

# **INTRODUZIONE A PSPICE A/D**

**(PC Simulation *Program* with *Integrated Circuit Emphasis*  
Analog/Digital)**

# SIMULATORI CIRCUITALI



- *aiuto nella fase iniziale del progetto*
- *aiuto nella correzione*
- *aiuto nella diagnostica (variazioni: temperatura, parametri dei dispositivi, tensione di alimentazione)*

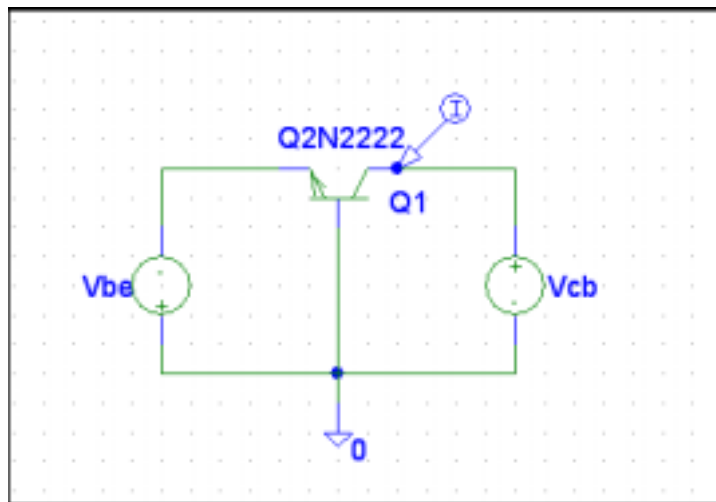
# PSPICE

*SPICE: 1968 Ron Rohrer (Berkley) → Tecniche di ottimizzazione (CANCER)*

Simulatori analogici general-purpose

*-SPICE3F4, PSPICE, HSPICE, IS\_SPICE, MICROCAP IV*

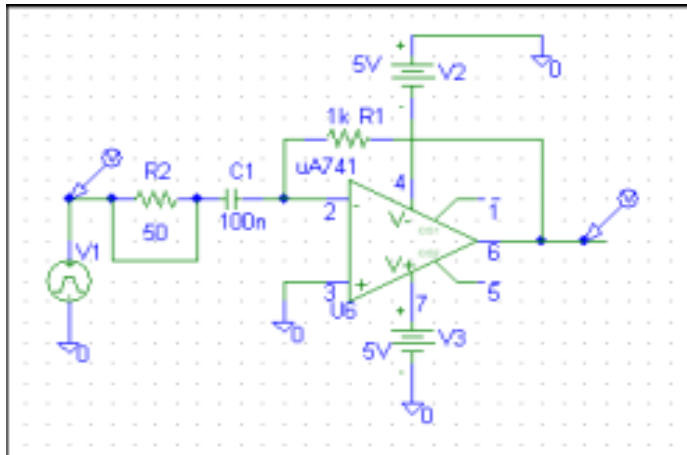
## •MODELLI dei COMPONENTI



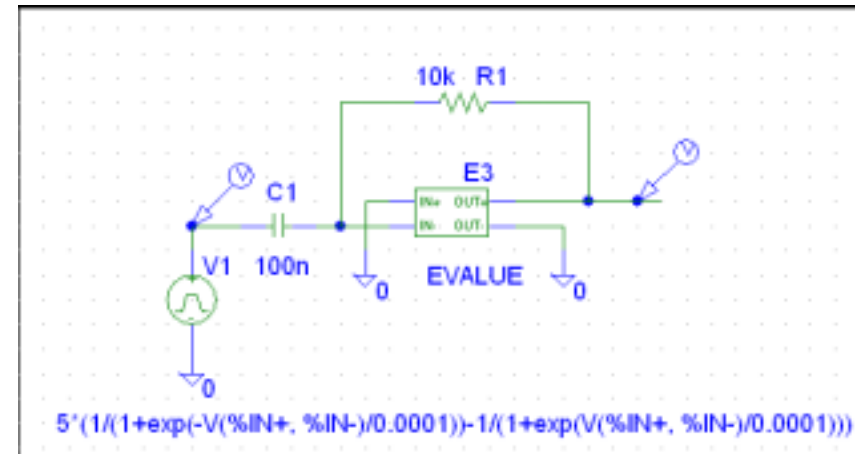
### **COMPONENT MODEL**

= descrive il comportamento del dispositivo

# PSPICE



**MACROMODEL**= descrive i blocchi circuitali nella forma di circuiti equivalenti semplificati (circuiti reali e circuiti semplificati)



**BEHAVIORAL MODEL**= descrive i blocchi circuitali mediante espressioni matematiche, costituisce il livello più alto della simulazione

## •MODELLI dei GENERATORI di SEGNALE

I generatori di segnale vengono considerati ideali

## •COLLEGAMENTI dei COMPONENTI

Le interconnessioni (=wire) vengono considerate ideali

# PSPICE

**Es. MODELLO DEL DIODO IN PSPICE: modello analitico, non a soglia!**

**•Polarizzazione diretta**

$$I_F = k_{inj} IS \exp[ v / ( N \cdot \phi_T ) ] + k_{rec} ISR \exp[ v / ( NR \cdot \phi_T ) ]$$

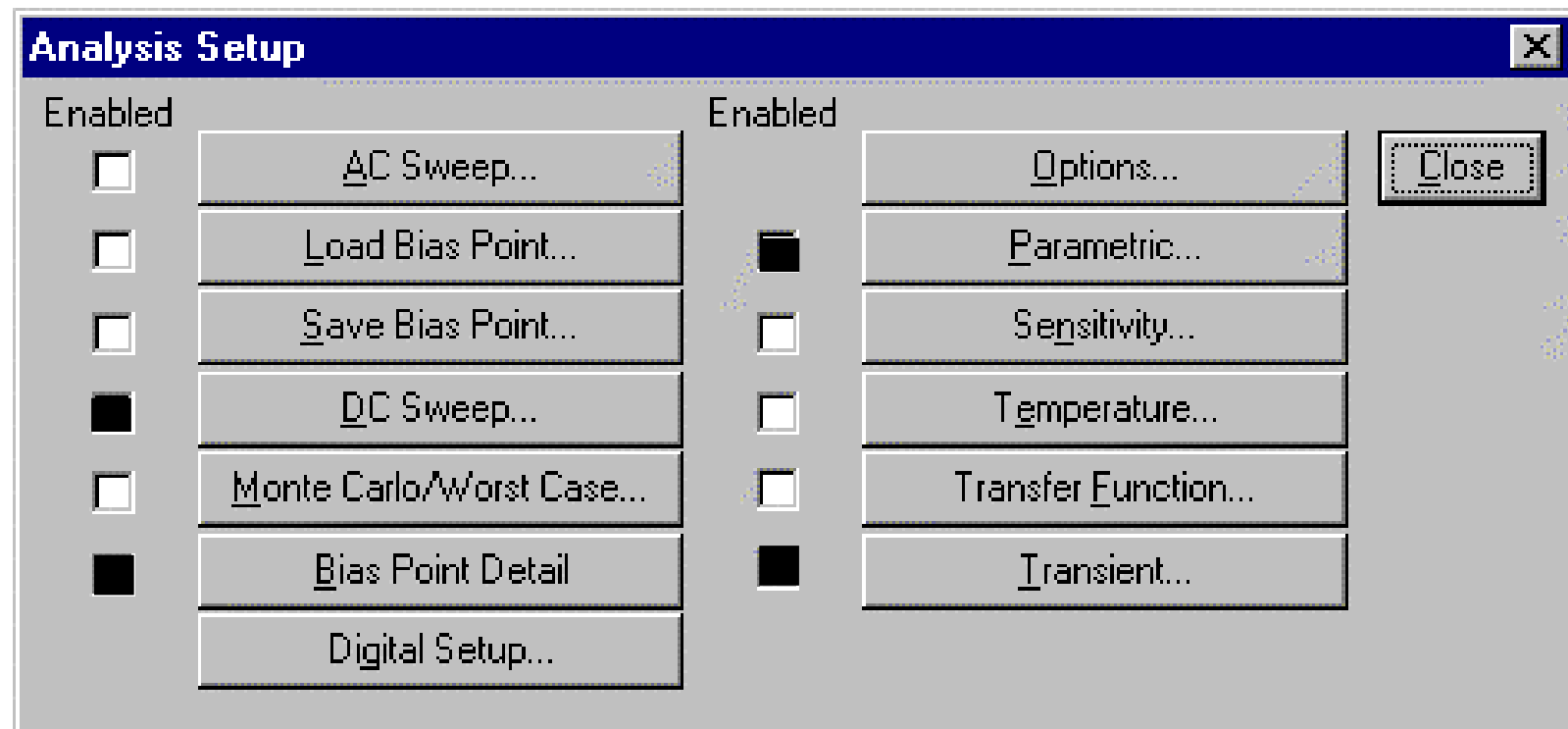
$$k_{inj} = \begin{cases} 1 & IKF \leq 0 \\ \sqrt{\frac{IKF}{IKF + IS \exp[ v / ( N \cdot \phi_T ) ]}} & IKF > 0 \end{cases} \quad k_{rec} = \left[ \left( 1 - \frac{v}{VJ} \right)^2 + 0.005 \right]^{M/2}$$

par.	significato	default
<b>V<sub>T</sub></b>	$kT/q$	$f(T)$
<b>IS</b>	corrente di saturazione	$10^{-14}$ A
<b>N</b>	coefficiente di emissione o di idealità	1
<b>ISR</b>	parametro della corrente di ricombinazione	0 A
<b>NR</b>	coefficiente di emissione per <b>ISR</b>	2
<b>IKF</b>	corrente di “ginocchio” per alte iniezioni	$\infty$
<b>VJ</b>	potenziale built-in	1 V

# ANALISI

Analysis	Analysis Setup Dialog Box	Swept Variable
<b>Standard analyses</b>		
<u>DC sweep</u>	DC sweep	source parameter temperature
<u>bias point</u>	bias point detail	
small-signal DC transfer	transfer function	
DC sensitivity	sensitivity	
frequency response	AC sweep	frequency
noise (requires a frequency response analysis)	AC sweep	frequency
<u>transient response</u>	transient	time
<u>Fourier</u> (requires transient response analysis)	transient	time
<b>Simple multi-run analyses</b>		
<u>parametric</u>	parametric	
temperature	temperature	

# ANALISI



# ANALISI

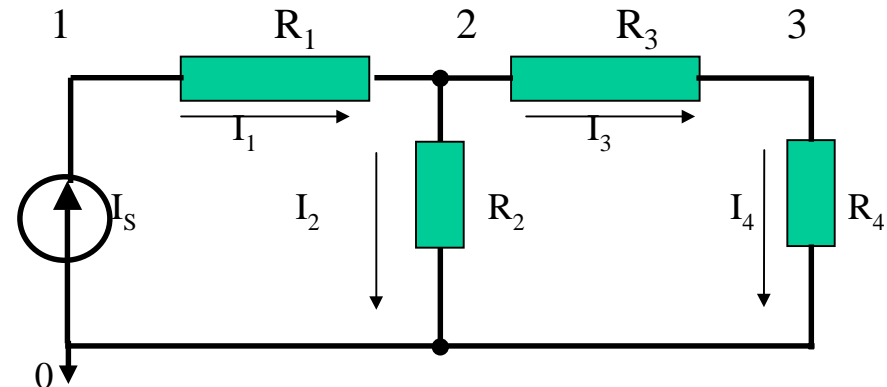
## •Funzionamento

I modelli analitici dei dispositivi vengono utilizzati per definire un modello equivalente costituito da  $n$  nodi e da  $r$  rami.

Ciascun ramo è definito da una relazione tra la corrente che lo attraversa e la caduta di potenziale ai suoi capi.

$$\begin{cases} I_1 & = I_s \\ I_1 - I_2 - I_3 & = 0 \\ -I_3 - I_4 & = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_1 G_1 - V_2 G_1 & = I_s \\ -V_1 G_1 + V_2 (G_1 + G_2 + G_3) - V_3 G_3 & = 0 \\ -V_2 G_3 + V_3 (G_3 + G_4) & = 0 \end{cases}$$



## **Y.V=I**

- $y_{ii}$  = somma delle conduttanze connesse al nodo  $i$
- $y_{ij}$  = somma (cambiata di segno) delle conduttanze connesse tra i nodi  $i$  e  $j$
- $I_i$  = somma dei generatori di corrente indipendenti connessi al nodo  $i$

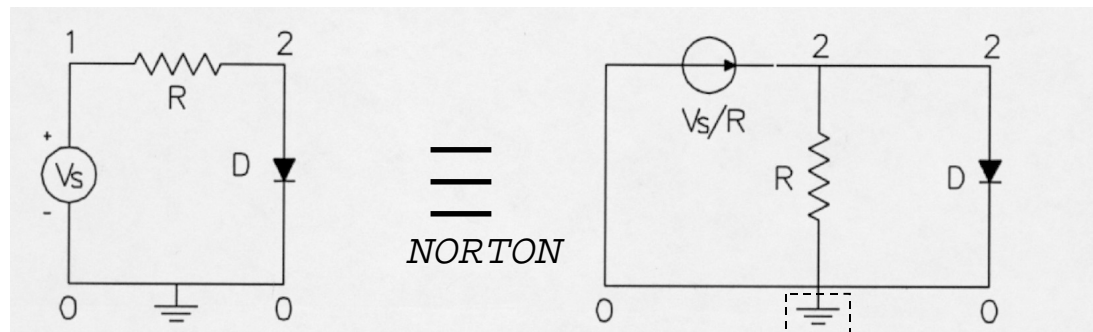


## ANALISI

- Gli elementi con caratteristica I-V non lineare (ad es. il *diodo*) possiedono una conduttanza che dipende dal punto di lavoro (a priori incognito).
- In presenza di elementi non lineari si linearizzano le equazioni del dispositivo in un punto di lavoro presunto  $V^0$ .
- Il circuito così ottenuto è trattabile con il metodo precedentemente esposto e fornisce una nuova stima del punto di lavoro  $V^0$  (indicata con  $V^1$  e dipendente dal punto di lavoro precedente  $V^0$ ).
- Il procedimento viene ripetuto iterativamente fintanto che la differenza tra due stime successive  $V^k$  e  $V^{k+1}$  del punto di lavoro non converge a zero entro una tolleranza fissata.

## ANALISI

Es.

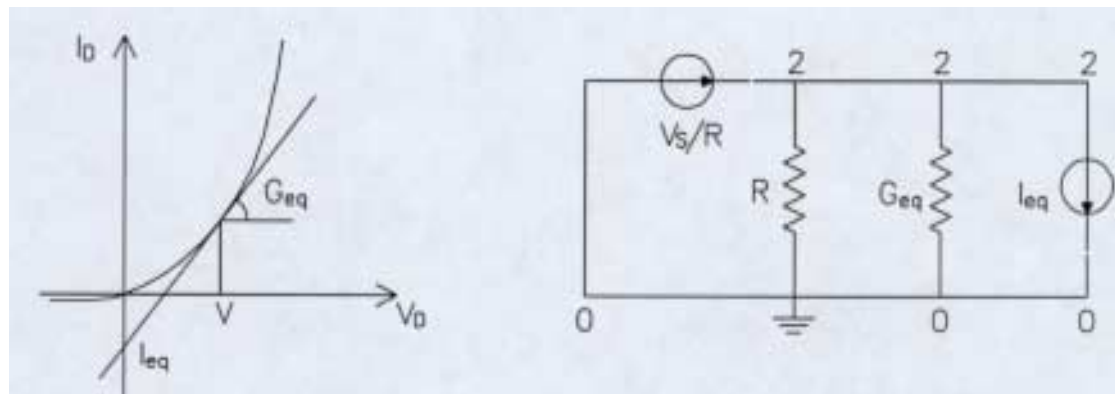


$$i_D = f(v_D), \quad v_D = v_2$$

$$G = 1/R, \quad I_{GEN} = V_s G$$

$$Gv_2 + f(v_2) = I_{GEN}$$

- Occorre linearizzare l'equazione  $i_D = f(v_D)$ :
  - si stima il punto di lavoro  $V_2$  e si sviluppa in serie (al primo ordine) l'equazione intorno al punto  $V_2$ .



## ANALISI

$$(G + G_{eq}^0) v_2^1 = I_{GEN} + I_{eq}^0 \quad , \text{all'iterazione zero}$$

- Risolvendo il sistema si ottiene una nuova stima  $V_2^1$  del punto di lavoro, in generale diverso dal precedente,  $V_2$ .
- La procedura viene ripetuta ricalcolando  $G_{eq}^k$  e  $I_{eq}^k$  in corrispondenza di ogni nuova stima di  $V_2^k$  del punto di lavoro, fino a che la differenza  $\Delta V_2^k = V_2^k - V_2^{k-1}$  non scende al di sotto di una tolleranza prefissata.
- Punti critici: stima iniziale e convergenza dell'algoritmo.

# ANALISI

- **Definizione del punto di lavoro (*Operational Point (OP)*, *BIAS POINT*)**

- Costituisce il punto iniziale di ogni analisi e presuppone la definizione delle tensioni e delle correnti in continua

- capacità → circuito aperto

- induttanze → cortocircuito

- **ANALISI in DC**

- Calcolo di un insieme di OP in continua (il valore della tensione/corrente dei generatori di tensione/corrente viene fatto variare in un intervallo)

# ANALISI

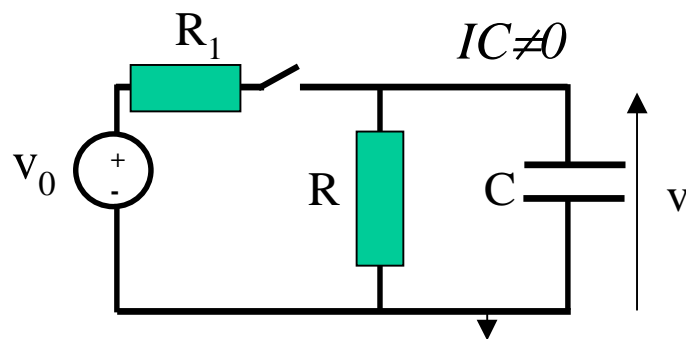
## •ANALISI nel DOMINIO del TEMPO

- calcolo del punto di lavoro ( $t=0$ )
- si considerano anche le capacità e le induttanze
- soluzione di equazioni differenziali mediante integrazione numerica

METODI DI INTEGRAZIONE NUMERICA: accuratezza e stabilità

(Metodo di Eulero Diretto, Metodo di Eulero Inverso, Metodo Trapezoidale ( $\sqrt{\phantom{x}}$ ) e Metodo di Gear ( $\sqrt{\phantom{x}}$ ))

## ESEMPIO: stabilità del metodo



$$\frac{1}{R} v(t) + C \dot{v}(t) = 0$$

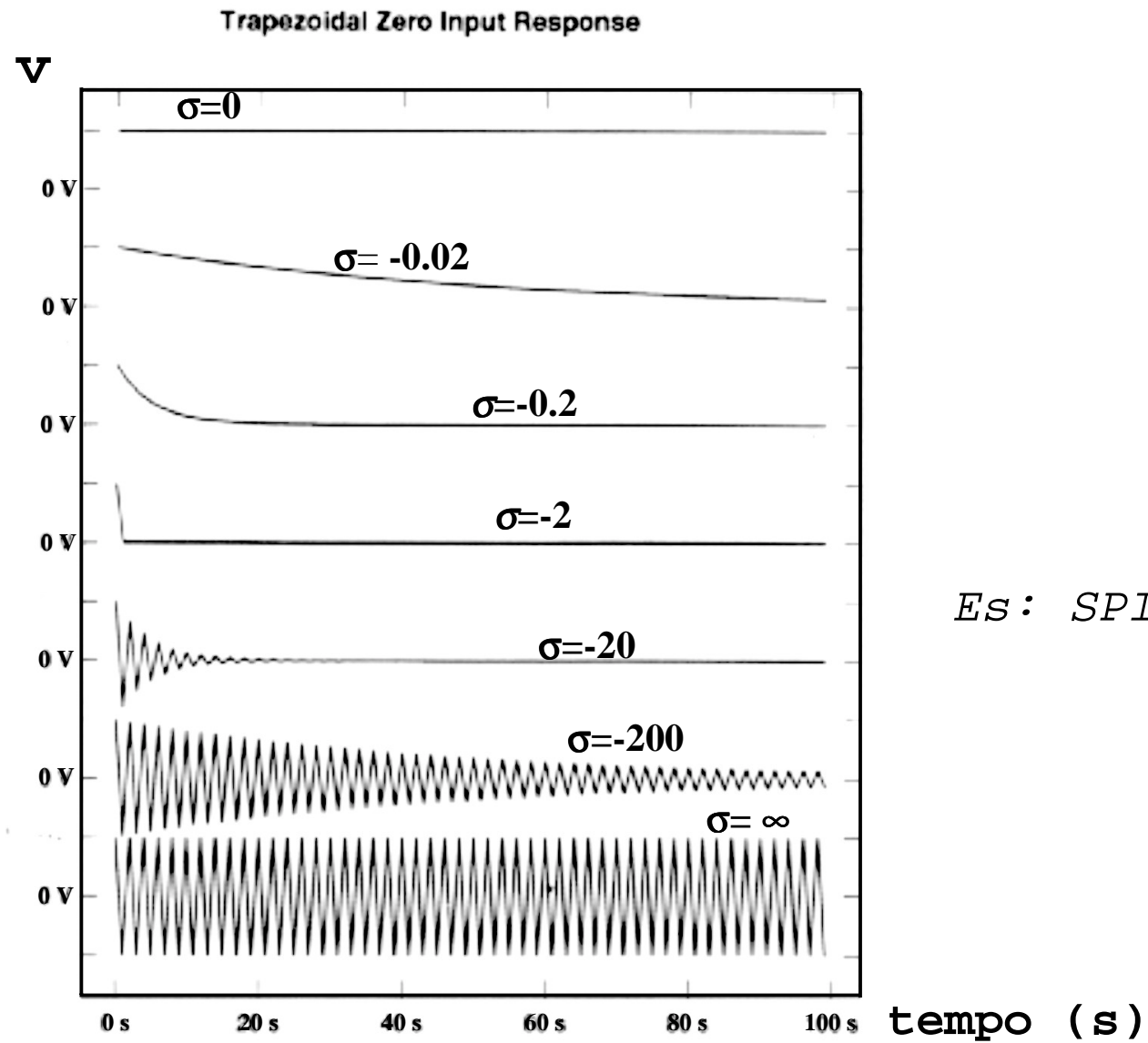
$$\dot{v}(t) = -\frac{1}{RC} v(t)$$

$$\dot{v}(t) = \lambda v(t), \quad h = t_{k+1} - t_k$$

$$\frac{1}{h} [v(t_{k+1}) - v(t_k)] = \lambda v(t_{k+1})$$

$$v(t_{k+1}) = \frac{v(t_k)}{1 - \lambda h} = \frac{v(t_k)}{1 - \sigma}$$

# ANALISI



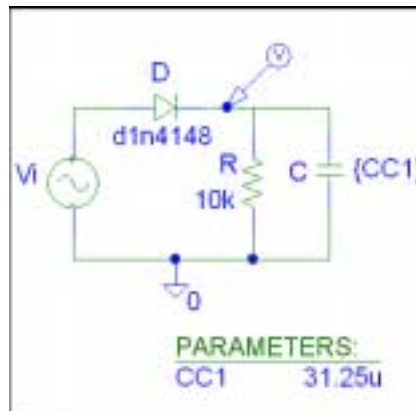
*Es: SPICE*

# ANALISI

## •ANALISI di FOURIER

- Viene abilitata nel corso dell'analisi nel dominio del tempo ed obbliga il simulatore a realizzare una decomposizione armonica:
  - calcola le componenti in DC
  - calcola le componenti dei coefficienti della serie di Fourier  
(viene utilizzata soltanto una porzione della forma d'onda).
- Una Fast Fourier Transform (FFT= Trasformata di Fourier) di tutta la forma d'onda può essere calcolata ed il suo spettro visualizzato.

**ES.**



# ANALISI

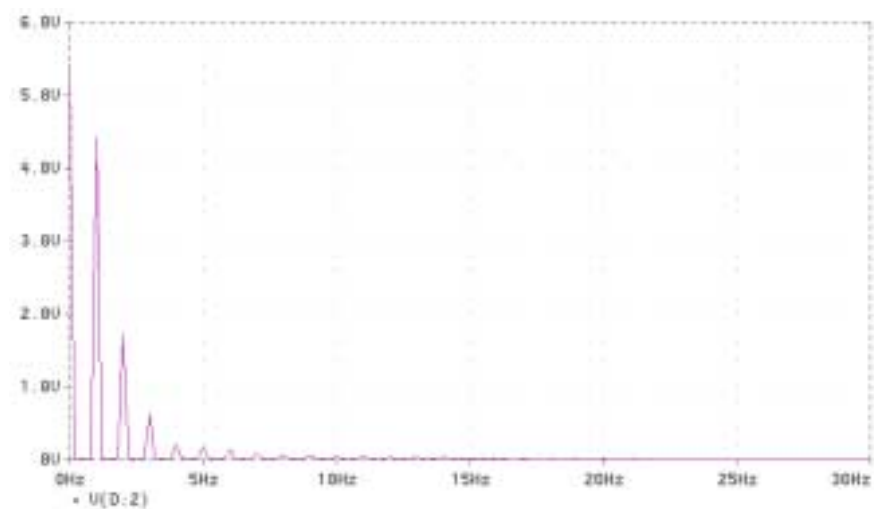
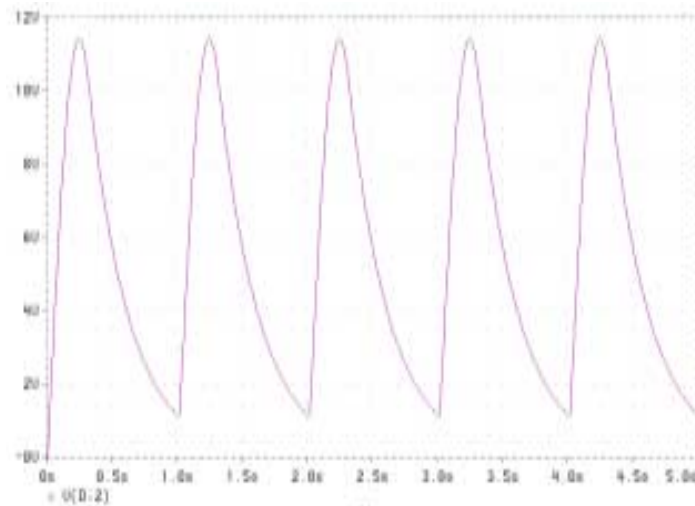
DC COMPONENT =  $-1.074001\text{E}+00$

1

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	$3.500\text{E}+01$	$6.824\text{E}-01$	$1.000\text{E}+00$	$1.799\text{E}+02$	$0.000\text{E}+00$
2	$7.000\text{E}+01$	$3.410\text{E}-01$	$4.997\text{E}-01$	$1.800\text{E}+02$	$1.014\text{E}-01$
3	$1.050\text{E}+02$	$2.276\text{E}-01$	$3.335\text{E}-01$	$1.800\text{E}+02$	$1.140\text{E}-01$
4	$1.400\text{E}+02$	$1.705\text{E}-01$	$2.499\text{E}-01$	$-1.800\text{E}+02$	$-3.599\text{E}+02$
5	$1.750\text{E}+02$	$1.365\text{E}-01$	$2.000\text{E}-01$	$-1.800\text{E}+02$	$-3.598\text{E}+02$
6	$2.100\text{E}+02$	$1.137\text{E}-01$	$1.666\text{E}-01$	$-1.800\text{E}+02$	$-3.599\text{E}+02$
7	$2.450\text{E}+02$	$9.747\text{E}-02$	$1.428\text{E}-01$	$-1.800\text{E}+02$	$-3.598\text{E}+02$
8	$2.800\text{E}+02$	$8.531\text{E}-02$	$1.250\text{E}-01$	$-1.800\text{E}+02$	$-3.598\text{E}+02$

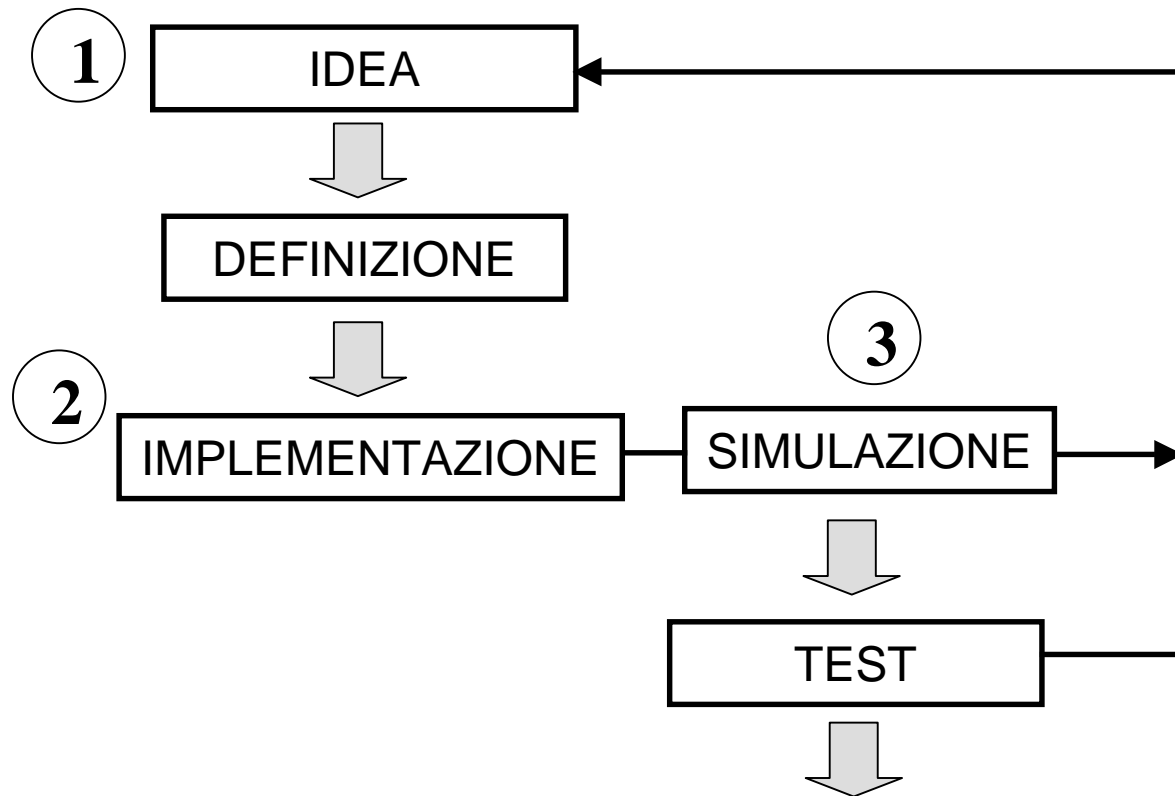
TOTAL HARMONIC DISTORTION =  $7.260387\text{E}+01$  PERCENT

2





# FLUSSO DEL PROGETTO



**Circuiti a  
Componenti Discreti**

## **CIRCUITI ANALOGICI**

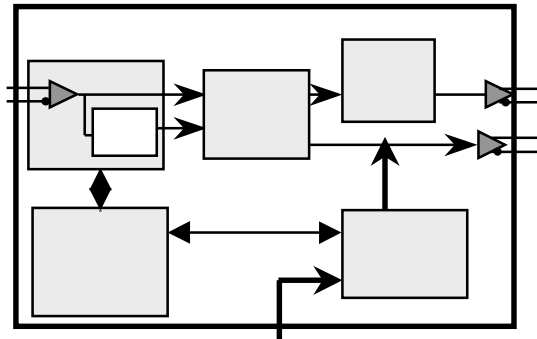
- numero di dispositivi limitato;
- progetto del “dispositivo”;
- uso “intelligente” delle regioni di lavoro.

## **CIRCUITI DIGITALI**

- numero di dispositivi elevatissimo;
- progetto di “blocchi funzionali”;
- dispositivi=semplici interruttori.

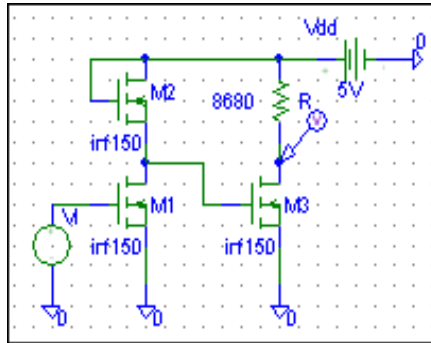
***Progetto completamente  
automatizzato***

1



## CIRCUITI ANALOGICI

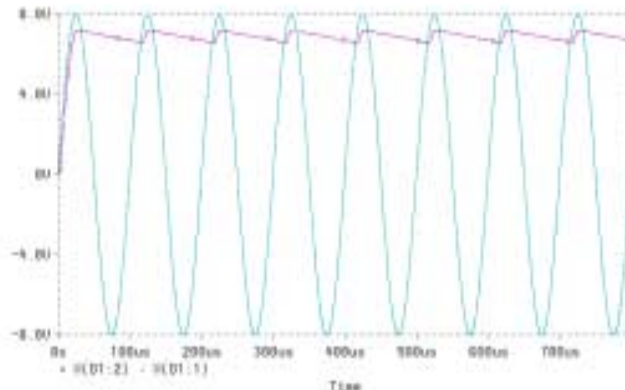
2



(a)

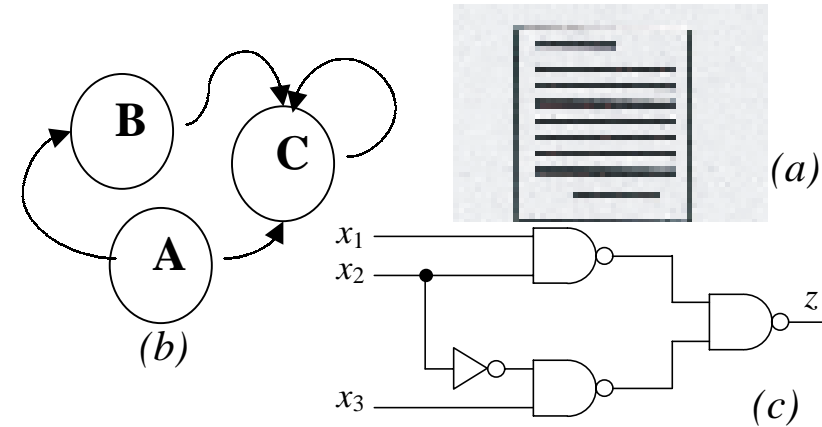
*SCHEMATICO- NETLIST (a)  
(Manuale)*

3



(CAD)

## CIRCUITI DIGITALI



*VHDL/Verilog (a), Diagramma  
degli Stati (b) e Schematico (c)  
(Computer Aided Design=CAD)*

