

---

# Simulación de Circuitos con SPICE

---

- **PRIMITIVAS DE SPICE**
- **SINTAXIS DE SPICE**
- **TIPOS DE ANÁLISIS:**
  - Análisis en DC
  - Análisis en AC
  - Análisis transitorio
  - Análisis a distintas temperaturas
- **ELEMENTOS:**
  - Resistencias
  - Condensadores
  - Bobinas
  - Bobinas acopladas
  - Fuentes independientes
  - Fuentes variables con el tiempo:
    - Pulso
    - Sinusoidal
    - Exponencial
    - Lineal a tramos
    - Modulada en frecuencia
  - Fuentes dependientes
- **DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES:**
  - Diodo de unión  $p-n$
  - Transistor BJT
  - Transistor JFET
  - Transistor MOSFET
- **SUBCIRCUITOS**
- **LÍNEAS DE CONTROL:**
  - Análisis en DC:  
.OP .DC .TF .SENS
  - Análisis en AC:  
.AC .NOISE .DISTO
  - Análisis transitorio:  
.IC .TRAN .FOUR
  - Control de Salida
- **PROBLEMAS EN LA SIMULACIÓN**
- **ANEXO**

## PRIMITIVAS DE SPICE

SPICE es un simulador eléctrico que reproduce el comportamiento (I, V) de circuitos formados por los siguientes elementos o primitivas:

### 1. Resistencias

### 2. Condensadores (lineales o no (polinómicos))

### 3. Inductores (lineales o no)

### 4. Fuentes independientes de tensión e intensidad

### 5. Cuatro tipos de fuentes dependientes (lineales o no)

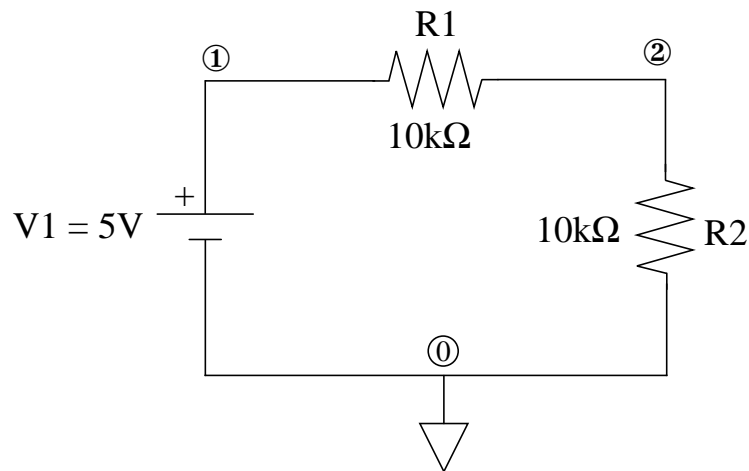
- VCVS (de tensión controlada por tensión)
- VCCS (de intensidad controlada por tensión)
- CCVS (de tensión controlada por intensidad)
- CCCS (de intensidad controlada por intensidad)

### 6. Dispositivos semiconductores

- Diodos
- BJT *NPN*
- BJT *PNP*
- JFET canal *P*
- JFET canal *N*
- MOSFET canal *P*
- MOSFET canal *N*

### 7. Líneas de transmisión

## EJEMPLO:

FICHERO DE ENTRADA DE SPICE

**Ejemplo de circuito. Esta es la línea de TITULO.**

\*

\* **Esta línea es un COMENTARIO.**

\*

**V1 1 0 5V**

**R1 1 2 10K**

**R2 2 0 10k**

\*

\*

**.OP**

**.END**

**FICHERO DE SALIDA DE SPICE**

\*\*\*\* 10/16/93 13:15:46 \*\*\*\*\* Evaluation PSpice (January 1991) \*\*\*\*\*  
Ejemplo de circuito. Esta es la linea de TITULO.

\*\*\*\* CIRCUIT DESCRIPTION

\*\*\*\*\*

\*

\* Esta linea es un COMENTARIO.

\*

V1 1 0 5V

R1 1 2 10K

R2 2 0 10k

\*

\*

.OP

.END

\*\* SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE =27.000 DEG C

\*\*\*\*\*

NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( 1) 5.0000 ( 2) 2.5000

VOLTAGE SOURCE CURRENTS

NAME CURRENT

V1 -2.500E-04

TOTAL POWER DISSIPATION 1.25E-03 WATTS

\*\* OPERATING POINT INFORMATION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

\*\*\*\*\*

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME 1.59

## SINTAXIS DE SPICE – FICHERO DE ENTRADA

Es un fichero tipo texto constituido por un conjunto de líneas, cada una de las cuales constituye un ente individual. Existen distintos tipos de líneas:



### ■ Línea de título y línea de final:

- Son *obligatorias*.
- Acotan el conjunto de líneas que constituyen la descripción del circuito y de la simulación.

### ■ Líneas de elementos:

- Existe una por elemento.
- Definen la topología de interconexión del elemento y el valor del mismo.

### ■ Líneas de modelo:

- Existe una por cada modelo distinto que se considere.
- Especifican los parámetros del modelo en cuestión.

### ■ Líneas de comentarios:

- Son *transparentes* para SPICE.
- Se inicia con \*.

### ■ Líneas de control:

- Permiten especificar el tipo de análisis a realizar y las condiciones del mismo.

## SINTAXIS DE SPICE – LÍNEAS DEL FICHERO

Cada línea del fichero de entrada contiene un conjunto de campos que pueden ser de dos tipos:

### ■ Nombres:

- Deben comenzar por una letra y no pueden contener espacios, comas, “+”, “=”, “,”.

### ■ Números:

- Enteros o de coma flotante.
- Se permiten exponentes y factores de escala:

```
T = 1E12   G = 1E9   MEG = 1E6   K = 1E3
M = 1E-3   U = 1E-6   N = 1E-9   P = 1E-12   F = 1E-15
```

- Se ignoran:

- 1) Las letras que haya detrás de un número y no sean factores de escala.
- 2) Las letras que sigan a un factor de escala.

Ejemplo: 1000V = 1E3 = 1KV = 1000.0 VOLT

- *Continuación de una línea:* Añadiendo el símbolo “+” al principio del siguiente renglón.

```
Ejemplo de circuito. Esta es la línea
+ de TITULO.
* Esta línea es un
+ COMENTARIO.
V1 1 0 5V
R1 1 2 10K
R2 2 0 10k
.OP
.END
```

## SINTAXIS DE SPICE – LÍNEA GENÉRICA DE ELEMENTO

NOMBRE Nudos\_de\_conexión\_de\_terminales VALOR <opciones>

La primera letra del nombre es:

**R** (resistencias)

**C** (condensadores)

**L** (bobinas)

**K** (bobinas acopladas)

**T** (líneas de transmisión)

**V** (fuentes independientes de tensión)

**I** (fuentes independientes de intensidad)

**G** (VCCS)

**E** (VCVS)

**F** (CCCS)

**H** (CCVS)

**D** (diodos)

**Q** (BJTs)

**J** (JFETs)

**M** (MOSFETs)

**X** (subcircuitos)

- Para especificar los dispositivos semiconductores se necesita además una línea de modelo.

## TIPOS DE ANÁLISIS

### ANÁLISIS EN DC

- *Cálculo del punto de trabajo o punto de operación:* Considera Ls nulas (cortos), Cs nulas (abiertos) y excitaciones estáticas. (por defecto)
- *Evaluación de características estáticas:* Cálculo del punto de trabajo para un rango de valores de la excitación (**.DC**)
- *Información de los modelos en pequeña señal de los dispositivos en el punto de trabajo (**.OP**)*
- *Análisis de sensibilidad en pequeña señal (**.SENS**)*
- *Característica de transferencia, resistencia de salida y resistencia de entrada en pequeña señal (**.TF**)*

### ANÁLISIS EN AC

- *Respuesta frecuencial en pequeña señal:* Circuito linealizado alrededor del punto de trabajo y considerando entrada sinusoidal (**.AC**)
- *Análisis de ruido:* Las fuentes de ruido se calculan automáticamente (**.NOISE**)
- *Análisis de distorsión:* Se superponen en la entrada una o varias señales de distintas frecuencias (**.DISTO**)



## ANÁLISIS EN TRANSITORIO

- *Análisis temporal de variables de salida*: Se pueden especificar distintas excitaciones: pulsos, exponenciales, sinusoidales, etc. (**.TRAN**)
- *Análisis de Fourier*: Distintas componentes de Fourier de la salida para una entrada sinusoidal (**.FOUR**)

## ANÁLISIS A DIFERENTES TEMPERATURAS

- Las resistencias y algunos parámetros de los dispositivos semiconductores varían con la temperatura (**.TEMP**) (por defecto es 27°C)

SPICE calcula el punto de trabajo del circuito antes que cualquier otro tipo de análisis para:

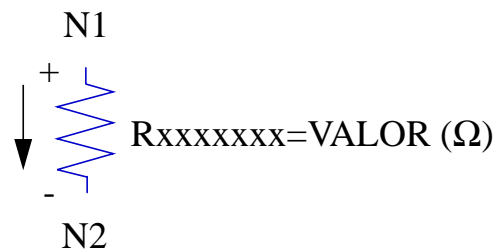
⇒ Linealizar modelos. (análisis en AC)

⇒ Condiciones iniciales ( $t = 0$ ). (análisis transitorio)

## ELEMENTOS PASIVOS

### RESISTORES:

**Rxxxxxxx** N1 N2 VALOR <TC=TC1 <, TC2>>



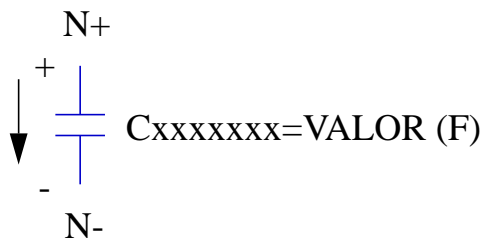
TC1 y TC2 son coeficientes opcionales de temperatura (nulos por defecto)

$$\text{VALOR}(T) = \text{VALOR}(T_0) \left[ 1 + T_{C1}(T-T_0) + T_{C2}(T-T_0)^2 \right]$$

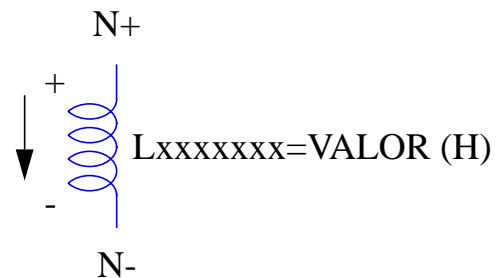
### CONDENSADORES Y BOBINAS:

**Cxxxxxxx** N+ N- VALOR <IC=val>

**Lxxxxxxx** N+ N- VALOR <IC=val>



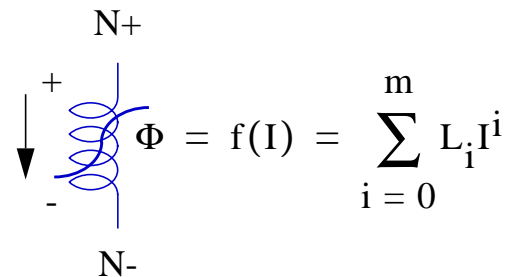
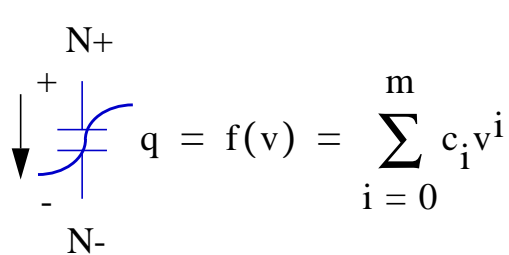
$$IC = V_{\text{Cxxxxxxx}}(t=0) \text{ (V)}$$



$$IC = i_{\text{Cxxxxxxx}}(t=0) \text{ (A)}$$

## CONDENSADORES Y BOBINAS NO-LINEALES:

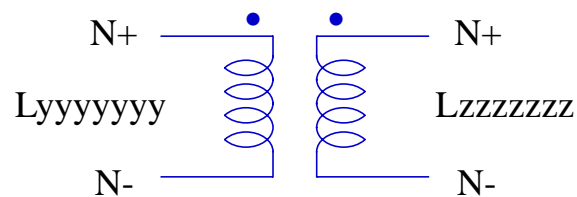
<b>C</b> xxxxxxx	N+	N-	POLY	C0 ... CM	<IC=val>
<b>L</b> xxxxxxx	N+	N-	POLY	L0 ... LM	<IC=val>



## BOBINAS ACOPLADAS:

<b>K</b> xxxxxxx	Lyyyyyy	Lzzzzzz	VALOR
------------------	---------	---------	-------

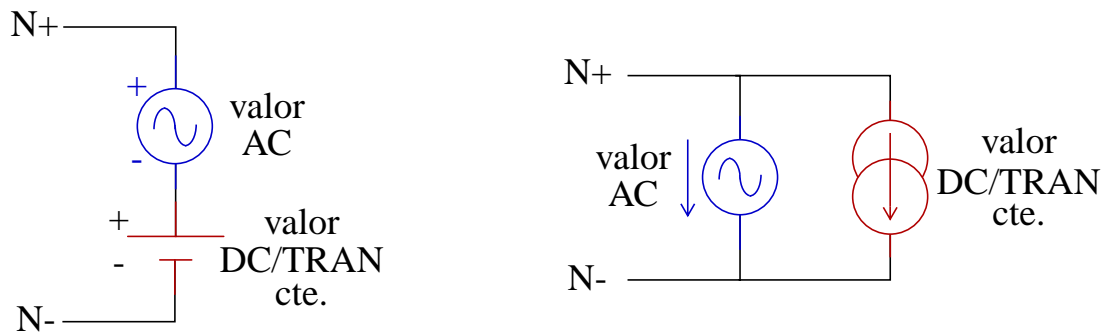
teniendo en cuenta que  $0 < \text{VALOR} < 1$



## FUENTES INDEPENDIENTES

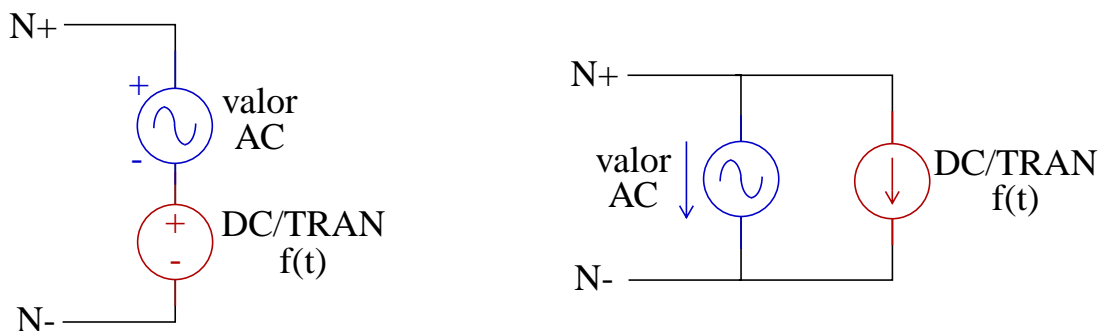
Se pueden dar dos situaciones básicas de especificaciones:

### ■ Caso A:



- En el análisis en DC o en transitorio se anula la fuente de AC.
- En el análisis en AC éste se realiza sobre el punto de trabajo determinado por el valor de la fuente de DC.

### ■ Caso B:



- Para análisis transitorio la fuente es variable en el tiempo y se anula la de AC.
- El análisis en DC se hace con  $f(0)$ .
- El análisis en AC éste se hace sobre el punto de trabajo resultante con  $f(0)$ .

Tanto en el caso A como en el B el formato es el mismo:

$V_{xxxxxxx}$ N+ N- <<DC> Valor DC/TRAN> <AC <ACMAG <ACPH>>>
$I_{xxxxxxx}$ N+ N- <<DC> Valor DC/TRAN> <AC <ACMAG <ACPH>>>

- DC y AC delimitan qué parte de la información corresponde a la fuente DC/TRAN y cuál a la fuente de AC.
- DC es opcional, normalmente sólo se usa cuando se va a hacer un barrido del valor de la fuente (.DC).

■ **VALORES POR DEFECTO:**

Valor DC/TRAN = 0  
AC = no hay fuente de AC

- Si hay fuente de AC:

ACMAG = 1  
ACPHASE =  $0^{\circ}$

## FUENTES VARIABLES EN EL TIEMPO

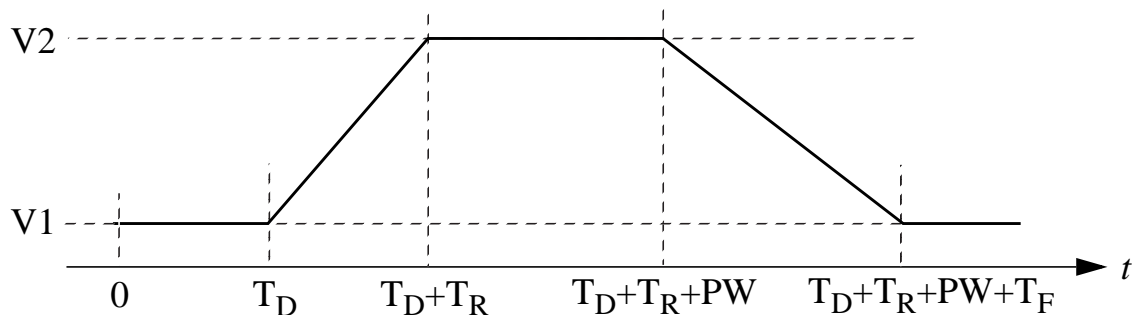
Hay 5 tipos de fuentes variables en el tiempo:

- ➔ PULSO (PULSE)
- ➔ SINUSOIDAL (SIN)
- ➔ EXPONENCIAL (EXP)
- ➔ LINEAL A TRAMOS (PWL, Piece Wise Linear)
- ➔ MODULADA EN FRECUENCIA (SFFM, Single Frequency FM)

## FUENTES VARIABLES EN EL TIEMPO

### PULSO:

**PULSE (V1 V2 TD TR TF PW PERIODO)**



- Esta forma de onda se repite cada  $\Delta t = \text{PERIODO}$ .
- Si algún parámetro se omite o se pone a cero SPICE asume los siguientes **VALORES POR DEFECTO**:

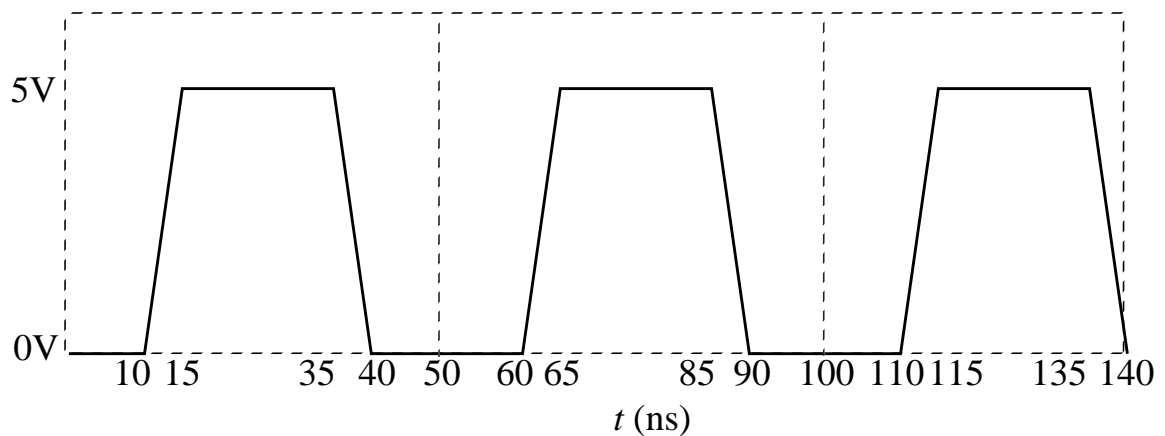
PARÁMETRO	VALOR DEF.	UNIDAD
V1 (valor inicial)	obligatorio	V o A
V2 (valor final)	obligatorio	V o A
TD (tiempo de retraso)	0.0	s
TR (tiempo de subida)	TSTEP	s
TF (tiempo de bajada)	TSTEP	s
PW (tiempo a V2)	TSTOP	s
PERIODO	TSTOP	s

donde TSTEP y TSTOP son parámetros del análisis transitorio (Ver formato de la línea de control .TRAN).

## FUENTES VARIABLES EN EL TIEMPO

### EJEMPLO

PULSE (0 5 10NS 5NS 5NS 20NS 50NS)



o bien:

PULSE (0V 5V 10N 5N 5N 20N 50N)

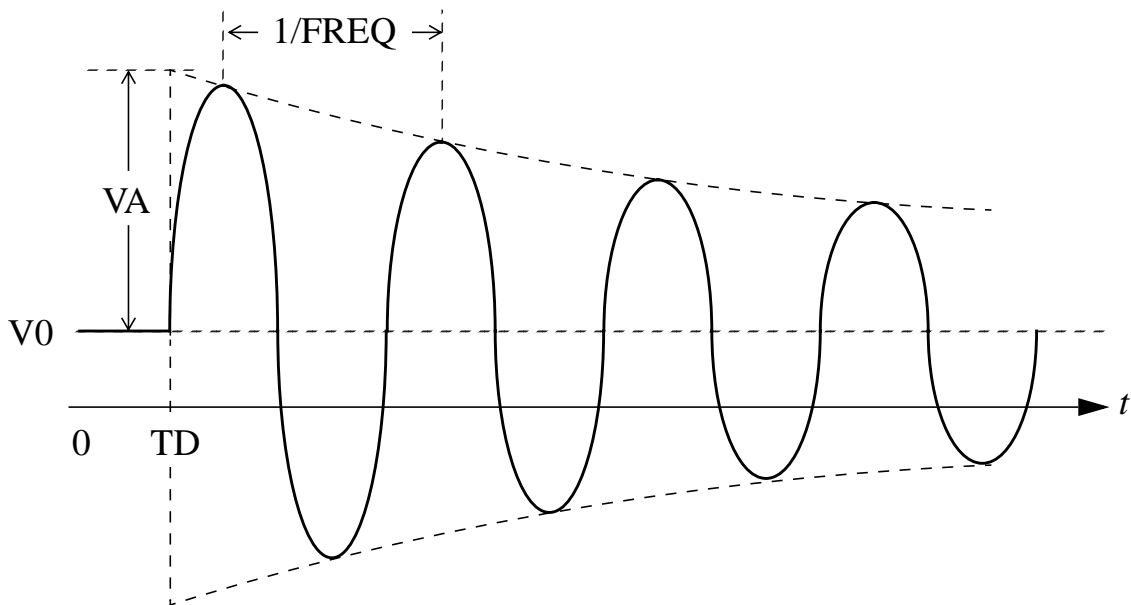
PULSE (0V 5V 10NS 5NS 5NS 20NS 50NS)

pulse (0 5 10n 5n 5n 20n 50n)

## FUENTES VARIABLES EN EL TIEMPO

### SINUSOIDAL:

`SIN (V0 VA FREQ <TD> <THETA>)`



Se describe por:

$$\begin{aligned}
 &V_0 \quad \text{si } 0 < t < T_D \\
 &V_0 + V_A \cdot e^{-(t-T_D) \cdot \text{THETA}} \cdot \text{sen}[2\pi \cdot \text{FREQ} \cdot (t-T_D)] \quad \text{si } t \geq T_D
 \end{aligned}$$

#### ■ VALORES POR DEFECTO:

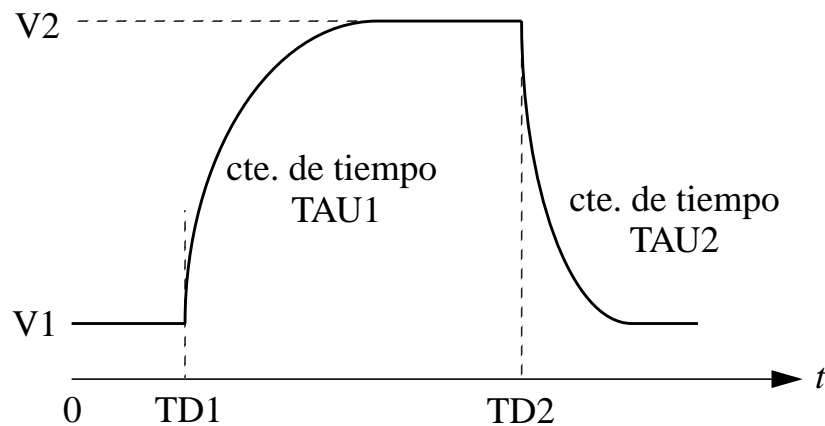
PARÁMETRO	VALOR DEF.	UNIDAD
V0 (offset)	obligatorio	V o A
VA (amplitud)	obligatorio	V o A
FREQ (frecuencia)	1/TSTOP	Hz
TD (retraso)	0.0	s
THETA (factor de amortiguamiento)	0.0	1/s



## FUENTES VARIABLES EN EL TIEMPO

### EXPONENCIAL:

**EXP (V1 V2 TD1 TAU1 TD2 TAU2)**



Se describe por:

$$V1 \quad \text{si } 0 < t < TD1$$

$$V1 + (V2 - V1) \cdot (1 - e^{-(t - TD1)/TAU1}) \quad \text{si } TD1 < t < TD2$$

$$V1 + (V2 - V1) \cdot (1 - e^{-(t - TD1)/TAU1}) + (V1 - V2) \cdot (1 - e^{-(t - TD2)/TAU2}) \quad \text{si } t \geq TD2$$

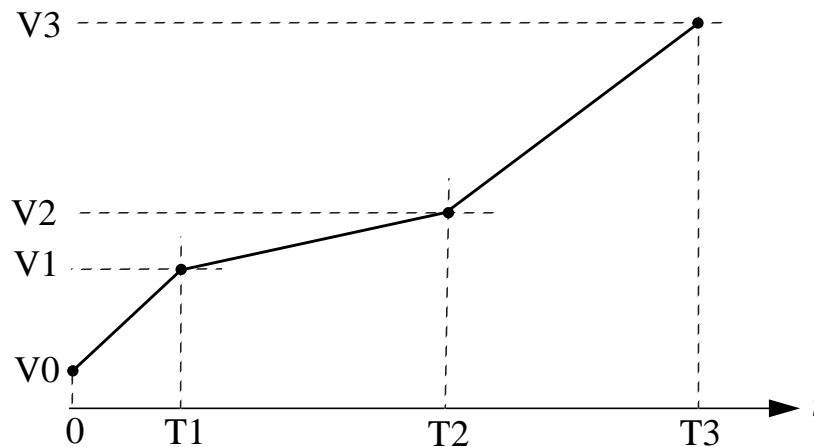
#### ■ VALORES POR DEFECTO:

PARÁMETRO	VALOR DEF.	UNIDAD
V1 (valor inicial)	obligatorio	V o A
V2 (valor del pulso)	obligatorio	V o A
TD1 (retraso de subida)	0.0	s
TAU1 (cte. de tiempo de subida)	TSTEP	s
TD2 (retraso de bajada)	TD1+TSTEP	s
TAU2 (cte. de tiempo de bajada)	TSTEP	s

## FUENTES VARIABLES EN EL TIEMPO

### LINEAL A TRAMOS:

**PWL** (T0 V0 <T1 V1 <T2 V2 <T3 V3 ...>)

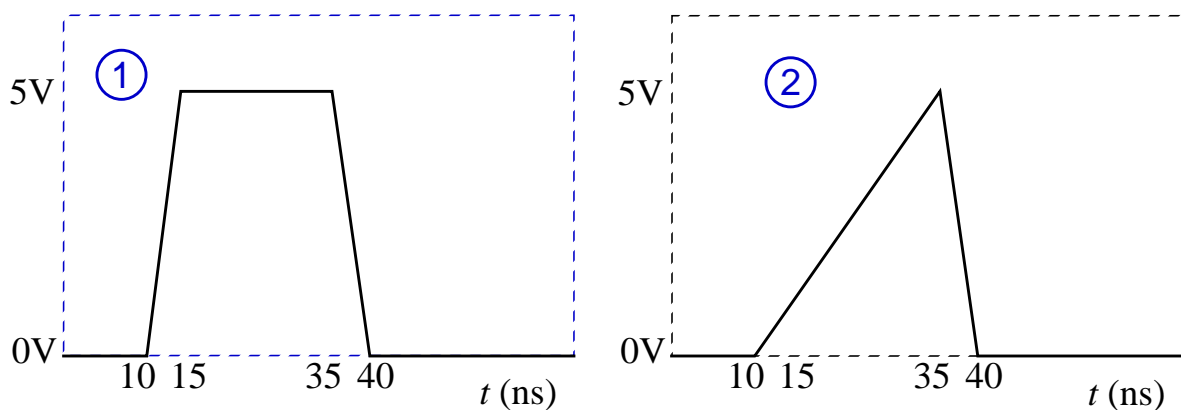


### ■ VALORES POR DEFECTO:

PARÁMETRO	VALOR DEF.	UNIDAD
V (valor)	0.0	V o A
TD1 (retraso del valor V)	TSTEP	s

### EJEMPLO

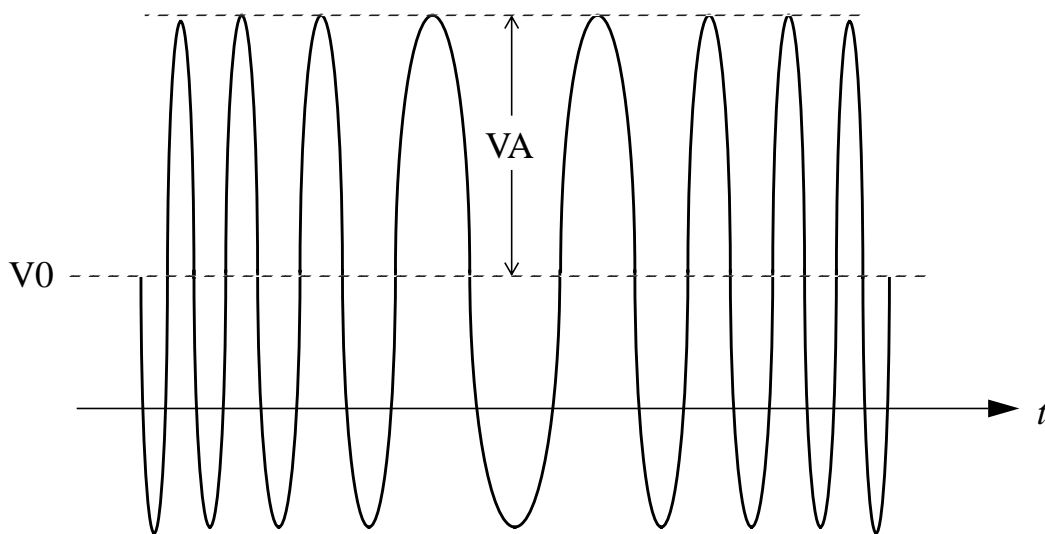
- ① PWL (0 0 10n 0 15n 5 35n 5 40n 0)  
 ② PWL (0 0 10n 0 35n 5 40n 0)



## FUENTES VARIABLES EN EL TIEMPO

### MODULADA EN FRECUENCIA:

**SFFM (V0 VA FC MDI FS)**



Se describe por:

$$V = V0 + VA \cdot \text{sen}[2\pi \cdot FC \cdot t + MDI \cdot \text{sen}(2\pi \cdot FS \cdot t)]$$

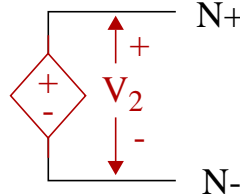
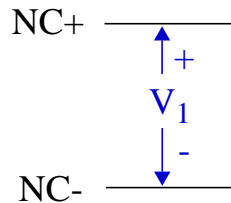
#### ■ VALORES POR DEFECTO:

PARÁMETRO	VALOR DEF.	UNIDAD
V0 (offset)	obligatorio	V o A
VA (amplitud)	obligatorio	V o A
FC (frecuencia de portadora)	1/TSTOP	Hz
MDI (índice de modulación)		
FS (frecuencia de señal)	1/TSTOP	Hz

## FUENTES DEPENDIENTES LINEALES

### VCVS (Voltage Controlled Voltage Source):

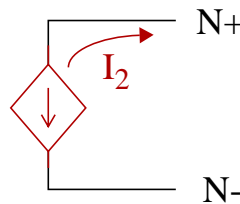
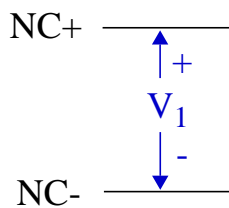
**E**XXXXXXXX N+ N- NC+ NC- VALOR



$$\text{VALOR} = \frac{V_2}{V_1}$$

### VCCS (Voltage Controlled Current Source):

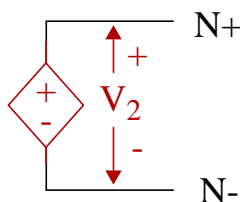
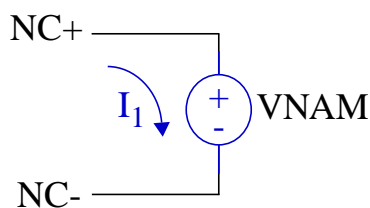
**G**XXXXXXXX N+ N- NC+ NC- VALOR



$$\text{VALOR} = \frac{I_2}{V_1} \bar{U}$$

### CCVS (Current Controlled Voltage Source):

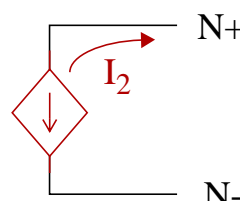
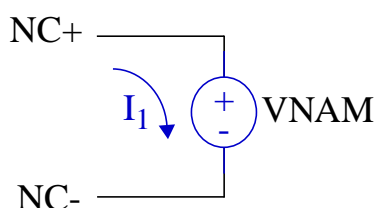
**H**XXXXXXXX N+ N- VNAM VALOR



$$\text{VALOR} = \frac{V_2}{I_1} \Omega$$

### CCCS (Current Controlled Current Source):

**F**XXXXXXXX N+ N- VNAM VALOR



$$\text{VALOR} = \frac{I_2}{I_1}$$

## FUENTES DEPENDIENTES NO-LINEALES

Tienen varias variables de control y se modelan mediante funciones polinómicas.

### ■ FORMA GENÉRICA:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)$$

donde

$y$ , variable controlada, puede ser una tensión o una intensidad.

$x_i$  ( $1 \leq i \leq m$ ), variables de control, son tensiones o intensidades.

*Asignación de coeficientes:*

$$\begin{aligned} y = & P_0 + P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 + \dots + P_m \cdot x_m + \\ & + P_{m+1} \cdot x_1^2 + P_{m+2} \cdot x_1 \cdot x_2 + \dots + P_{m+m} \cdot x_1 \cdot x_m + \\ & + P_{2m+1} \cdot x_2^2 + P_{2m+2} \cdot x_2 \cdot x_3 + \dots \end{aligned}$$

### ■ FORMATO:

**VCVS:** Exxxxxxx N+ N- <POLY(ND)> NC1+ NC1- <NC2+ NC2- ...>  
+ P0 <P1 ...> <IC=val>

donde ND indica el número de variables de control y (NC1+, NC1-), (NC2+, NC2-), ..., son pares de nudos entre los que están definidas dichas variables.

**VCCS:** El mismo formato anterior cambiando la E inicial por G.

**CCVS:** Hxxxxxxx N+ N- <POLY(ND)> VN1 <VN2 ...>  
+ P0 <P1 ...> <IC=val>

donde VN1, VN2, ..., son nombres de fuentes de tensión donde se miden las intensidades de control.

**CCCS:** El mismo formato anterior cambiando la H inicial por F.

<POLY(ND)> = por defecto dimensión 1.

<P1 ...> = por defecto nulos. Si sólo se especifica un coeficiente y la dimensión es 1, el valor se asigna a P1.

<IC = ...> = por defecto nulos.

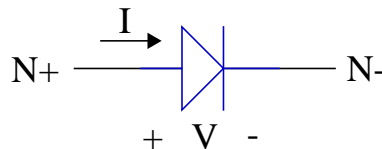
## DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES

- Su descripción requiere dos líneas:
  - Una **línea de elemento** donde se especifica la topología y algunos parámetros.
  - Una **línea de control** donde se especifica el **modelo**. Varios dispositivos semiconductores pueden compartir el mismo modelo.

### LÍNEA DE ELEMENTO

#### DIODO DE UNIÓN:

<code>Dxxxxxxx N+ N- MNAME &lt;AREA&gt; &lt;OFF&gt; &lt;IC=V(0)&gt; &lt;M=val&gt;</code>
--



#### VALORES POR DEFECTO:

AREA = Factor multiplicativo de área (escala el valor de corrientes, resistencias y capacidades) (AREA=1).

Dispositivo en ON para condiciones iniciales, análisis DC.

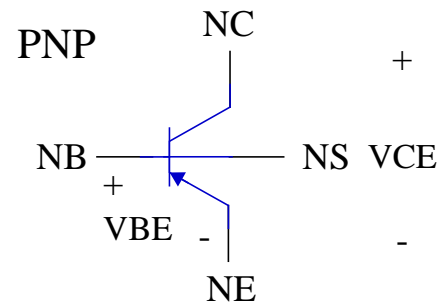
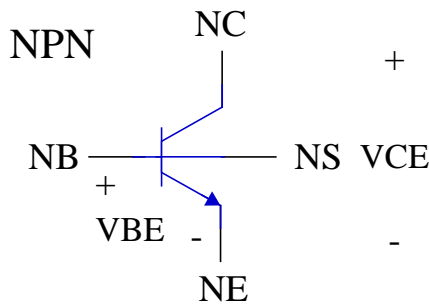
V(0) = 0

M = Multiplicidad (nº de dispositivos iguales conectados en paralelo) (M=1).

- Se pueden especificar dos tipos distintos de condiciones iniciales:
  - Mediante la opción OFF, para mejorar la convergencia en DC.
  - Condiciones iniciales IC, para el análisis transitorio.

## TRANSISTOR BIPOLAR:

**Q**xxxxxxx NC NB NE <NS> MNAME <AREA> <OFF>  
 + <IC=VBE,VCE> <M=val>



### VALORES POR DEFECTO:

AREA = 1

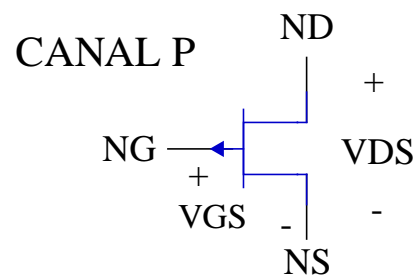
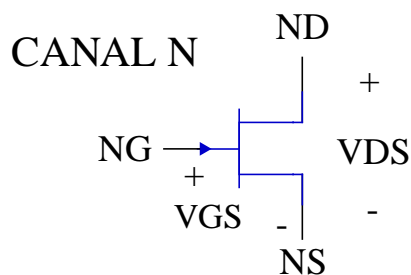
Dispositivo en ON para condiciones iniciales, análisis DC.

VBE y/o VCE = 0

M = 1

## TRANSISTOR JFET:

**J**xxxxxxx ND NG NS MNAME <AREA> <OFF>  
 + <IC=VDS,VGS> <M=val>



### VALORES POR DEFECTO:

AREA = 1

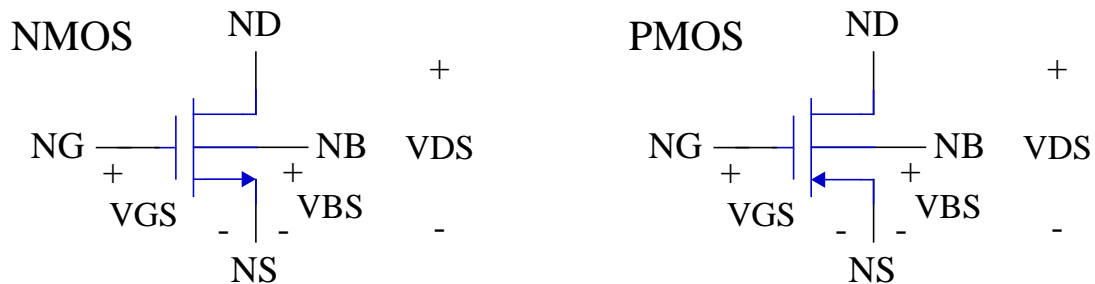
Dispositivo en ON para condiciones iniciales, análisis DC.

VDS y/o VGS = 0

M = 1

## TRANSISTOR MOSFET:

**M**xxxxxxx ND NG NS NB MNAME <L=val> <W=val>  
+ <AD=val> <AS=val> <PD=val> <PS=val> <NRD=val>  
+ <NRS=val> <OFF> <IC=VDS, VGS, VBS> <M=val>



### VALORES POR DEFECTO:

- L, W = Longitud y anchura del canal.  
Por defecto se especifican mediante tarjeta de control .OPTIONS. (L=100 $\mu$ m, W=100 $\mu$ m)
- AD, AS = Areas de las difusiones de fuente y drenador en m<sup>2</sup>.  
También especificables mediante línea de control .OPTIONS. (AD=0, AS=0)
- PD, PS = Perímetro de las uniones de drenador y fuente. (PD=0, PS=0)
- NRD, NRS = Número equivalente de cuadrados de las difusiones de drenador y fuente. (NRD=1, NRS=1)
- Dispositivo en ON para condiciones iniciales, análisis DC.
- VDS, VGS y/o VBS = 0
- M = 1



## LÍNEA DE MODELO

Se usa para especificar los modelos de los dispositivos semiconductores

**.MODEL**   **MNAME**   **TIPO**   <PAR1=val, PAR2=val ...>

**MNAME:**            Nombre del modelo

**TIPO:**              Especifica el dispositivo semiconductor

**D**            → DIODO  
**NPN**        → BJT  
**PNP**        → BJT  
**NJF**        → JFET  
**PJF**        → JFET  
**NMOS**      → MOSFET  
**PMOS**      → MOSFET

PAR1, PAR2 ...: Parámetros del modelo cuyo valor se va a especificar.  
Por defecto SPICE asigna un conjunto de valores.

### PARÁMETROS DEL MODELO DEL DIODO

	NOMBRE	PARÁMETRO	UNID.	VAL. DEF.	EJEMP.
1	IS	Saturation current	A	1.0E -14	1.0E-14
2	RS	Parasitic resistance	Ω	0.0	10
3	N	Emission coefficient		1.0	
4	TT	Transit time	s	0.0	0.1ns
5	CJ0	Zero-bias <i>pn</i> junction capacitance	F	0.0	2pF
6	VJ	Junction potential	V	1.0	0.6
7	M	Junction grading coefficient		0.5	0.5
8	EG	Activation energy	eV	1.11	11.1
9	XTI	IS temperature exponent		3	3
10	KF	Flicker noise coefficient		0	
11	AF	Flicker noise exponent		1	
12	FC	Forward-bias depletion cap. coeff.		0.5	
13	BV	Reverse breakdown voltage	V	∞	50
14	IBV	Reverse breakdown current	A	1E-10	

**PARÁMETROS DEL MODELO DEL TRANSISTOR MOSFET**

	<b>NOMBRE</b>	<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNID.</b>	<b>VAL. DEF.</b>	<b>EJEMP.</b>
1	LEVEL	Model type			1
2	VTO	Zero-bias threshold voltage	V	0.0	1.0
3	KP	Transconductance parameter	A/V <sup>2</sup>	2.0E -5	3.1E-5
4	GAMMA	Bulk threshold parameter	V <sup>0.5</sup>	0.0	0.37
5	PHI	Surface potential	V	0.6	0.65
6	LAMBDA	Channel-length modulation (LEVEL=1 and 2 only)	V <sup>-1</sup>	0.0	0.02
7	RD	Drain ohmic resistance	Ω	0.0	1.0
8	RS	Source ohmic resistance	Ω	0.0	1.0
9	CBD	Zero-bias B-D junction capacitance	F	0.0	20fF
10	CBS	Zero-bias B-S junction capacitance	F	0.0	20fF
11	IS	Bulk junction saturation current	A	1.0E -14	1.0E-15
12	PB	Bulk junction potential	V	0.8	0.87
13	CGSO	Gate-source overlap capacitance per meter channel width	F/m	0.0	4.0E-11
14	CGDO	Gate-drain overlap capacitance per meter channel width	F/m	0.0	4.0E-11
15	CGBO	Gate-bulk overlap capacitance per meter channel length	F/m	0.0	2.0E-10
16	RSH	Drain and source diffusion sheet resistance	Ω/□	0.0	10.0
17	CJ	zZero-bias bulk junction bottom cap. per sq-meter of junction area	F/m <sup>2</sup>	0.0	2.0E-4
18	MJ	Bulk junction bottom grading coef.		0.5	0.5
19	CJSW	Zero-bias bulk junction sidewall cap. per meter of junction perimeter	F/m	0.0	1.0E-9
20	MJSW	Bulk junction sidewall grading coef.		0.50 (level1) 0.33 (level2,3)	

## SPICE: Dispositivos Semiconductores

NOMBRE	PARÁMETRO	UNID.	VAL. DEF.	EJEMP.
21 JS	Bulk junction saturation current per sq-meter of junction area	A/m <sup>2</sup>	1.0E-8	
22 TOX	Oxide thickness	m	1.0E -7	1.0E-7
23 NSUB	Substrate doping	cm <sup>-3</sup>	0.0	4.0E15
24 NSS	Surface state density	cm <sup>-2</sup>	0.0	1.0E10
25 NFS	Fast surface state density	cm <sup>-2</sup>	0.0	1.0E10
26 TPG	Type of gate material: +1 opp. to substrate -1 same as substrate 0 Al gate		1.0	
27 XJ	Metallurgical junction depth	m	0.0	1U
28 LD	Lateral diffusion	m	0.0	0.8U
29 UO	Surface mobility	cm <sup>2</sup> /(Vs)	600	700
30 UCRIT	Critical field for mobility degradation (LEVEL= 2 only)	V/cm	1.0E 4	1.0E4
31 UEXP	Critical field exponent in mobility degradation (LEVEL= 2 only)		0.0	0.1
32 UTRA	Transverse field coef (mobility) (deleted for LEVEL= 2)		0.0	0.3
33 VMAX	Maximum drift velocity of carriers	m/s	0.0	5.0E4
34 NEFF	Total channel charge (fixed and mobile) coefficient (LEVEL= 2 only)		1.0	5.0
35 KF	Flicker noise coefficient		0.0	1.0E-26
36 AF	Flicker noise exponent		1.0	1.2
37 FC	Coefficient for forward-bias depletion capacitance formula		0.5	
38 DELTA	Width effect on threshold voltage (LEVEL= 2 and 3)		0.0	1.0
39 THETA	Mobility modulation (LEVEL= 3 only)	V <sup>-1</sup>	0.0	0.1
40 ETA	Static feedback (LEVEL= 3 only)		0.0	1.0
41 KAPPA	Saturation field factor (LEVEL= 3 only)		0.2	0.5

## **SUBCIRCUITOS**

Son circuitos definidos como un conjunto de elementos en el fichero de entrada y que pueden ser llamados y colocados como un dispositivo más dentro de un circuito más complejo.

### ■ FORMA DE DEFINIRLOS:

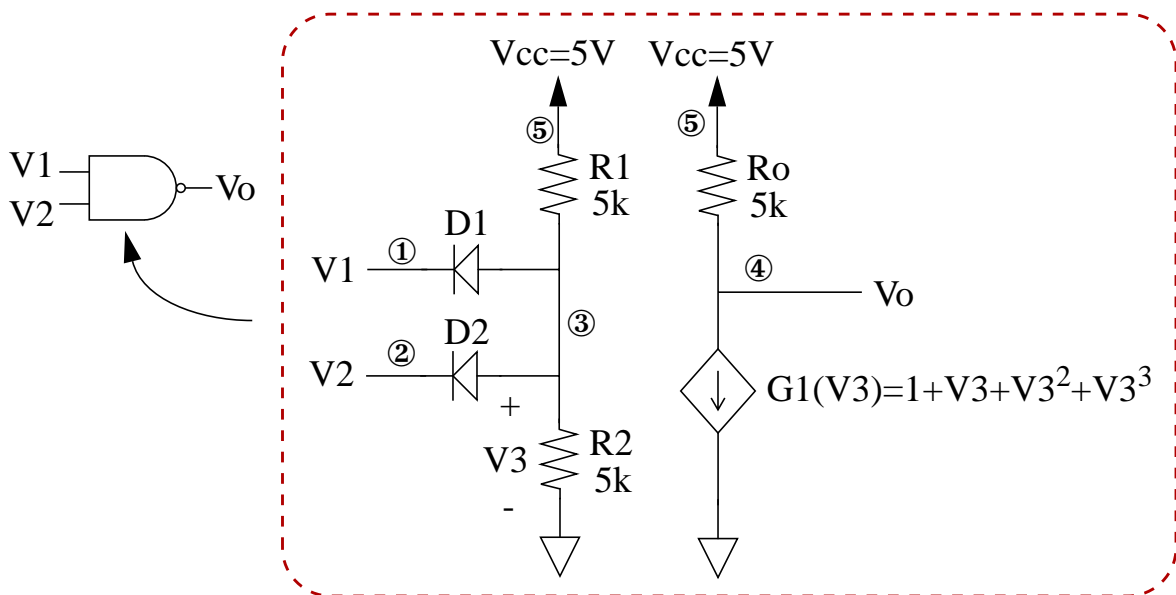
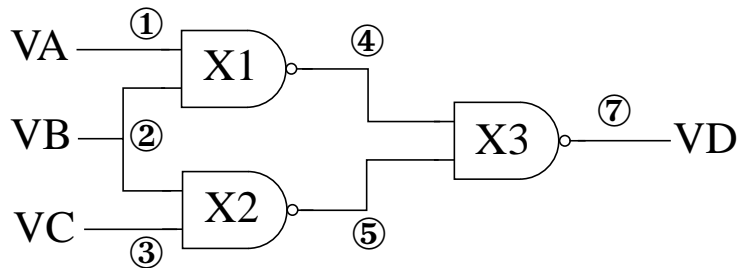
```
.SUBCKT  NOMBRE  N1  N2  ...  
(conjunto de elementos y/o otros subcircuitos)  
.ENDS  <NOMBRE>
```

### ■ FORMA DE INVOCARLOS:

```
XZZZZZZZ  N1  N2  ...  NOMBRE
```

- ⇒ No hay límite a la complejidad o tamaño de un subcircuito.
- ⇒ Cada vez que se invoca un subcircuito, SPICE inserta en el lugar de las líneas de llamada las líneas correspondientes a dicho subcircuito.
- ⇒ Dentro de la definición del subcircuito pueden existir otros subcircuitos y estos a su vez pueden contener otros.
- ⇒ Los nudos definidos en un subcircuito tienen carácter local, salvo el nudo 0 que es global.
- ⇒ Dentro de la definición del subcircuito no se pueden usar tarjetas de control y sí de modelo.

EJEMPLO



CIRCUITO COMBINACIONAL

```
*
* Descripción del circuito
*
X1 1 2 4 NAND
X2 2 3 5 NAND
X3 4 5 7 NAND
VA 1 0 DC 5
VB 2 0 DC 0
VC 3 0 DC 4.5
*
* Fin de la descripción del circuito
*
```

\* Subcircuito NAND

```
*
.SUBCKT NAND 1 2 4
D1 3 1 MOD1
D2 3 2 MOD1
R1 5 3 5K
R2 3 0 5K
Ro 5 4 5K
G1 4 0 POLY 3 0 1 1 1 1
VCC 5 0 DC 5
.MOD MOD1 D
.ENDS NAND
*
.END
```

## LÍNEAS DE CONTROL

Permiten especificar el análisis a realizar sobre el circuito, indicando así mismo cómo cambiar parámetros de carácter general.

```
.NOMBRE ....
```

Distinguiremos varios tipos de tarjetas de control:

- Asociadas al análisis en DC.
- Asociadas al análisis en AC.
- Asociadas al análisis TRANSITORIO.
- No asociadas a ningún análisis en particular.

## ASOCIADAS AL ANÁLISIS EN DC

### .OP

- ⇒ Además de calcular el punto de trabajo (por defecto) da información de los modelos en pequeña señal de los dispositivos.

### .DC

```
.DC NOMBRE1 VALC1 VALF1 VALI1  
+ <NOMBRE2 VALC2 VALF2 VALI2>
```

- ⇒ NOMBRE1 y NOMBRE2 son fuentes independientes.
- ⇒ Mediante esta línea se ordena que se haga un análisis en DC para cada valor de las fuentes NOMBRE comprendido entre VALC y VALF en incrementos VALI.
- ⇒ Si se especifican dos fuentes la primera es barrida sobre su rango para cada valor de la segunda.

## ASOCIADAS AL ANÁLISIS EN DC

### .NODESET

```
.NODESET V(NUMNOD)=VAL V(NUMNOD)=VAL ....
```

- ⇒ Establece condiciones iniciales en los nudos para que SPICE los use en el análisis en DC.
- ⇒ Puede ser imprescindible para asegurar la convergencia de sistemas o biestables.

### .TF

```
.TF VARSAL VALENT
```

- ⇒ Ordena calcular, alrededor del punto de trabajo:
  - la relación en pequeña señal VARSAL/VALENT
  - la impedancia de entrada
  - la impedancia de salida
- ⇒ Como paso previo SPICE hace un análisis en DC.

### .SENS

```
.SENS OV1 <OV2 ...>
```

- ⇒ OV1, OV2, ..., son variables de salida.
- ⇒ SPICE calcula la sensibilidad en pequeña señal para cada variable indicada respecto a cada parámetro del circuito.

## ASOCIADAS AL ANÁLISIS EN AC

### .AC

.AC	DEC	NO	FCOM	FFIN
.AC	OCT	NO	FCOM	FFIN
.AC	LIN	NO	FCOM	FFIN

- ⇒ Ordenan un análisis en AC desde una frecuencia FCOM hasta FFIN con la siguiente variación:
- DEC: Se toman NO frecuencias por decada.
  - OCT: Se toman NO frecuencias por octava.
  - LIN: Variación lineal, siendo NO el número total de frecuencias tomadas.

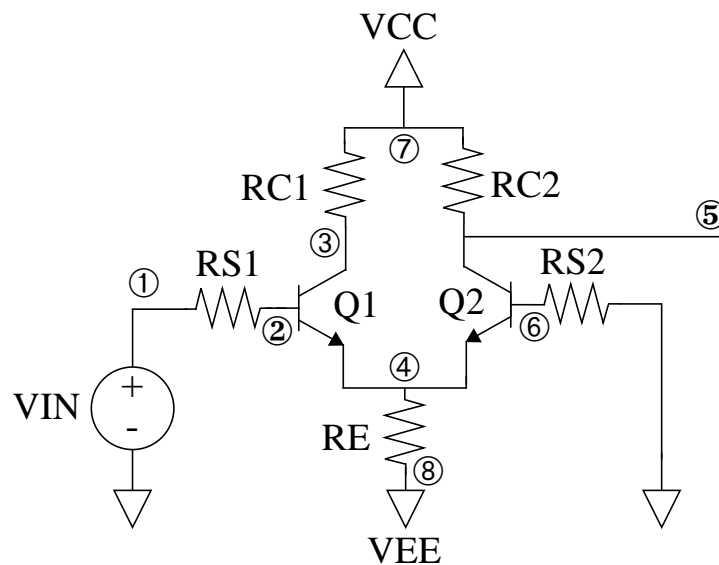
### .NOISE

.NOISE	OUTV	INSRC	NUMS
--------	------	-------	------

- ⇒ Ordena el análisis de ruido en el circuito.
- ⇒ OUTV = Tensión de salida que define el punto de suma.
- ⇒ INSRC = Nombre de una fuente independiente que es la referencia de entrada del ruido.
- ⇒ NUMS = Indica el intervalo entre resultados.
- ⇒ Se calcula el ruido equivalente en la entrada y la salida indicadas. Se escribe la contribución de cada generador de ruido a intervalos de frecuencia indicados por NUMS.



EJEMPLO



PAR DIFERENCIAL SIMPLE

\*

\* Alimentaciones y entradas

\*

VCC 7 0 12

VEE 8 0 -12

VIN 1 0 AC 1

\*

\* Descipcion del circuito

\*

RS1 1 2 1K

RS2 6 0 1K

Q1 3 2 4 MOD1

Q2 5 6 4 MOD1

RC1 7 3 10K

RC2 7 5 10K

RE 4 8 10K

\*

\* Modelos y tarjetas de control

\*

.MODEL MOD1 NPN BF=50 VAF=50

+ IS=1.E-12 RB=100 CJC=.5PF TF=.6NS

**.AC DEC 10 1 100MEG**

**.PRINT AC VM(5) VP(5)**

**.END**

\*\*\*\*\*10/21/93 \*\*\*\*\* SPICE 2G.6 3/16/83 \*\*\*\*\*11:54:01\*\*\*\*\*

PAR DIFERENCIAL SIMPLE

\*\*\*\* INPUT LISTING TEMPERATURE = 27.000 DEG C

\*\*\*\*\*

\*

\* ALIMENTACIONES Y ENTRADAS

\*

VCC 7 0 12

VEE 8 0 -12

VIN 1 0 AC 1

\*

\* DESCRIPCION DEL CIRCUITO

\*

RS1 1 2 1K

RS2 6 0 1K

Q1 3 2 4 MOD1

Q2 5 6 4 MOD1

RC1 7 3 10K

RC2 7 5 10K

RE 4 8 10K

\*

\* MODELOS Y TARJETAS DE CONTROL

\*

.MODEL MOD1 NPN BF=50 VAF=50 IS=1.E-12 RB=100 CJC=.5PF TF=.6NS

.AC DEC 10 1 100MEG

.PRINT AC VM(5) VP(5)

.END

\*\*\*\*\*10/21/93 \*\*\*\*\* SPICE 2G.6 3/16/83 \*\*\*\*\*11:54:01\*\*\*\*\*

PAR DIFERENCIAL SIMPLE

\*\*\*\* BJT MODEL PARAMETERS TEMPERATURE = 27.000 DEG C

\*\*\*\*\*

MOD1

TYPE NPN

IS 1.00D-12

BF 50.000

NF 1.000

VAF 5.00D+01

BR 1.000

NR 1.000

RB 100.000

TF 6.00D-10

CJC 5.00D-13

\*\*\*\*\*10/21/93 \*\*\*\*\* SPICE 2G.6 3/16/83 \*\*\*\*\*11:54:01\*\*\*\*\*

PAR DIFERENCIAL SIMPLE

\*\*\*\* SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

\*\*\*\*\*

```

NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE
( 1) 0.0000 ( 2) -0.0100 ( 3) 6.3645 ( 4) -0.5290
NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE
( 5) 6.3645 ( 6) -0.0100 ( 7) 12.0000 ( 8) -12.0000
    
```

**VOLTAGE SOURCE CURRENTS**

```

NAME CURRENT
VCC -1.127D-03
VEE 1.147D-03
VIN -9.996D-06
    
```

**TOTAL POWER DISSIPATION 2.73D-02 WATTS**

\*\*\*\*\*10/21/93 \*\*\*\*\* SPICE 2G.6 3/16/83 \*\*\*\*\*11:54:01\*\*\*\*\*

**PAR DIFERENCIAL SIMPLE**

\*\*\*\* **OPERATING POINT INFORMATION** TEMPERATURE=27.000DEG C

\*\*\*\*\*

\*\*\*\* **BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS**

```

      Q1      Q2
MODEL  MOD1  MOD1
IB     1.00E-05 1.00E-05
IC     5.64E-04 5.64E-04
VBE    0.519 0.519
VBC    -6.374 -6.374
VCE    6.894 6.894
BETADC 56.376 56.376
GM     2.18E-02 2.18E-02
RPI    2.59E+03 2.59E+03
RX     1.00E+02 1.00E+02
RO     1.00E+05 1.00E+05
CPI    1.31E-11 1.31E-11
CMU    2.38E-13 2.38E-13
CBX    0.00E+00 0.00E+00
CCS    0.00E+00 0.00E+00
BETAAC 56.350 56.350
FT     2.60E+08 2.60E+08
    
```

\*\*\*\*\*10/21/93 \*\*\*\*\* SPICE 2G.6 3/16/83 \*\*\*\*\*11:54:01\*\*\*\*\*

**PAR DIFERENCIAL SIMPLE**

\*\*\*\* **AC ANALYSIS** TEMPERATURE = 27.000 DEG C

\*\*\*\*\*

FREQ	VM(5)	VP(5)	FREQ	VM(5)	VP(5)
1.000E+00	6.924E+01	-1.729E-05	3.981E+00	6.924E+01	-6.883E-05
1.259E+00	6.924E+01	-2.177E-05	5.012E+00	6.924E+01	-8.665E-05
1.585E+00	6.924E+01	-2.740E-05	6.310E+00	6.924E+01	-1.091E-04
1.995E+00	6.924E+01	-3.450E-05	7.943E+00	6.924E+01	-1.373E-04
2.512E+00	6.924E+01	-4.343E-05	1.000E+01	6.924E+01	-1.729E-04
3.162E+00	6.924E+01	-5.467E-05	1.259E+01	6.924E+01	-2.177E-04

---

---

## SPICE: Líneas de Control

---

---

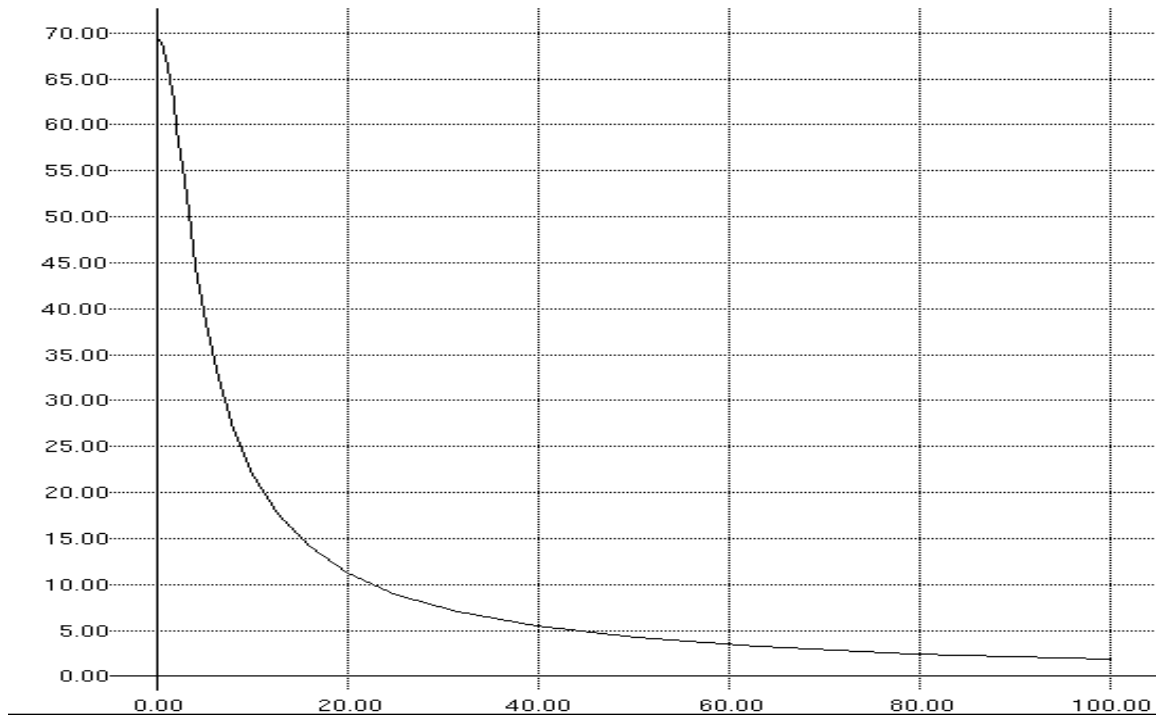
FREQ	VM(5)	VP(5)
1.585E+01	6.924E+01	-2.740E-04
1.995E+01	6.924E+01	-3.450E-04
2.512E+01	6.924E+01	-4.343E-04
3.162E+01	6.924E+01	-5.467E-04
3.981E+01	6.924E+01	-6.883E-04
5.012E+01	6.924E+01	-8.665E-04
6.310E+01	6.924E+01	-1.091E-03
7.943E+01	6.924E+01	-1.373E-03
1.000E+02	6.924E+01	-1.729E-03
1.259E+02	6.924E+01	-2.177E-03
1.585E+02	6.924E+01	-2.740E-03
1.995E+02	6.924E+01	-3.450E-03
2.512E+02	6.924E+01	-4.343E-03
3.162E+02	6.924E+01	-5.467E-03
3.981E+02	6.924E+01	-6.883E-03
5.012E+02	6.924E+01	-8.665E-03
6.310E+02	6.924E+01	-1.091E-02
7.943E+02	6.924E+01	-1.373E-02
1.000E+03	6.924E+01	-1.729E-02
1.259E+03	6.924E+01	-2.177E-02
1.585E+03	6.924E+01	-2.740E-02
1.995E+03	6.924E+01	-3.450E-02
2.512E+03	6.924E+01	-4.343E-02
3.162E+03	6.924E+01	-5.467E-02
3.981E+03	6.924E+01	-6.883E-02
5.012E+03	6.924E+01	-8.665E-02
6.310E+03	6.924E+01	-1.091E-01
7.943E+03	6.924E+01	-1.373E-01
1.000E+04	6.924E+01	-1.729E-01
1.259E+04	6.924E+01	-2.177E-01
1.585E+04	6.924E+01	-2.740E-01
1.995E+04	6.924E+01	-3.450E-01
2.512E+04	6.924E+01	-4.343E-01
3.162E+04	6.923E+01	-5.467E-01
3.981E+04	6.923E+01	-6.883E-01
5.012E+04	6.923E+01	-8.665E-01
6.310E+04	6.923E+01	-1.091E+00
7.943E+04	6.922E+01	-1.373E+00
1.000E+05	6.921E+01	-1.728E+00
1.259E+05	6.919E+01	-2.176E+00
1.585E+05	6.916E+01	-2.738E+00
1.995E+05	6.912E+01	-3.446E+00
2.512E+05	6.904E+01	-4.335E+00
3.162E+05	6.893E+01	-5.451E+00
3.981E+05	6.876E+01	-6.851E+00

FREQ	VM(5)	VP(5)
5.012E+05	6.848E+01	-8.602E+00
6.310E+05	6.804E+01	-1.078E+01
7.943E+05	6.737E+01	-1.349E+01
1.000E+06	6.635E+01	-1.681E+01
1.259E+06	6.482E+01	-2.084E+01
1.585E+06	6.260E+01	-2.562E+01
1.995E+06	5.950E+01	-3.117E+01
2.512E+06	5.542E+01	-3.736E+01
3.162E+06	5.037E+01	-4.399E+01
3.981E+06	4.459E+01	-5.074E+01
5.012E+06	3.848E+01	-5.728E+01
6.310E+06	3.245E+01	-6.336E+01
7.943E+06	2.686E+01	-6.882E+01
1.000E+07	2.192E+01	-7.360E+01
1.259E+07	1.770E+01	-7.776E+01
1.585E+07	1.417E+01	-8.137E+01
1.995E+07	1.127E+01	-8.454E+01
2.512E+07	8.908E+00	-8.734E+01
3.162E+07	7.000E+00	-8.985E+01
3.981E+07	5.465E+00	-9.207E+01
5.012E+07	4.239E+00	-9.400E+01
6.310E+07	3.265E+00	-9.563E+01
7.943E+07	2.497E+00	-9.697E+01
1.000E+08	1.890E+00	-9.801E+01

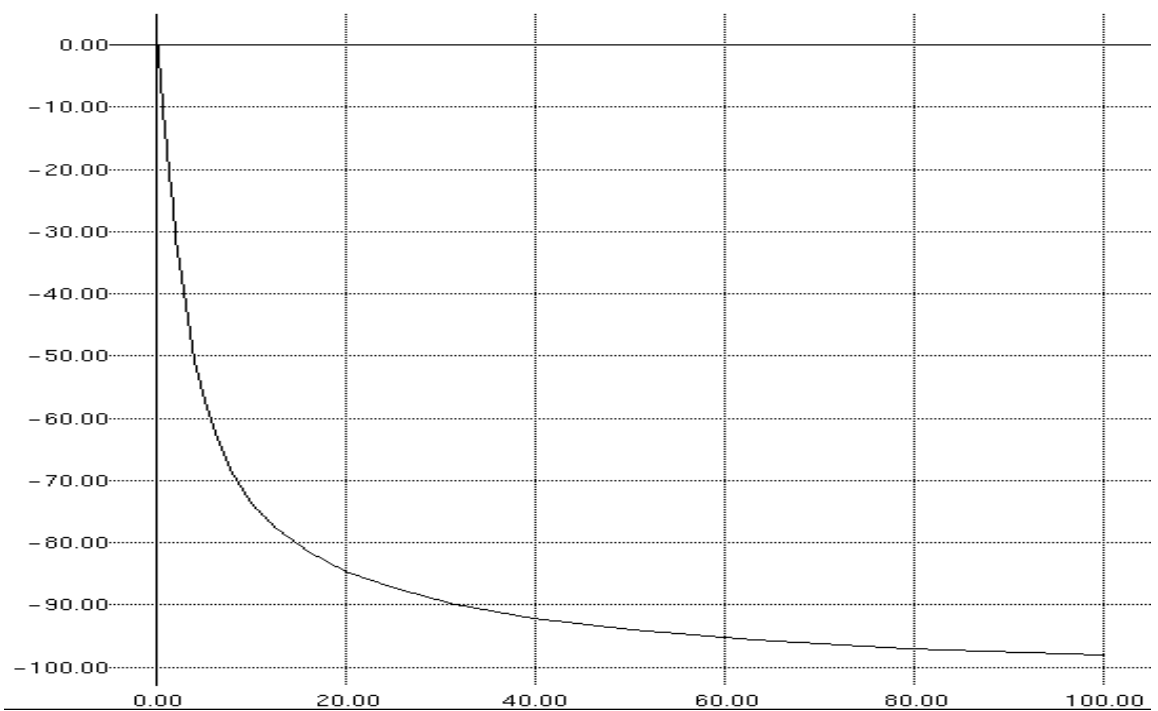
JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME            0.23

VM(5)



VP(5)



## ASOCIADAS AL ANÁLISIS EN AC

### .DISTO

```
.DISTO RLOAD <INTER <SKW2 <REFPWR <SPW2 >
```

- ⇒ Ordena un análisis de distorsión como parte del análisis en AC.
- ⇒ Se consideran dos frecuencias distintas:
  - la nominal F1 del análisis AC
  - $F2 = SKW2 \cdot F1$
- ⇒ Se pueden obtener las siguientes medidas de distorsión:
  - HD2 → magnitud a  $2 \cdot F1$  con F2 ausente
  - HD3 → magnitud a  $3 \cdot F1$  con F2 ausente
  - SIM2 → magnitud a  $F1 + F2$
  - DIM2 → magnitud a  $F1 - F2$
  - DIM3 → magnitud a  $2 \cdot F1 - F2$
- ⇒ RLOAD = Nombre de una resistencia de carga en la que se calculan los productos de potencia de distorsión.
- ⇒ INTER = Intervalo de frecuencias donde se da el resumen de la contribución de todos los dispositivos no-lineales a la distorsión total.
- ⇒ REFPWR = Nivel de potencia de referencia usado en el cálculo de productos de distorsión.
- ⇒ SPW2 = Amplitud de F2

#### **Valores por defecto:**

INTER=no se dan resultados  
SKW2=0.9  
REFPWR=1MW  
SPW2=1

## ASOCIADAS AL ANÁLISIS TRANSITORIO

### .IC

```
.IC V(NUMNOD)=VAL V(NUMNOD)=VAL ....
```

- ⇒ Especifica condiciones iniciales para el análisis transitorio. Éstas se usan si se especifica la opción UIC; en caso contrario las condiciones iniciales se establecen mediante un análisis en DC.

### .TRAN

```
.TRAN TSTEP TSTOP <TSTART <TMAX <UIC >
```

- ⇒ Especifica las condiciones del análisis transitorio:
  - TSTEP → Incremento temporal para imprimir resultados
  - TSTOP → Tiempo final
  - TSTART → Tiempo inicial (para imprimir) (por defecto = 0)
  - TMAX → Máximo incremento temporal para análisis interno. Define el mínimo TSTEP. (por defecto es (TSTOP-TSTART)/50)
  - UIC → Indica que se usen las condiciones iniciales especificadas en .IC

### .FOUR

```
.FOUR FREQ OV1 <OV2 OV3 ...>
```

- ⇒ Se pide un análisis de Fourier como parte del análisis transitorio.
- ⇒ OV1, OV2, OV3, ..., son nombres de variables de salida.
- ⇒ El análisis se realiza sobre datos del intervalo:
 
$$TSTOP - \text{Periodo} < t < TSTOP, \quad \text{Periodo} = 1/\text{FREQ}$$
- ⇒ Los resultados suministrados son la componente en DC y los 9 primeros armónicos.

## LÍNEAS DE CONTROL DE SALIDA

SPICE puede suministrar dos tipos de salida:

Listado → .PRINT

Dibujo → .PLOT

```
.PRINT TIPO  OV1  <OV2  OV3  ...  OV8>
.PLOT  TIPO  OV1<(L1,H1)>  <OV2<(L2,H2)>  ...  OV8<(L8,H8)>>
```

- ⇒ TIPO: Tipo de análisis (AC, DC, TRAN, NOISE, DISTO).
- ⇒ OV1, ..., son los nombres de variables de salida. Pueden ser:
  - Tensiones en nudos o entre dos nudos. (Ej.: V(5), V(7,3))
  - Intensidades en fuentes independientes de tensión. (Ej.: I(Vcc), I(Vin))
  - Para el análisis en AC:
    - VR o IR → .Parte real
    - VI o II → .Parte imaginaria
    - VM o IM → .Módulo
    - VP o IP → .Fase
    - VDB o IDB → .Decibelios ( $20 \cdot \log_{10}(\text{Módulo})$ )

Ejemplos: VR(5), IM(Vin), VDB(7)

- ⇒ (Li,Hi) representan la variable OVi dentro de esa escala. Si no se indica se supone autoescalado.

Ejemplos: .PLOT TRAN V(17,5) I(Vin) V(17)



## OTRAS LÍNEAS DE CONTROL

### .TEMP

```
.TEMP T1 <T2 <T3 ... >
```

- ⇒ Especifica las temperaturas a las que el circuito será simulado. T1, T2, T3, ..., son temperaturas en grados centígrados (°C).
- ⇒ Si se omite entonces la temperatura de simulación es la especificada con TNOM en la línea de control .OPTIONS. (Si ésta a su vez se omite, la temperatura por defecto es de 27°C)

### .WIDTH

```
.WIDTH IN=NCOLUM OUT=NCOLUM
```

- ⇒ Define el número máximo de columnas de los ficheros de entrada y salida.

### .OPTIONS

```
.OPTIONS OPT1 OPT2 ... (o OPT=OPTVAL ...)
```

- ⇒ Esta línea permite al usuario cambiar determinadas opciones y permite ajustar el control del programa.
- ⇒ Hay 32 opciones diferentes:
  - Algunas opciones se usan para controlar la salida. (Ej.: NOPAGE, LIMPTS=x)
  - Otras opciones se usan para controlar el tipo de análisis que realiza SPICE.
  - Otras para obtener convergencia, etc.

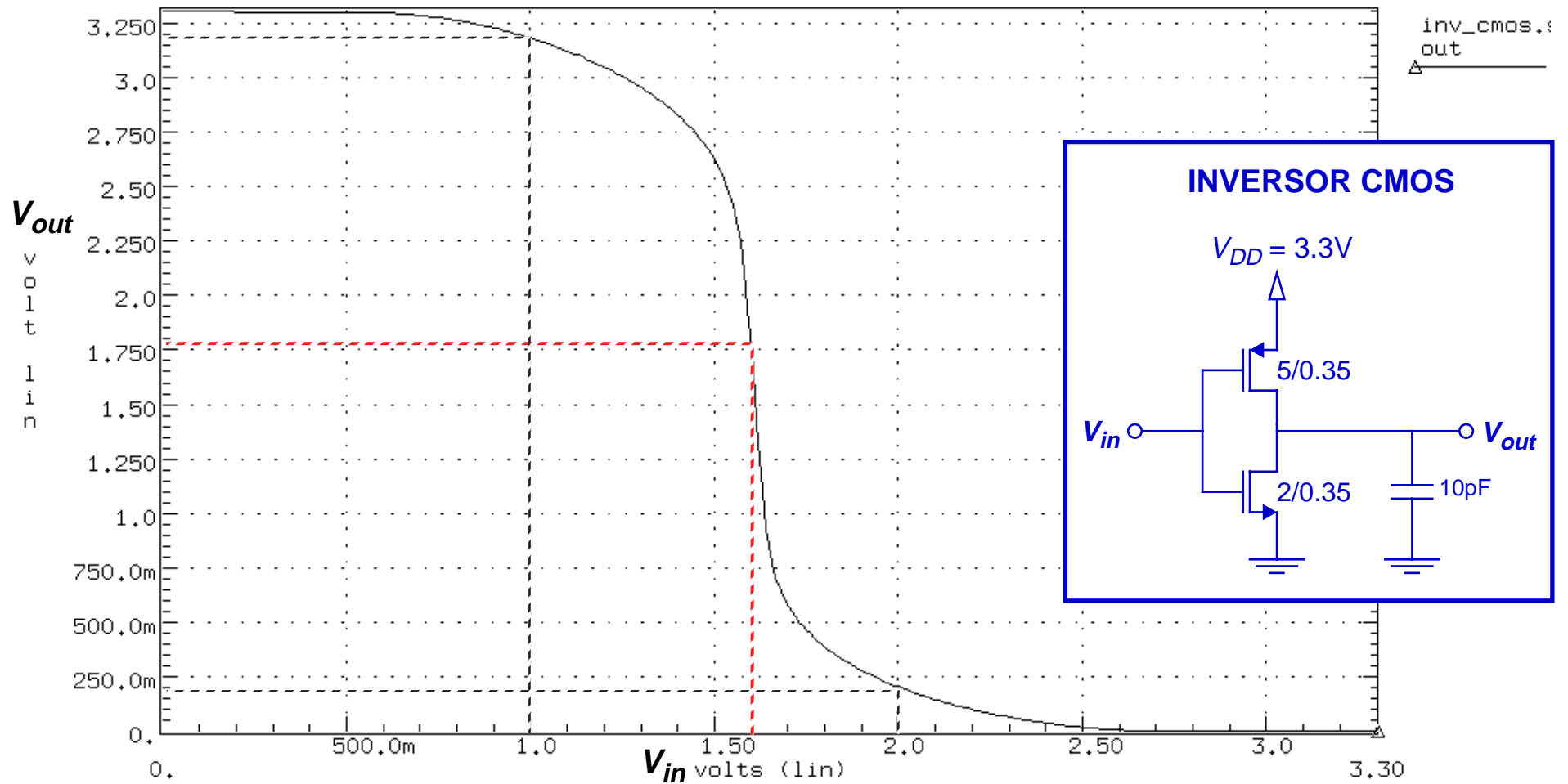
**OPCIONES**

**EFEECTO**

GMIN=x	Resets the value of GMIN, the minimum conductance allowed by the program. The default value is 1.0E-12.
RELTOL=x	Resets the relative error tolerance of the program. The default value is 0.001 (0.1%).
ABSTOL=x	Resets the absolute current error tolerance of the program. The default value is 1pA.
VNTOL=x	Resets the absolute voltage error tolerance of the program. The default value is 1μV.
TRTOL=x	Resets the transient error tolerance. The default value is 7.0. This parameter is an estimate of the factor by which SPICE overestimates the actual truncation error.
CHGTOL=x	Resets the charge tolerance of the program. The default value is 1.0E-14.
PIVTOL=x	Resets the absolute minimum value for a matrix entry to be accepted as a pivot. The default value is 1.0E-13.
PIVREL=x	Resets the relative ratio between the largest column entry and an acceptable pivot value. The default value is 1.0E-3. In the numerical pivoting algorithm the allowed minimum pivot value is determined by $\text{EPSREL}=\text{AMAX1}(\text{PIVREL}*\text{MAXVAL},\text{PIVTOL})$ where MAXVAL is the maximum element in the column where a pivot is sought (partial pivoting).
TNOM=x	Resets the nominal temperature. The default value is 27°C (300 °K).
ITL1=x	Resets the dc iteration limit. The default is 100.
ITL2=x	Resets the dc transfer curve iteration limit. The default is 50.
ITL5=x	Resets the transient analysis total iteration limit the default is 5000. Set ITL5=0 to omit this test.
DEFL=x	Resets the value for MOS channel length; the default is 100.0μm.
DEFW=x	Resets the value for MOS channel width; the default is 100.0μm.
DEFAD=x	Resets the value for MOS drain diffusion area; the default is 0.0.
DEFAS=x	Resets the value for MOS source diffusion area; the default is 0.0.

## ANÁLISIS EN DC: .DC

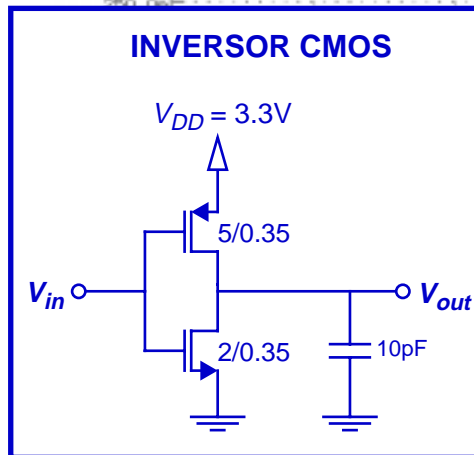
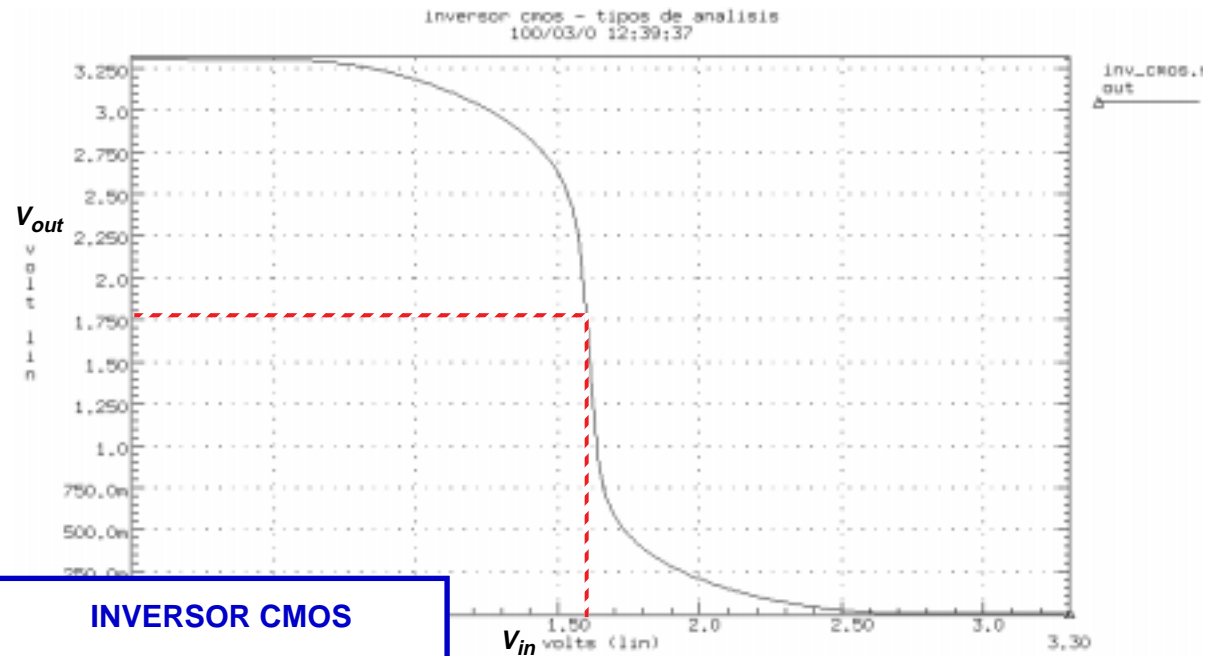
inversor cmos - tipos de analisis  
100/03/0 12:39:37



## ANÁLISIS EN DC: .OP

\*\*\*\* mosfets

element	mn	mp
model	nmos	pmos
id	311.5309u	-311.5310u
ibs	0	0
ibd	-101.8000p	2.272e-17
vgs	1.6000	-1.7000
vds	1.7502	-1.5498
vbs	0	0
vth	573.9130m	-550.4180m
vdsat	830.3756m	-981.8583m
beta	115.0323u	157.8427u
gam eff	527.6252m	527.6252m
gm	440.4485u	437.4501u
gds	14.5032u	29.0124u
gmb	76.2947u	120.8119u
cdtot	2.6143f	6.5795f
cgtot	2.5567f	5.5348f
cstot	5.0148f	13.2306f
cbtot	6.2974f	16.9915f
cgs	2.3439f	4.9162f
cgd	1.455e-16	4.123e-16



## ANÁLISIS EN DC: .TF

\*\*\*\* small-signal transfer characteristics

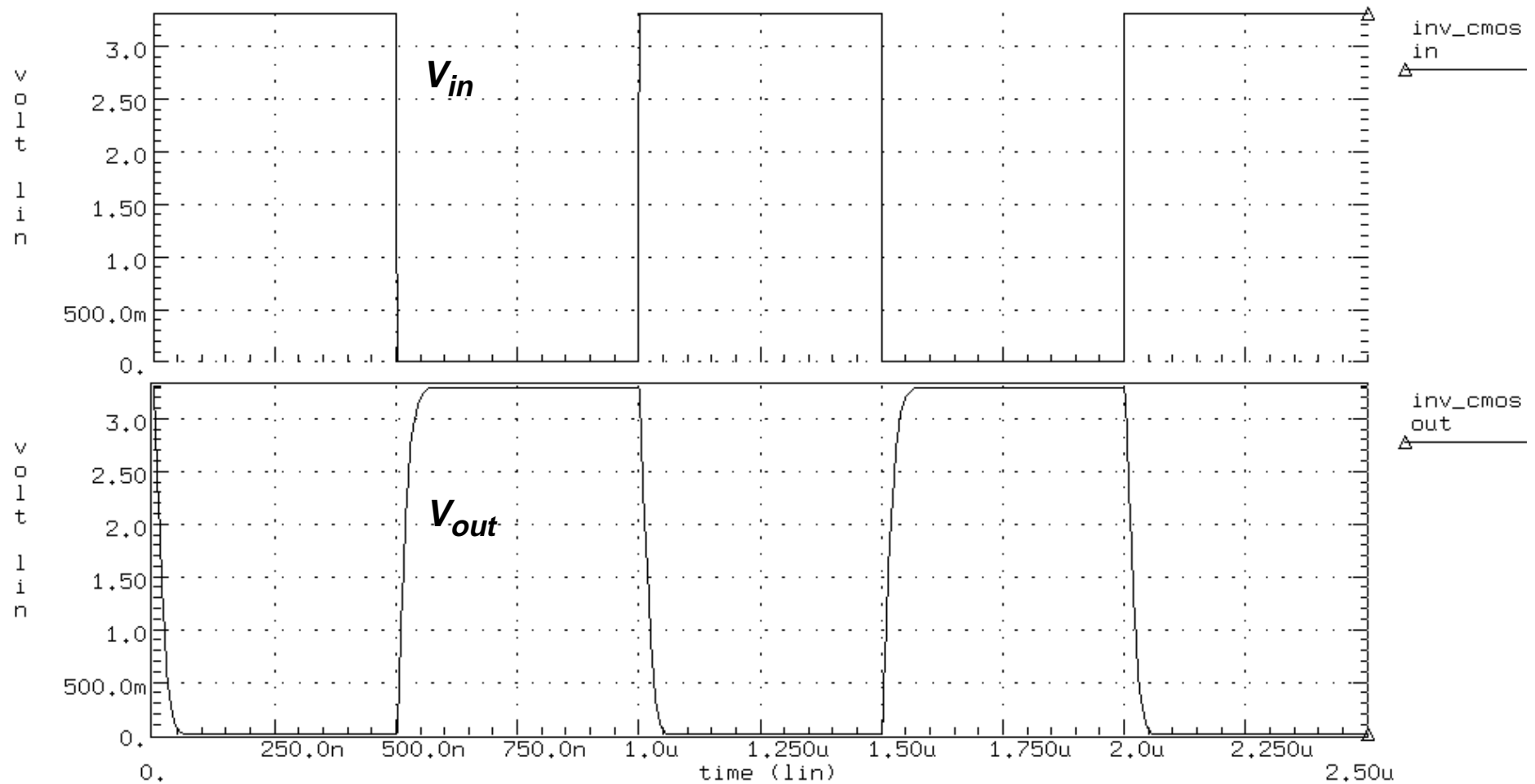
$$v(\text{out})/v_{in} = -20.1737$$

$$\text{input resistance at } v_{in} = 1.000e+20$$

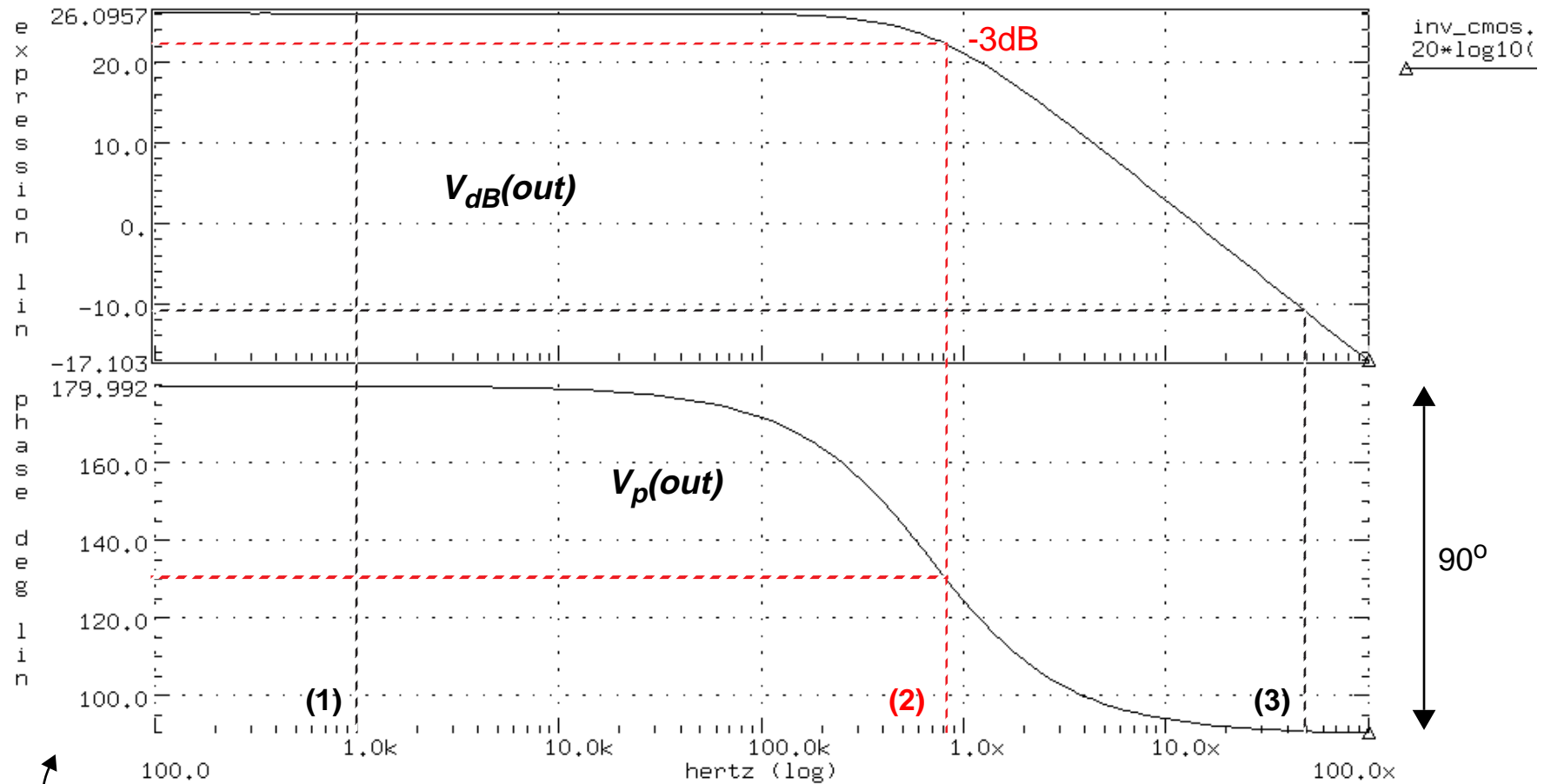
$$\text{output resistance at } v(\text{out}) = 22.9795k$$

**ANÁLISIS TRANSITORIO: .TRAN**

inversor cmos - tipos de analisis  
100/03/0 12:39:37



### ANÁLISIS EN AC: .AC



**ANÁLISIS EN DC: .TF**  
 $V_{out}/V_{in} = -20.17 = 26.09dB$

### ANÁLISIS EN AC: .NOISE

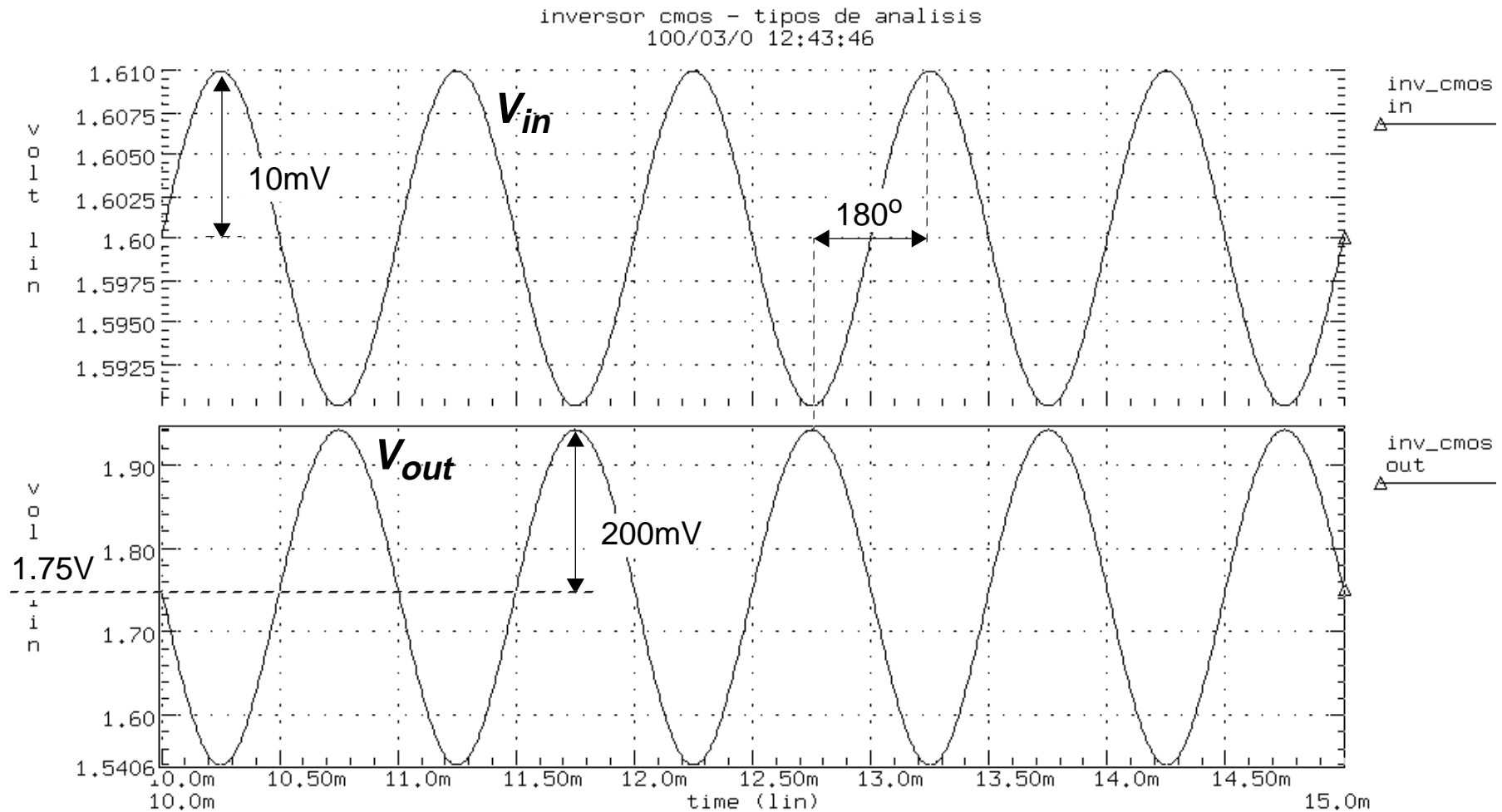
\*\*\*\* Results of the sqrt of integral ( $v^{*2} / freq$ )

\*\*\*\* total output noise voltage = 1.7394m volts

\*\*\*\* total equivalent input noise = 120.0657u

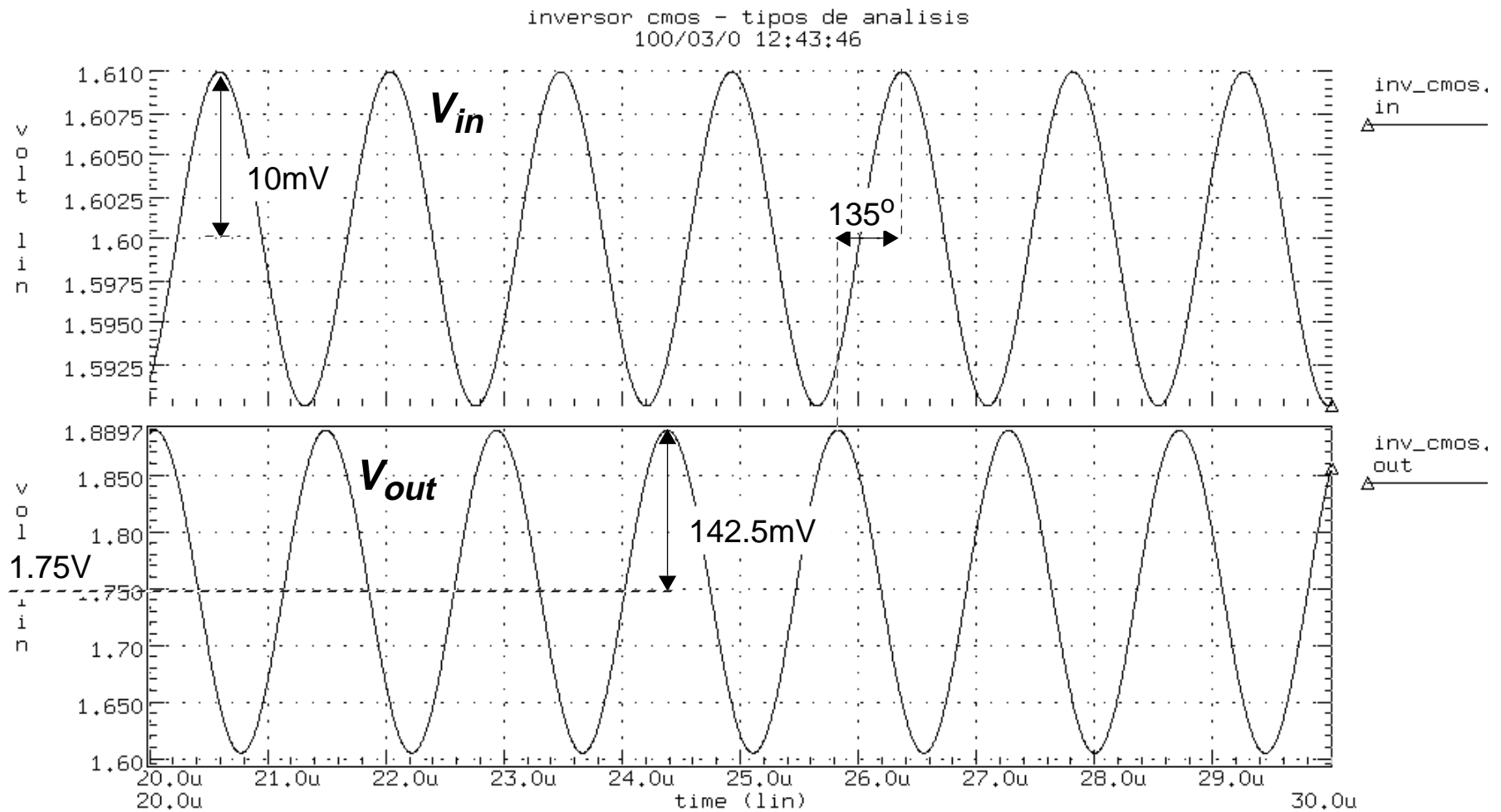
## ANÁLISIS TRANSITORIO: .TRAN

### Relación con el Diagrama de Bode (1)



## ANÁLISIS TRANSITORIO: .TRAN

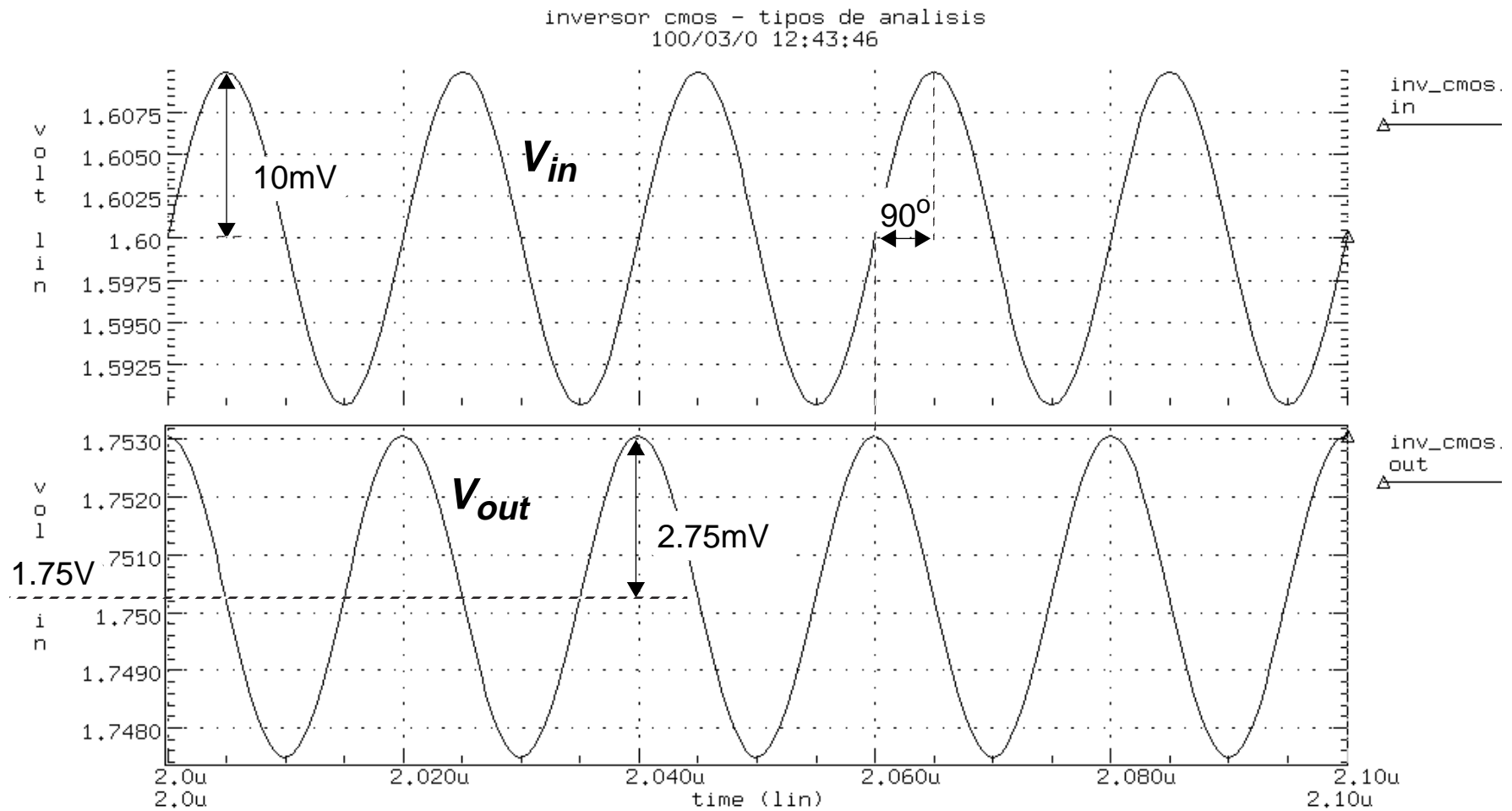
### Relación con el Diagrama de Bode (2)



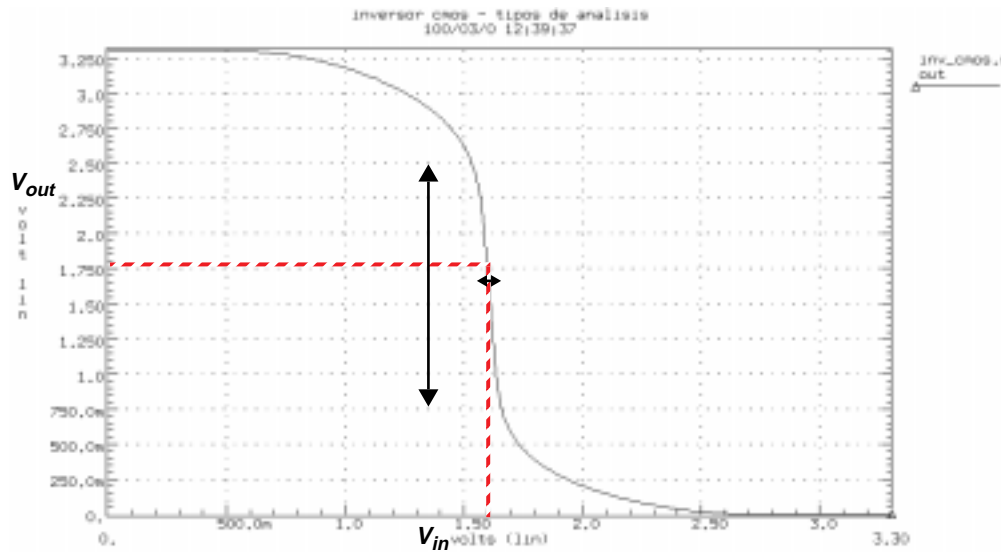


## ANÁLISIS TRANSITORIO: .TRAN

### Relación con el Diagrama de Bode (3)



**ANÁLISIS EN DC: .DC**



**ANÁLISIS TRANSITORIO: .FOUR**

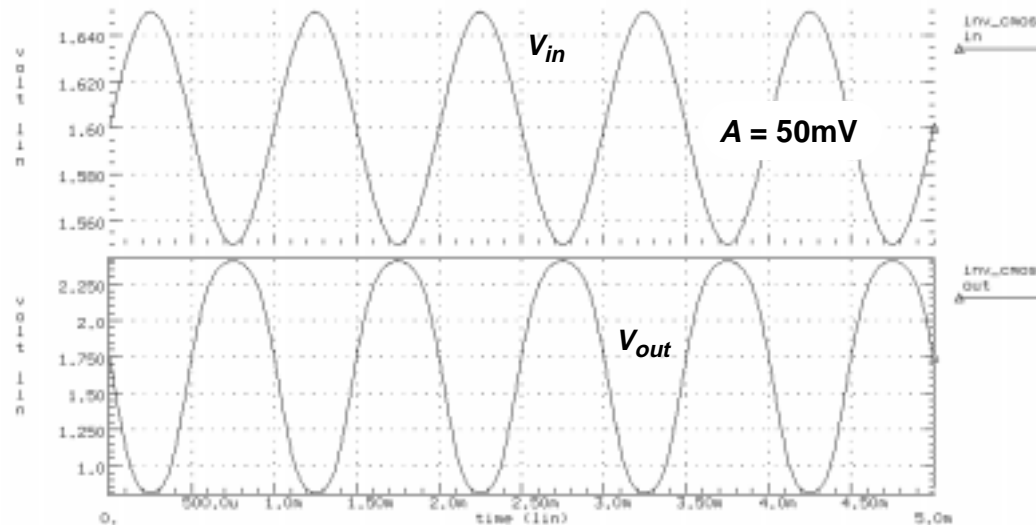
\*\*\*\*\* fourier analysis tnom= 25.000 temp= 25.000

fourier components of transient response v(out)

dc component = 1.667D+00

harmonic no	frequency (hz)	fourier component	normalized phase component (deg)	normalized phase (deg)
1	1.0000k	855.7490m	1.0000	179.9985
2	2.0000k	68.8141m	80.4139m	89.9990
3	3.0000k	55.5648m	64.9312m	-179.9929
4	4.0000k	15.3072m	17.8875m	90.0207
5	5.0000k	1.3988m	1.6345m	-438.7839m
6	6.0000k	374.9768u	438.1855u	-90.9938
7	7.0000k	1.3253m	1.5487m	-158.0425m
8	8.0000k	955.4913u	1.1166m	-90.1097
9	9.0000k	190.5515u	222.6722u	-179.7079

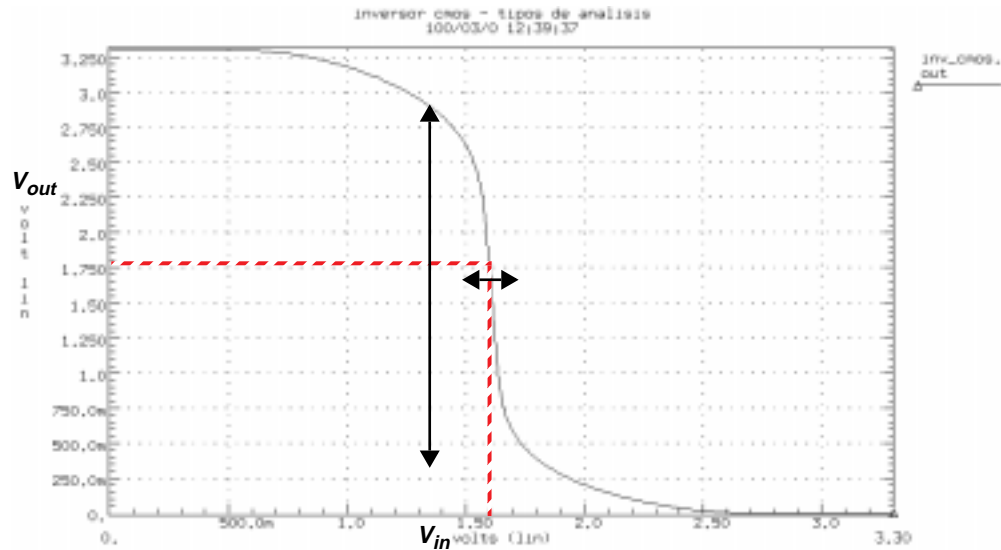
**ANÁLISIS TRANSITORIO: .TRAN**



1	1.0000k	855.7490m	1.0000	179.9985	0.
2	2.0000k	68.8141m	80.4139m	89.9990	-89.9995
3	3.0000k	55.5648m	64.9312m	-179.9929	-359.9913
4	4.0000k	15.3072m	17.8875m	90.0207	-89.9778
5	5.0000k	1.3988m	1.6345m	-438.7839m	-180.4372
6	6.0000k	374.9768u	438.1855u	-90.9938	-270.9922
7	7.0000k	1.3253m	1.5487m	-158.0425m	-180.1565
8	8.0000k	955.4913u	1.1166m	-90.1097	-270.1082
9	9.0000k	190.5515u	222.6722u	-179.7079	-359.7063

total harmonic distortion = 10.4924 percent

**ANÁLISIS EN DC: .DC**



**ANÁLISIS TRANSITORIO: .FOUR**

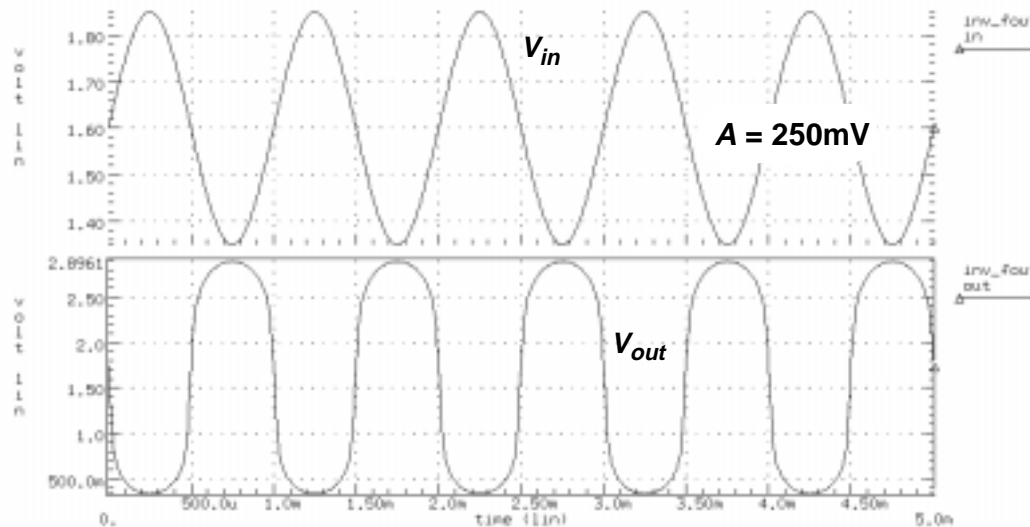
\*\*\*\*\* fourier analysis tnom= 25.000 temp= 25.000

fourier components of transient response v(out)

dc component = 1.618D+00

harmonic no	frequency (hz)	fourier component	normalized phase component (deg)	normalized phase (deg)
1	1.0000k	1.5191	1.0000	179.9949
2	2.0000k	15.6135m	10.2784m	89.9528 -90.0421
3	3.0000k	338.4282m	222.7886m	179.9847 -10.2386m
4	4.0000k	22.2844m	14.6699m	89.9400 -90.0549
5	5.0000k	157.1142m	103.4289m	179.9838 -11.0779m
6	6.0000k	20.8522m	13.7271m	89.9233 -90.0716
7	7.0000k	87.1199m	57.3514m	179.9983 3.4485m
8	8.0000k	18.1878m	11.9731m	89.9160 -90.0789
9	9.0000k	51.3885m	33.8293m	-179.9655 -359.9604

**ANÁLISIS TRANSITORIO: .TRAN**



1	1.0000k	1.5191	1.0000	179.9949	0.
2	2.0000k	15.6135m	10.2784m	89.9528	-90.0421
3	3.0000k	338.4282m	222.7886m	179.9847	-10.2386m
4	4.0000k	22.2844m	14.6699m	89.9400	-90.0549
5	5.0000k	157.1142m	103.4289m	179.9838	-11.0779m
6	6.0000k	20.8522m	13.7271m	89.9233	-90.0716
7	7.0000k	87.1199m	57.3514m	179.9983	3.4485m
8	8.0000k	18.1878m	11.9731m	89.9160	-90.0789
9	9.0000k	51.3885m	33.8293m	-179.9655	-359.9604

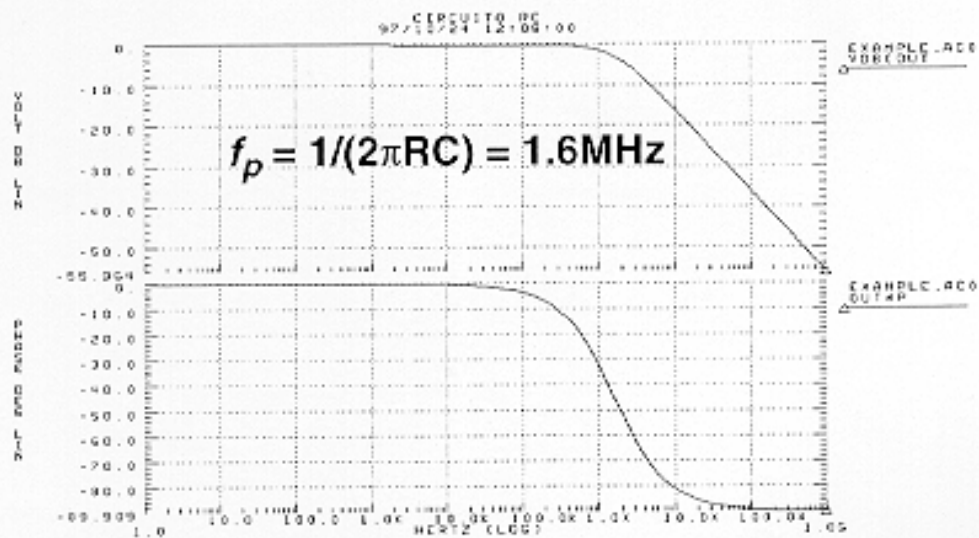
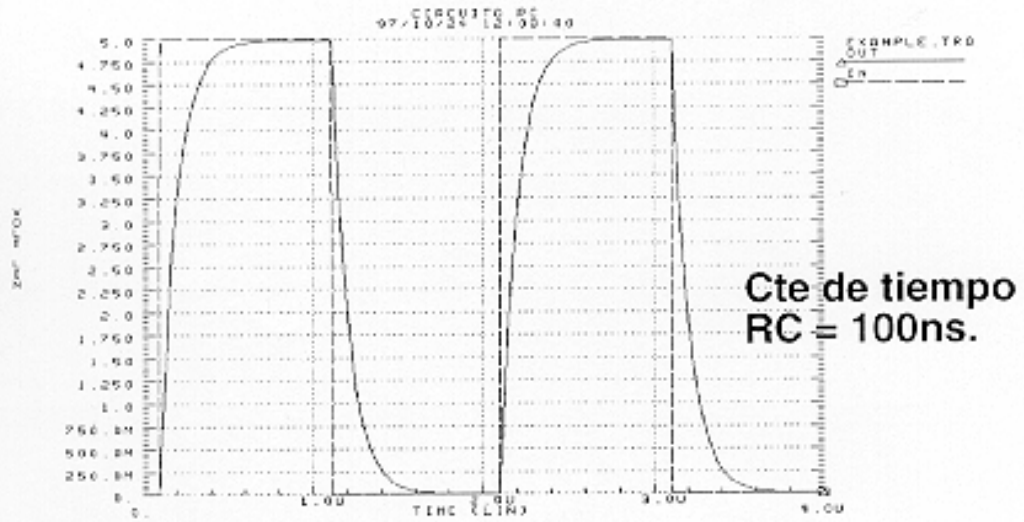
total harmonic distortion = 25.5771 percent

Ejemplo: Circuito RC

Circuito RC

```
vin in 0 ac pulse (0 5 100n 5n 5n 1u 2u)
res in out 10k
cap out 0 10p
```

```
.tran 5n 4u
.ac dec 10 1 1g
.end
```



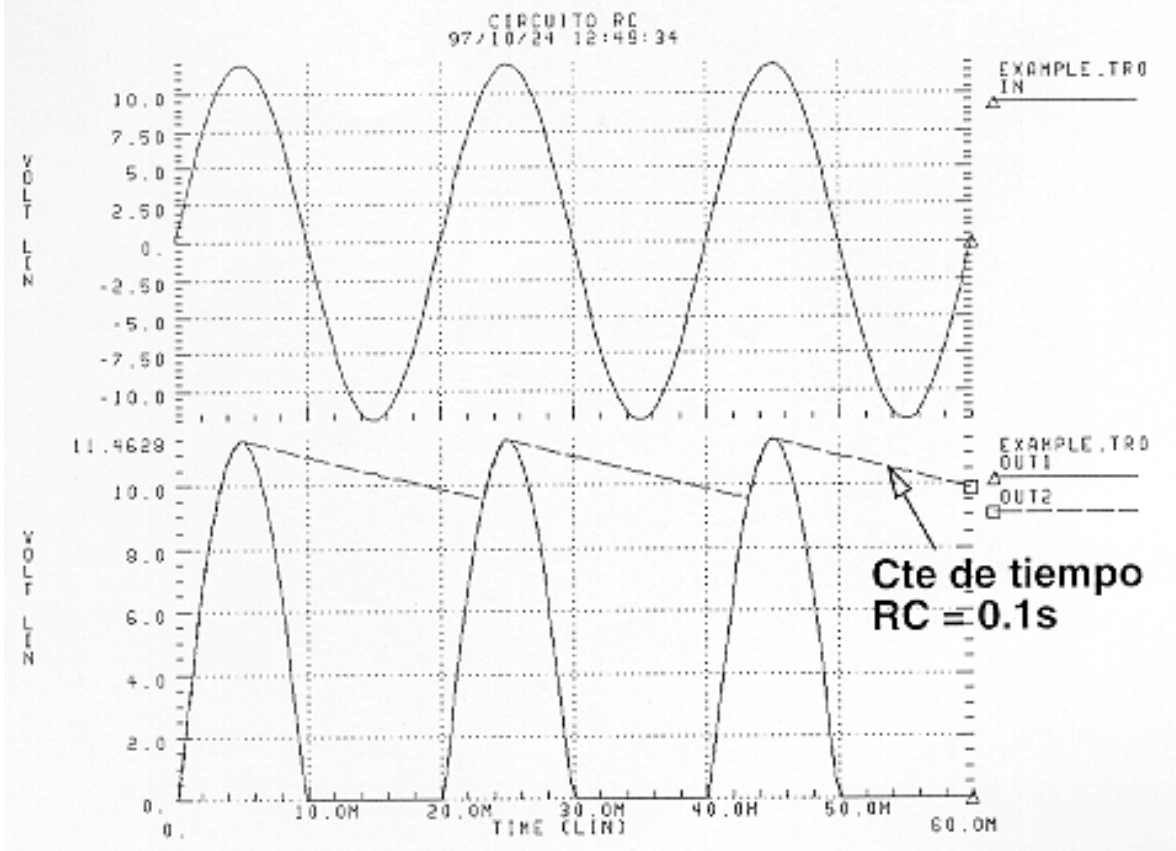
**Ejemplo: Circuito Rectificador**

Circuito Rectificador

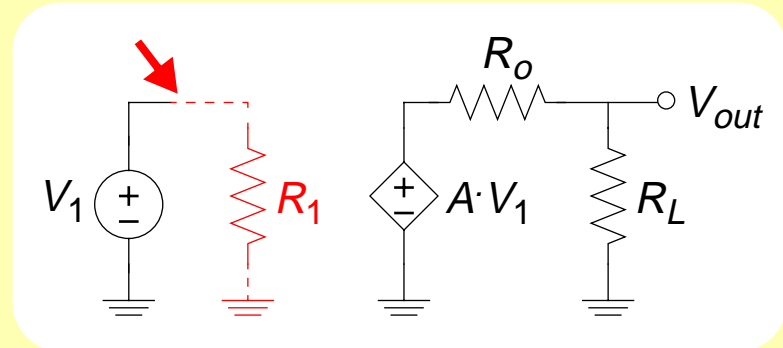
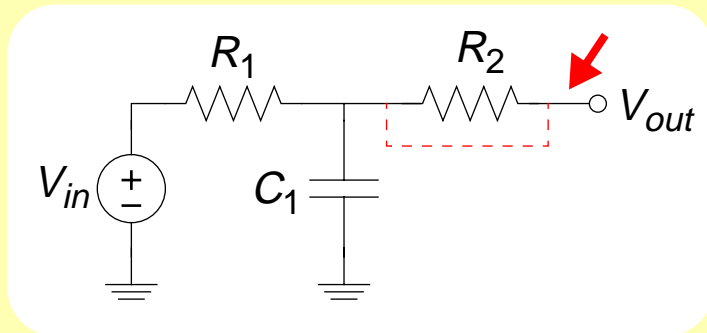
```

vin in 0 sin(0 12 50 0 0)
d1 in out1 dm
r1 out1 0 10k

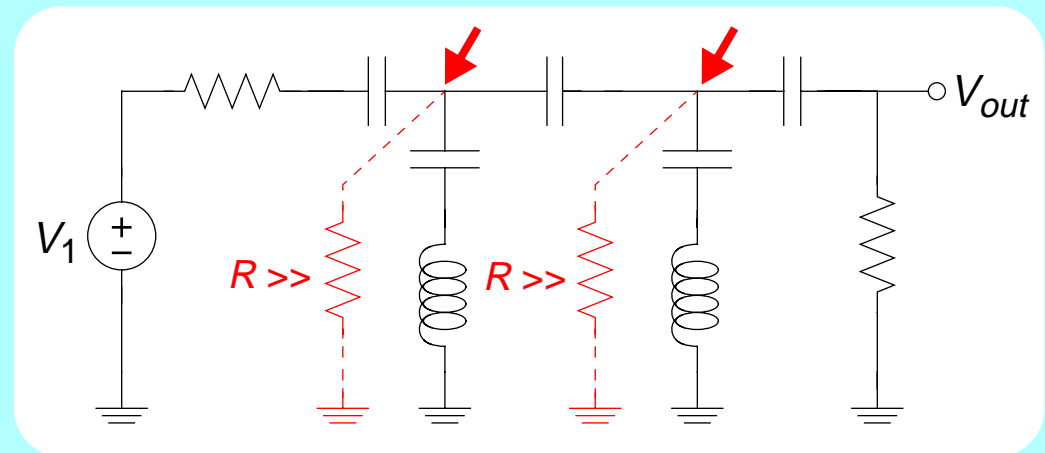
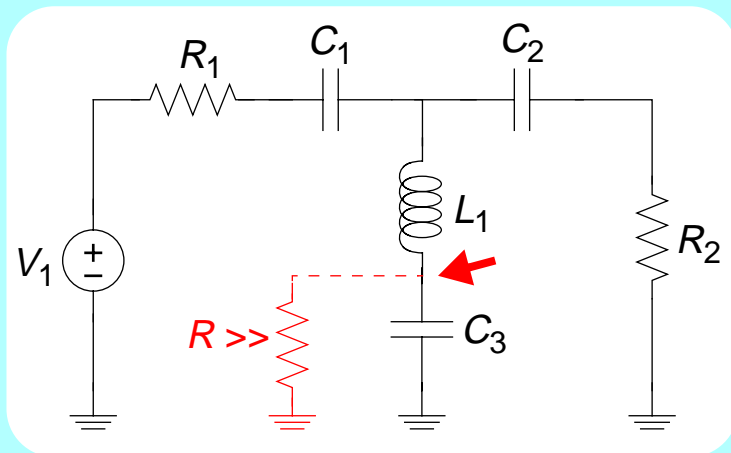
d2 in out2 dm
r2 out2 0 10k
cap out2 0 10u
.model dm d cjo=2p rs=1 is=1p
.tran 0.1m 0.06
.end
    
```



1) NUDOS CON MENOS DE 2 CONEXIONES

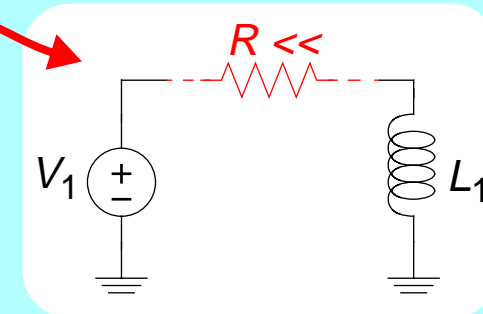
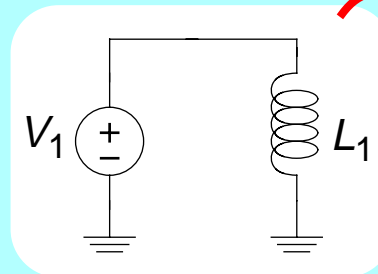
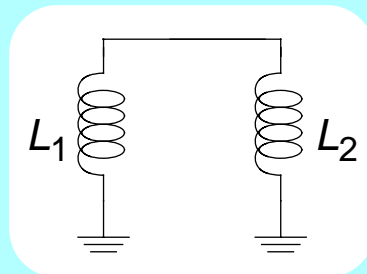
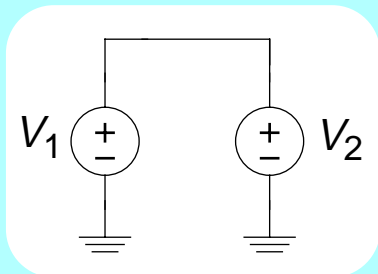


2) NUDOS FLOTANTES → Sin camino de DC a tierra



### 3) LAZOS DE FUENTES Y/O INDUCTORES

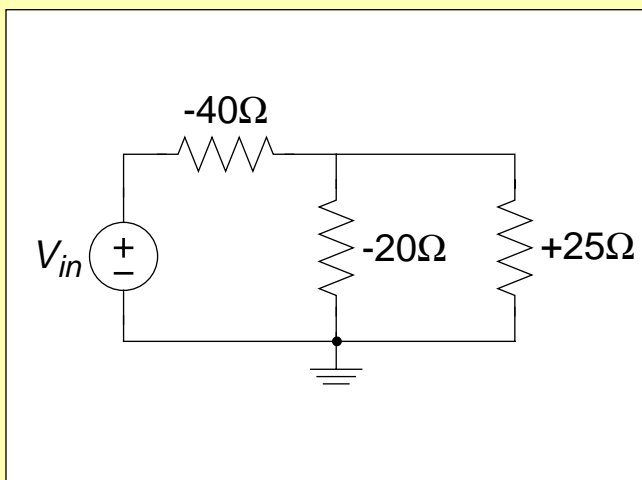
Lazos de resistencia cero: V, L, VCVS, CCVS



### 4) VALORES NEGATIVOS DE COMPONENTES

Se permiten valores  $< 0$  de R, C y L  $\rightarrow$  .OP, .DC, .AC ✓

.TRAN ~ Posible inestabilidad



\*\*warning\*\* 0:r1 resistance is negative. it may cause instability problem.

\*\*warning\*\* 0:r2 resistance is negative. it may cause instability problem.

node	=voltage	node	=voltage
+0:1	= 1.0000	0:2	= 714.2857m

\*\*\*\* small-signal transfer characteristics

v(2)/vin	= 714.2857m
input resistance at vin	= -140.0000
output resistance at v(2)	= -28.5714

## 5) CIRCUITOS GRANDES

- **Memoria RAM** → Dividir el circuito y simular independientemente cada parte
- **Limitación del Simulador**

PSpice (ver. Evaluación)	
Nudos	64
Transistores	10
OpAmps	2
Primitivas Digitales	65

## 6) CIRCUITOS MÚLTIPLES

Fichero de entrada con varios circuitos



PSpice simula todos por orden ✓



PROBE almacena sólo los datos del último ✗

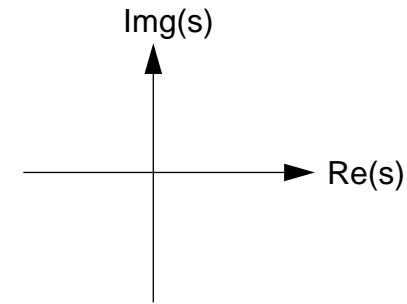
## 7) TRANSITORIOS LARGOS

- **Limitación del número de *print steps*: LIMPTS** en .OPTIONS      LIMPTS = 0 (ilim, default)  
LIMPTS = 32000 (máx)
- **Limitación del número de *iteraciones*: ITL5** en .OPTIONS      ITL5 = 5000 (default)  
ITL5 = 0 (ilim)
- **Datos limitados en PROBE:** 16000 ptos → .TRAN 10US 10MS 8MS





$$H(s) = K \frac{s \prod_i \left(1 + \frac{s}{w_{z_i}}\right) \prod_i \left(1 + \frac{2\xi_{z_i}}{w_{nz_i}}s + \frac{s^2}{w_{nz_i}^2}\right)}{s \prod_i \left(1 + \frac{s}{w_{p_i}}\right) \prod_i \left(1 + \frac{2\xi_{p_i}}{w_{np_i}}s + \frac{s^2}{w_{np_i}^2}\right)}$$



← SEMIPLANO IZQUIERDO →

	$K > 0$	polo $s = 0$	cero $s = 0$	polo real $s = w_p$	cero real $s = w_z$	polos complejos ( $w_{np}$ )	ceros complejos ( $w_{nz}$ )
$ H(jw) $	$20\log K$	-20dB/dec	+20dB/dec	-20dB/dec	+20dB/dec	-40dB/dec	+40dB/dec
$\Phi_H(jw)$	0	$-\pi/2$	$+\pi/2$	$-\pi/2$	$+\pi/2$	$-\pi$	$+\pi$

← SEMIPLANO DERECHO →

	$K < 0$	polo real $s = w_p$	cero real $s = w_z$	polos complejos ( $w_{np}$ )	ceros complejos ( $w_{nz}$ )
$ H(jw) $	$20\log K$	-20dB/dec	+20dB/dec	-40dB/dec	+40dB/dec
$\Phi_H(jw)$	$-\pi$	$+\pi/2$	$-\pi/2$	$+\pi$	$-\pi$

