

Multisim

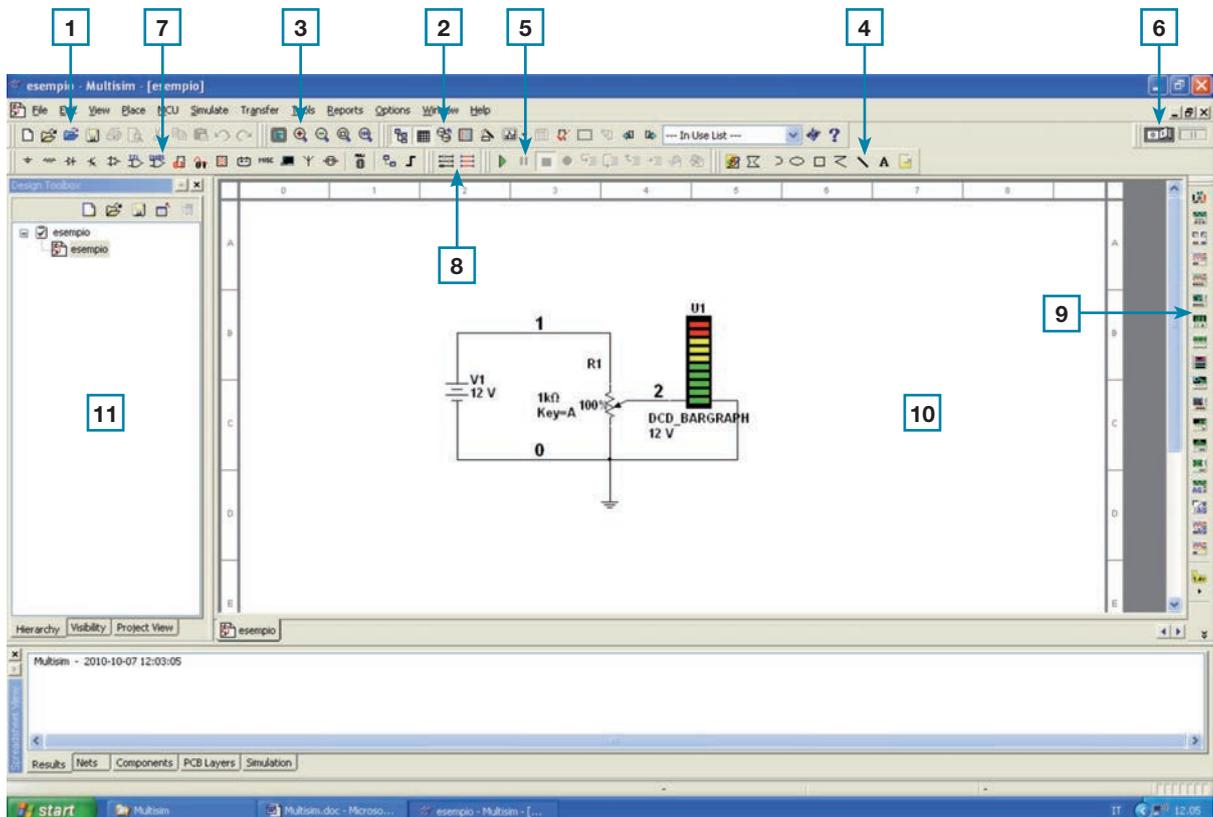
Multisim è un ambiente intuitivo per la progettazione e l'analisi di circuiti elettronici e di sistemi, rivolto sia al mondo accademico sia a quello produttivo. Grazie all'ampia libreria gerarchica di componenti, è possibile immettere lo schema circuitale, che viene successivamente simulato mediante gli strumenti virtuali e grafici, per convalidare i concetti teorici. L'anteprima in modalità 3D della bassetta sperimentale breadboard favorisce una immediata applicazione.



NI Multisim™

1.1 Ambiente di lavoro

La schermata iniziale di Multisim si presenta ricca di icone, utili per richiamare funzioni e componenti, raggruppati nelle barre degli strumenti di seguito descritte.



1. **Standard Toolbar**: per aprire un file, salvare, copiare, incollare, annullare e ripristinare una operazione...
2. **Main Toolbar**: per attivare diverse funzionalità, fra le quali citiamo:
 - **Show Breadboard**: utilità che illustra in 3D la modalità di prototipizzazione mediante breadboard;
 - **Capture Screen Area**: per catturare una porzione dello schema negli appunti di Windows.
3. **View Toolbar**: per zoomare, adattare le dimensioni dello schema alla finestra...
4. **Graphic Annotation Toolbar**: per disegnare nello schema...
5. **Simulation Toolbar**: per avviare la simulazione, fermarla, metterla in pausa, avanzare passo-passo.
6. **Simulation Switch**: interruttore per avviare la simulazione.
7. **Components Toolbar**: barra che raggruppa le diverse famiglie dei componenti.
8. **Ladder Toolbar**: componenti per ladder diagram.
9. **Instruments Toolbar**: barra che raggruppa strumenti di misura e visualizzazione analogici e digitali.
10. **Area di Lavoro**: è lo spazio della finestra per lo schematico.
11. **Design Toolbox**: è la vista dell'organizzazione dei file.

In particolare nella **Components Toolbar** sono presenti i seguenti pulsanti:

	Sources : alimentazioni, massa, sorgenti AC, DC, clock...
	Basic : resistori, capacitori, induttori, switch, potenziometri...
	Diodes : diodi, zener, led, scr, triac...
	Transistors : BJT, MOSFET, JFET...
	Analog : amplificatori operazionali, comparatori...
	TTL : porte, flip flop, buffer, sommatore, comparatori, decodificatori, contatori, registri...
	CMOS : porte, flip flop, buffer, sommatore, comparatori, decodificatori, contatori, registri...
	Misc Digital : miscellanea dispositivi digitali...
	Mixed : DAC, ADC, multivibratori, timer, switch analogici...
	Indicators : display, indicatori a barre, buzzer, lampade, probe vari colori, voltmetri, amperometri.
	Power : regolatori di tensione, fusibili, dispositivi PWM e VCO.
	Misc : optoaccoppiatori, cristalli, trasduttori, linee...
	Advanced Peripherals : tastiere numeriche, display LCD, display grafici, processi simulati...
	RF : componenti per radiofrequenze: diodo tunnel, ferrite...
	Electromechanical : switch, trasformatori...
	MCU : microcontrollori PIC, 805X, RAM, ROM...
	crea blocco gerarchico
	crea BUS

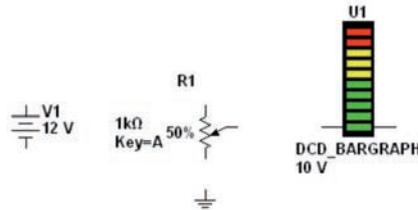
1.2 Creazione schema e simulazione

Il procedimento per la creazione di uno schema e la successiva simulazione può essere così scaglionato:

1. **Disposizione Componenti;**
2. **Modifica e Personalizzazione;**
3. **Creazione dei collegamenti;**
4. **Prova del circuito;**
5. **Modifica aspetto schema.**

Disposizione Componenti

1. Cliccare su **New** nella barra degli strumenti standard per creare un nuovo circuito.
2. Salvarlo con un nome.
3. Selezionare **Basic** → **POTENTIOMETER** → **1K** e cliccare su OK.
4. Aggiungere la batteria selezionando **Sources** → **POWER SOURCES** → **DC_POWER**.
5. Aggiungere un indicatore a barra selezionando **Indicators** → **BARGRAPH** → **DCD_BARGRAPH** → **10 V**.
6. Aggiungere la massa selezionando **Sources** → **POWER_SOURCES** → **GROUND**.
7. Se non si trova un componente cliccare sul pulsante **Search...** a destra nella finestra **Select a Component**.



ESEMPIO 1

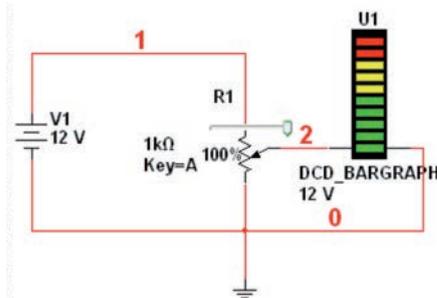
Modifica e Personalizzazione

1. Specchiare orizzontalmente il potenziometro, facendo click su esso con il tasto destro del mouse e selezionando **Flip Horizontal**. In generale le opzioni possibili sono:
 - **Flip Horizontal**: specchia orizzontalmente;
 - **Flip Vertical**: specchia verticalmente;
 - **90 Clockwise**: ruota di 90° in senso orario;
 - **90 CounterCW**: ruota di 90° in senso antiorario.
2. Fare doppio click sulla scritta 10 V del bargraph.
3. Nella scheda **Value** modificare il fondo scala **Full Scale Voltage** da 10 V a 12 V.
4. Eventualmente:
 - nella scheda **Label** è possibile modificare il riferimento U1 del componente;
 - nella scheda **Display** è possibile scegliere quali specifiche del componente mostrare e quali nascondere.



Creazione dei collegamenti

1. Posizionare il mouse su un terminale: il suo aspetto muta.
2. Fare click con il pulsante sinistro, spostare il mouse sul terminale di destinazione e fare click; in generale:
 - per scegliere un percorso diverso da quello automatico fare click a ogni vertice del percorso;
 - per annullare l'azione premere il tasto destro del mouse;
 - per modificare un collegamento posizionare il mouse sul filo, cliccare e muovere il collegamento.



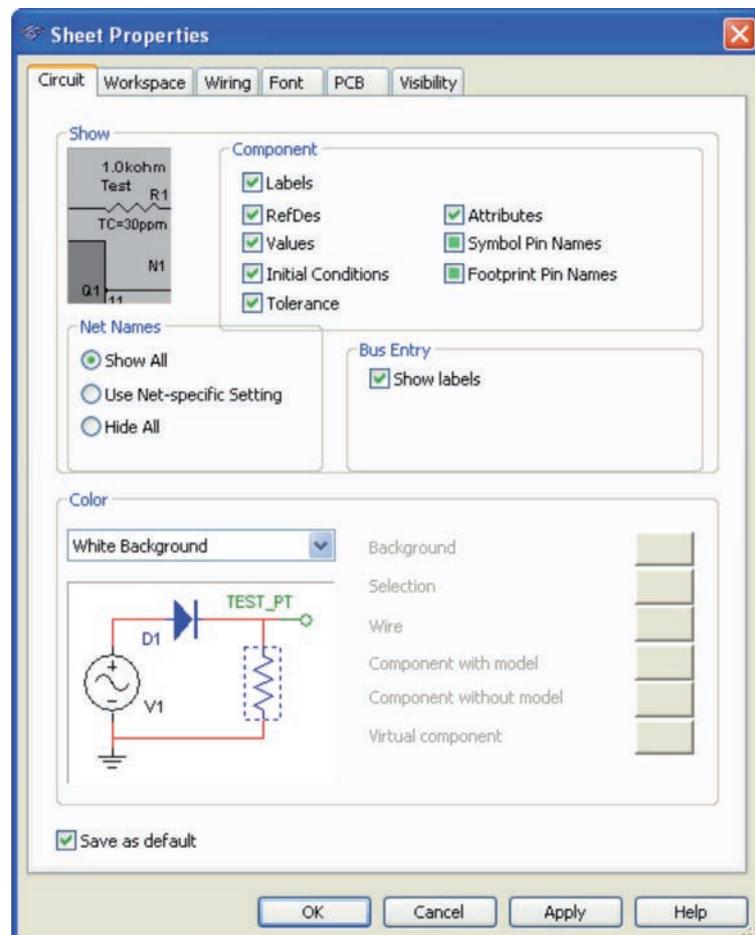
Prova del circuito

1. Premere sullo switch **Toggle the simulation switch** per avviare la simulazione.
2. Posizionarsi con il mouse sopra il potenziometro: notare che affiora una barra di scorrimento.
3. Modificare con essa il valore di partizione resistivo e osservare l'effetto sulla barra di visualizzazione.
4. Interrompere la simulazione premendo lo switch.

Modifica aspetto schema

1. Selezionare **Option** → **Sheet Properties**: affiora la finestra **Sheet Properties**, divisa in schede.
2. Tramite la scheda **Circuit** si può personalizzare l'aspetto del circuito agendo nelle seguenti sezioni:
 - **Component**: per mostrare/nascondere per i componenti le etichette (**Labels**), i riferimenti (**RefDes**), i valori (**Values**);
 - **Net Names**: per mostrare/nascondere la numerazione e denominazione dei collegamenti;
 - **Bus Entry**: per mostrare/nascondere i nomi dei pin di un bus;
 - **Color**: per personalizzare i colori degli elementi circuitali e dello sfondo.

Il pannello di disegno sotto la scritta Show esemplifica i cambiamenti apportati al circuito in funzione delle impostazioni.
3. Tramite la scheda **Workspace** si possono modificare le caratteristiche dell'area di lavoro: visualizzare una griglia, impostare le dimensioni del foglio di lavoro (A4, A3, dimensioni customizzate...).
4. Tramite la scheda **Wiring** si può modificare lo spessore di collegamenti e bus.
5. Tramite la scheda **Font**: è possibile modificare i Font dei caratteri.



1.3 Breadboard

La funzionalità di breadboarding simula nelle tre dimensioni una breadboard per scopi di prototipizzazione. La disposizione dei componenti è facilitata da una serie di incredibili utilità:

1. guida all'inserimento dei terminali: quando un terminale viene avvicinato a un foro, i segmenti contigui di fori si colorano;
2. correlazione schema-montaggio: le manovre fatte sulla breadboard si riflettono direttamente nello schema; in particolare:
 - quando un componente viene innestato nella breadboard, cambia il suo colore nello schema,
 - quando viene posizionato un filo nella breadboard, il relativo collegamento nello schema si colora, se il collegamento è corretto.
3. zoom e rotazione, per meglio evidenziare la disposizione dei terminali;
4. possibilità di colorare in modo diverso i fili, selezionando **Edit → Breadboard Wire Color**.

Realizziamo su breadboard lo schema del paragrafo precedente, in due fasi.

1. **Disposizione dei componenti sulla breadboard.**
2. **Creazione dei collegamenti.**

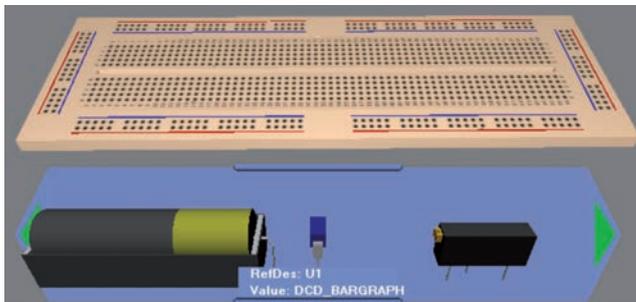
Show
Breadboard

ESEMPIO 2

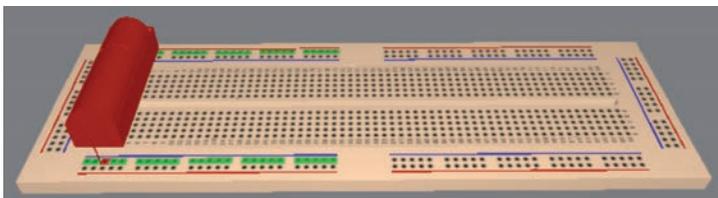


Disposizione dei componenti sulla breadboard

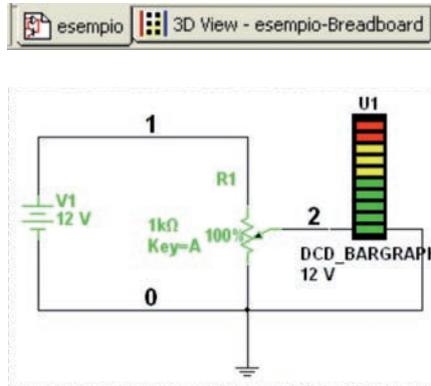
1. Aprire il file del circuito.
2. Aprire la schermata della breadboard cliccando sul pulsante **Show Breadboard** presente nel **Main** menù.



3. Osservare la presenza di una regione colorata in basso, dove sono disegnati i componenti, navigabile mediante due frecce di scorrimento.
4. Trascinare la batteria sulla breadboard e facendo click con il tasto destro del mouse selezionare **Orientation → 90 CounterCW** per disporla verticalmente, con il positivo (regione color oro) verso l'alto.
5. Avvicinare la batteria alla breadboard: si noterà la diversa colorazione dei reofori.
6. Quando si è sicuri della corretta posizione, fare click con il tasto sinistro del mouse per innestare il componente.

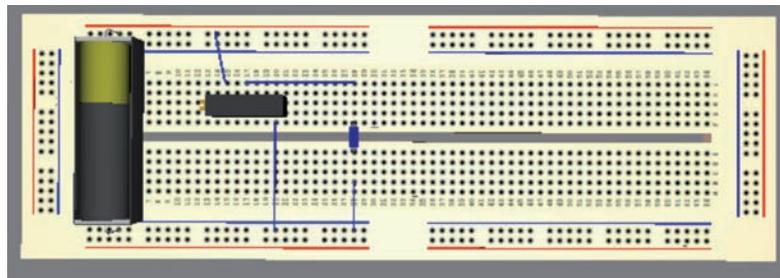
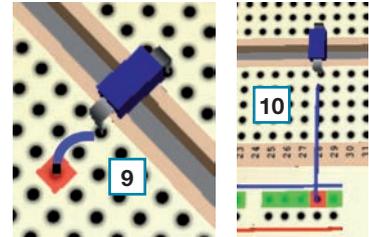


7. Osservare il circuito tornando alla scheda del circuito: la batteria si è colorata di verde!
8. Ripetere i punti dal 3 al 6 per gli altri componenti.



Creazione dei collegamenti

9. Avvicinare il mouse al foro dal quale far partire il collegamento: il foro si colora di rosso e il mouse assume l'aspetto di un filo ripiegato.
10. Trascinare il mouse e posizionarlo sul foro di arrivo: il foro si colora di rosso e i fori contigui di verde.
11. Fare click per collocare il filo.
12. Osservare la disposizione finale dei componenti nella figura sotto.



1.4 Circuiti digitali

Convertitore logico

Il convertitore logico, molto utile nel progetto di circuiti digitali, permette di trasformare le diverse rappresentazioni di un sistema digitale.

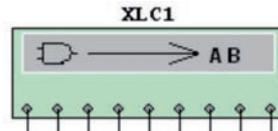
Le possibili conversioni sono visualizzate nella seguente tabella:

Pulsante	Descrizione
	Circuito → Tabella di verità
	Tabella di verità → Espressione booleana
	Semplificazione (di tabella di verità o funzione)
	Espressione booleana → Tabella di verità
	Espressione booleana → Circuito
	Espressione booleana → Implementazione NAND

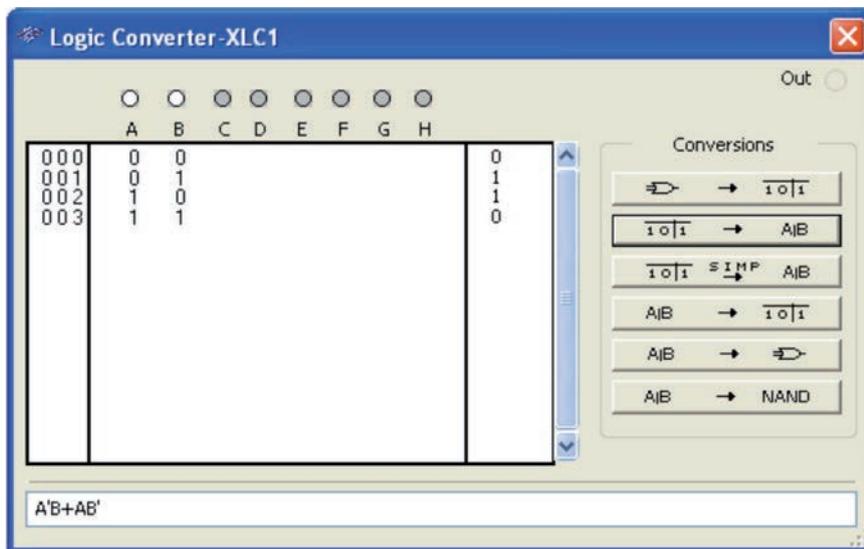
1. Nella toolbar **Instruments** cliccare su **Logic Converter**; depositare lo strumento e fare doppio click su esso.

ESEMPIO 3

Logic Converter



2. Nella finestra attivare gli ingressi **A** e **B** facendo click sui simboli circolari:
 - nella colonna a sinistra compaiono i numeri d'ordine delle combinazioni possibili della tabella di verità;
 - nelle colonne A e B compaiono le combinazioni possibili degli ingressi;
 - nella ultima colonna a destra compaiono dei punti di domanda per la definizione dei valori delle uscite.
3. Cliccare sui punti di domanda per impostare la tabella di verità in figura.



4. Premere il tasto di conversione **Tabella di verità → Espressione booleana**.



Compare nella casella in basso l'espressione: $A'B+AB'$.

5. Premere il tasto di conversione **Espressione booleana → Circuito**.



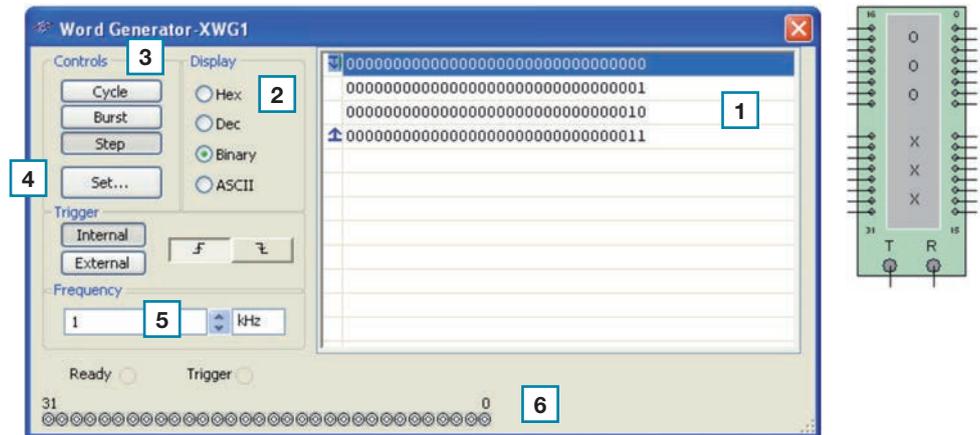
Viene sintetizzato il circuito.

6. Completare il circuito con i tasti **Switch** (percorso Basic → SWITCH) e la lampadina **Probe** (percorso Indicators → PROBE) e verificarne il funzionamento.

Generatore di parole (Word Generator)

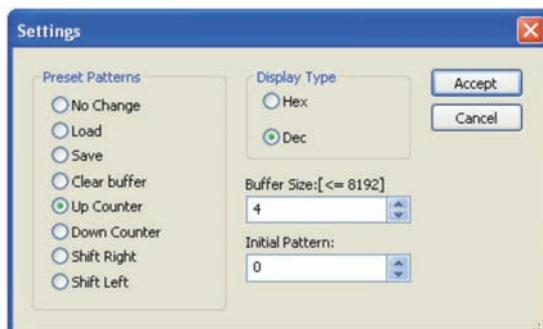
Il generatore di parole serve a produrre gli stimoli digitali da inviare agli ingressi di un circuito digitale, per sondarne il funzionamento.

Dispone di 32 uscite digitali, 16 meno significative numerate da 0 a 15 e 16 più significative, numerate da 16 a 31.



La figura mostra le diverse sezioni che sono quelle elencate di seguito.

- Area di visualizzazione (**buffer**) dei pattern numerici: visualizza le combinazioni;
 - per modificarne il contenuto cliccare su una riga e digitare il nuovo numero.
- Area **Display**: permette di selezionare il formato di visualizzazione:
 - Hex**: esadecimale da 00000000 a FFFFFFFF;
 - Dec**: decimale da 0 a $2^{32} - 1$;
 - Binary**: binario da 00000000000000000000000000000000 a 11111111111111111111111111111111;
 - ASCII**: codice ASCII.
- Area **Controls**: permette di selezionare la modalità di generazione delle parole:
 - Cycle**: ripetizione ciclica continua del gruppo di parole impostate;
 - Burst** (raffica in inglese) una solo ciclo completo di generazione;
 - Step**: generazione di una parola alla volta.
- Premendo il tasto **Set..** si apre la finestra **Settings** nella quale è possibile impostare tra l'altro:
 - Load**: carica i pattern da un file;
 - Save**: salva i pattern entro un file;
 - Clear buffer**: cancella tutte le parole impostate;
 - Up Counter**: crea automaticamente delle parole nel buffer sommando 1;
 - Down Counter**: crea automaticamente delle parole nel buffer sottraendo 1;
 - Shift Right**: crea automaticamente delle parole nel buffer sciftando 1 verso destra;
 - Shift Left**: crea automaticamente delle parole nel buffer sciftando 1 verso sinistra;
 - Buffer Size**: numero di parole attive nel buffer.

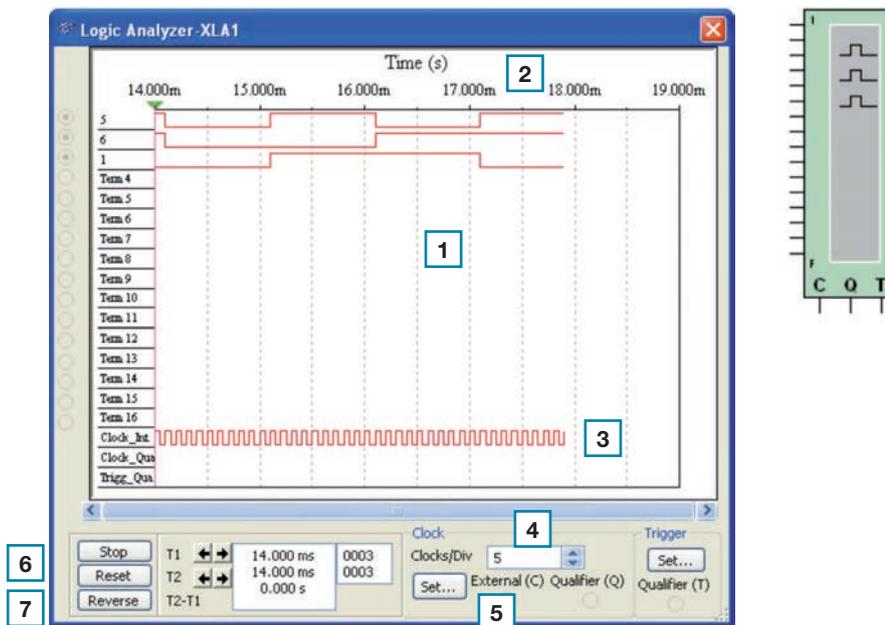


5. **Frequency**: frequenza di generazione delle parole.
6. Visualizzazione del pattern corrente.

L'analizzatore logico visualizza i livelli digitali dei segnali presenti ai suoi ingressi. Esso dispone di 16 ingressi, da **Term1** a **Term16**. Con riferimento alla figura distinguiamo:

1. area di visualizzazione, dove i segnali sono rappresentati in funzione del tempo;
2. riferimento temporale, ottenuto con **divisioni** verticali, con associati i valori temporali;
3. riga **Clock_Int**: visualizza il clock interno, ovvero la cadenza di acquisizione dei livelli;
4. **Clocks/Div**: numero di periodi di clock rappresentati in una divisione; se si aumenta questo valore, si riduce lo spazio orizzontale occupato dai segnali;
5. la frequenza del clock, che deve essere superiore a quella dei segnali rilevati, può essere impostata premendo su **Set..** e impostando successivamente **Clock Rate**;
6. **Reset**: cancella la visualizzazione corrente;
7. **Reverse**: commuta il colore di sfondo.

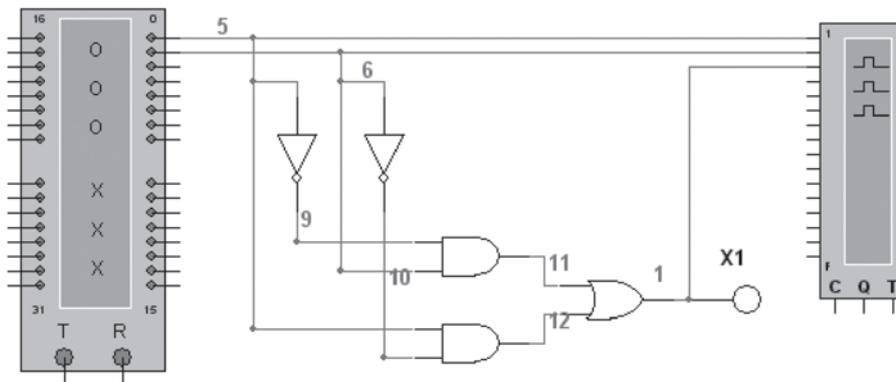
Analizzatore logico (Logic analyzer)



Generatore di parole e analizzatore logico

ESEMPIO 4

1. Disegnare il circuito di figura, che implementa una porta EX-OR con due AND, una OR e due NOT.



2. Impostare il generatore di parole in questo modo:
Display → Binary; Buffer Size = 4; Frequency = 1 kHz
3. Impostare l'analizzatore di stati logici in questo modo:
Clock/Div = 5; Clock Rate = 10 kHz
4. Premere Burst: si potranno osservare sull'analizzatore logico i livelli logici dei nodi 5 e 6 e l'uscita 1 della porta EX_OR.

1.5 Analisi in continua DC

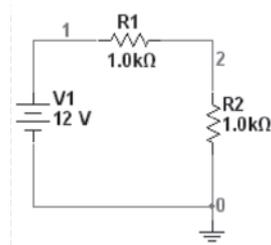
L'analisi DC calcola tensioni e correnti in regime statico. È possibile utilizzare quattro modalità:

1. uso del menù **Simulate**;
2. uso degli strumenti di misura;
3. uso degli indicatori;
4. uso delle sonde.

ESEMPIO 5

Uso del menu Simulate

Costruire il circuito di figura. Disporre in ingresso la sorgente **SOURCES** → **POWER_SOURCES** → **DC_POWER** e i resistori.

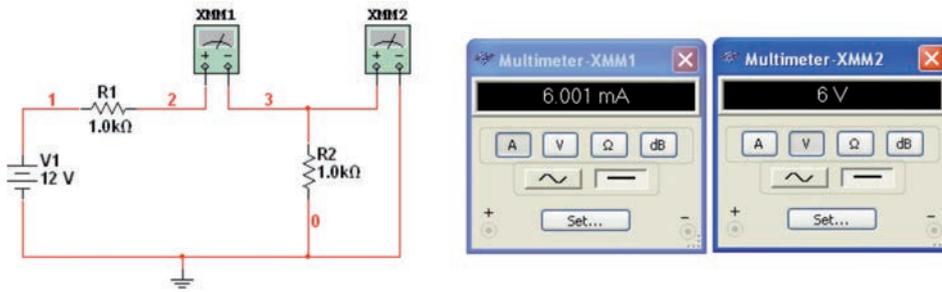


1. Selezionare **Simulate** → **Analyses** → **DC Operating Point...**
2. Nella scheda **Output** aggiungere le variabili da visualizzare e premere **Simulate**.
3. Osservare i risultati nelle colonne della scheda **DC Operating Point** della scheda **Grapher View**:
 - colonna **DC Operating Point**: nome della tensione/corrente, con riferimento ai nodi;
 - seconda colonna: valori.

DC Operating Point		
1	V[2]	6.00000
2	V[1]	12.00000
3	I[V1]	-6.00000 m

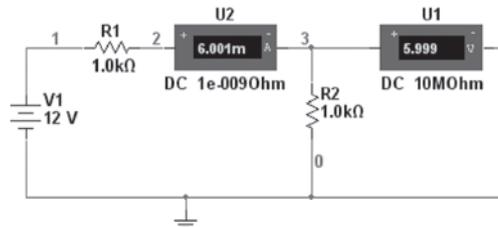
Uso degli strumenti di misura

1. Aggiungere due multimetri nello schema, come nella figura di pagina seguente, fare doppio click e selezionare i pulsanti **A** e **V** rispettivamente per misura di corrente e tensione.
2. Premere il tasto per la misura di grandezze continue, con impresso il simbolo di una linea orizzontale.
3. Avviare la simulazione premendo **Run**.
4. Osservare i risultati:
 - la corrente vale $V1 / (R1 + R2) = 12 / (1 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega) = 6 \text{ mA}$;
 - la tensione si ripartisce in parti uguali sui due resistori quindi: $VR1 = VR2 = 6 \text{ V}$.



Uso degli indicatori

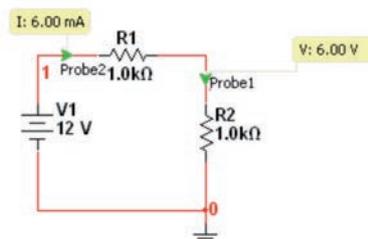
1. Disporre nel circuito gli indicatori voltmetro e amperometro selezionando:
 - **Indicators** → **VOLTMETER** → **VOLTMETER_H**
 - **Indicators** → **AMMETER** → **AMMETER_H**
2. Avviare la simulazione premendo **Run**.
3. Osservare i risultati:
 - notare la leggera differenza nei risultati rispetto al multimetro, dovuta al diverso settaggio dei valori di resistenza interna.



Uso delle sonde

1. Fare click sul tasto **Measurement Probe** nella barra degli strumenti.
2. Posizionare la Probe (sonda) nel ramo.
3. Fare doppio click su ciascuna per aprire la finestra **Probe Properties**.
4. Togliere il segno di spunta nella colonna **Show** della scheda **Parameters** per disabilitare tutte le visualizzazioni.
5. Cliccare entro una casella della colonna **Show** per attivare la misura desiderata, in questo esempio V e I.

Measurement Probe



1.6 Analisi nel tempo

L'analisi nel tempo descrive graficamente il transitorio di evoluzione di un sistema, in risposta a un segnale, da un istante iniziale **TSTART** a uno finale **TSTOP**.

La durata della simulazione **TSTOP-TSTART** deve essere scelta dall'utente, valutando a priori la durata reale del transitorio, per poter collocare l'analisi nella finestra temporale più adeguata.

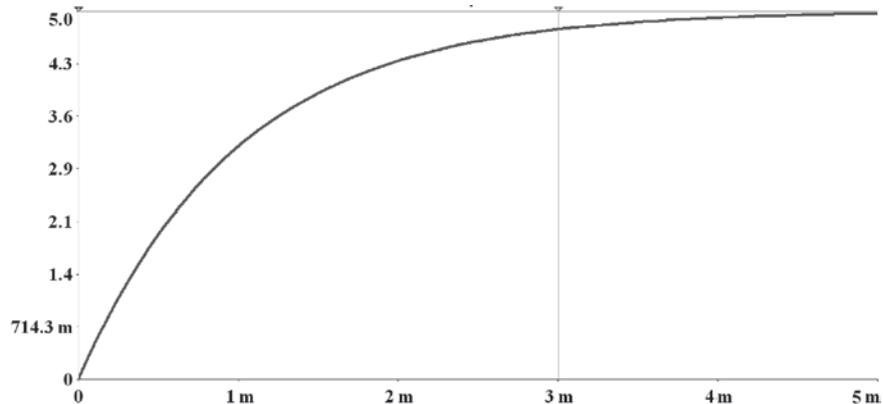
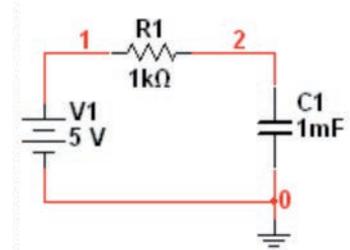
ESEMPIO 6

1. Uso del menu **Simulate**
2. Uso dell'oscilloscopio

Uso del menu **Simulate**

1. Costruire il circuito **RC** di figura, per valutare la sua risposta allo scalino. Disporre in ingresso la sorgente **Sources** → **POWER_SOURCES** → **DC_POWER**.
2. Selezionare **Simulate** → **Analyses** → **Transient Analysis...**
3. Nella scheda **Analysis parameters** della finestra **Transient Analysis** impostare i parametri:
 - istante di inizio della simulazione **Start Time** (**TSTART**) = 0;
 - istante di fine della simulazione **End Time** (**TSTOP**) = 5;

TSTOP è scelto di 5 secondi, perché la teoria dimostra che questo tipo di transitorio si esaurisce praticamente dopo 5τ , dove: $\tau = RC = 1 \text{ k}\Omega \cdot 1 \text{ mF} = 5 \text{ s}$.
4. Nella scheda **Output** della finestra **Transient Analysis** selezionare per l'analisi le tensioni **V(1)** e **V(2)**.
5. Premere il tasto **Simulate**.
6. Correggere la scala e l'aspetto del grafico nella finestra **Grapher View**, come nella figura seguente, con le modalità descritte nel paragrafo "Grafici".



7. Selezionare il pulsante **Show Cursors** e trascinare un cursore sulla scala temporale (ascissa) in $x = 3 \text{ m}$.
Nella finestra **Transient Analysis** si legge corrispondentemente un valore di tensione **V(2)** (ordinata) pari a 4,75. Questo dimostra che dopo 3τ il condensatore ha raggiunto il 95% del valore di regime: $4,7521/5 = 0,95 = 95\%$.

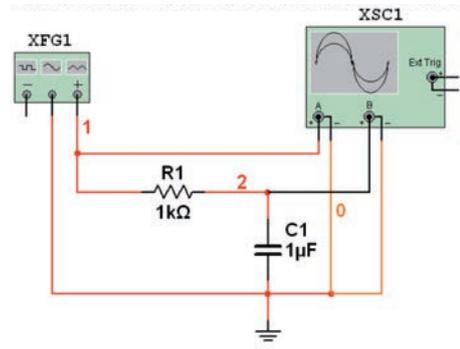
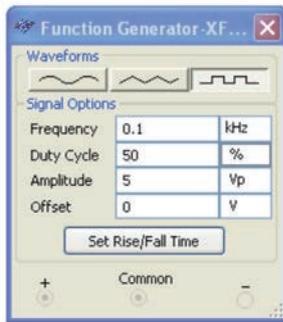
Show Cursors



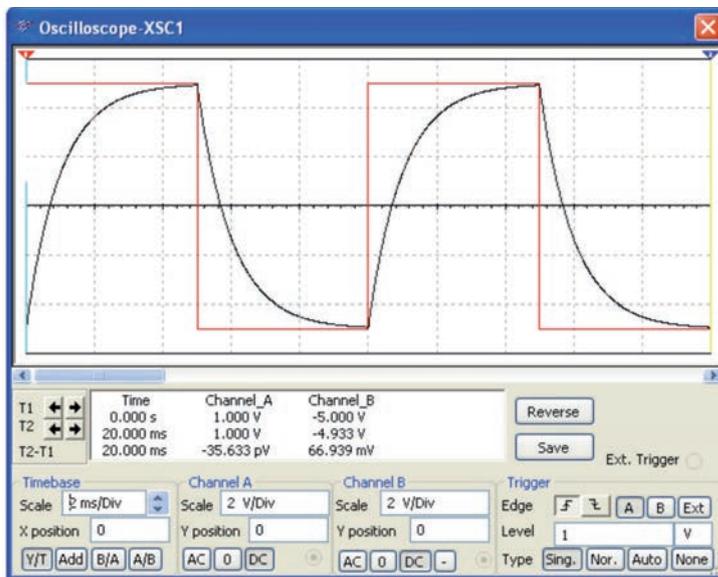
Transient Analysis		V (1)	V (2)
x1		3.0026m	3.0026m
y1		5.0000	4.7521

Uso dell'oscilloscopio

1. Analizzare mediante **generatore di funzione** e **oscilloscopio** la risposta all'onda quadra di periodo $T = 10$ ms ovvero semiperiodo $T/2 = 5$ ms, frequenza $f = 0,1$ kHz.



2. Impostare **Timebase-Scale** dell'oscilloscopio a 2 ms/div in modo che un periodo venga visualizzato in 5 divisioni.



1.7 Analisi in frequenza AC

L'analisi in frequenza valuta il comportamento di un sistema in regime sinusoidale, per frequenze del segnale di ingresso variabili da 0 a ∞ .

Il comportamento è descritto dai diagrammi di Bode per il modulo e per la fase, che visualizzano modulo e fase della funzione di trasferimento del sistema al variare della frequenza.

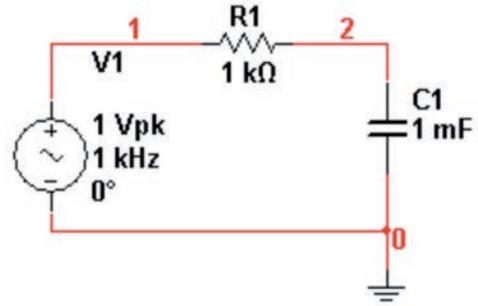
In funzione delle specifiche del problema si possono utilizzare le seguenti modalità:

1. **AC Analysis;**
2. **Calcolo Poli-Zeri;**
3. **Oscilloscopio.**

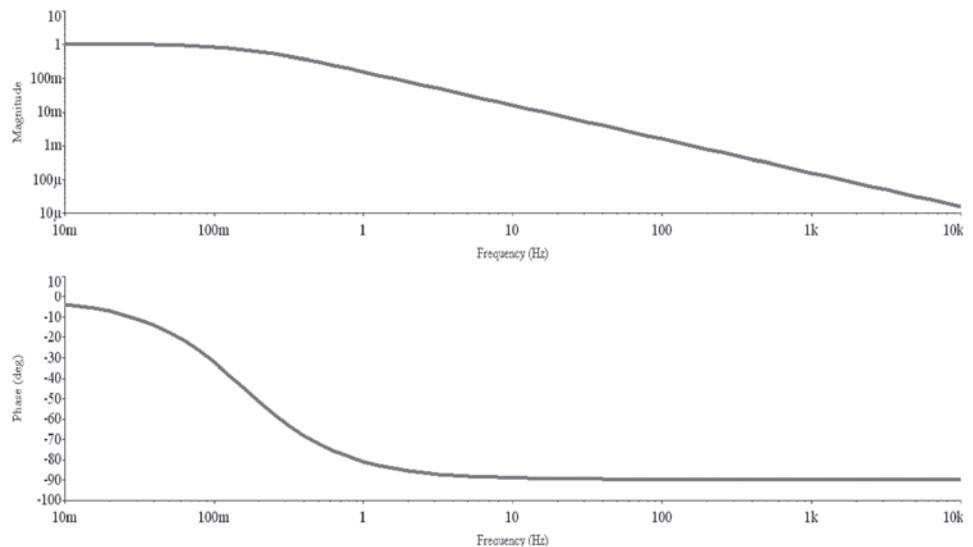
ESEMPIO 7

AC Analysis

1. Costruire il circuito RC di figura. Disporre in ingresso la sorgente **Sources** → **SIGNAL_VOLTAGE_SOURCES** → **AC_VOLTAGE**. I parametri della sorgente sono ininfluenti, perché l'analisi in frequenza non utilizza una sola frequenza, ma un arco di frequenze.
2. Selezionare **Simulate** → **Analyses** → **AC Analysis...**
3. Nella scheda **Frequency parameters** della finestra **AC Analysis** impostare i parametri della simulazione, in particolare frequenza iniziale **Start Frequency FSTART** e frequenza finale **Stop Frequency FSTOP**.
4. Nella scheda **Output** selezionare $V(2)$ nell'elenco delle variabili presenti nel circuito. Premere **ADD** per spostare $V(2)$ nell'elenco delle variabili da visualizzare nel diagramma.
5. Nella finestra **AC Analysis** premere il pulsante **Simulate**. Si apre la finestra **Grapher View** che visualizza i diagrammi di Bode del modulo e della fase.



Start frequency (FSTART)	0,01	Hz
Stop frequency (FSTOP)	10	kHz
Sweep type	Decade	
Number of points per decade	10	
Vertical scale	Decibel	



Calcolo Poli-Zeri

Disegnare il circuito utilizzato per l'analisi in frequenza, con $R = 1 \text{ k}\Omega$, $C = 1 \text{ mF}$ ($\tau = 1 \text{ p} = -1/\tau = -1$).

1. Avviare la simulazione polo-zero selezionando: **Simulate** → **Analyses** → **Pole Zero...**
2. Nella scheda **Analysis parameters** impostare il nodo di ingresso **Input (+)** e quello d'uscita **Output (+)**, nel settore **Nodes**.
3. Premere **Simulate** e osservare i risultati nelle colonne del **Grapher View**:
 - colonna **Pole Zero Analysis**: nome del polo/zero;
 - colonna **Real**: parte reale;

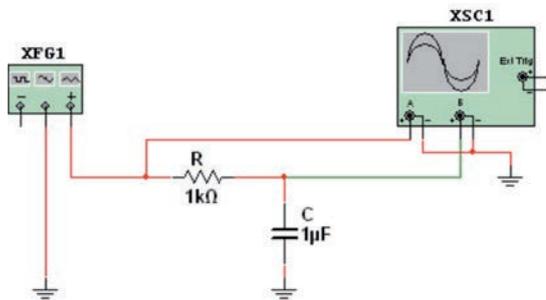
Nodes	
Input (+)	V(1)
Input (-)	V(0)
Output (+)	V(2)
Output (-)	V(0)

- colonna **Imaginary**: parte immaginaria.

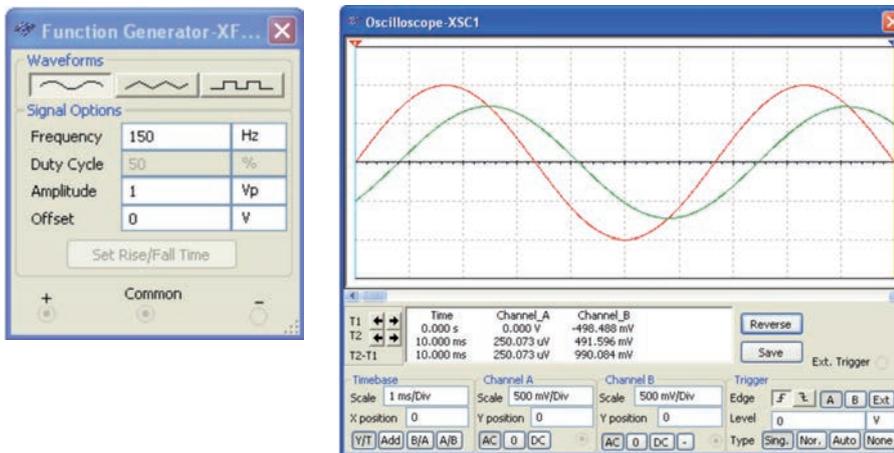
Pole Zero Analysis		Real	Imaginary
1	pole[1]	-1.00000	0.00000

Oscilloscopio

1. Disegnare il circuito di figura, inserendo generatore di funzione **Function Generator** e oscilloscopio **Oscilloscope**.



2. Impostarli come nelle figure.



3. Osservare la diversa ampiezza e fase dell'uscita rispetto al segnale di ingresso.

1.8 Funzioni di trasferimento

Multisim permette di analizzare il comportamento dei sistemi espressi matematicamente mediante funzione di trasferimento.

La f.d.t viene specificata mediante i coefficienti di polinomi di quinto grado:

1. $A_5, A_4, A_3, A_2, A_1, A_0$ per il numeratore;
2. $B_5, B_4, B_3, B_2, B_1, B_0$ per il denominatore.

$$G(s) = \frac{A_5 \cdot s^5 + A_4 \cdot s^4 + A_3 \cdot s^3 + A_2 \cdot s^2 + A_1 \cdot s^1 + A_0 \cdot s^0}{B_5 \cdot s^5 + B_4 \cdot s^4 + B_3 \cdot s^3 + B_2 \cdot s^2 + B_1 \cdot s^1 + B_0 \cdot s^0}$$

Per selezionare il blocco f.d.t seguire il percorso: **Sources** → **CONTROL_FUNCTION_BLOCKS** → **TRANSFER_FUNCTION_BLOCK**

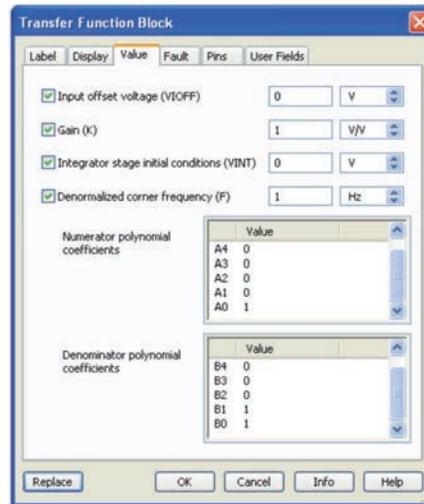
ESEMPIO 8

Analizziamo la risposta allo scalino e la risposta in frequenza di un circuito RC di costante di tempo 1 secondo. Ricordiamo che la sua fdt è:

$$G(s) = \frac{1}{(\tau s + 1)}$$

Risposta allo scalino

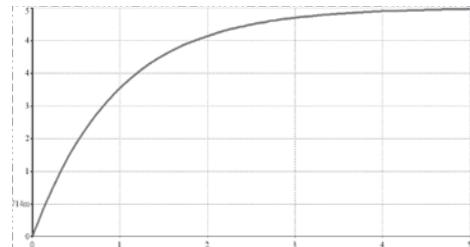
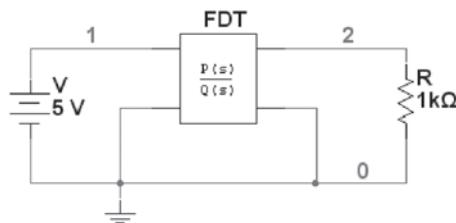
1. Costruire lo schema di figura, inserendo all'ingresso, come scalino, una batteria di 5 V, seguendo il percorso **Sources** → **POWER_SOURCES** → **DC_POWER**.
2. Fare doppio click sul blocco fdt: si apre la finestra **Transfer Function Block**.



3. Nella scheda **Value** impostare come in figura i coefficienti dei polinomi per il numeratore e il denominatore:

$$A0 = 1; B1 = B0 = 1$$

4. Fare una analisi in transitorio selezionando **Simulate** → **Analyses** → **Transient Analysis...**
5. Nella scheda **Analysis parameters** della finestra **Transient Analysis** impostare i parametri:
 - istante di inizio della simulazione **Start Time (TSTART)** = 0;
 - istante di fine della simulazione **End Time (TSTOP)** = 5.
6. Premere **Simulate** e osservare sul grafico la tipica risposta inerziale del condensatore.



Risposta in frequenza

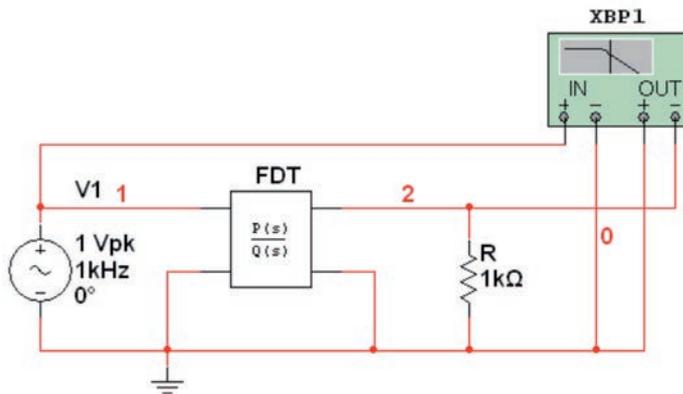
1. Costruire lo schema di figura, inserendo all'ingresso un generatore sinusoidale, seguendo il percorso **Sources** → **SIGNAL_VOLTAGE_SOURCES** → **AC_VOLTAGE**.
2. Fare doppio click sul blocco fdt: si apre la finestra **Transfer Function Block**
3. Nella scheda **Value** impostare i coefficienti dei polinomi per il numeratore e il denominatore:

$$A0 = 1; B1 = B0 = 1$$

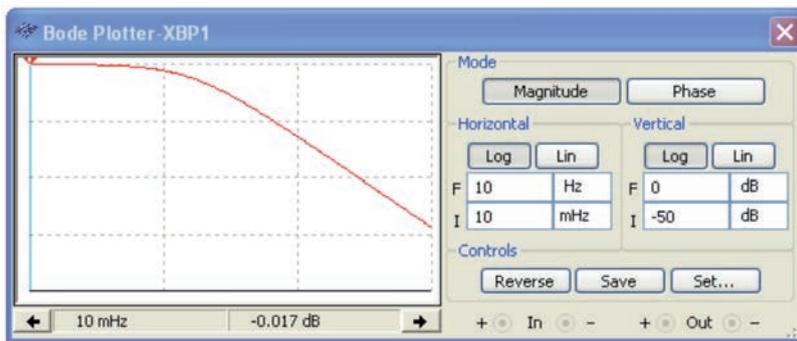
Bode
Plotter



4. Fare una analisi in frequenza mediante il **Bode Plotter**, selezionando l'icona e collegandolo come in figura.



Osservare sul grafico la tipica risposta in frequenza di filtro passa basso a singolo polo del circuito RC.

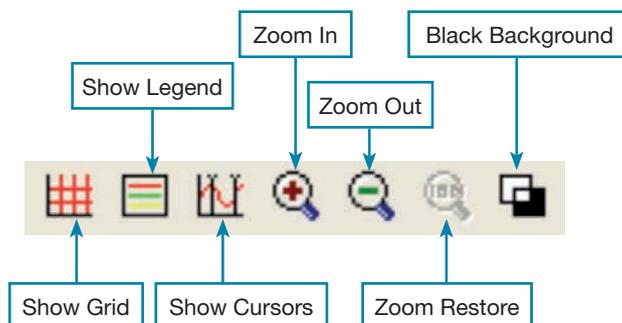


1.9 Grafici

In questo paragrafo concentriamo l'attenzione sui principali comandi della finestra dei grafici **Grapher View**, tramite i quali possiamo principalmente:

1. migliorare l'aspetto del grafico, modificando colore e spessore delle curve, font delle scale, titoli...;
2. leggere i valori delle coordinate X e Y dei punti delle curve.

La figura seguente mostra i principali comandi della toolbar:



Il loro significato è:

Show Grid: visualizza una griglia;

Show Legend: visualizza una legenda con i nomi delle curve abbinati ai rispettivi colori;

Zoom In, Zoom Out: tasti di zoom;

Zoom Restore: ripristina le dimensioni di visualizzazione standard;

Black Background: inverte il colore di sfondo da nero a bianco.

Show Cursors: visualizza un cursore1, un cursore2 e una finestra dati.

Il significato degli elementi di questa finestra si riferisce ai punti intercettati dai due cursori sul grafico:

1. **$x1, y1, x2, y2$:** coordinate x e y dei punti intercettati rispettivamente da cursore1 e cursore2;
2. **dx, dy :** distanze tra i due cursori lungo gli assi x e y .

Cliccando con il tasto destro del mouse sull'area del grafico, si apre un pop-up, selezionando **Properties** si apre la finestra **Graph Properties** che permette di modificare alcune caratteristiche estetiche del grafico. La finestra contiene le seguenti schede:

1. **General:** nella cui sezione **Grid** è possibile impostare stile di tracciamento **Pen style**, spessore **Pen size** e colore della griglia, nonché visualizzare o nascondere la griglia;
2. **Traces:** dove è possibile modificare il colore **Color** dei grafici e lo spessore di linea **Width**;
3. **Left axis, Bottom axis, Right axis, Top axis:** per impostare caratteristiche degli assi come:
 - nome **Label** visualizzato lungo l'asse delle ordinate;
 - scala **Scale** che può essere di tipo **Linear, Logarithmic, Decibels, Octave**;
 - intervallo di valori **Range** dal minimo **Min** al massimo **Max**.

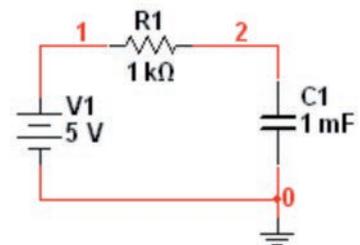
Nello stesso pop-up è possibile selezionare **Show/Hide Traces...** che apre la finestra **Select Traces** nella quale i simboli di spunta consentono di visualizzare/nascondere un grafico.

ESEMPIO 9

Riprendiamo l'esempio della carica del condensatore, spiegato nel paragrafo "Analisi nel Tempo".

Costruzione del circuito e simulazione

1. Costruire il circuito RC di figura, per valutare la sua risposta allo scalino. Disporre in ingresso la sorgente **Sources** → **POWER SOURCES** → **DC_POWER**.
2. Selezionare **Simulate** → **Analyses** → **Transient Analysis**.
3. Nella scheda **Analysis parameters** della finestra **Transient Analysis** impostare i parametri:
 - istante di inizio della simulazione **Start Time** (**TSTART**) = 0;
 - istante di fine della simulazione **End Time** (**TSTOP**) = 5.
4. Nella scheda **Output** della finestra **Transient Analysis** selezionare per l'analisi le tensioni **V(1)** e **V(2)**.
5. Premere il tasto **Simulate**.



Manipolazione del diagramma

1. Premere il pulsante **Black Background** per impostare lo sfondo bianco.
2. Aprire la finestra **Properties**.
3. Visualizzare la griglia selezionando **Grid On** nella scheda **General**.
4. Nella scheda **Traces** selezionare una curva **Trace**, impostare nuovi valori di **Width** e **Color**.
5. Nella scheda **Left Axis** nel settore **Range** impostare **Min** = 0 **Max** = 5.
6. Nella scheda **Left Axis** nel settore **Axis** impostare un font più grande.
7. Nella scheda **Bottom Axes** nel settore **Axis** impostare un font più grande.

Letture di dati

1. Selezionare la curva della carica del condensatore.
2. Premere il pulsante **Show Cursors**.
3. Appare la finestra dei cursori **Cursors**.

	V (1)	V (2)
x1	1.0017	1.0017
y1	5.0000	3.1633
x2	2.3274	2.3274
y2	5.0000	4.5131
dx	1.3257	1.3257
dy	0.0000	1.3498
dy/dx	0.0000	1.0182
1/dx	754.3408m	754.3408m

4. Cliccare sul simbolo di triangolo rivolto verso il basso, posto in cima alla scala delle ordinate, per prelevare cursore 1.
5. Trascinare il cursore verso destra.
6. Ripetere i punti 4 e 5 per posizionare anche il secondo cursore.
7. Disporre il cursore relativo a x_2 a destra rispetto a quello relativo a x_1 .
8. Leggere i valori x_2 e x_1 e verificare che $dx = x_2 - x_1$.
9. Leggere i valori y_2 e y_1 e verificare che $dy = y_2 - y_1$.

1.10 Microcontrollori

Il programma Multisim offre una funzionalità molto importante: la simulazione di circuiti con la presenza di microcontrollori.

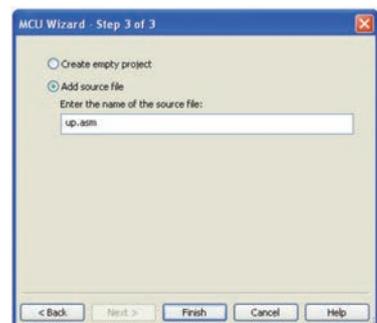
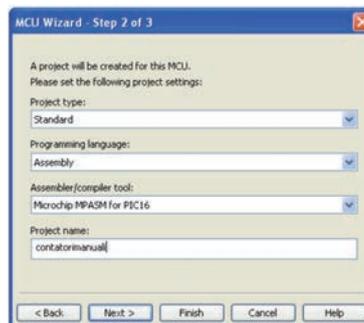
Il procedimento prevede sostanzialmente tre scansioni:

1. **creazione dello spazio di lavoro;**
2. **disegno del circuito con MCU di tipo PIC16F84A oppure 805X;**
3. **incorporazione del programma nel microcontrollore.**

Creazione spazio di lavoro

ESEMPIO 10

1. Selezionare **File** → **New** → **Design**.
2. Salvare il file con il nome un_display in una posizione nota come D:
3. Selezionare il componente **MCU** → **PIC** → **PIC16F84A** e depositarlo.
4. Comparare la finestra **MCU Wizard – Step 1 of 3**.
5. Mediante il pulsante **Browse** selezionare la posizione nota.
6. Inserire il nome un_display nella casella di testo del Workspace name e premere Next.
7. Comparare la finestra **MCU Wizard – Step 2 of 3**.
8. Selezionare **Programming language** → **Assembly**.
9. Specificare **Project name**: contatorimanuali e premere Next.
10. Comparare la finestra **MCU Wizard – Step 3 of 3**.
11. Selezionare **Add source file** e inserire il nome del file sorgente: up.asm.



12. Nella finestra **Design Toolbox** appare una gerarchia di oggetti, con il seguente significato:
- simbolo di spunta e di circuito un_display: file principale;
 - simbolo di un microcontrollore: cartella che raggruppa tutti i file tranne il principale e nome dello spazio di lavoro Workspace;
 - simbolo con riquadro blu di nome contatori-manuali: nome del progetto;
 - simbolo testuale di nome up.asm: file asm contenente il programma per il microcontrollore.



Entro il medesimo Workspace è possibile eventualmente aggiungere nuovi progetti in questo modo:

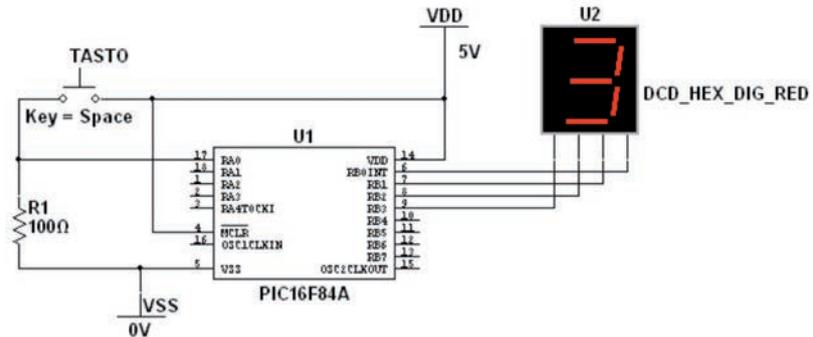
1. cliccare nel Design Toolbox con il tasto destro del mouse sul simbolo del microcontrollore;
2. selezionare **Add MCU Project...**

Entro il medesimo progetto è possibile in un secondo momento aggiungere nuovi file sorgente in questo modo:

1. cliccare nel Design Toolbox con il tasto destro del mouse sul simbolo del progetto;
2. selezionare **Add New MCU Source File...**

Disegno del circuito

Completare il circuito come in figura



Incorporazione del programma e simulazione

1. Fare doppio click sul nome del file assembler up.asm.
2. Si apre una scheda editor di testo, di nome up.asm, in parte già inizializzata.
3. Digitare il seguente programma:

```
#include <pl6f84A.inc>
errorlevel -302
cblock 0x20
CONTATORE
NUMERO
endc

;INIZIALIZZAZIONE
BSF STATUS, RP0 ;seleziona banco 1
MOVLW 0x0FF
MOVWF TRISA ;imposta PORTA input
MOVLW 0x00
MOVWF TRISB ;imposta PORTB output
BCF STATUS, RP0 ;seleziona banco 0
MOVLW .0
MOVWF NUMERO

inizio
MOVF NUMERO,0
MOVWF PORTB ;invia numero su display →
```

```

indietro1
    BTFSS     PORTA,0      ;controlla se TASTO premuto
    GOTO      indietro1   ;attendi pressione TASTO
indietro2
    BTFSC     PORTA,0      ;controlla se TASTO rilasciato
    GOTO      indietro2   ;attendi rilascio TASTO

    INCF     NUMERO,1      ; incrementa conteggio
    GOTO      inizio

end

```

- Avviare la simulazione.
- Premere ripetutamente il pulsante TASTO e osservare l'avanzamento del conteggio sul display.

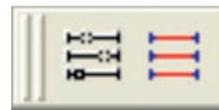
1.11 Diagrammi ladder per PLC

Multisim offre un set completo di strumenti per la programmazione a contatti, quali blocchi per il controllo del flusso di programma, la temporizzazione, il conteggio.

Sono disponibili due tasti sulla barra degli strumenti:

- Place Ladder Diagram** che contiene i componenti: contatti, bobine, timer, contatore, moduli per IO...;
- Place Ladder Rungs** che serve per l'inserimento dei **rungs** (pioli) del diagramma **ladder** (scala).

Place Ladder Diagram Place Ladder Rungs



- Selezionare il tasto **Place Ladder Rungs**.
- Posizionare tre rung e terminare facendo click sul tasto destro del mouse.
- Premere **Place Ladder Diagram** e selezionare **LADDER_CONTACTS** → **RELAY_CONTACT_NO** e posizionare i due contatti normalmente aperti nel primo rung.
- Selezionare **Place** → **Component** → **Indicators** → **LAMP** → **120V_100W** e posizionare la lampada nel primo rung.
- Selezionare **Place** → **Component** → **Basic** → **SWITCH** → **DIPSW1** e posizionare due switch nel secondo e terzo rung.
- Premere **Place Ladder Diagram** e selezionare **LADDER_RELAY_COILS** → **RELAY_COIL** e posizionare due bobine nel secondo e terzo rung.
- Modificare i parametri e i riferimenti dei componenti come da figura.
- Avviare la simulazione.
- Notare che se entrambi i pulsanti sono premuti i due contatti X1, X2 si chiudono e la lampada si accende.

ESEMPIO 11

