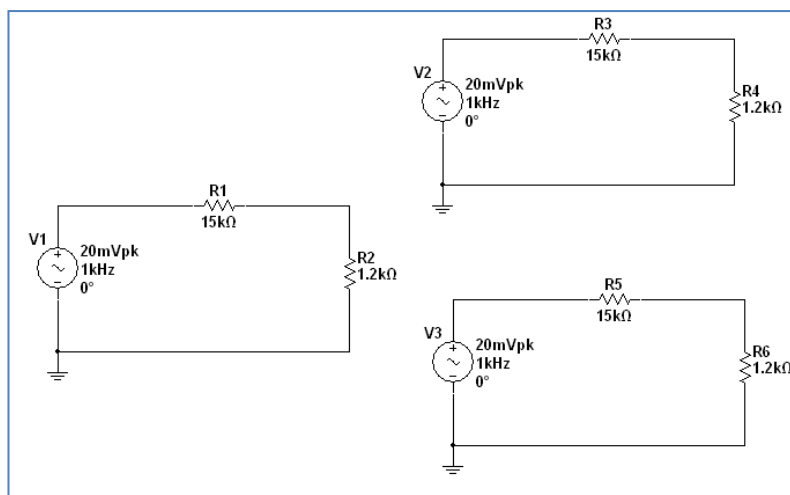
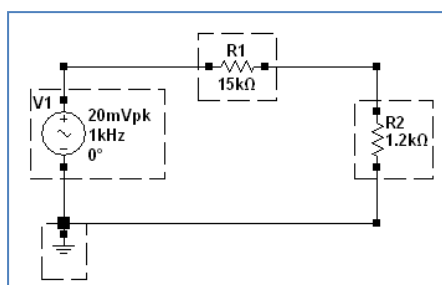
A questo punto dobbiamo imparare a posizionare i componenti e a collegarli tra loro; in particolare per spostarli basta posizionare il cursore del mouse sul componente e tenendo premuto il tasto sinistro trascinare il componente dove si desidera. In modo analogo si può spostare la posizione del simbolo 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 a sinistra. Premendo il tasto sinistro e tenendolo premuto fino a raggiungere un altro terminale nascerà il filo di raccordo: un doppio click completerà il collegamento come nella figura centrale.



A questo punto procedendo allo stesso modo si completeranno i collegamenti come nella figura 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, il problema si può risolvere con il comando **Place>Junction**: apparirà, trascinato dal cursore del mouse, un pallino nero che, posizionato su uno dei due fili, creerà un nodo, 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).

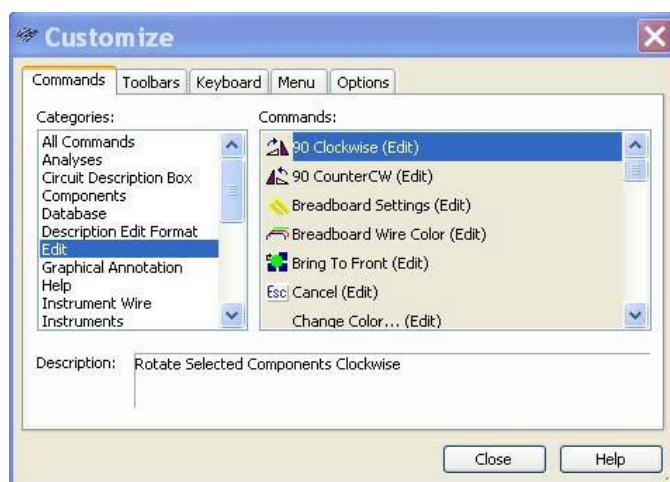






I valori elettrici dei singoli componenti incollati potranno poi essere modificati con un doppio click, va però osservato che le funzioni di taglia e incolla (ma anche quella di Delete) sono anche gestibili da mouse con le tipiche modalità di office (tasto destro per aprire il menu e tasto sinistro per scegliere il comando).


3. La personalizzazione

3.1 La personalizzazione dei comandi

Tramite il menu **Option>Customize User Interface** è possibile aprire la finestra **Customize**:



Procedere all'inserimento nelle barre dei comandi dei singoli pulsanti corrispondenti a specifici comandi di uso frequente così sarà più velocemente raggiungibile piuttosto che attraverso i percorsi dei diversi menu, l'elenco è molto lungo, qui ci limitiamo a proporre l'inserimento di quattro comandi della categoria Edit, ruota di 90° in senso orario , ruota di 90° in senso antiorario , si ribalta intorno all'asse orizzontale , si ribalta intorno all'asse verticale . Una volta individuati i comandi basterà portarli uno alla volta nella barra scelta trascinandoli con il mouse (tenere premuto il tasto sinistro). Noi proponiamo di inserirli nella barra standard a fianco

dei comandi taglia e incolla  in questo modo sarà facile evidenziare i singoli componenti e poi orientarli come meglio conviene.

3.2 La personalizzazione del circuito

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

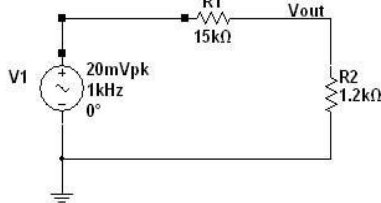
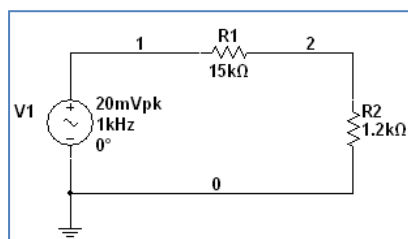
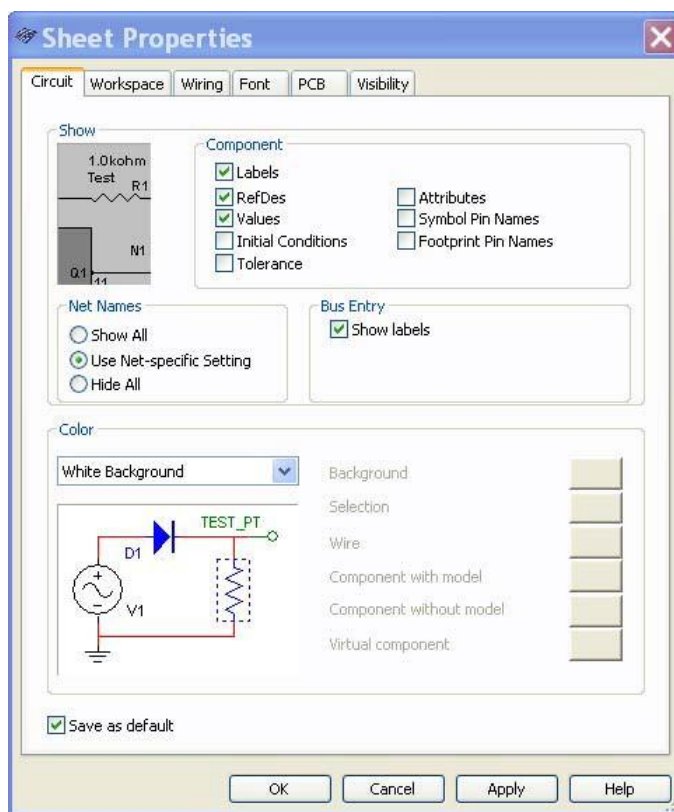
Con il pulsante **Circuit** sono definibili le regole di visualizzazione:

➤ **Color:** tra le diverse regole 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).

➤ **Component:** per stabilire cosa deve essere visualizzato dei diversi componenti; si consiglia di spuntare le tre voci in figura: 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 potranno risultare utili su singoli componenti e verranno chiariti più avanti.

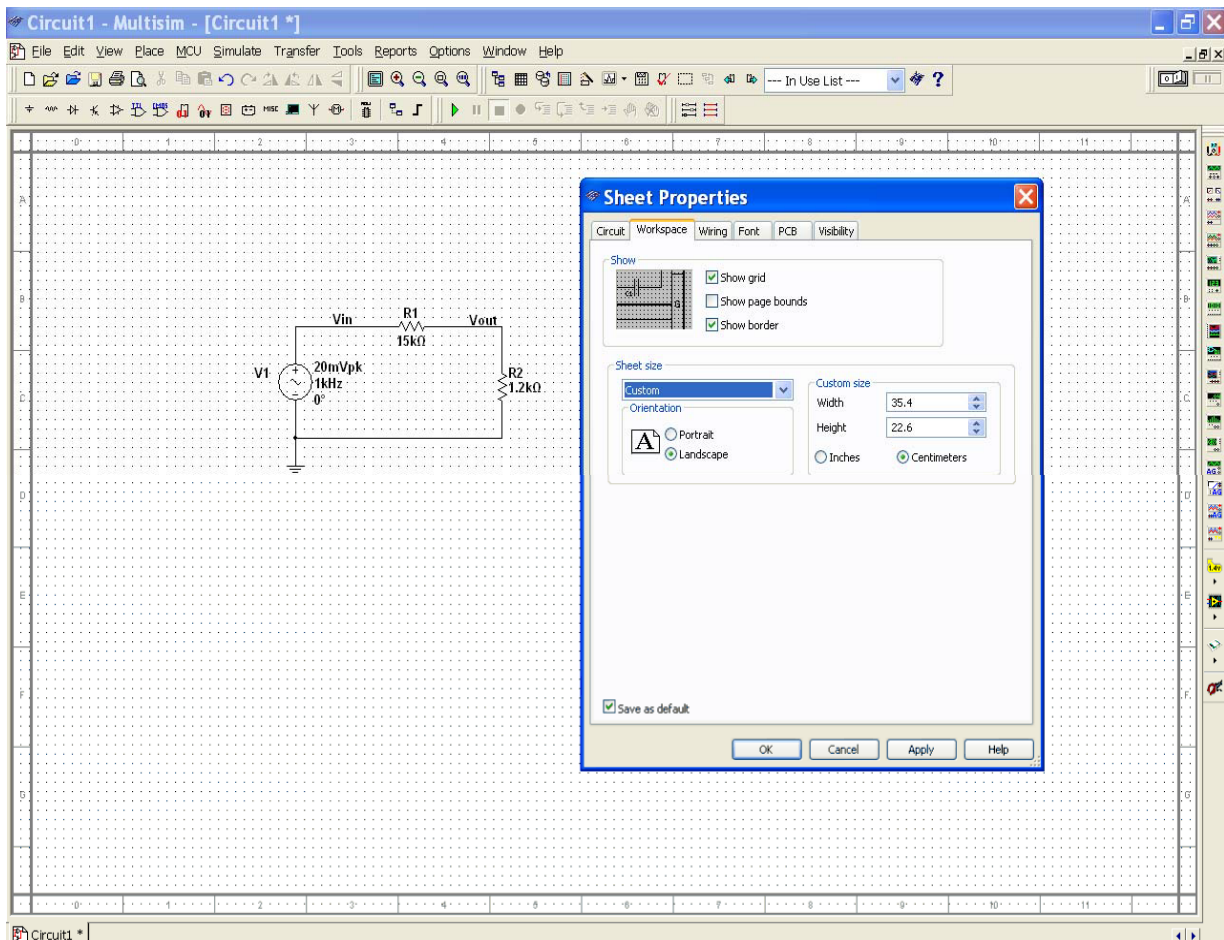
➤ **Net Names:** con **Show All** sono indicati i numeri di tutti i nodi del circuito (figura a sinistra); con **Use Net-Specific Setting** sono indicati solo i nodi scelti: con un doppio click sul tratto di collegamento interessato si apre una finestra che permette di assegnare al nodo il valore voluto (*spuntare Show e poi OK*: immagine a destra con già assegnato il nome a un nodo e in via di assegnazione l'altro); con **Hide All** si rinuncia alla visualizzazione dei nodi.



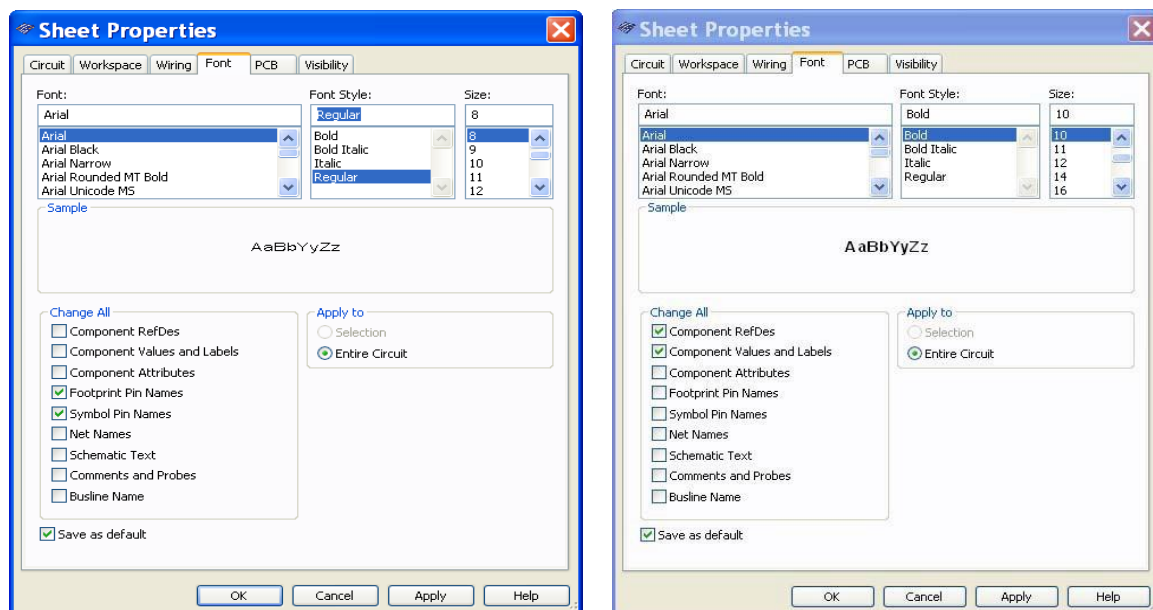
Con il pulsante **Workspace** è possibile stabilire la presenza/assenza della griglia (**Show grid**), mostrare i limiti della pagina (**Show page bond**), mostrare un bordo di contorno del foglio (**Show**

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.

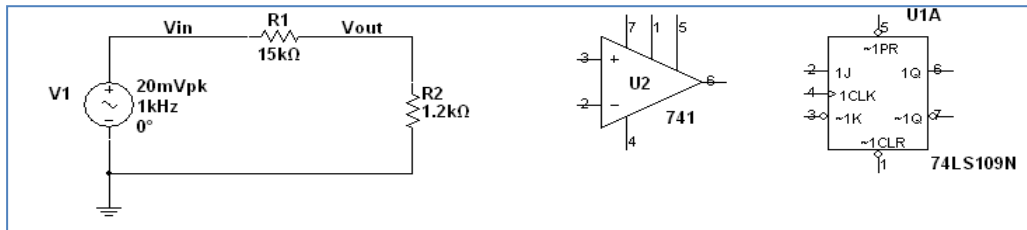


Con il pulsante **Font** è possibile definire il tipo e il corpo del carattere per le varie funzioni di visualizzazione:



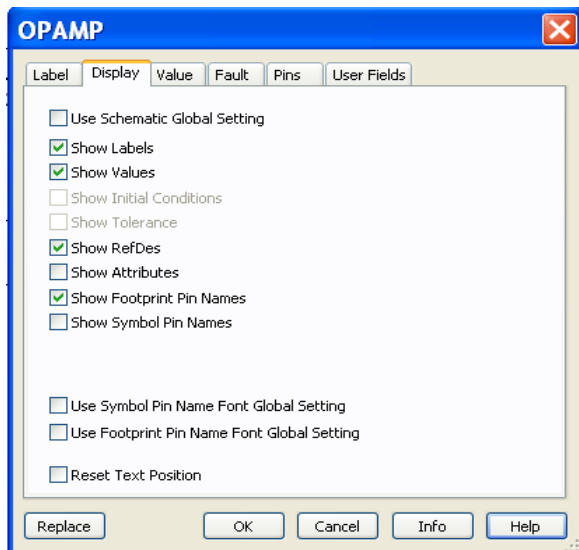
Nella figura a sinistra sono definiti il carattere Arial con stile Regular e corpo 8 per i numeri e i simboli dei pin degli integrati. A destra si fissa il carattere Arial con stile Bold e corpo 10 per i riferimenti ai vari componenti, i valori dei parametri elettrici, le sigle dei dispositivi elettronici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

Il risultato sarà del tipo della seguente figura:



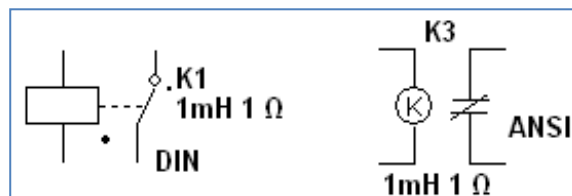
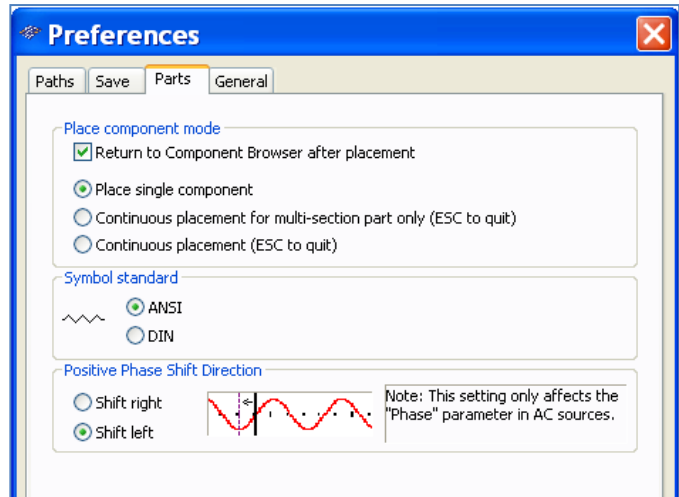
3.3 La personalizzazione del componente

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 click del mouse per aprire una finestra che permette la personalizzazione del singolo dispositivo:

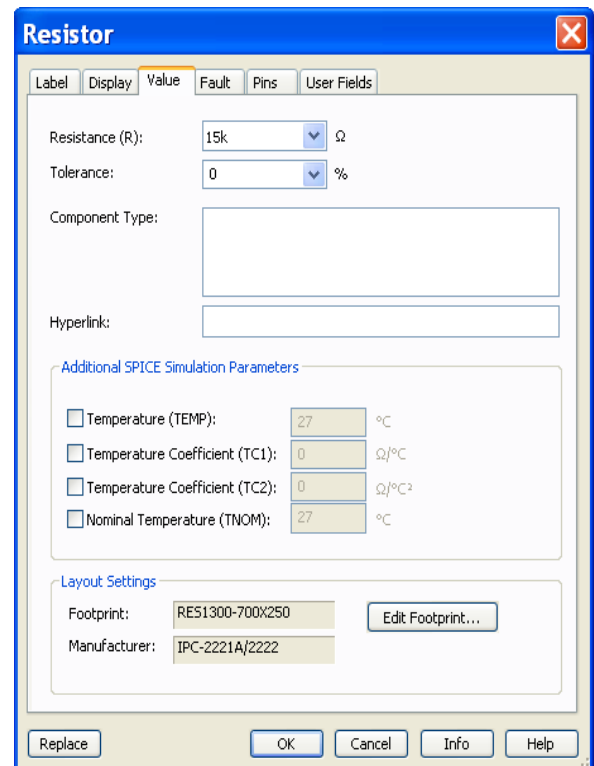
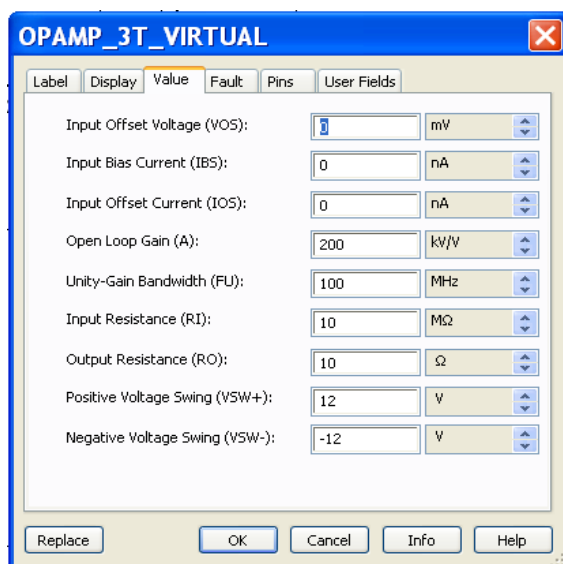


A sinistra si è scelto per un amplificatore operazionale di evidenziare i numeri dei piedini ma non i nomi simbolici perché con gli spazi disponibili si avrebbero delle sovrapposizioni che renderebbero incomprensibile lo schema. A destra per un dispositivo digitale della famiglia 74LS si è invece scelto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


Seguite il percorso **Option>Global Preferences>Parts** è possibile scegliere la visualizzazione dei componenti secondo le norme ANSI o le norme DIN, fate 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 (vedi figura sottostante). Dovendo inserire questo componente converrà quindi passare da ANSI a DIN e poi tornare ad ANSI.



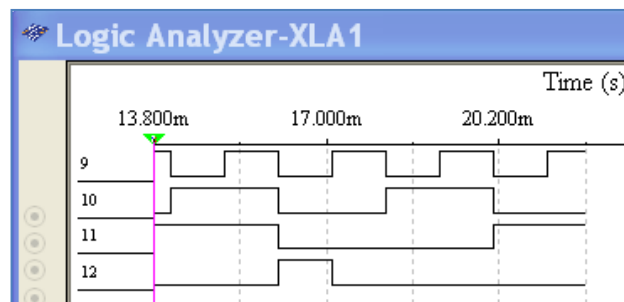
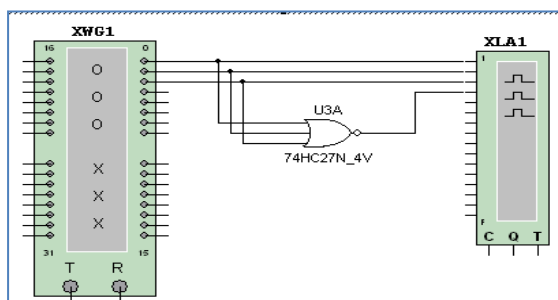
Con un doppio click sul singolo componente è anche possibile modificare a piacimento i parametri elettrici a componenti come resistori e condensatori ma anche ai dispositivi complessi, purché di tipo virtuale: a lato il caso di un resistore e sotto quello di un amplificatore operazionale virtuale.



4. La funzione Capture screen area

Con il 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:

- quelli appositamente creati per Multisim
- quelli creati con LabVIEW e resi disponibili all'interno di LabVIEW
- quelli della piattaforma ELVIS 2 e importabili per la simulazione all'interno di Multisim caricando gli appositi driver (disponibili nel DVD).

Qui ci limitiamo a considerare i primi, mentre per gli altri si rinvia agli esempi presenti nei volumi del corso l'elettronica della casa editrice tramontana, l'uso di questi strumenti, limitatamente e sviluppati all'interno delle modalità di simulazione di questo breve manuale.





	Multimetro	
	Generatore di funzioni	
	Wattmetro	
	Oscilloscopio a doppia traccia	
	Oscilloscopio a quattro 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	(per diodi, transistor, triac...)
	Distorsimetro	(per misurare distorsioni armoniche)
	Analizzatore di spettro	
	Analizzatore di reti	(per applicazioni in alta frequenza)
	Generatore di funzioni Agilent	(simulazione di uno strumento commerciale)
	Multimetro Agilent	(simulazione di uno strumento commerciale)
	Oscilloscopio Agilent	(simulazione di uno strumento commerciale)
	Oscilloscopio Tektronix	(simulazione di uno strumento commerciale)
	Sonda di misura	(per misurare tensioni e correnti in dc e in ac e frequenza)
	Sonda per la misura della corrente	

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 click 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

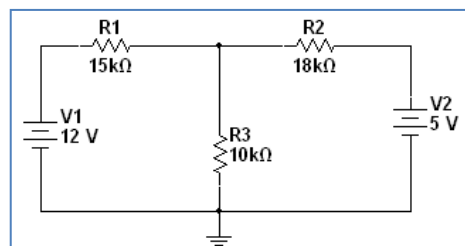
Si possono considerare due tipi di simulazioni:

- 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 l'interruttore  con la 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.

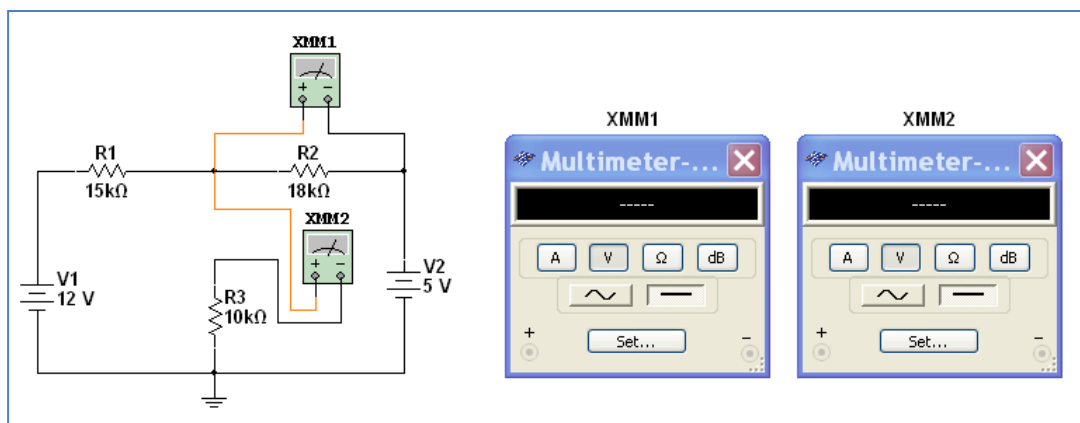
7. L'analisi in DC

Dopo aver realizzato lo schematico, come nel successivo esempio (ricordarsi di inserire la massa), è possibile procedere con due modalità diverse descritte di seguito.

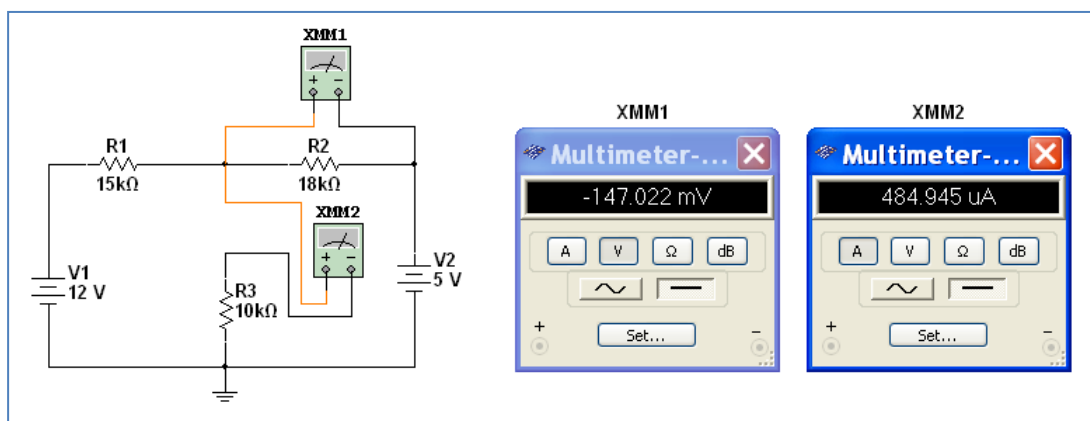


7.1 Uso degli strumenti di misura

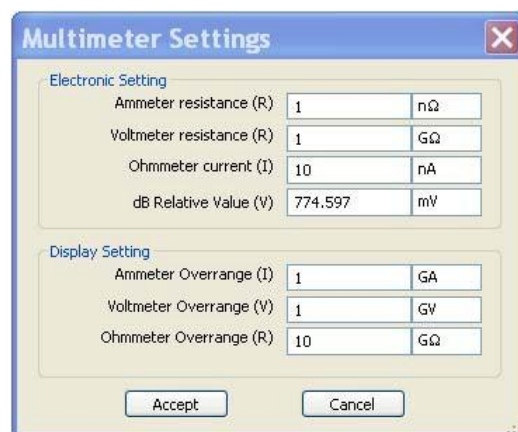
Sono disponibili voltmetri, amperometri e sonde di misura, per i voltmetri e gli amperometri si può scegliere il multimetro selezionabile tra gli strumenti di misura con il tasto (Multimeter) . Nel nostro caso abbiamo previsto una misura di corrente e una di tensione (doppio click sui multimetri per ingrandirli):



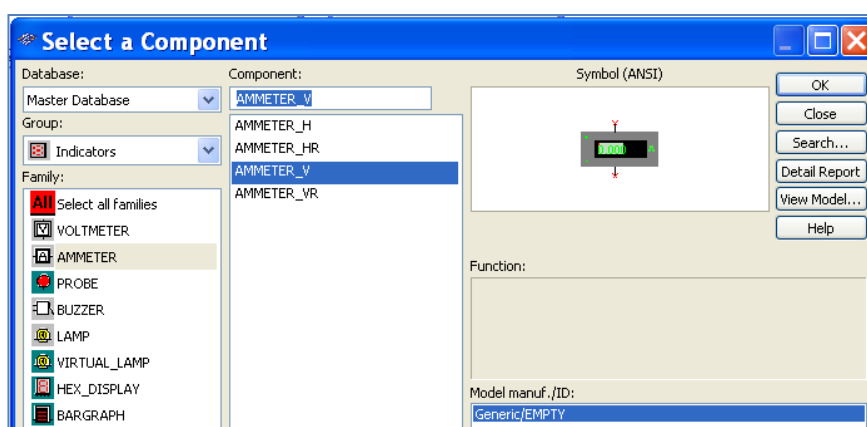
Attivando la simulazione si potranno leggere i valori numerici delle tensioni e correnti desiderate:



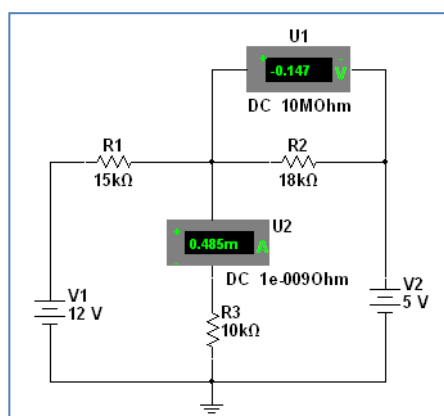
Il pulsante Set. permette di aprire una finestra per il settaggio dei parametri dello strumento: comunque i valori di default sono, nella maggioranza dei casi, adatti. Se però, per esempio, si volessero fare delle valutazioni sugli autoconsumi degli strumenti, si potrebbe decidere, per renderli più evidenti,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




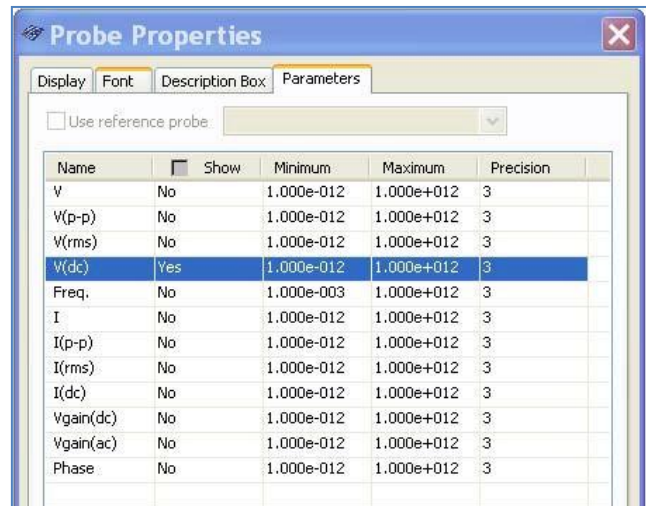
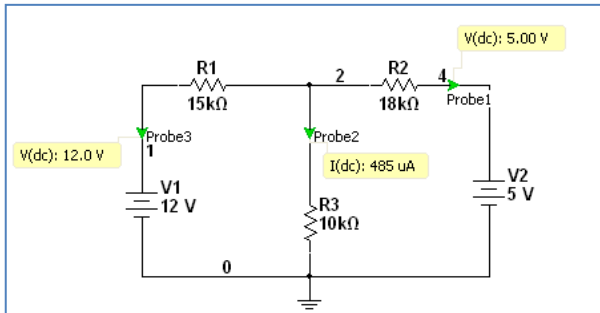
In alternativa si può ricorrere al tasto dei componenti (**Place Indicator**) e scegliere i voltmetri e gli amperometri desiderati.



Procedendo al solito modo sarà possibile inserire gli strumenti in circuito e procedere alle misure desiderate (anche in questo caso un doppio click sui singoli strumenti si potranno definire le caratteristiche dei singoli strumenti):

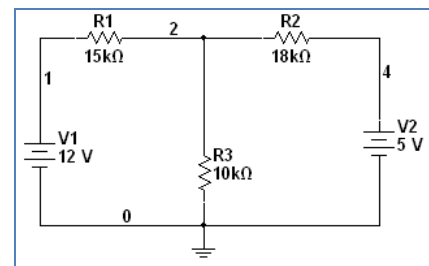


Un ultimo modo è di utilizzare lo strumento sonda  (**Measurement Probe**); se ne potranno mettere quante se ne vuole e settarle per misurare sia la tensione che la corrente (il solito doppio click per aprire la finestra:



7.2 Uso del menu Simulate

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

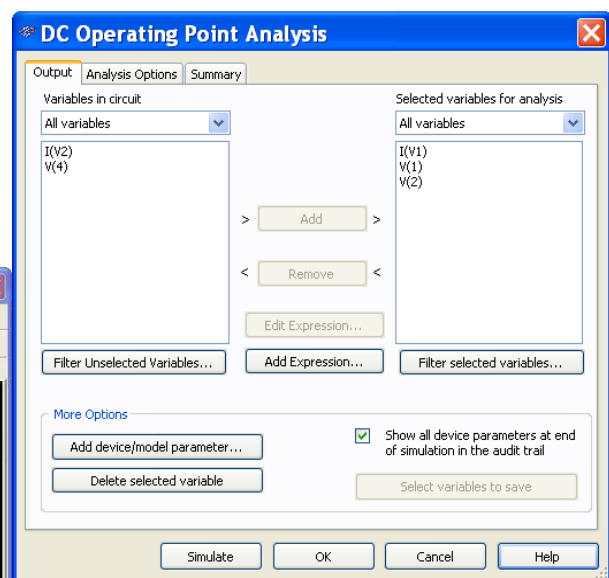


A questo punto con **Simulate>Analyses>DC** operating point si potrà accedere alla schermata per la simulazione in DC e scegliere le variabili da valutare (a sinistra quelle non considerate e a destra quelle scelte):

La scelta è tra tutte le tensioni ai nodi valutate rispetto a massa (nodo 0) e le correnti dei rami che contengono generatori (considerate convenzionalmente positive se entranti).

Nel nostro caso, cliccando su Simulate si otterrà:

DC Operating Point	
1	V[1] 12.00000
2	V[2] 4.85000
3	I[V1] -476.66668 u



$V(1)$ è la tensione al nodo 1 (polo + della batteria $V1$), $V(2)$ è la tensione al nodo 2 e $I(V1)$ è la corrente nella batteria $V1$ (negativa perché uscente). Esempi di analisi in DC si possono trovare nel volume *l'Elettronica Reti elettriche e Automi (schede di laboratorio H1.1 e H2.1; file Multisim 140H1-1)* dove è anche sviluppata la relativa teoria.

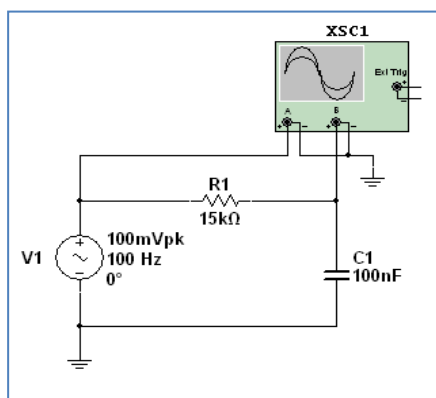
8. L'analisi nel dominio del tempo

Considereremo due casi:

- l'analisi a regime periodico;
- l'analisi in transitorio.

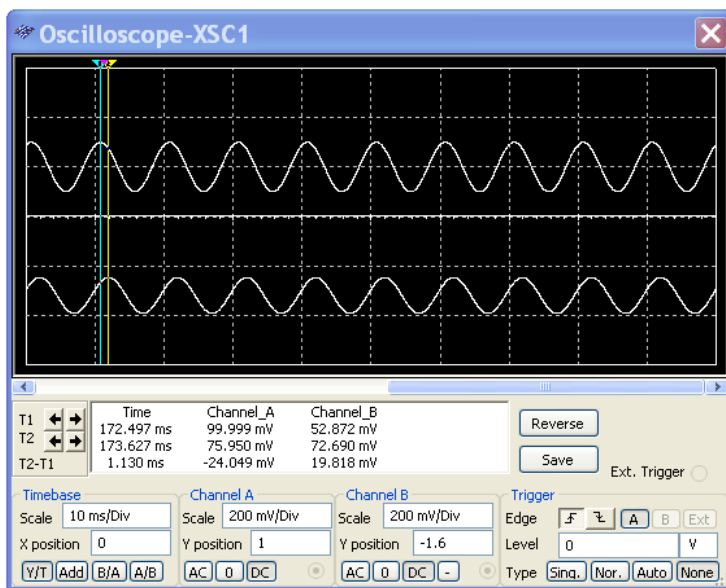
8.1 Analisi a regime periodico con l'oscilloscopio

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



Rinunciando a descrivere il funzionamento dell'oscilloscopio che si dà per noto, comunque per inciso verrà sintetizzato in una guida che presto troverete nel mio sito, osserviamo 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.

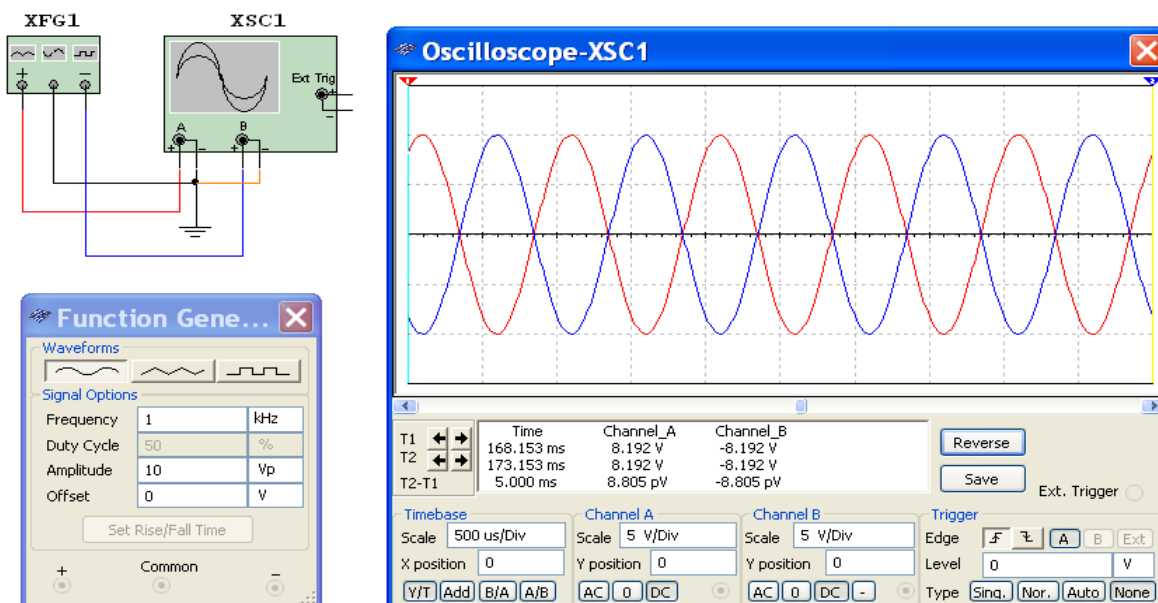
Dove si è inserito un oscilloscopio per valutare i segnali in ingresso ai capi del condensatore, attenzione sebbene il simulatore funzioni comunque correttamente si preferisce evidenziare anche sull'oscilloscopio i collegamenti di massa che nella realtà saranno fatti, doppio click con il puntatore del mouse sull'oscilloscopio si può ingrandire.



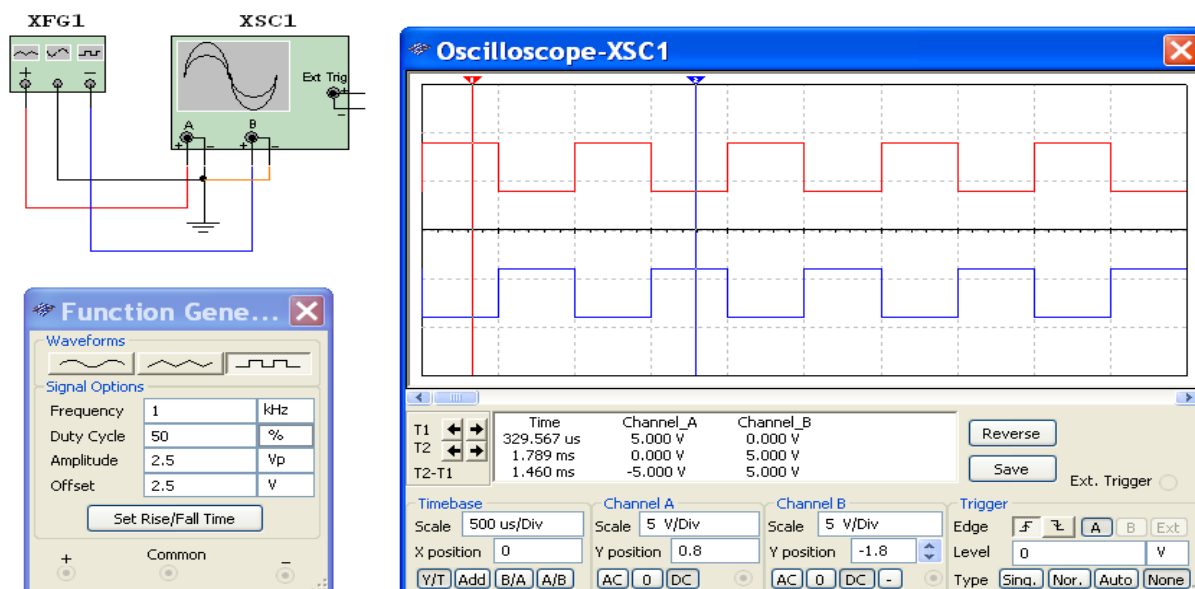
In particolare, è interessante osservare che è possibile misurare anche la differenza dei tempi $T2-T1$ che, nel caso considerato, permetterebbe di valutare lo sfasamento tra le due sinusoidi. Si noti anche il tasto Reverse per ottenere lo schermo con sfondo bianco anziché nero, per la teoria relativa all'analisi di un circuito nel dominio del tempo si può vedere il volume *l'Elettronica Analogica* dove è anche presente un esempio di analisi a regime sinusoidale (scheda di laboratorio D2.4; file Multisim 215D2-4).

8.2 Uso del generatore di funzioni

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

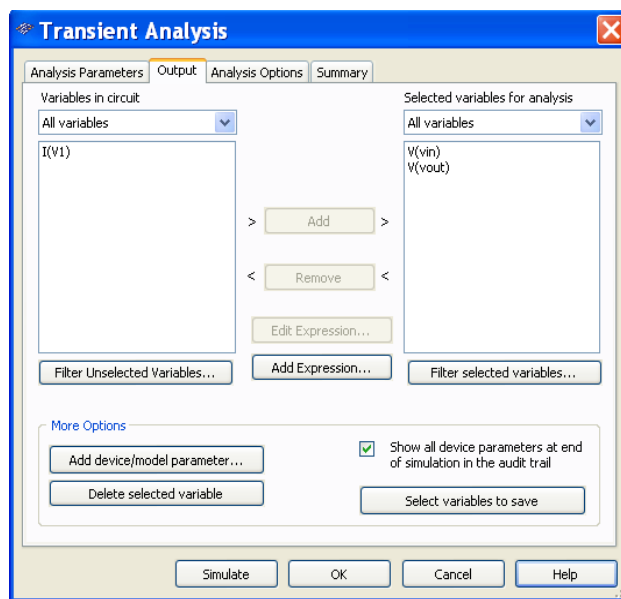
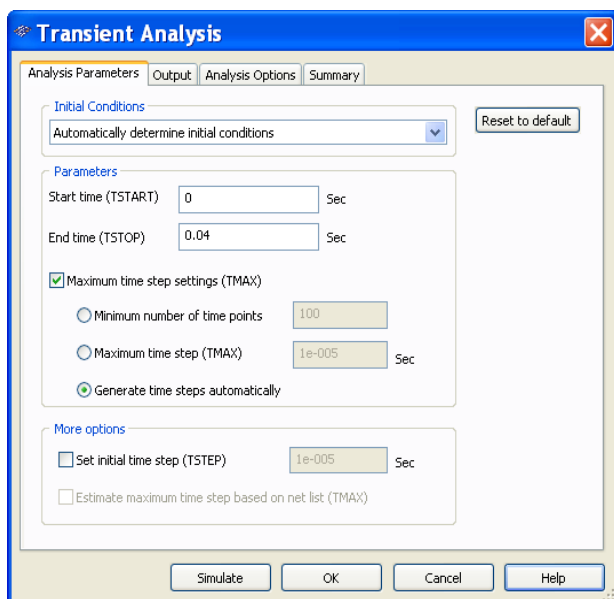
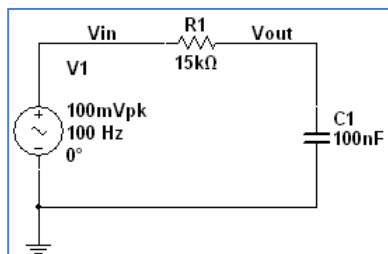


Nell'immagine soprastante si usa il G.d.F. per ottenere due sinusoidi in opposizione di fase: le uscite + e - del generatore producono segnali di pari ampiezze e frequenze ma in opposizione di fase rispetto al terminale centrale, che fa da riferimento di massa. Si noti anche la possibilità di ottenere 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. Si osservi anche come assegnando ai fili colori diversi (con il cursore del mouse sul filo cliccare con il tasto destro e scegliere **Color Segment**) dove 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 su 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 il volume l'elettronica digitale), si noti infine la possibilità di regolare il **duty cycle** e i tempi di salita e discesa.



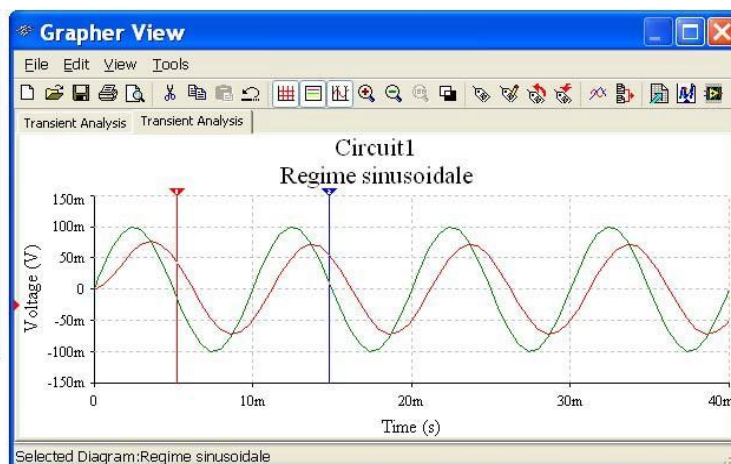
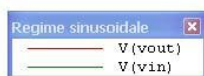
8.3 Analisi a regime periodico con il menu Simulate




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**:





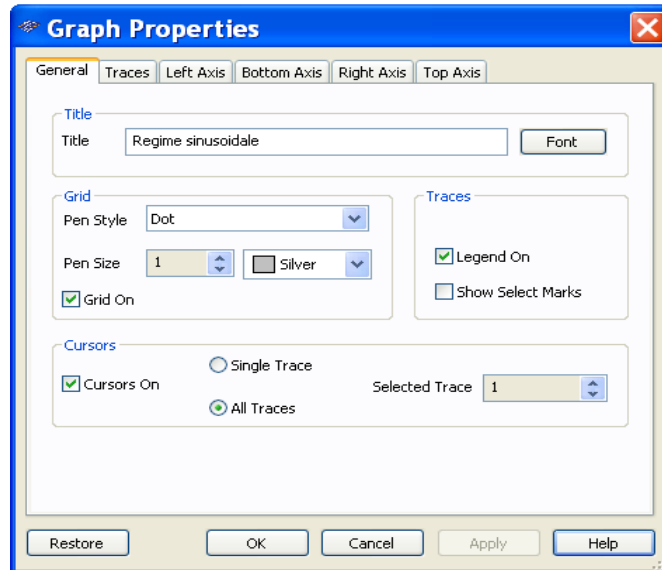
A sinistra vediamo il settaggio dei tempi d'inizio e fine analisi: poiché la sinusoide ha un periodo di 10 ms, con il tempo assegnato di 40 ms si dovranno vedere le prime quattro sinusoidi prodotte dal generatore, mentre a destra vediamo la scelta dei nodi le cui tensioni rispetto a massa devono essere visualizzate, clicchiamo su simulate è possibile vedere il grafico desiderato:

Regime sinusoidale		
	V (vout)	V (vin)
x1	5.2045m	5.2045m
y1	43.5443m	-12.6185m
x2	14.7955m	14.7955m
y2	55.9688m	12.7048m
dx	9.5911m	9.5911m
dy	12.4245m	25.3232m
1/dx	104.2636	104.2636
1/dy	80.4862	39.4895
min x	0.0000	0.0000
max x	40.0000m	40.0000m
min y	-72.0887m	-99.4560m
max y	76.5744m	99.4560m
offset x	0.0000	0.0000
offset y	0.0000	0.0000



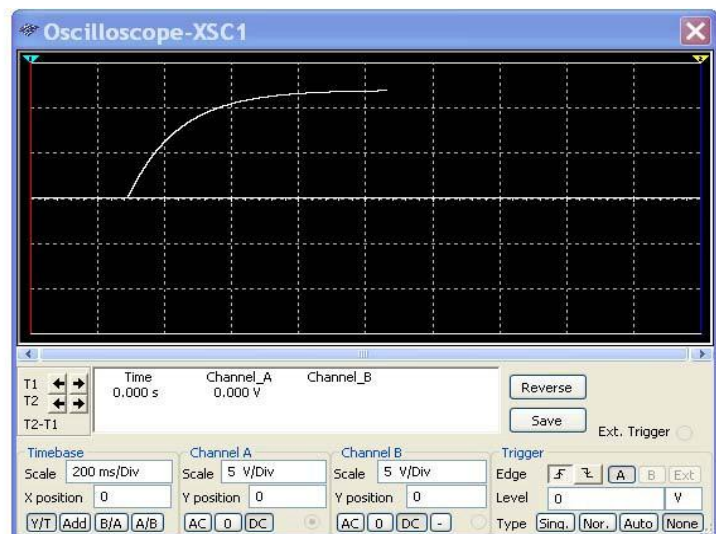
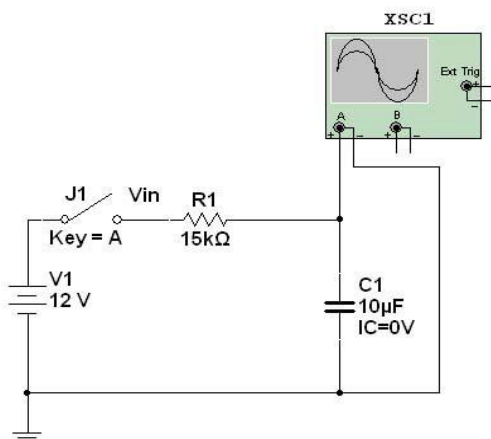
A lato del grafico sono indicati i valori numerici nelle posizioni indicate dai due cursori mobili (spostabili con il mouse) e inseribili con il pulsante , il cursore rosso è il numero 1 e il blu il numero 2, il pulsante  permette di definire lo sfondo bianco o nero mentre il pulsante 

permette di inserire una griglia di sfondo al grafico. Qualora non interessino i valori numerici è possibile conoscere le corrispondenze tra colori e grandezze elettriche con il pulsante , in fine possiamo anche personalizzare i grafici (titolo, colore e spessore delle tracce, ecc) o le scale degli assi aprendo la finestra **Graph Properties** con il tasto :



8.4 Analisi in transitorio con l'oscilloscopio

Consideriamo il caso del transitorio di carica di un condensatore:

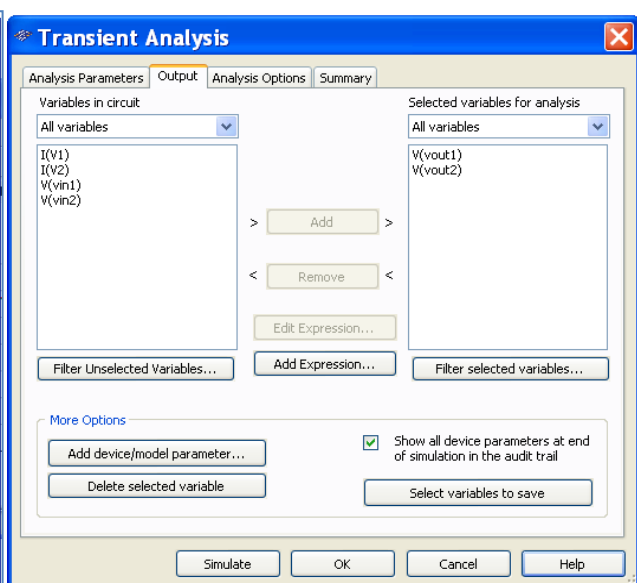
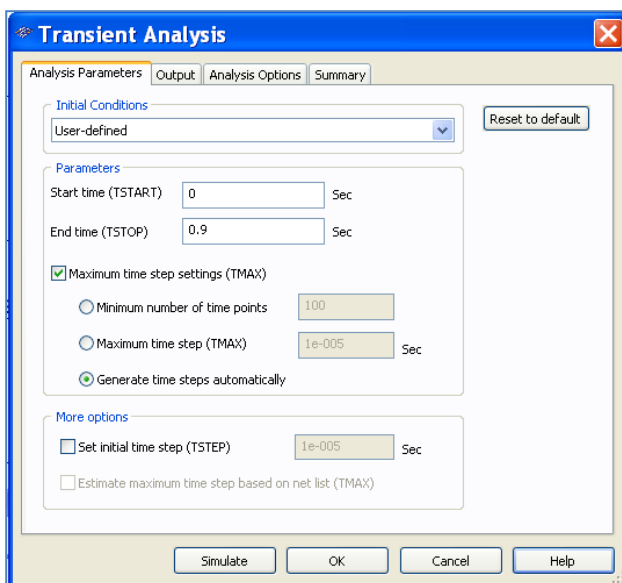
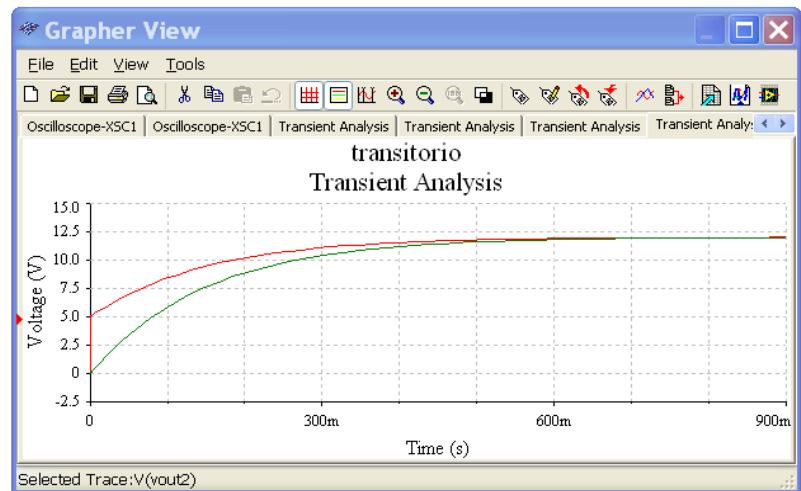
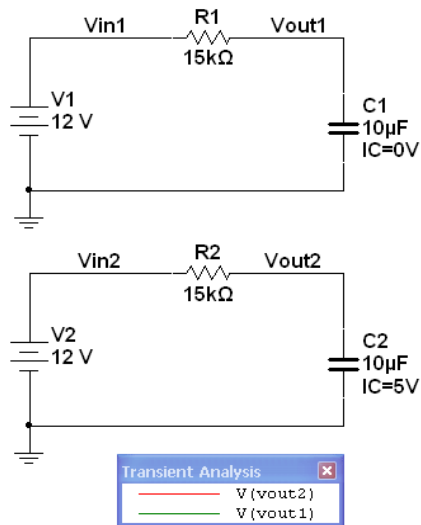


Si inizia la simulazione con l'interruttore aperto (si può aprire o chiudere con il pulsante A o quello da voi stabilito con il solito doppio click o con il pulsante sinistro del mouse quando il cursore si trova sull'asticella): appena si chiuderà il tasto si vedrà iniziare il transitorio di carica.

8.5 Analisi in transitorio con il menu Simulate

Si deve realizzare il circuito assegnando al condensatore il valore di tensione iniziale (doppio click del mouse sul dispositivo scelto), ho previsto due circuiti uguali uno con tensione iniziale 0 V e uno con 5 V, mettendo in evidenza i nodi che interessano (paragrafo 3.2), con il percorso **Simulate>Analyses> Transient Analysis** è possibile settare le condizioni di analisi, stabilendo una durata della simulazione di 0,9 s dato che la costante di tempo è di 150 ms in questo modo

potremmo analizzare 6 costanti di tempo e valutare completamente il transitorio che dura $5 \cdot RC$ (finestra a sinistra), stabiliamo che la simulazione inizi dalle condizioni iniziali fissate (**User defined**), vediamo la simulazione delle due tensioni sui condensatori (**Vout1 e Vout2**).



9. Il tracciamento dei diagrammi di Bode


Consideriamo due situazioni:

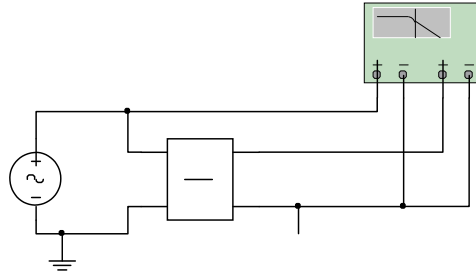
- Tracciamento dei diagrammi partendo dalla funzione di trasferimento;
- Tracciamento dei diagrammi partendo dal circuito.

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 menu dei componenti **source** con il pulsante , prendiamo il dispositivo **TRANSFER_FUNCTION_BLOCK**, realizziamo il semplice circuito riportato giù, scegliendo lo strumento **Bode Plotter**, tenete presente che le caratteristiche del generatore di ingresso non hanno importanza ma senza tale strumento la simulazione non è possibile.



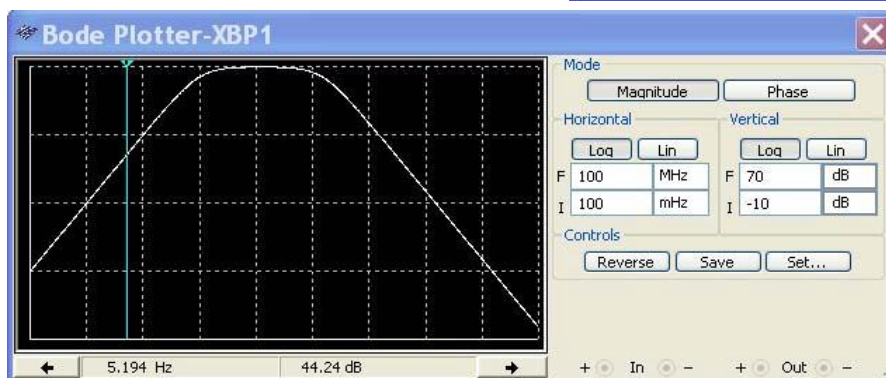
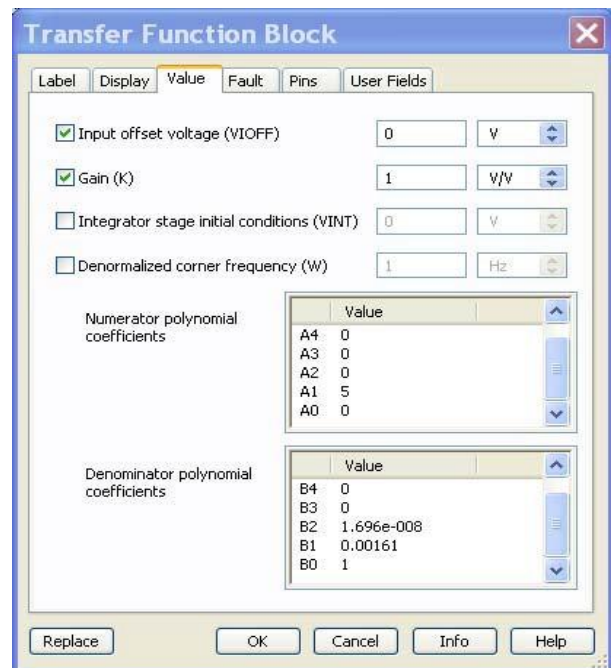
Il programma suppone la funzione di trasferimento del tipo:

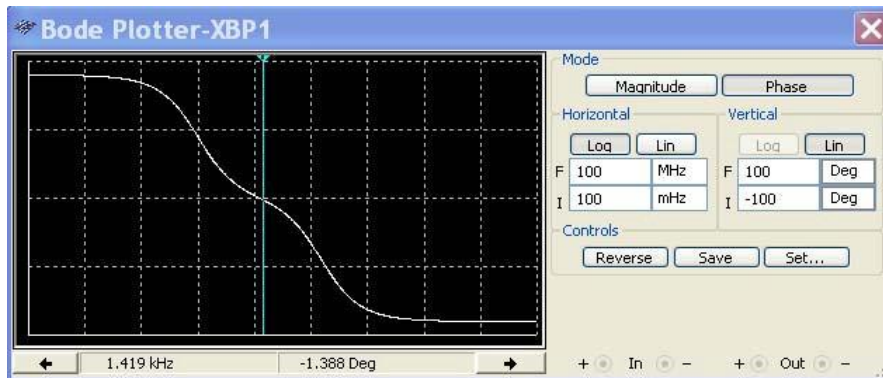
$$G(s) = K \frac{A_m s^m + \dots + A_2 s^2 + A_1 s^1 + A_0 s^0}{B_n s^n + \dots + B_2 s^2 + B_1 s^1 + B_0 s^0}$$

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 click apriamo la finestra che ci 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 di s); B0 - B1 - B2 ... sono i coefficienti del polinomio al denominatore, nel nostro caso il guadagno K vale uno attivando la simulazione, infine è possibile tracciare i diagrammi cercati.

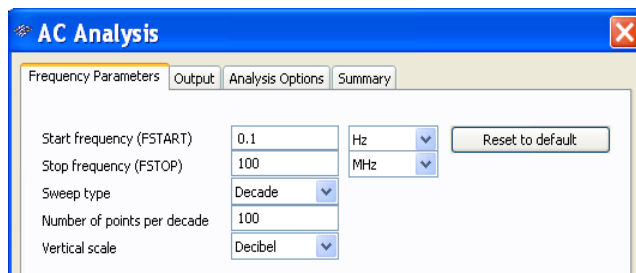




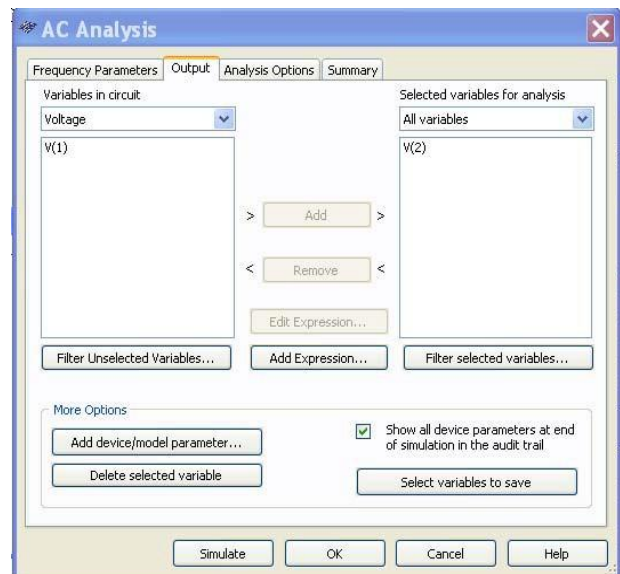
Si noti, al solito, la presenza di un cursore mobile per leggere i valori nei vari punti del singolo grafico.

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

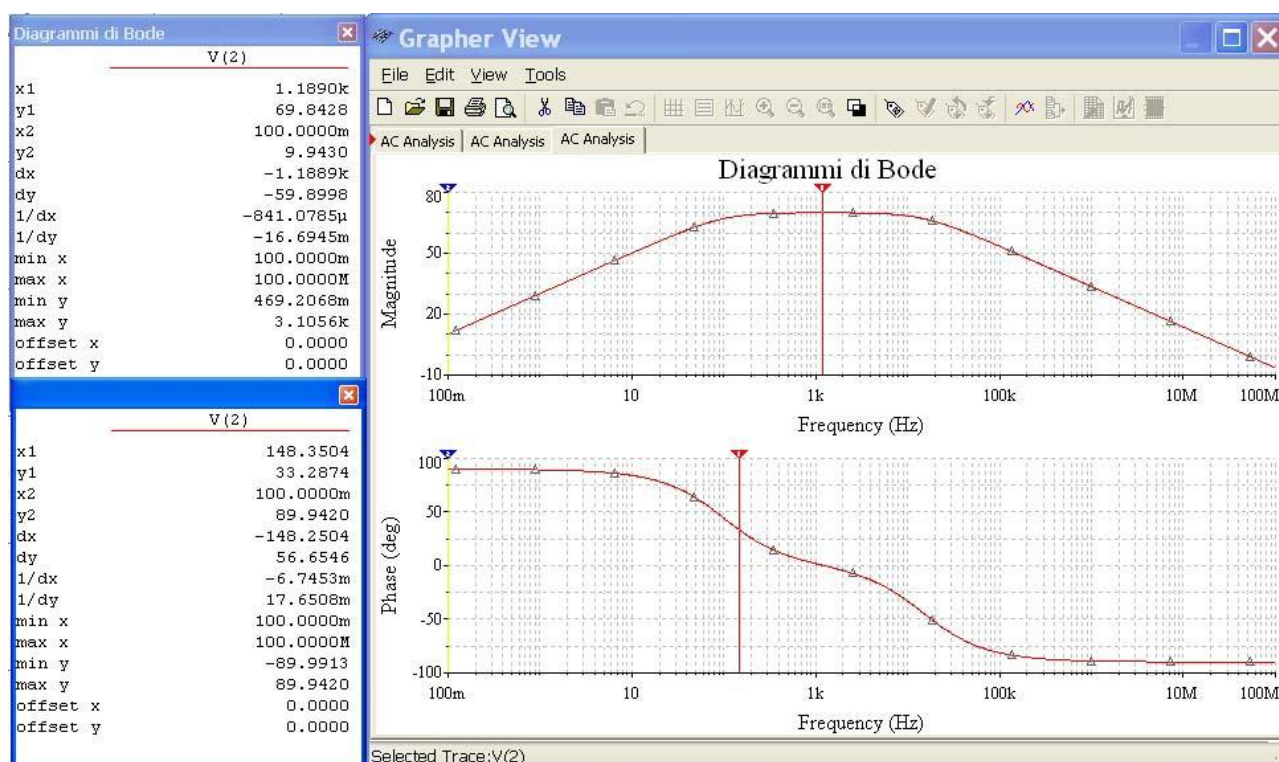
In questo caso per avere il nodo di uscita è necessario applicare un carico, mentre per il resto vale quanto detto al punto precedente, con il percorso **Simulate>Analyses>AC Analysis** è possibile definire gli intervalli di frequenza, le scale degli assi e il numero di punti per la costruzione del grafico (100 per decade sono normalmente sufficienti per un grafico che non appaia a intervalli) come nella figura sottostante, premendo simulate si ottengono i diagrammi cercati:



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



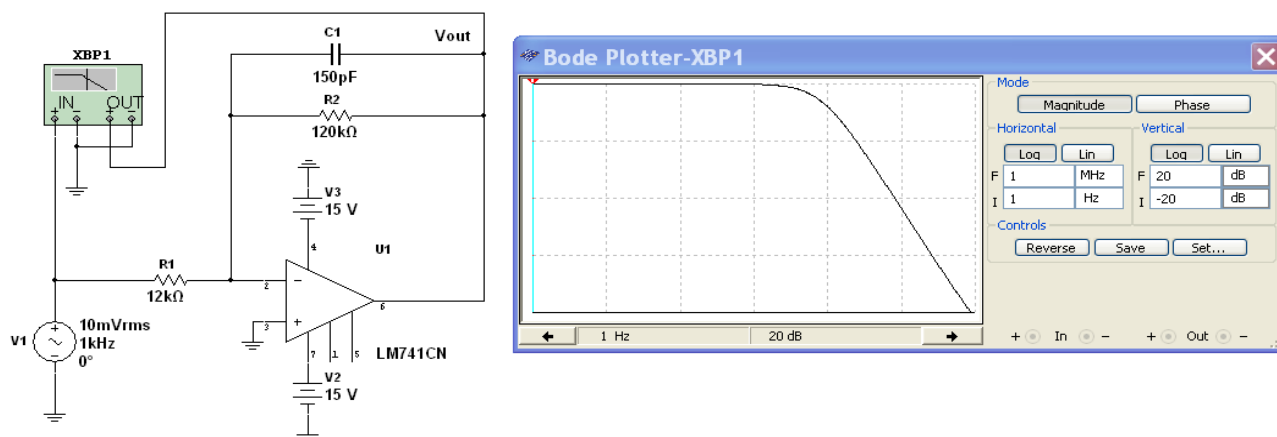
Sotto potremmo vedere appunto la simulazione dei punti desiderati ottenendo i diagrammi cercati:



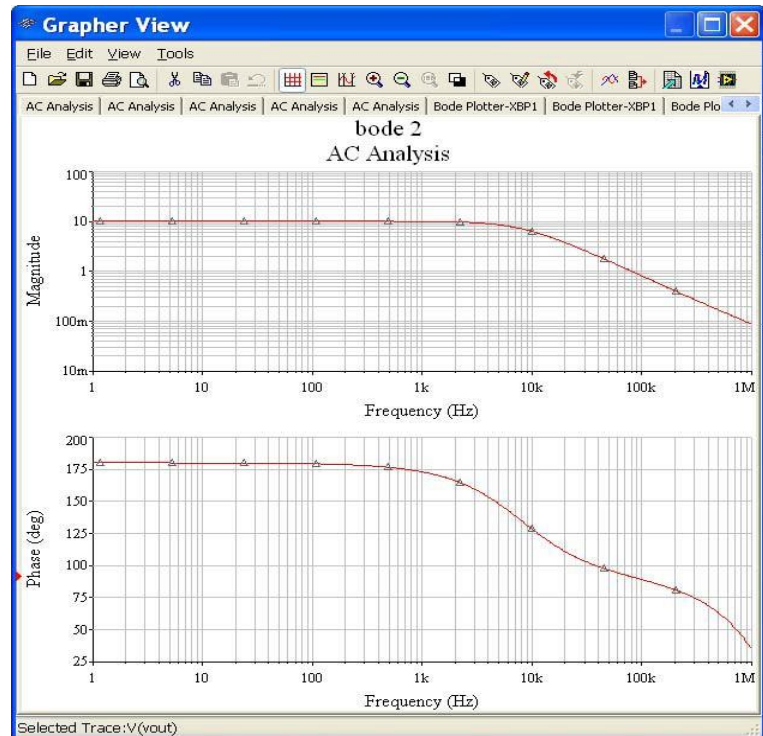
Anche in questo caso i cursori mobili ci agevolano nella lettura e con il pulsante sarà eventualmente possibile personalizzare i grafici, la teoria relativa ai diagrammi di Bode si può vedere il volume l'elettronica analogica dove si trovano anche esempi.

9.3 Il tracciamento dei diagrammi di Bode partendo dal circuito

Sono valide le considerazioni fatte precedenti, ci si limita a riportare un esempio di simulazione con un amplificatore operazionale.



Nella figura a lato viene messo in risalto il diagramma descritto precedentemente.

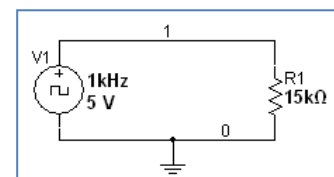


10. L'analisi armonica

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

10.1 L'uso del menu Simulate

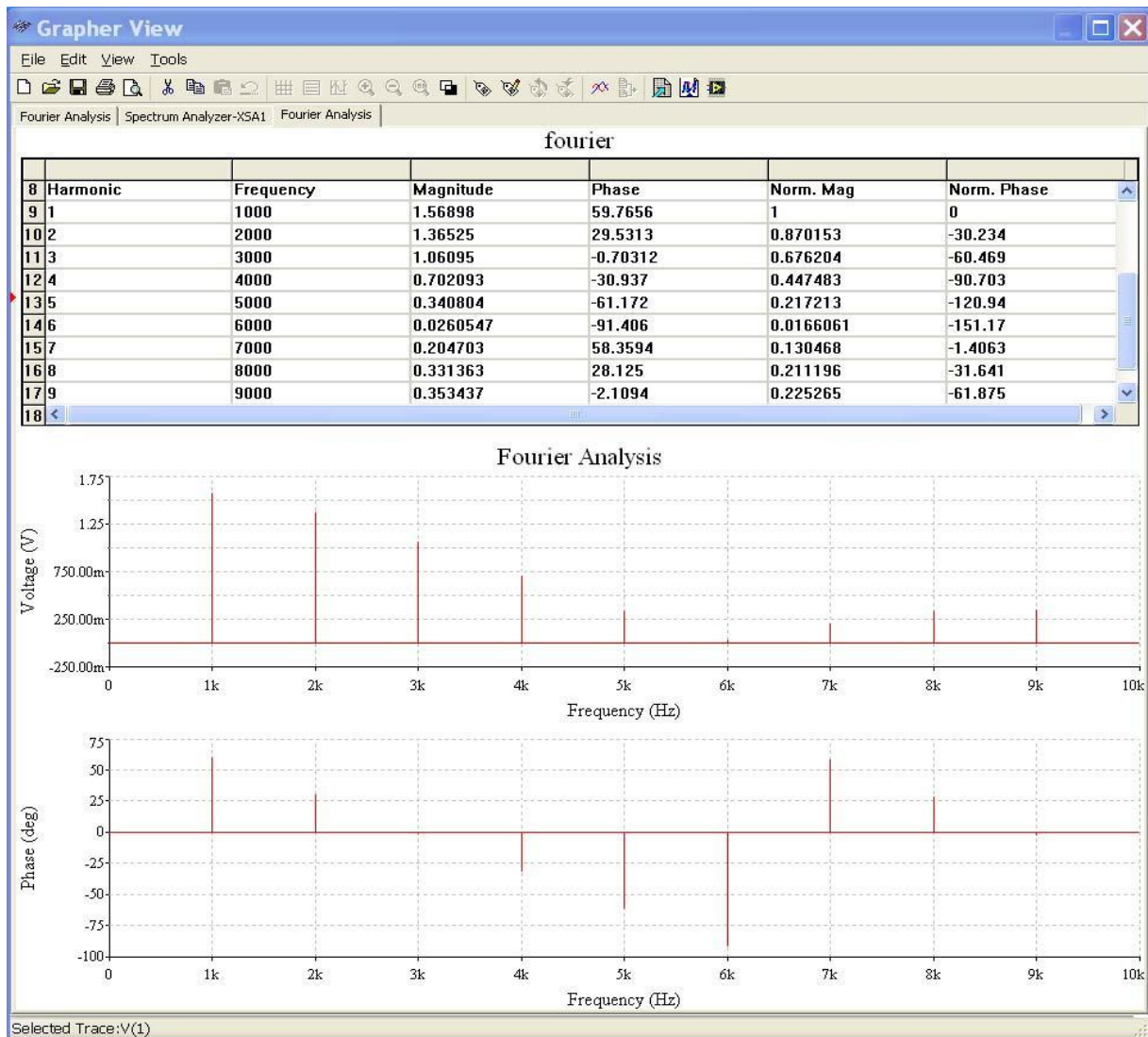
Supponiamo di voler fare l'analisi armonica di un segnale periodico come, ad esempio, uno impulsivo a valore minimo nullo, duty cycle 1/6 e ampiezza 5 V, a destra è riportato il semplice circuito che ci serve e la finestra delle caratteristiche del componente con i valori richiesti aperta con un doppio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



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 (ho scelto quella lineare, ma ve ne sono anche altre, quali la logaritmica, in decibel e in ottave).

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 inviluppi 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).

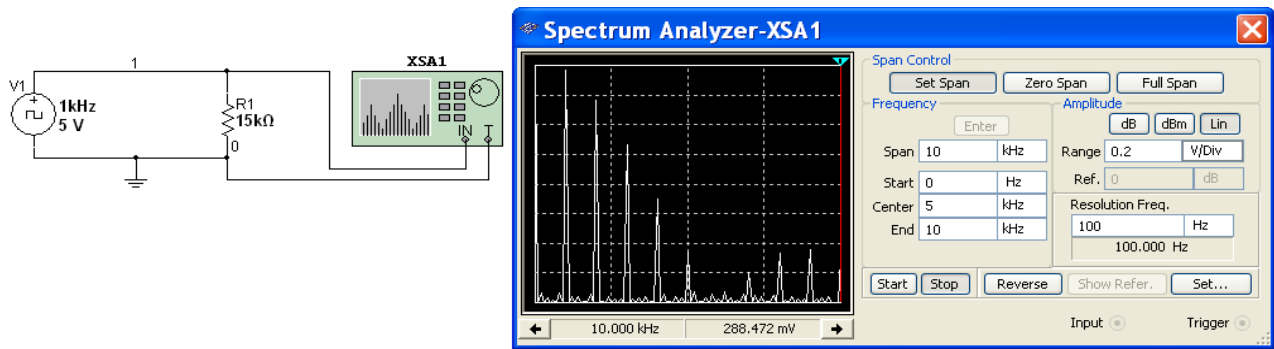
Cliccando su **Output** si può anche aprire la finestra (non riprodotta) per la scelta della variabile oggetto dell'analisi armonica, nel nostro caso sarà evidentemente V(1), *cliccando su Simulate si otterrà la simulazione.*



Nella tabella si possono notare oltre ai valori delle ampiezze e delle fasi delle nove 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 d'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 può considerare il volume, l'elettronica analogica e le relative schede di laboratorio.

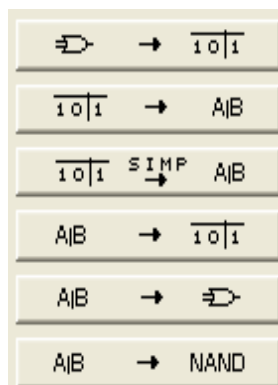
11. L'analisi dei circuiti digitali

Sebbene l'analisi dei circuiti digitali possa avvenire con molti degli strumenti già considerati, in particolare oscilloscopio, generatore di funzioni, multimetro e sonda, esistono particolari 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).

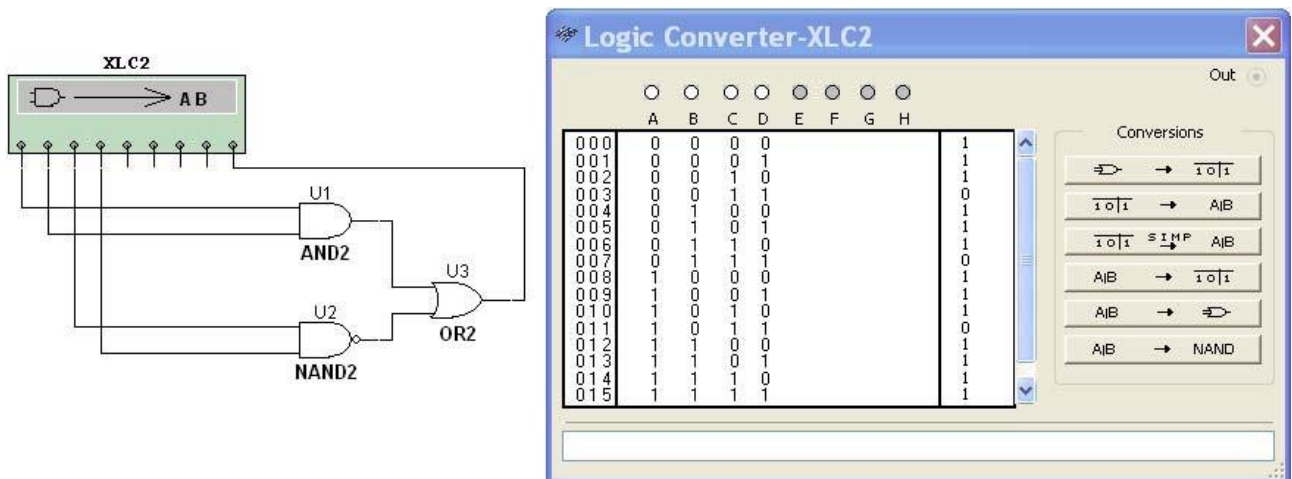
11.1 Lo strumento Logic Converter

Questo strumento, disponibile su Multisim, aiuta nello studio dei circuiti combinatori realizzati a porte logiche elementari, per la comprensione di questo strumento conviene analizzare il modo di funzionare dei suoi diversi comandi (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.

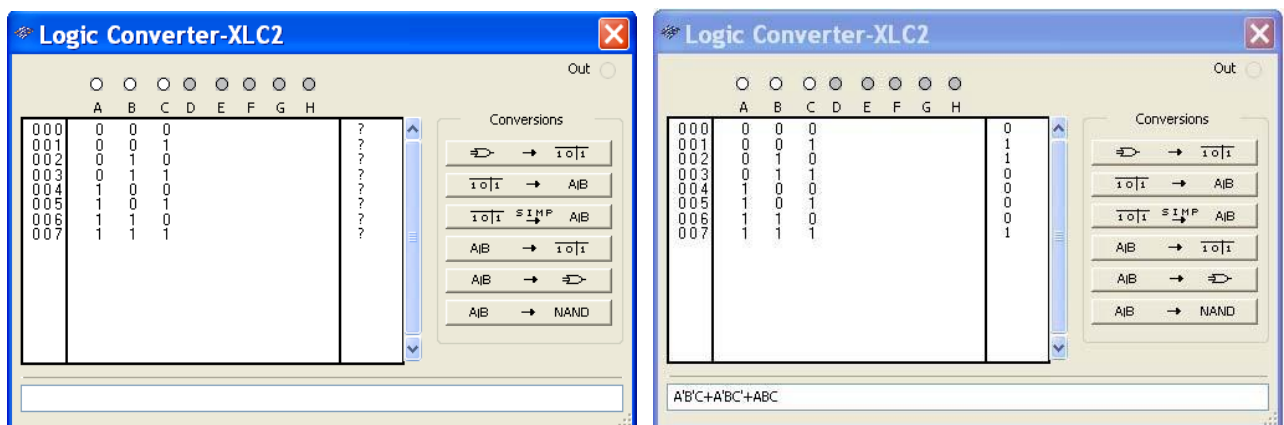
Pulsante uno, si dovrà collegare il circuito allo strumento e premere il pulsante.



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 due, immagine a sinistra: se la tabella non è già inserita, 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 click si ottiene 0, con due click si ottiene 1 e con tre x (condizione di indifferenza). Ora cliccando sul tasto del comando cui ci riferiamo, otterremo l'espressione della prima forma canonica (tenere presente che le complementazioni sono indicate con dei ').



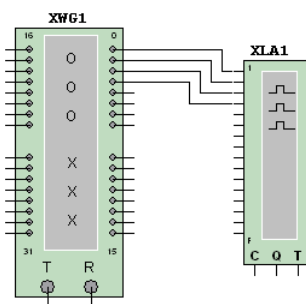
Gli altri casi dovrebbero essere evidenti senza altri chiarimenti, si tenga solo presente che l'espressione logica, se non ottenuta da passaggi precedenti, potrà essere direttamente scritta nello spazio previsto, tenendo presente quanto già detto per la complementazione (pulsante 2).

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).

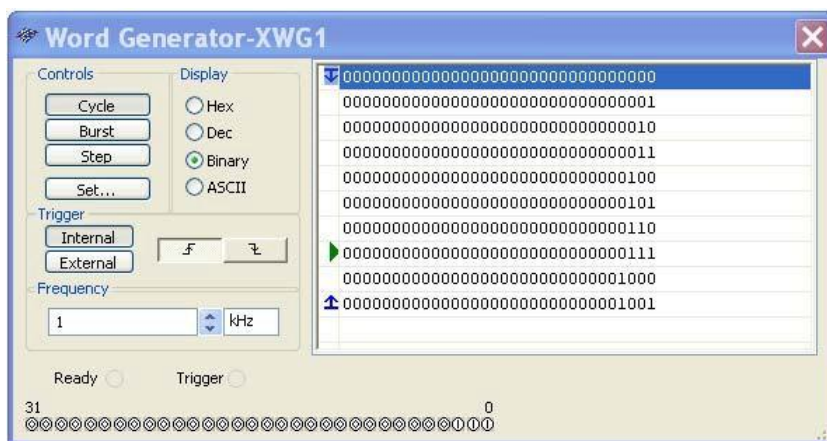
11.2 L'uso del Word Generator e del Logic Analyzer

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.



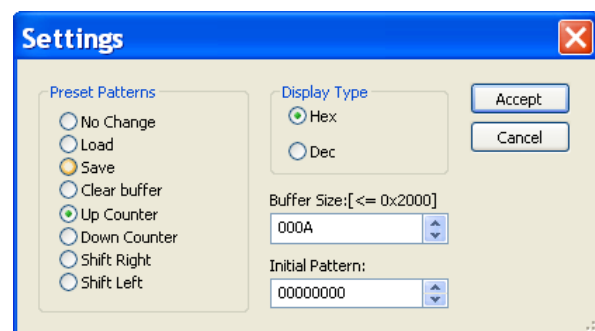
Nella figura a lato si vede un esempio d'uso di entrambi gli strumenti. Si tratta di un collegamento diretto del generatore di parole (XWG1) all'analizzatore di stati logici (XLA1), in particolare il collegamento avviene tra le uscite dei quattro bit meno significativi del **Word Generator** con quattro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



Nel **Word Generator** la visualizzazione delle parole binarie può avvenire scegliendo nel settore Display tra esadecimale (EX), decimale (Dec), binario (Binary) e ASCII. L'assegnazione delle singole parole può avvenire ponendo 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.

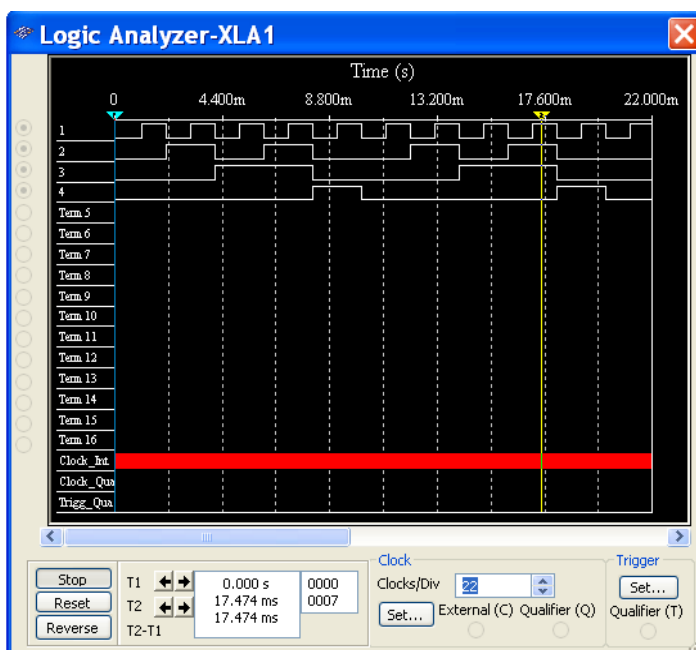
Per scegliere la modalità di successione delle parole in uscita al generatore di parole si clicca su **Set** e si ottiene la finestra **Setting**. di default nel settore **Preset Patterns** sarà attiva l'opzione **No Change**: se i valori precedentemente impostati vanno bene lasciamola e stabiliamo il 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 Accept potremo tornare al pannello del generatore e definire la modalità di funzionamento:



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

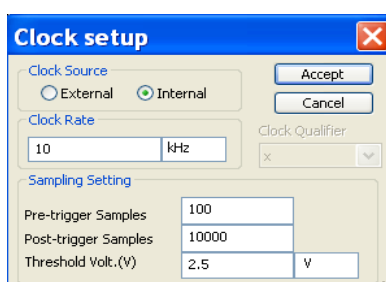
Nel settore **Frequency** dovremo poi fissare la frequenza di successione delle parole. Ritornando alla finestra Setting possiamo scegliere anche altre possibilità vediamo alcune:

- **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 Sizem** otterremo, passando da una parola alla successiva, uno **shift binario** verso destra;
- **Shift Left:** come il precedente ma lo **shift** è verso sinistra.



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.



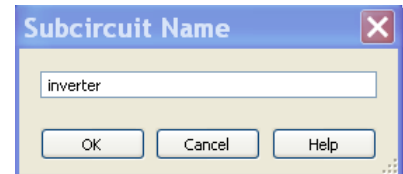
Per la teoria sui circuiti combinatori ed esempi di simulazioni con gli strumenti qui considerati si veda il volume, l'elettronica digitale.

12. La creazione di blocchi funzionali

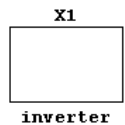
Spesso si rende necessario racchiudere in un unico blocco funzionale circuiti di una certa complessità, il menu **Place** presenta, al riguardo, diverse possibilità.

12.1 Il percorso Place>New Subcircuit

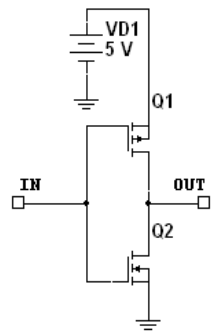
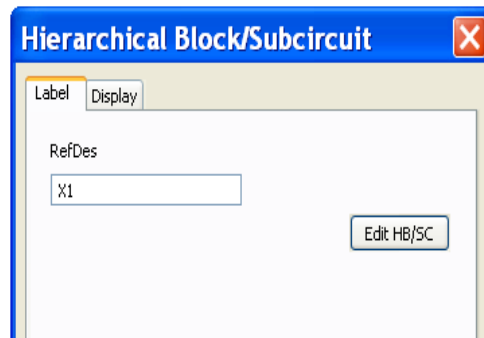
Supponiamo di voler realizzare un circuito che contenga un blocco. Con questo percorso si aprirà una finestra per assegnare al blocco da creare il nome desiderato, con OK sarà inserito nel nostro circuito un blocco del tipo in figura.



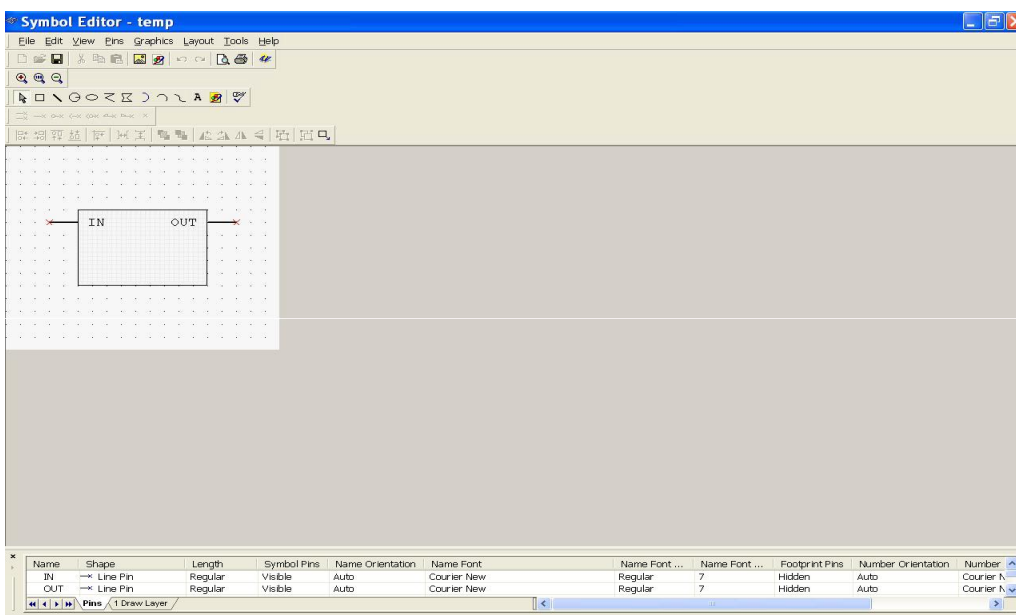
A questo punto cliccando con un doppio click con il tasto sinistro del mouse con il cursore sul blocco si aprirà la finestra **Hierarchical Block/Subcircuit** per definire le



modalità di visualizzazione del blocco esattamente come nei normali componenti elettronici, a noi ora però interessa il tasto **Edit HB/SC** infatti cliccando su di esso si aprirà una nuova finestra di lavoro dove realizzare il circuito del nostro blocco,



ipotizziamo di voler realizzare il circuito interno di un inverter CMOS: 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>HH/SC 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

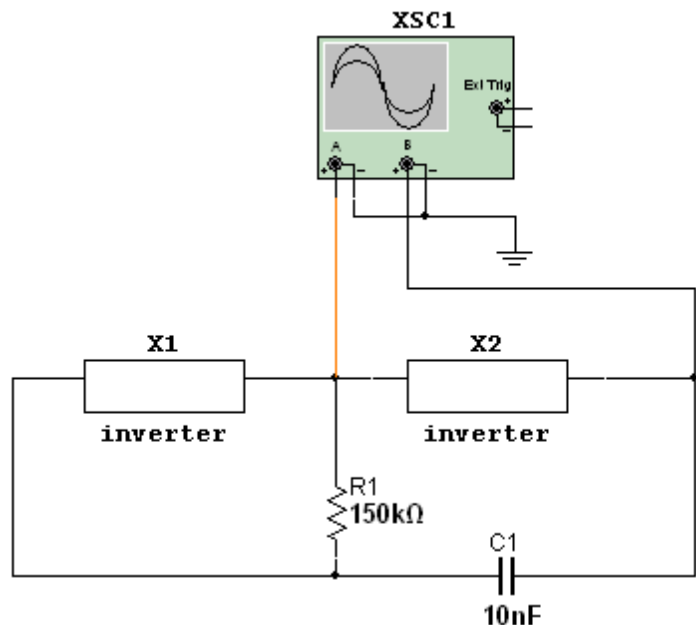


blocco non ha le caratteristiche visive volute le potremo modificare con il cursore sul blocco cliccare con il tasto destro del mouse e scegliere

Edit/Symbol/Title Block, ci siamo limitati a modificarne le dimensioni, a realizzare un circuito multivibratore, ovviamente 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 noi.



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.

