

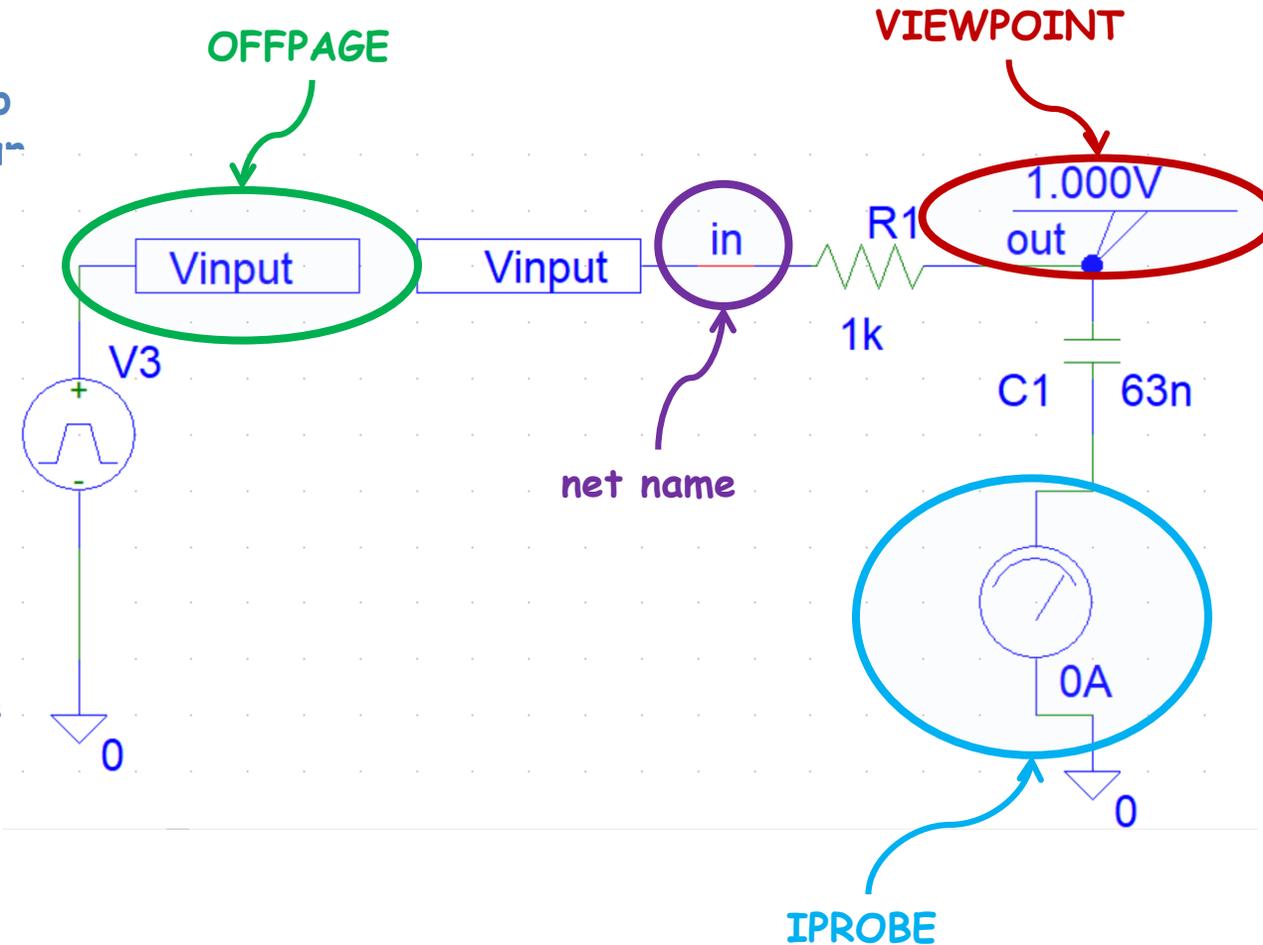
# Il Simulatore SPICE

Simulazioni parametriche e modelli dei componenti

# Simulazioni parametriche

# Utali strumenti in SPICE

- **VIEWPOINT** (Library: special.slb)  
Consente di vedere la tensione DC ad un nodo (rispetto a massa), stampata permanentemente nel circuito (e' un voltmetro ideale)
- **Iprobe** (Library: special.slb)  
Consente di vedere la corrente DC che scorre in un ramo (e' un amperometro ideale), stampata permanentemente nel circuito
- **OFFPAGE** (Library: port.slb)  
Consente di portare una tensione in una altra parte de circuito, senza che sia collegata da un filo.
- **net name**  
In SPICE e' possibile cambiare il nome di una net, per meglio capire la struttura del circuito



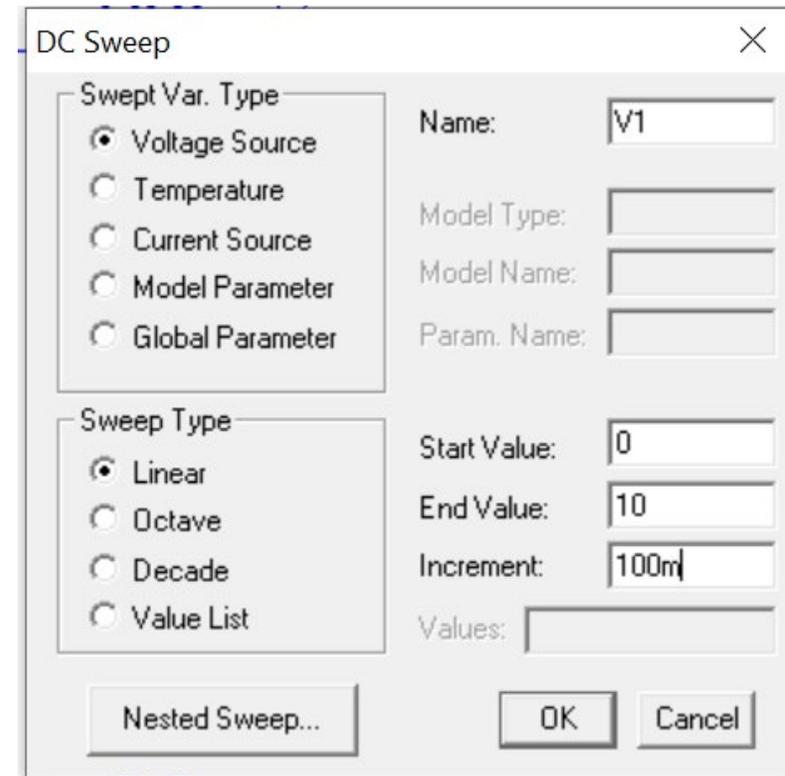
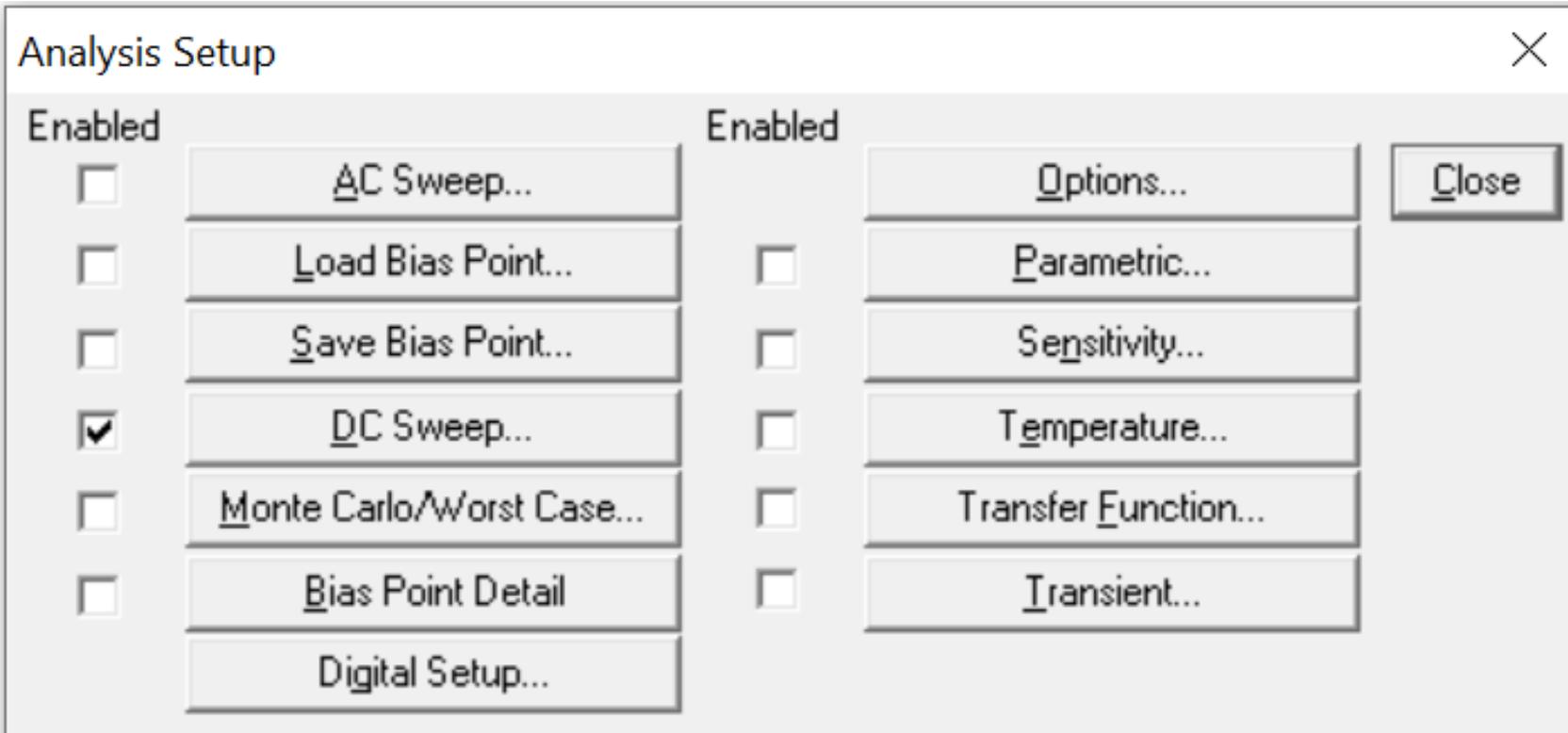
# Analisi di tipo SWEEP in SPICE

---

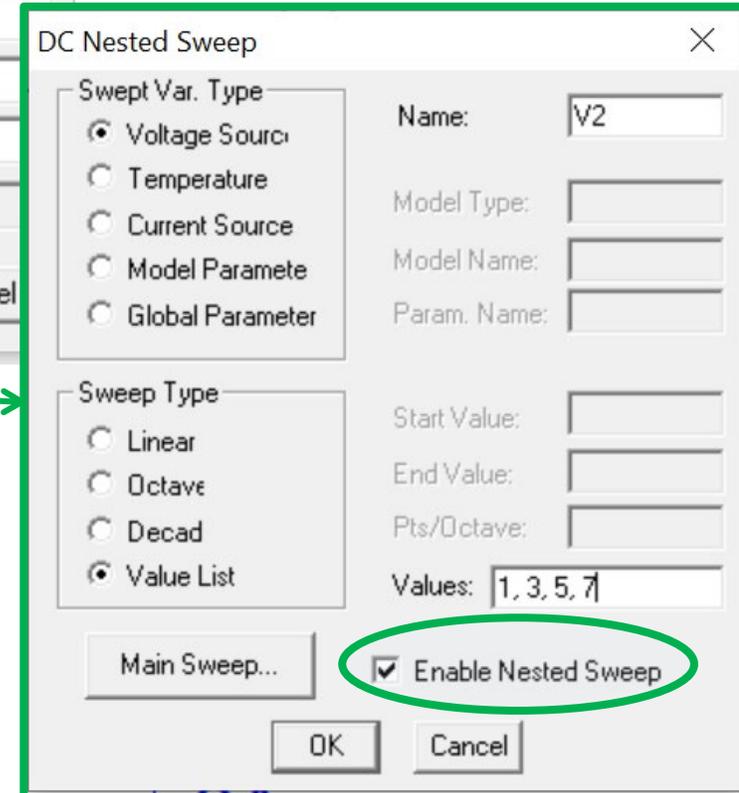
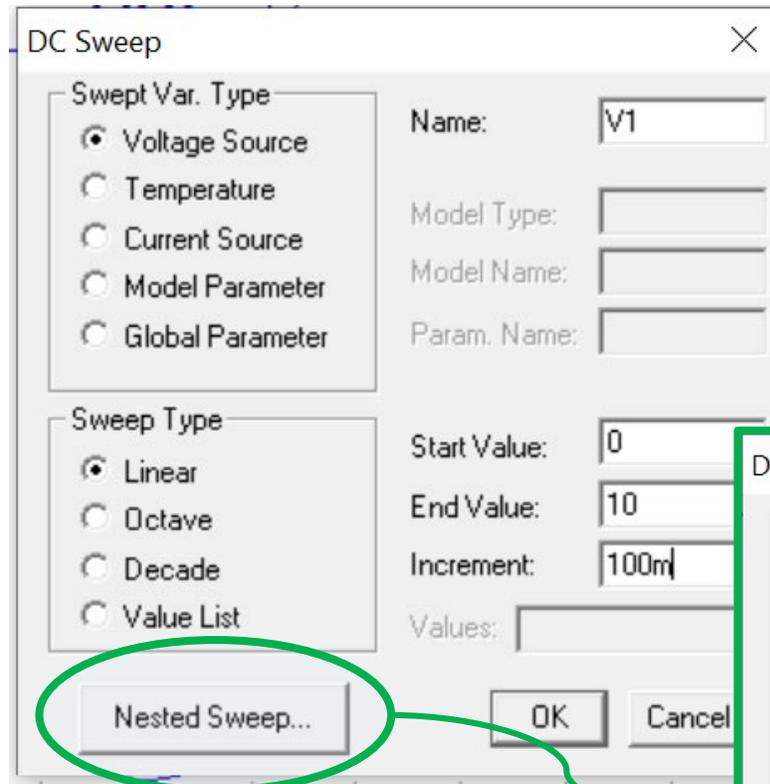
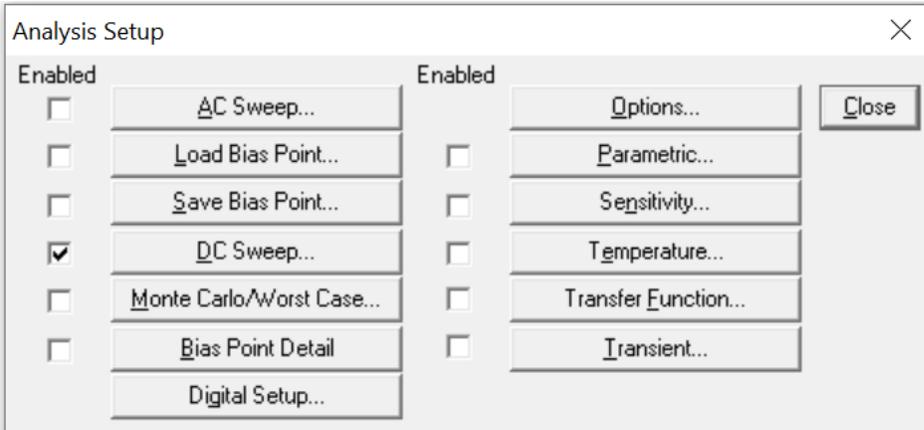
## □ DC (& AC) SWEEP

- Le simulazioni in DC che calcolano il punto di lavoro, assumono un solo valore del generatore DC forzante.
- Ci sono situazioni in cui le sorgenti, anche se in DC, possono variare (ad esempio nel tracciamento delle caratteristiche IV di un componente), ma la analisi deve essere condotta in DC, come se calcolassimo tanti bias point. Questo tipo di analisi e' chiamata "sweep."
- Quando si effettua lo "sweep" di una sorgente, il simulatore parte da un valore per una sorgente (di tensione o corrente), calcola il punto di lavoro in DC, esattamente come farebbe in una analisi Bias Point, poi incrementa il valore della sorgente ed effettua una nuova simulazione per il calcolo del punto di lavoro in DC. Questa tecnica "increment-then-analyse" continua finche' non e' stato analizzato l'ultimo valore della sorgente.
- I risultati sono gli stessi di quelli ottenuti effettuando tante simulazioni di bias point, ma la procedura e' molto piu' veloce e consente di visualizzare successivamente I risultati in Probe.

# DC SWEEP



# Nested DC SWEEP



❑ E' possibile specificare una variabile di sweep secondaria, dopo aver specificato quella primaria nella DC Sweep dialog box.

❑ Quando si specifica una variabile di sweep secondaria, essa forma il loop piu' esterno della analisi, cioe' per ogni incremento della variabile di sweep secondaria, la variabile di sweep primaria e' variata in tutto il suo range di variazione.

# Analisi multi-run in SPICE

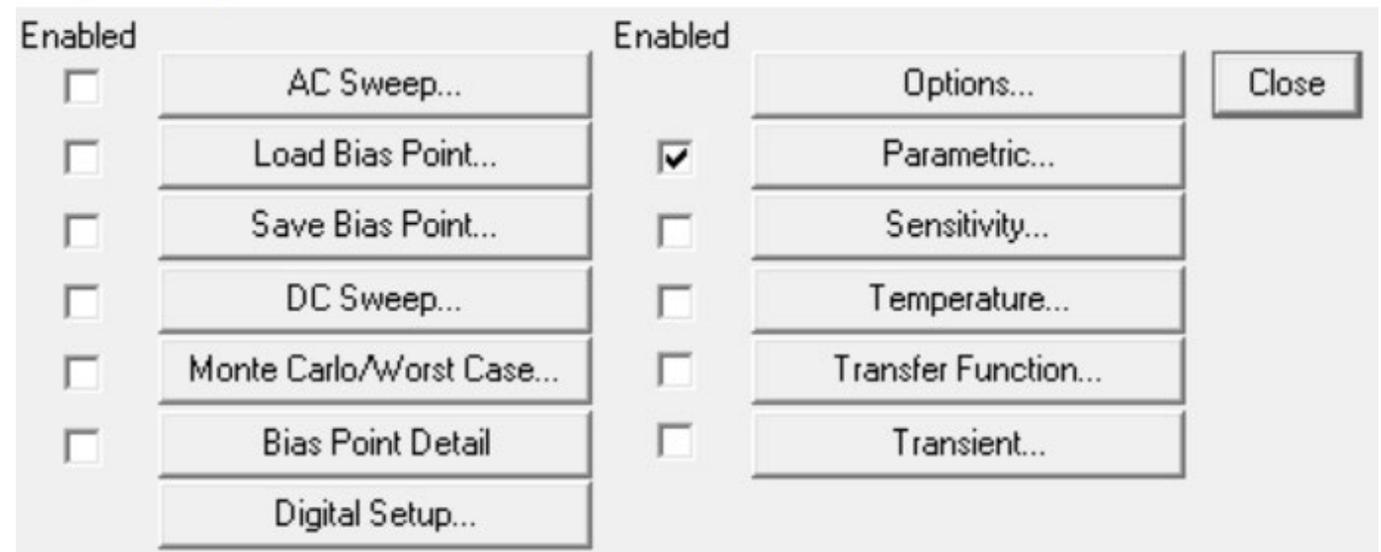
---

- Advanced multi-run analyses
- Parametric and temperature
- Monte Carlo and sensitivity/worst-case

# Analisi parametriche in SPICE

## □ Analisi parametriche e in temperatura

- Le analisi DC Sweep, Time Domain - Transient e AC Sweep/Noise possono essere rese piu' versatili facendo in modo che il simulatore SPICE, anziche' una sola curva, calcoli e tracci un'intera famiglia di curve di uscita, al variare di un parametro scelto tra una tensione o corrente di sorgente, un parametro globale, un parametro di modello oppure la temperatura di funzionamento del circuito.
- E' sufficiente, nella finestra Simulation Settings, barrare la casella Parametric e quindi impostare la variabile di scansione in maniera analoga a quanto descritto per l'analisi DC Sweep.



# Analisi parametriche in SPICE

## □ Analisi parametriche e in temperatura

### ▪ Analisi in temperatura

### ▪ Analisi parametriche su un parametro del modello

### ▪ Analisi parametriche su un generatore di tensione

The screenshot shows the 'Parametric' dialog box with the following settings:

- Swept Var. Type:** Temperature (selected)
- Name:** I1
- Model Type:** NPN
- Model Name:** Q2N3904-1
- Param. Name:** Vaf
- Sweep Type:** Linear (selected)
- Start Value:** 0
- End Value:** 100
- Increment:** 10
- Values:** 10;70;90;1000

The screenshot shows the 'Parametric' dialog box with the following settings:

- Swept Var. Type:** Model Parameter (selected)
- Name:** I1
- Model Type:** D
- Model Name:** D1N4148
- Param. Name:** BV
- Sweep Type:** Value List (selected)
- Start Value:** 0
- End Value:** 100
- Increment:** 10
- Values:** 10;70;90;100

The screenshot shows the 'Parametric' dialog box with the following settings:

- Swept Var. Type:** Voltage Source (selected)
- Name:** V1
- Model Type:** D
- Model Name:** D1N4148
- Param. Name:** BV
- Sweep Type:** Decade (selected)
- Start Value:** 1u
- End Value:** 10
- Pts/Decade:** 10
- Values:** 10;70;90;100

Temperatura che varia linearmente in un intervallo, con un certo passo (increment)

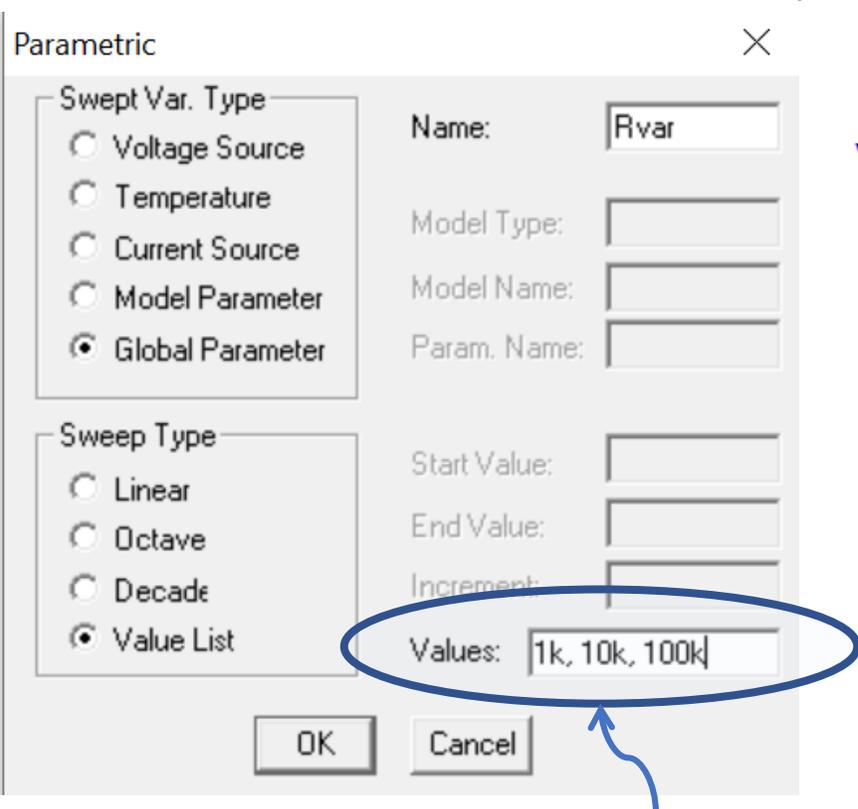
Parametro di modello (tensione di breakdown del diodo) che puo' assumere una serie di valori

Tensione del generatore V1 che varia da 1  $\mu$ V a 10 V con 10 punti ogni decade

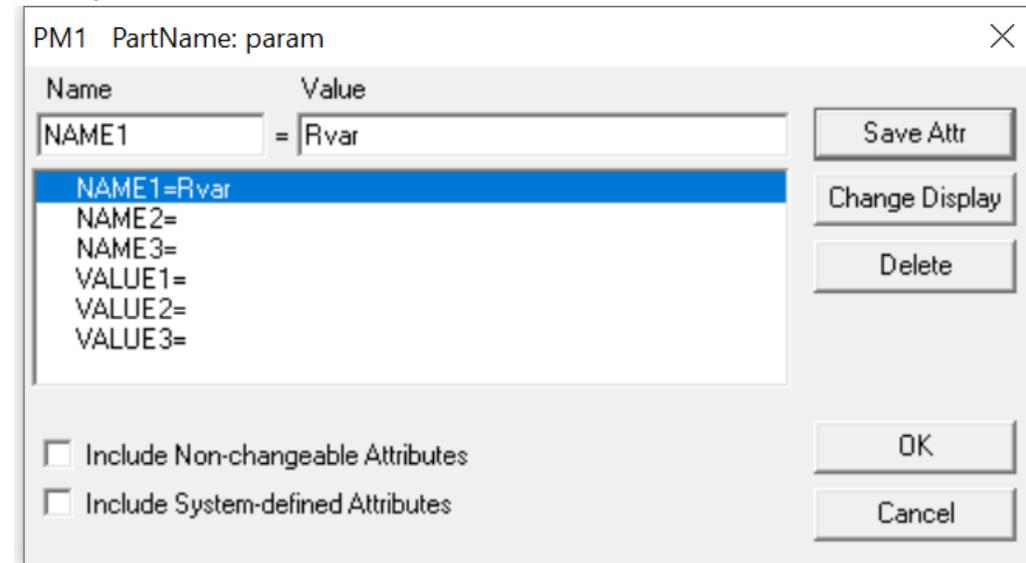
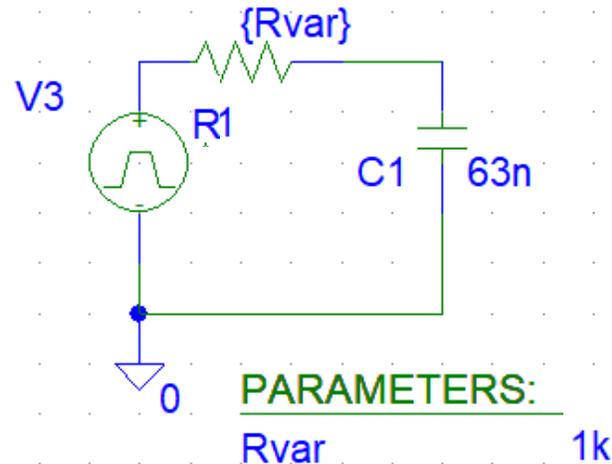
# Analisi parametriche in SPICE

## □ Analisi parametriche e in temperatura

- Analisi al variare di un parametro «globale», ad esempio il valore di una resistenza



Inserire i valori separati da virgola e spazio



- Cambiare il valore della resistenza in {Rvar}
- Aggiungere dalla libreria SPECIAL il componente PARAM (parameters)
- Con doppio click su PARAMETERS si apre il Property Editor.
- Inserire Rvar nella casella NAME1, Save Attr, OK
- Assegnare un valore (VALUE1) alla resistenza Rval
- Selezionare Parametric... in Analysis → Setup...
- Selezionare Global parameter
- Inserire Rvar nel campo Name
- Inserire i valori di inizio e fine simulazione, o la lista dei valori come per tutte le analisi parametriche

# Modelli dei componenti

# Modelli dei componenti in SPICE

---

- ❑ Tutti i dispositivi a semiconduttore necessitano un proprio modello per indicare a SPICE le corrette equazioni da impiegare per descrivere il comportamento del dispositivo ed i parametri da inserire in tali equazioni.
- ❑ In assenza di specificazione del modello da impiegare la netlist non viene creata ed il simulatore dà errore.
- ❑ Nella netlist l'istruzione è del tipo

`.MODEL Name Type [List_of_parameters]`

- Name è il nome che diamo al nostro modello.
- Type è il tipo di modello che andiamo ad impiegare, codificato con alcune parole chiave (vedi slide successive). Specifica, quindi il tipo di componente che vogliamo modellizzare e, dunque, il set di equazioni da usare.
- List\_of\_parameters specifica i parametri da usare nel formato  
`Name_of_parameter = Value.`

# Modelli dei componenti in SPICE

- ❑ Possibili parole chiave da usare per il tipo di modello (Model Type)
- ❑ Ciascuna parola chiave corrisponde ad un set di equazioni descrittive del componente.

Type	Description	Restrictions
<b>CAP</b>	capacitor	
<b>CORE</b>	nonlinear magnetic core (transformer)	PSPICE only
<b>CSW</b>	current-controlled switch	SPICE3 only
<b>D</b>	diode	
<b>GASFET</b>	GaAs field-effect transistor with n-type channel	PSPICE only
<b>IND</b>	inductor	
<b>ISWITCH</b>	current-controlled switch	PSPICE only
<b>LPNP</b>	lateral <i>pn</i> p transistor	PSPICE only
<b>LTRA</b>	lossy transmission line	SPICE3 only
<b>NJF</b>	JFET with <i>n</i> -type channel	
<b>NMF</b>	<i>n</i> -channel MESFET	SPICE3 only
<b>NMOS</b>	MOS transistor with n-type channel	
<b>NPN</b>	<i>npn</i> bipolar transistor	
<b>PJF</b>	JFET with <i>p</i> -type channel	
<b>PMF</b>	<i>p</i> -channel MESFET	SPICE3 only
<b>PMOS</b>	MOS transistor with <i>n</i> -type channel	
<b>PNP</b>	<i>pn</i> p bipolar transistor	
<b>RES</b>	resistor	
<b>SW</b>	voltage controlled switch	SPICE3 only
<b>URC</b>	uniform distributed <i>RC</i> line	SPICE3 only
<b>VSWITCH</b>	voltage controlled switch	PSPICE only

# Modelli dei componenti in SPICE

---

- ❑ Nel caso di componenti passivi e di dispositivi a semiconduttore, SPICE ha una libreria (breakout library) che contiene componenti (parts) di cui possiamo modificare il modello a seconda delle esigenze simulative.
- ❑ In generale tali componenti si chiamano con la lettera propria che indica la parte (R, D, M, etc.) con il suffisso BREAK.
- ❑ Per default, il nome del modello è lo stesso del nome della parte e fa riferimento al modello del dispositivo appropriato con tutti i parametri impostati al loro valore di default.
- ❑ Per esempio, la parte DBREAK (diode della libreria breakout) che fa riferimento al modello DBREAK, derivato da modello intrinseco del diodo  
    .MODEL DBREAK D
- ❑ Altrimenti è sempre possibile alterare (attraverso il model editor) il modello associato ad un componente creandone una nuova istanza.

# Esempio: il modello del Resistore

- Il modello per il resistore ed il condensatore non e', in generale, necessario se vogliamo simulare un generico resistore di un certo valore, in assenza di altre specifiche.
- Nel caso di un resistore della libreria breakout, RBREAK, il valore effettivo della resistenza e' calcolato da una formula che e' funzione della sua proprieta' VALUE.

Device type	Part name	Part library file	Property	Description		
resistor	RBREAK	BREAKOUT.OLB	VALUE	resistance		
			MODEL	RES model name		
Model parameters *				Description	Units	Default
			R	resistance multiplier		1.0
			TC1	linear temperature coefficient	°C <sup>-1</sup>	0.0
			TC2	quadratic temperature coefficient	°C <sup>-2</sup>	0.0
			TCE	exponential temperature coefficient	%/°C	0.0
			T_ABS	absolute temperature	°C	
			T_MEASURED	measured temperature	°C	
			T_REL_GLOBAL	relative to current temperature	°C	
			T_REL_LOCAL	relative to AKO model temperature	°C	

# Esempio: il modello del Resistore

## □ modello RES per il resistore

- Se e' incluso il [model name] ed e' specificato TCE, allora la resistenza e' data da  $\langle \text{value} \rangle \cdot R \cdot 1.01 \text{TCE} \cdot (T - T_{\text{nom}})$   
in cui  $\langle \text{value} \rangle$  e' normalmente positivo (puo' anche essere negativo, ma non nullo).  
 $T_{\text{nom}}$  e' la temperature nominale, inserita con l'opzione TNOM
- Se e' incluso il [model name] e non e' specificato TCE, allora la resistenza e' data da  $\langle \text{value} \rangle \cdot R \cdot (1 + \text{TC1} \cdot (T - T_{\text{nom}}) + \text{TC2} \cdot (T - T_{\text{nom}})^2)$   
in cui  $\langle \text{value} \rangle$  e' normalmente positivo (puo' anche essere negativo, ma non nullo).

Model parameters*	Description	Units	Default
R	resistance multiplier		1.0
TC1	linear temperature coefficient	°C <sup>-1</sup>	0.0
TC2	quadratic temperature coefficient	°C <sup>-2</sup>	0.0
TCE	exponential temperature coefficient	%/°C	0.0
T_ABS	absolute temperature	°C	
T_MEASURED	measured temperature	°C	
T_REL_GLOBAL	relative to current temperature	°C	
T_REL_LOCAL	relative to AKO model temperature	°C	

# Il modello del Diodo

## General form

D<name> <(+) node> <(-) node> <model name> [area value]

## Examples

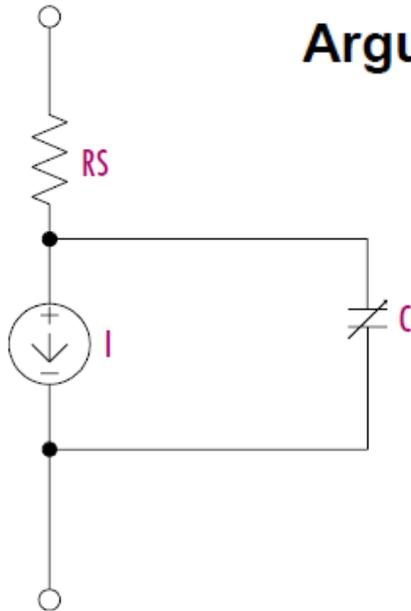
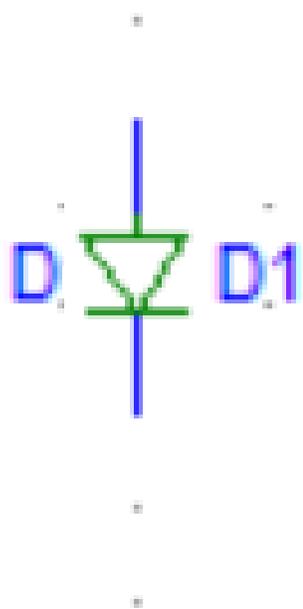
```
DCLAMP 14 0 DMOD
D13 15 17 SWITCH 1.5
```

## Model form

```
.MODEL <model name> D [model parameters]
```

## Description

The diode is modeled as an ohmic resistance (**RS/area**) in series with an intrinsic diode. Positive current is current flowing from the anode through the diode to the cathode.



## Arguments and options

<(+) node>

The anode.

<(-) node>

The cathode.

[area value]

Scales **IS**, **ISR**, **IKF**, **RS**, **CJO**, and **IBV**, and has a default value of 1. **IBV** and **BV** are both specified as positive values.

# Il modello del Diodo: le equazioni



## Diode equations for DC current

$$I_d = \text{area} \cdot (I_{\text{fwd}} - I_{\text{rev}})$$

$$I_{\text{fwd}} = \text{forward current} = I_{\text{norm}} \cdot K_{\text{inj}} + I_{\text{rec}} \cdot K_{\text{gen}}$$

$$I_{\text{norm}} = \text{normal current} = I_S \cdot (\exp(V_d / (N \cdot V_t)) - 1)$$

if:  $IKF > 0$

$$\text{then: } K_{\text{inj}} = \text{high-injection factor} = \sqrt{(IKF / (IKF + I_{\text{norm}}))}$$

else:  $K_{\text{inj}} = 1$

$$I_{\text{rec}} = \text{recombination current} = I_{\text{SR}} \cdot (\exp(V_d / (NR \cdot V_t)) - 1)$$

$$K_{\text{gen}} = \text{generation factor} = ((1 - V_d / V_J)^2 + 0.005)^{M/2}$$

$$I_{\text{rev}} = \text{reverse current} = I_{\text{revhigh}} + I_{\text{revlow}}$$

$$I_{\text{revhigh}} = I_{\text{BV}} \cdot \exp[-(V_d + BV) / (NBV \cdot V_t)]$$

$$I_{\text{revlow}} = I_{\text{BVL}} \cdot \exp[-(V_d + BV) / (NBVL \cdot V_t)]$$

$V_d$  = voltage across the intrinsic diode only

$V_t = k \cdot T / q$  (thermal voltage)

$k$  = Boltzmann's constant

$q$  = electron charge

$T$  = analysis temperature ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_{\text{nom}}$  = nominal temperature (set using TNOM option)

## Diode equations for capacitance

$$C_d = C_t + \text{area} \cdot C_j$$

$$C_t = \text{transit time capacitance} = TT \cdot G_d$$

$$G_d = \text{DC conductance} = \text{area} \cdot \frac{d(I_{\text{norm}} \cdot K_{\text{inj}} + I_{\text{rec}} \cdot K_{\text{gen}})}{dV_d}$$

$K_{\text{inj}}$  = high-injection factor

$$C_j = CJO \cdot (1 - V_d / V_J)^{-M}$$

IF:  $V_d < FC \cdot V_J$

$$C_j = CJO \cdot (1 - FC)^{-(1+M)} \cdot (1 - FC \cdot (1+M) + M \cdot V_d / V_J)$$

IF:  $V_d > FC \cdot V_J$

$C_j$  = junction capacitance

## Diode equations for temperature effects

$$I_S(T) = I_S \cdot \exp[(T / T_{\text{nom}} - 1) \cdot EG / (N \cdot V_t)] \cdot (T / T_{\text{nom}})^{XTI/N}$$

$$I_{\text{SR}}(T) = I_{\text{SR}} \cdot \exp[(T / T_{\text{nom}} - 1) \cdot EG / (N \cdot V_t)] \cdot (T / T_{\text{nom}})^{XTI/NR}$$

$$IKF(T) = IKF \cdot (1 + TIKF \cdot (T - T_{\text{nom}}))$$

$$BV(T) = BV \cdot (1 + TBV1 \cdot (T - T_{\text{nom}}) + TBV2 \cdot (T - T_{\text{nom}})^2)$$

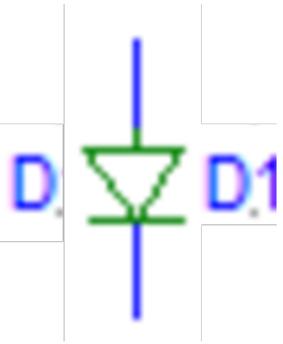
$$RS(T) = RS \cdot (1 + TRS1 \cdot (T - T_{\text{nom}}) + TRS2 \cdot (T - T_{\text{nom}})^2)$$

$$V_J(T) = V_J \cdot T / T_{\text{nom}} - 3 \cdot V_t \cdot \ln(T / T_{\text{nom}}) - E_g(T_{\text{nom}}) \cdot T / T_{\text{nom}} + E_g(T)$$

$$E_g(T) = \text{silicon bandgap energy} = 1.16 - .000702 \cdot T^2 / (T + 1108)$$

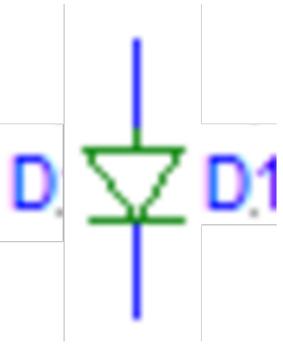
$$CJO(T) = CJO \cdot (1 + M \cdot (.0004 \cdot (T - T_{\text{nom}}) + (1 - V_J(T) / V_J)))$$

# Il modello del Diodo: i parametri - 1



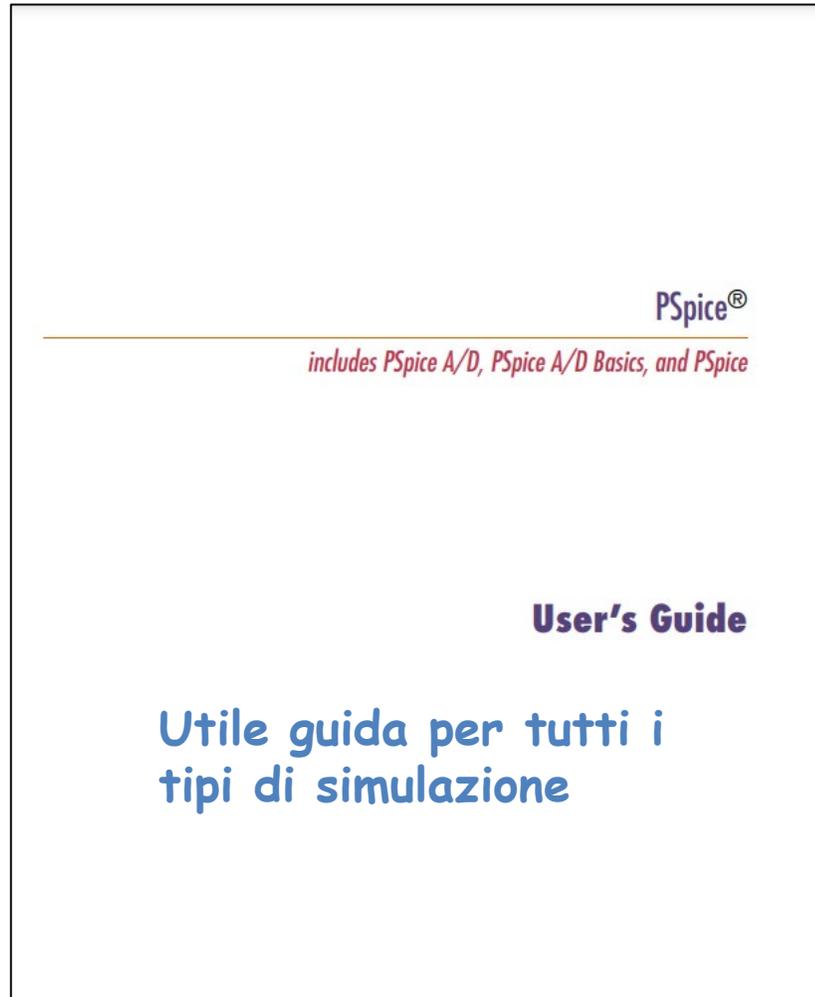
	Model parameters*	Description	Unit	Default
	AF	flicker noise exponent		1.0
→	BV	reverse breakdown knee voltage	volt	infinite
	CJO	zero-bias p-n capacitance	farad	0.0
	EG	bandgap voltage (barrier height)	eV	1.11
	FC	forward-bias depletion capacitance coefficient		0.5
	IBVL	low-level reverse breakdown knee current	amp	0.0
→	IBV	reverse breakdown knee current	amp	1E-10
	IKF	high-injection knee current	amp	infinite
→	IS	saturation current	amp	1E-14
	ISR	recombination current parameter	amp	0.0
	KF	flicker noise coefficient		0.0
	M	p-n grading coefficient		0.5
→	N	emission coefficient		1.0
	NBV	reverse breakdown ideality factor		1.0
	NBVL	low-level reverse breakdown ideality factor		1.0

# Il modello del Diodo: i parametri - 2



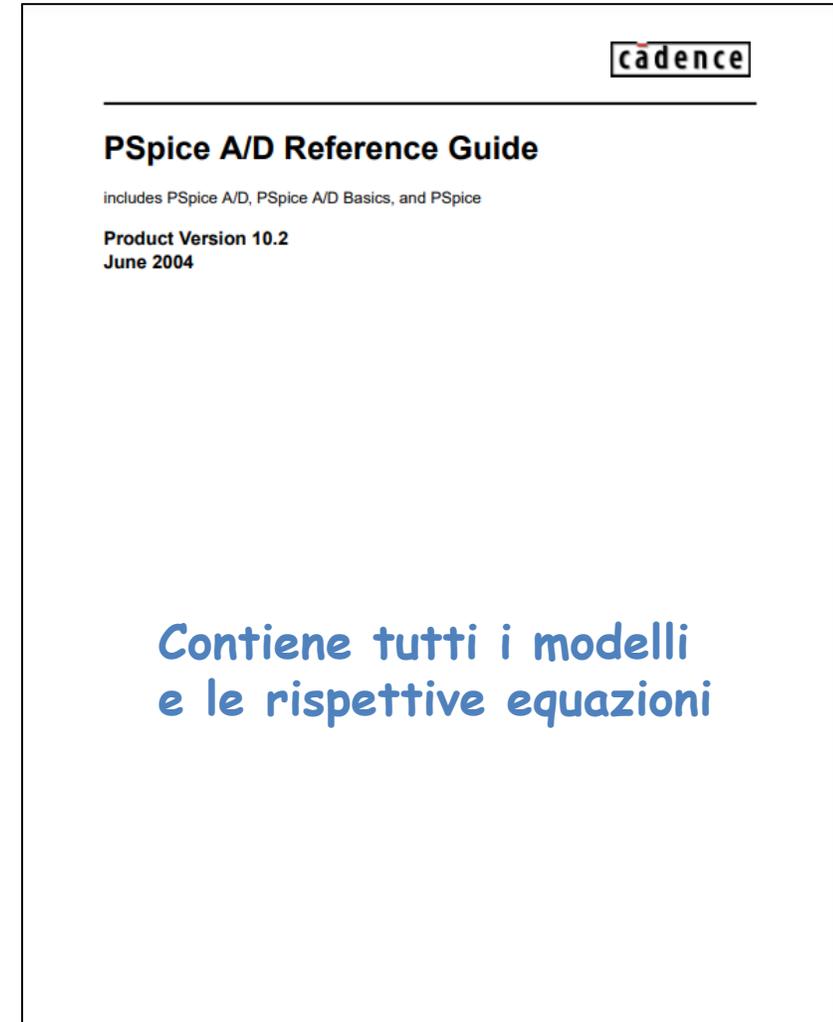
➔	NR	emission coefficient for isr		2.0
➔	RS	parasitic resistance	ohm	0.0
	TBV1	bv temperature coefficient (linear)	°C <sup>-1</sup>	0.0
	TBV2	bv temperature coefficient (quadratic)	°C <sup>-2</sup>	0.0
	TIKF	ikf temperature coefficient (linear)	°C <sup>-1</sup>	0.0
	TRS1	rs temperature coefficient (linear)	°C <sup>-1</sup>	0.0
	TRS2	rs temperature coefficient (quadratic)	°C <sup>-2</sup>	0.0
	TT	transit time	sec	0.0
	T_ABS	absolute temperature	°C	
	T_MEASURED	measured temperature	°C	
	T_REL_GLOBAL	relative to current temperature	°C	
	T_REL_LOCAL	Relative to AKO model temperature	°C	
➔	VJ	<i>p-n</i> potential	volt	1.0
	XTI	IS temperature exponent		3.0

# Quando non si sa qualcosa....



610 pagine...

la guida all'uso passo passo



426 pagine...

il dizionario dei comandi e dei modelli