

# **Funciones Básicas de SPICE**

**Dr. José Ernesto Rayas-Sánchez**

1

## **Funciones Básicas del Simulador SPICE**

---

- Fuentes independientes de voltaje y corriente
- Análisis transitorio
- Estímulos especiales para análisis transitorio
- Análisis de C.A.
- Impedancias de entrada, de salida, ganancias, etc.
- Análisis de C.D.
- Función de transferencia en señal pequeña en C.D.
- Análisis de Fourier y distorsión armónica total
- Simulación paramétrica

## Fuentes Independientes de Voltaje y Corriente

- Comando en lenguaje SPICE para fuentes de voltaje:  
`Vnombre N+ N- <DC/TRAN VALUE> <AC ACMAG <ACPHASE>>`
- Se asume que el primer nodo corresponde a la terminal positiva de la fuente de voltaje y el segundo a la negativa
- Comando en lenguaje SPICE para fuentes de corriente:  
`Inombre N+ N- <DC/TRAN VALUE> <AC ACMAG <ACPHASE>>`
- Se asume que la flecha de la fuente de corriente apunta del primer nodo al segundo (de N+ a N-)
- Ejemplos:  
`VCC input 0 DC 12V`  
`VIN 11 3 0.001V AC 1 SIN(0 1V 1MEGHZ)`  
`Is 0 in DC 1mA`

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

3

## Análisis Transitorio

- Se emplea para calcular la respuesta en el tiempo de un circuito, desde 0 segundos hasta un tiempo especificado
- Es como usar un osciloscopio de memoria
- Se especifican: tiempo final, paso de impresión, [tiempo inicial de impresión, y máximo paso de integración]
- Se pueden usar diferentes estímulos de entrada
- Comando en lenguaje SPICE:  
`.TRAN TSTEP TSTOP <TSTART <TMAX>>`
- Ejemplos:  
`.TRAN 1NS 100NS`  
`.TRAN 1NS 1000NS 500NS`

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

4

## Estímulos Transitorios – Pulsos Trapezoidales

- Pulsos de voltaje o de corriente

PULSE(V1 V2 TD TR TF PW PER)

parámetro	valor de omisión	unidad
$V_1$ (nivel inicial)		V o A
$V_2$ (nivel del pulso)		V o A
$T_D$ (tiempo de retardo)	0.0	s
$T_R$ (tiempo de subida)	$T_{STEP}$	s
$T_F$ (tiempo de bajada)	$T_{STEP}$	s
$PW$ (pulse width)	$T_{STOP}$	s
$PER$ (period)	$T_{STOP}$	s

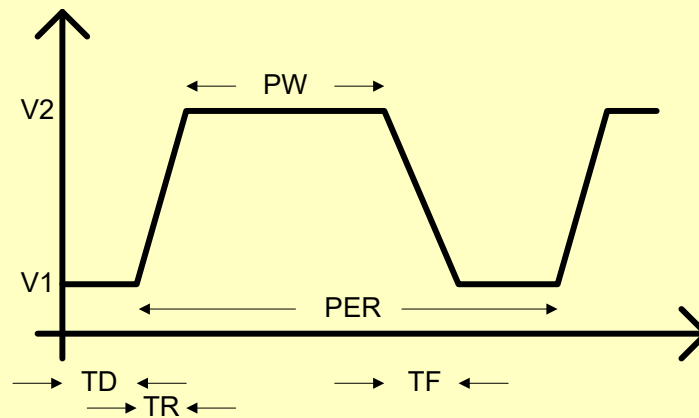
- Ejemplo:

VIN 3 0 PULSE(-1 1 2NS 2NS 2NS 50NS 100NS)

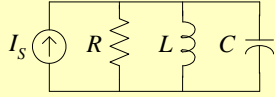
## Estímulos Transitorios – Pulsos Trapezoidales

- Pulsos de voltaje o de corriente

PULSE(V1 V2 TD TR TF PW PER)



## Ejercicio: Circuito Tanque – Transitorio



- Análisis transitorio
- Pulsos trapezoidales
- Medición de corrientes

```

RLC Tank
* -----
*
*                               RLC Tank

Is 0  Vs  DC 0 AC 1mA PULSE(0A 10mA 0s 1ns 1ns 10ns 1.3us)
L  Vs  0  10uH
R  Vs  0  820
C  Vs  0  2.53nF

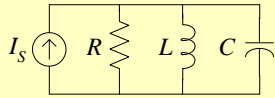
.control
TRAN 1ns 15us
plot v(Vs)
.endc

.end
    
```

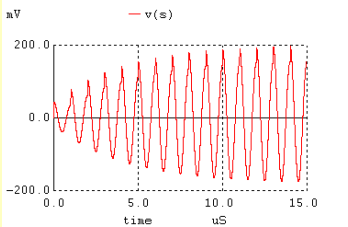
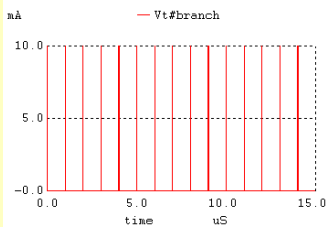
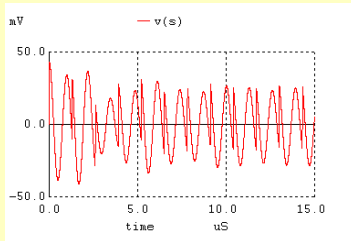
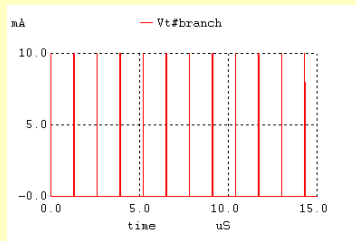
Dr. J. E. Rayas-Sánchez

7

## Ejercicio: Circuito Tanque – Transitorio (cont.)



- Análisis transitorio
- Pulsos trapezoidales
- Medición de corrientes



Dr. J. E. Rayas-

8

## Estímulos Transit. – Senoidales Amortiguadas

---

- Señales senoidales amortiguadas de voltaje o de corriente  
`SIN (Voff Vamp f Td Df)`

parámetros	valor de omisión	unidad
$V_{off}$ (desnivel u offset)		V o A
$V_{amp}$ (amplitud)		V o A
$f$ (frecuencia)	$1/T_{STOP}$	Hz
$T_d$ (retardo)	0.0	s
$D_f$ (factor de amortiguamiento)	0.0	1/s

- Ejemplo  
`VIN 3 0 SIN(0 1 100MEG)`

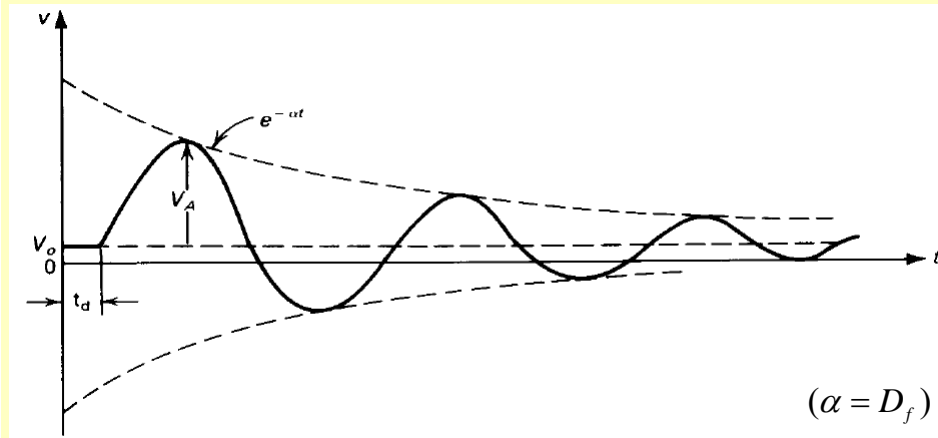
## Estímulos Transit. – Senoidales Amortiguadas

---

- Interpretación matemática:

intervalo	valor
0 to $T_d$	$V_{off}$
$T_d$ to $T_{STOP}$	$V_{off} + V_{amp} e^{-(t-T_d)D_f} \sin(2\pi f(t + T_d))$

## Estímulos Transit. – Senoidales Amortiguadas



Dr. J. E. Rayas-Sánchez

11

## Estímulos Transitorios – Pulsos Exponenciales

- Pulsos exponenciales de voltaje o de corriente  
 EXP(V1 V2 TRD TAUR TFD TAUF)

parámetro	valor de omisión	unidad
$V_1$ (nivel inicial)		V o A
$V_2$ (nivel del pulso)		V o A
$T_{RD}$ (tiempo de retardo para subir)	0.0	s
$\tau_R$ (constante de tiempo de subida)	$T_{STEP}$	s
$T_{FD}$ (tiempo de retardo para bajar)	$T_{RD} + T_{STEP}$	s
$\tau_F$ (constante de tiempo de bajada)	$T_{STEP}$	s

- Ejemplo  
 VIN 3 0 EXP(-4 -1 2NS 30NS 60NS 40NS)

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

12

## Estímulos Transitorios – Pulsos Exponenciales

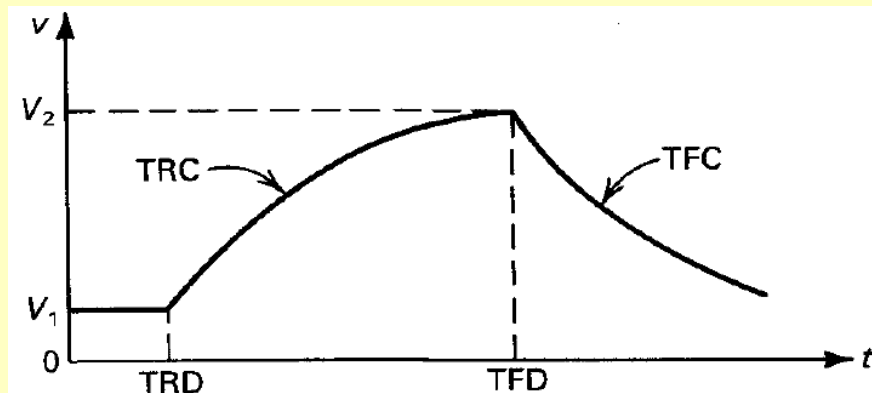
- Interpretación matemática del pulso exponencial

intervalo	valor
0 a $T_{RD}$	$V_1$
$T_{RD}$ a $T_{FD}$	$V_1 + (V_2 - V_1) \left( 1 - e^{-\frac{(t-T_{RD})}{\tau_R}} \right)$
$T_{FD}$ a $T_{STOP}$	$V_1 + (V_2 - V_1) \left( -e^{-\frac{(t-T_{RD})}{\tau_R}} \right) + (V_1 - V_2) \left( 1 - e^{-\frac{(t-T_{FD})}{\tau_F}} \right)$

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

13

## Estímulos Transitorios – Pulsos Exponenciales



$$(\tau_R = TRC)$$

$$(\tau_F = TFC)$$

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

14

## Estímulos Transitorios – Señal de FM

---

- Señal de FM

SFFM(Voff Vamp FC M FS)

parámetro	valor de omisión	unidad
$V_{off}$ (desnivel u offset)		V o A
$V_{amp}$ (amplitude)		V o A
$F_C$ (frecuencia portadora)	$1/T_{STOP}$	Hz
$M$ (índice de modulación)		
$F_S$ (frecuencia de la señal)	$1/T_{STOP}$	Hz

- Ejemplo

V1 12 0 SFFM(0 1M 20K 5 1K)

- Matemáticamente se expresa como:

$$V = V_{off} + V_{amp} \sin[(2\pi F_C t) + M \sin(2\pi F_S t)]$$

## Estímulos Transitorios – Señal Lineal a Trozos

---

- Lineal a trozos (*piece-wise linear*)

PWL(T1 V1 <T2 V2 T3 V3 T4 V4 ...>)

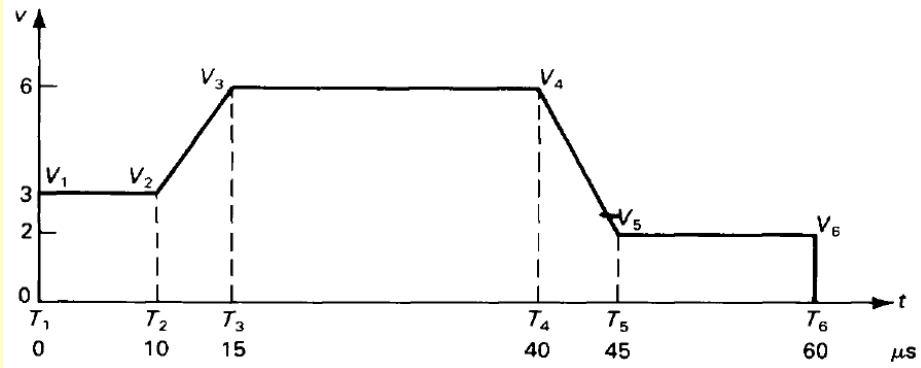
- Ejemplo

VRELOJ 7 5 PWL(0 -7 10NS -7 11NS -3 17NS  
 -3 18NS -7 50NS -7)

- Útil para representar formas de onda arbitrarias, en donde cada par TIEMPO-VOLTAJE representa un punto por donde pasa la forma de onda; los puntos se unen por líneas rectas (interpolación lineal)



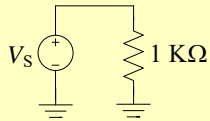
## Señal Lineal a Trozos – Ejemplo



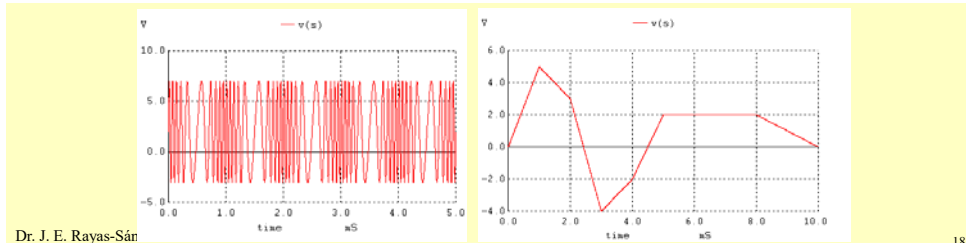
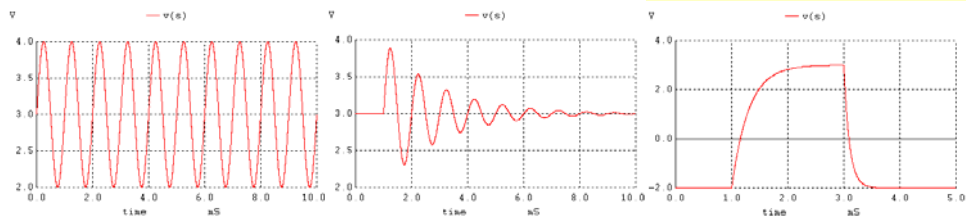
Dr. J. E. Rayas-Sánchez

17

## Ejercicio: Fuente Ideal de Voltaje



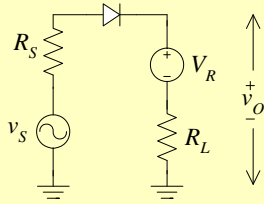
- Análisis transitorio
- Estímulos especiales



Dr. J. E. Rayas-Sán

18

## Ejercicio: Recortador en Serie



- Análisis transitorio
- Uso de modelos

```
Series Clipper
Vs in 0 DC 0 AC 1 SIN(0 4V 1KHz)
Rs in in2 1
D1 in2 out 1N4004
*D1 in2 out ideal_diode
VR out out2 DC 2
RL out2 0 100
```

\* Quasi Ideal Diode

→ `.model ideal_diode D (Is=1pA n=0.01)`

\* 1N4004 - 1A 400V General Purpose Rectifier

→ `.MODEL 1N4004 D (IS=3.699E-09 RS=1.756E-02 N=1.774`

`+ XTI=3.0 EG=1.110 CJO=1.732E-11 M=0.3353`

`+ VJ=0.3905 FC=0.5 BV=400 IBV=1.0E-03)`

`.TRAN 10E-6 4E-3`

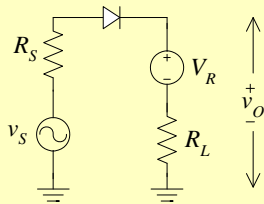
`.plot tran v(in) v(out)`

`.end`

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

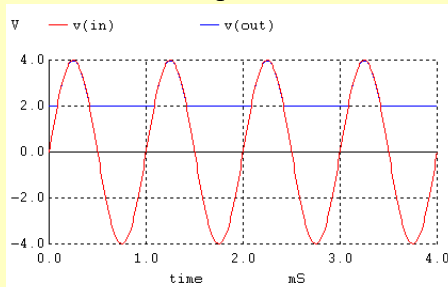
19

## Ejercicio: Recortador en Serie (cont.)

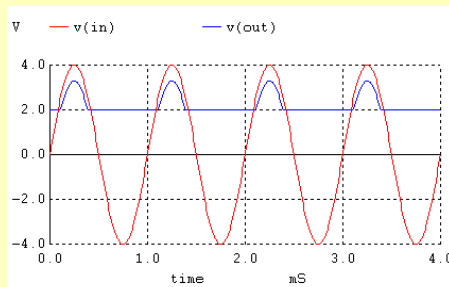


- Análisis en AC
- Uso de modelos

Diodo quasi ideal:



Diodo 1N4004:



Dr. J. E. Rayas-Sánchez

20

## Análisis de Corriente Alterna

- Calcula la respuesta a la frecuencia del circuito en señal pequeña (linealizando alrededor del punto de operación), desde una frecuencia inicial hasta una frecuencia final
- Las señales de entrada pueden tener diferentes amplitudes y ángulos
- Barridos: lineal, octavas o décadas
- Comando en lenguaje SPICE:  

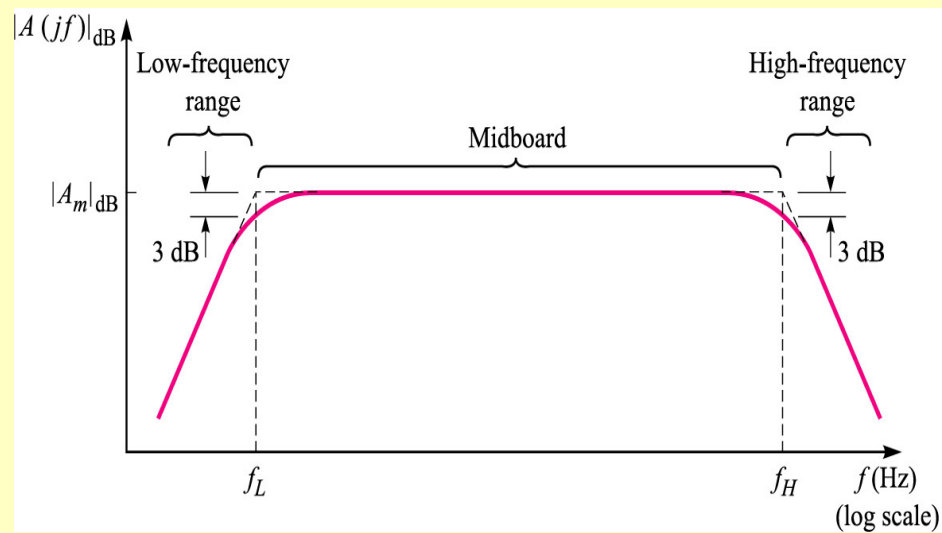
```
.AC [DEC] [OCT] [LIN] NP f_inic f_final
```
- Ejemplo:  

```
.AC DEC 100 10HZ 100MEGHZ
```

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

21

## Análisis de Corriente Alterna (cont)



Dr. J. E. Rayas-Sánchez

22

## Análisis de Corriente Alterna (cont)

$A_M$  midband gain

$\omega_L$  cutoff low frequency, 3-dB low frequency

$\omega_H$  cutoff high frequency, 3-dB high frequency

Bandwidth ( $BW$ )

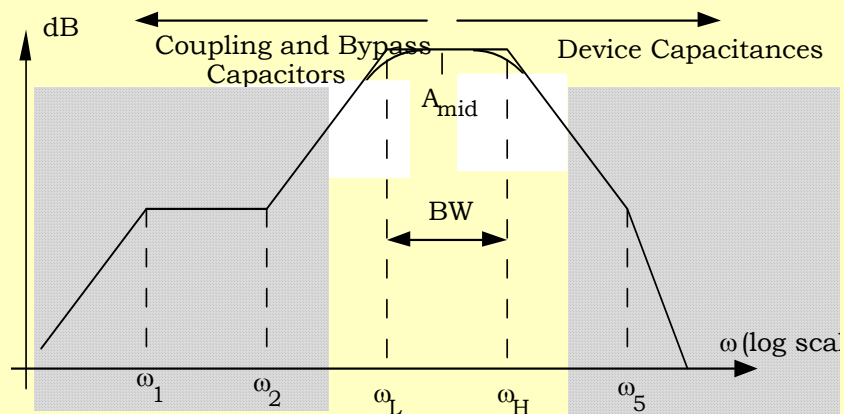
$$BW = f_H - f_L \quad (\text{Hz}) \quad BW = \omega_H - \omega_L \quad (\text{rad/sec})$$

usually  $\omega_H \gg \omega_L$ ,  $BW \approx \omega_H$

Gain-Bandwith Product ( $GB$ )

$$GB = A_M \omega_H$$

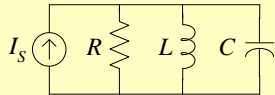
## Análisis de Corriente Alterna (cont)



## Variables de Salida (Análisis de CA)

<i>V</i>	magnitud (equivalente a <i>VM</i> )
<i>VR</i>	parte real
<i>VI</i>	parte imaginaria
<i>VM</i>	magnitud
<i>VP</i>	fase
<i>VDB</i>	decibeles = $20 \log_{10}(\text{magnitud})$ (para corrientes, sustituir <i>V</i> por <i>I</i> )

## Ejercicio: Circuito Tanque – AC



- Análisis en AC
- Análisis transitorio

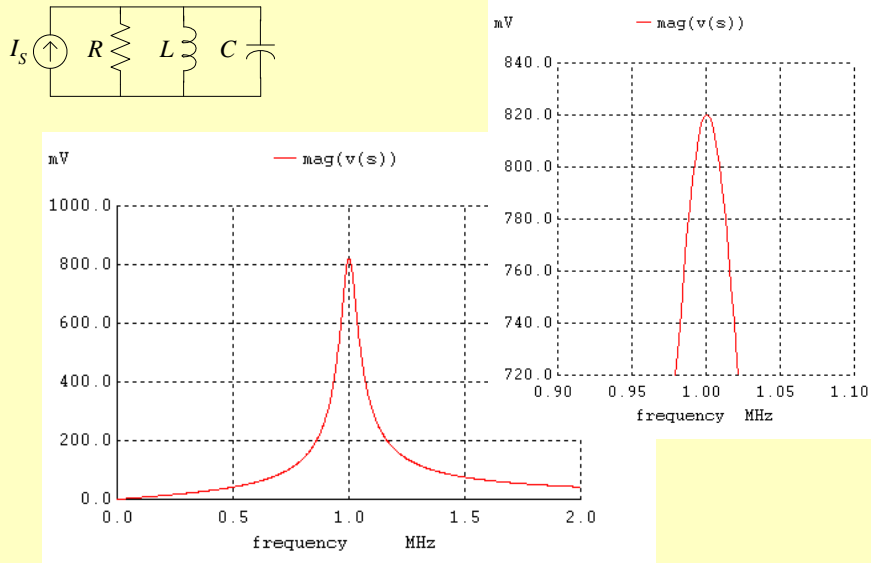
RLC\_Tank\_1MHz

```
Is 0 in DC 0 AC 1mA PULSE(0A 1mA 0s 1ns 1ns 10ns 1us)
Vt in Vs DC 0V
L Vs 0 10uH
R Vs 0 820
C Vs 0 2.53nF
```

```
.control
AC LIN 1000 50Hz 2MEGhz
plot v(Vs)
TRAN 0.5ns 10us
plot v(Vs)
plot i(Vt)
.endc

.end
```

## Ejercicio: Circuito Tanque – AC (cont.)



Dr. J. E. Rayas-Sánchez

27

## Análisis de C.D.

- Analiza a 0 Hz el circuito (capacitores abiertos e inductancias en corto)
- Puede realizarse mediante tres comandos distintos:
  - .OP (cálculo del punto de operación)
  - .TF (función de transferencia en señal pequeña a 0 Hz)
  - .DC (barrido de corriente directa)

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

28

## Punto de Operación (.OP)

---

- Calcula del punto de operación (*bias point*)
- Proporciona:
  - Listado de los voltajes de todos los nodos
  - Las corrientes de todas las fuentes de voltaje y sus potencias
  - Listado de los parámetros de señal pequeña de todos los dispositivos activos
- Comando en lenguaje SPICE: `.OP`
- Se efectúa automáticamente antes de un `.TRAN` o un `.AC`

## Función de Transferencia (.TF)

---

- Calcula la función de transferencia de C.D. en señal pequeña entre una fuente de entrada y un nodo de salida (linealiza el circuito alrededor del punto de operación)
- Proporciona:
  - La ganancia en señal pequeña de C.D. de la entrada a la salida
  - La resistencia de entrada a 0 Hz
  - La resistencia de salida a 0 Hz
- Comando en lenguaje SPICE:  
`.TF variable_de_salida fuente_de_entrada`

## Función de Transferencia (.TF)

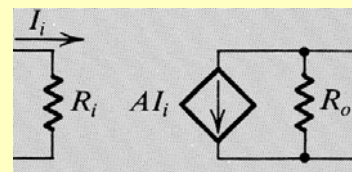
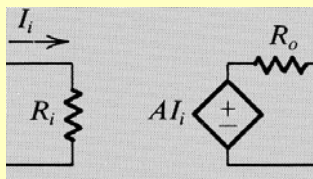
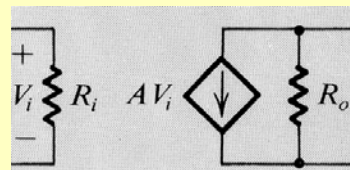
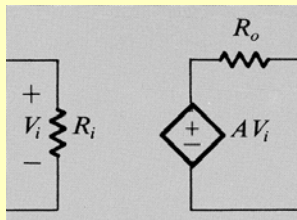
- Ejemplos:
  - `.TF V(8,2) VS`
  - `.TF I(VLOAD) VS`
  - `.TF V(3) IS`
  - `.TF I(out) IS`

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

31

## Función de Transferencia (.TF)

- Cuatro posibilidades:

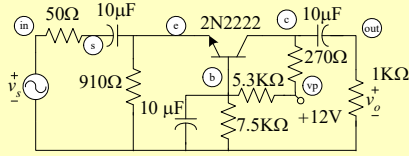


Dr. J. E. Rayas-Sánchez

32



## Ejercicio: Amplificador en Base Común



- Análisis transitorio y de AC
- Uso de modelos
- Graficando impedancias, etc.
- Función de transferencia

CB Amplifier

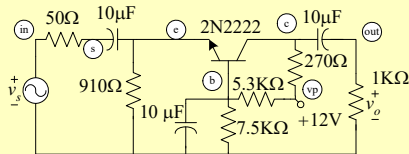
```
Vs in 0 DC 0V AC 1V
Vcc vp 0 DC 12V
Q1 c b Q2N2222
*Q1 c b e npn_ideal
RS in s 50
RE e 0 910
RC c vp 270
R1 b vp 5.3K
R2 b 0 7.5K
RL out 0 1K
CE e s 10uF
CB b 0 10uF
CL c out 10uF
```

```
.MODEL Q2N2222 NPN
+(IS=3.108E-15 XTI=3 EG=1.11 VAF=131.5 BF=217.5
+ NE=1.541 ISE=190.7E-15 IKF=1.296 XTB=1.5 BR=6.18
+ NC=2 ISC=0 IKR=0 RC=1 CJC=14.57E-12 VJC=.75
+ MJC=.3333 FC=.5 CJE=26.08E-12 VJE=.75 MJE=.3333
+ TR=51.35E-9 TF=451E-12 ITF=.1 VTF=10 XTF=2)
* Quasi ideal transistors
.model npn_ideal npn (Is=1.8fA Bf=150 Vaf=300V)
.model pnp_ideal pnp (Is=1.8fA Bf=150 Vaf=300V)
.control
AC DEC 10 10Hz 900MEGhz
plot vdb(out)
.endc
.end
```

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

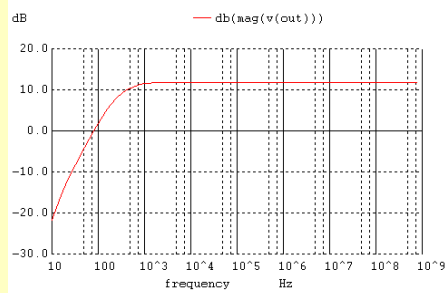
33

## Ejercicio: Amplificador en Base Común (cont.)

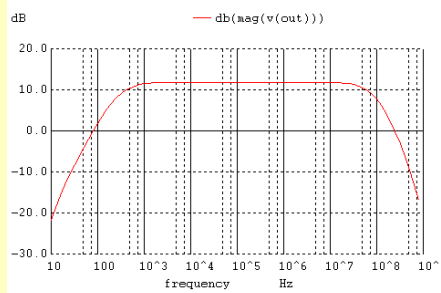


- Análisis transitorio y de AC
- Uso de modelos
- Graficando impedancias, etc.
- Función de transferencia

BJT quasi ideal:



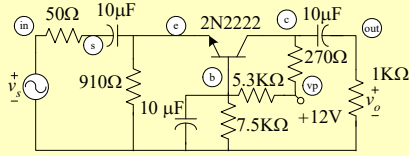
BJT 2N2222:



Dr. J. E. Rayas-Sánchez

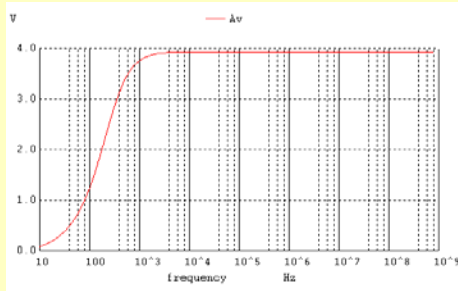
34

## Ejercicio: Amplificador en Base Común (cont.)

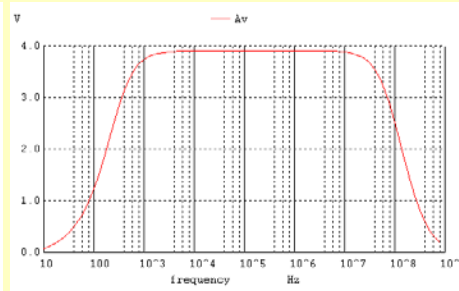


- Análisis transitorio y de AC
- Uso de modelos
- Graficando impedancias, etc.
- Función de transferencia

BJT quasi ideal:



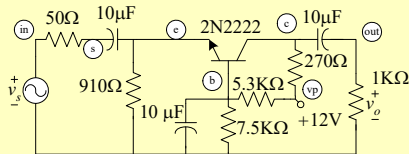
BJT 2N2222:



Dr. J. E. Rayas-Sánchez

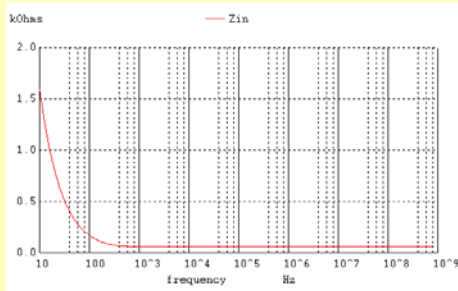
35

## Ejercicio: Amplificador en Base Común (cont.)

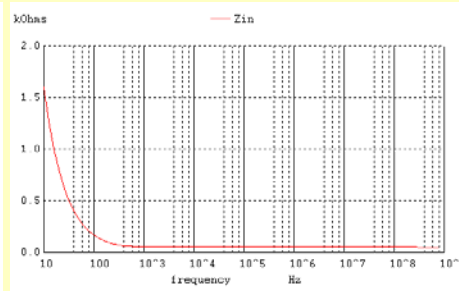


- Análisis transitorio y de AC
- Uso de modelos
- Graficando impedancias, etc.
- Función de transferencia

BJT quasi ideal:



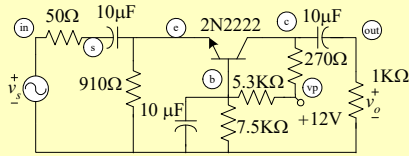
BJT 2N2222:



Dr. J. E. Rayas-Sánchez

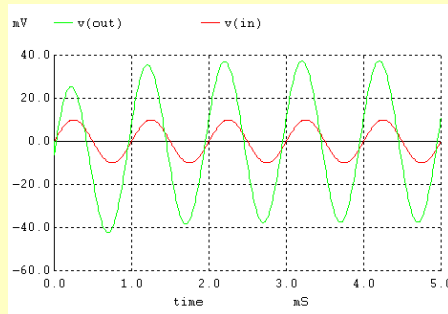
36

## Ejercicio: Amplificador en Base Común (cont.)

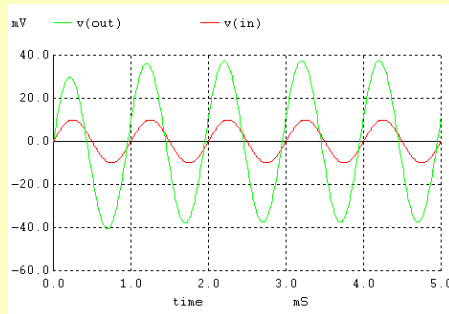


- Análisis transitorio y de AC
- Uso de modelos
- Graficando impedancias, etc.
- Función de transferencia

BJT quasi ideal:



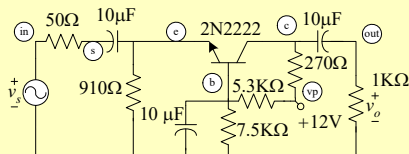
BJT 2N2222:



Dr. J. E. Rayas-Sánchez

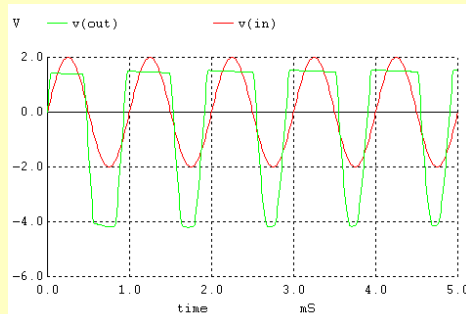
37

## Ejercicio: Amplificador en Base Común (cont.)

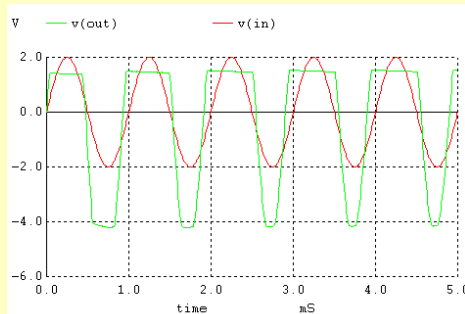


- Análisis transitorio y de AC
- Uso de modelos
- Graficando impedancias, etc.
- Función de transferencia

BJT quasi ideal:



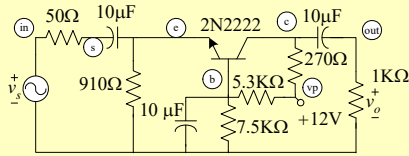
BJT 2N2222:



Dr. J. E. Rayas-Sánchez

38

## Ejercicio: Amplificador en Base Común (cont.)



- Punto de Operación
- Función de Transferencia

BJT quasi ideal:

```

WinSpice v1.04.02
File Edit Settings Help
Circuit: Common Base Amplifier
AC analysis ... 100%
Transient analysis ... 100%
DC Operating Point ... 100%
b = 6.893896e+00
c = 1.018902e+01
e = 6.143936e+00
in = 0.000000e+00
out = 0.000000e+00
s = 0.000000e+00
vcc#branch = -7.67076e-03
vp = 1.200000e+01
vs#branch = 0.000000e+00
Transfer function analysis ...
transfer_function = 0.000000e+00
vs#input_impedance = 1.000000e+20
output_impedance_at_v(out) = 1.000000e+03
WinSpice 44 ->
    
```

BJT 2N2222:

```

WinSpice v1.04.02
File Edit Settings Help
Circuit: Common Base Amplifier
AC analysis ... 100%
Transient analysis ... 100%
DC Operating Point ... 100%
b = 6.878430e+00
c = 1.019023e+01
e = 6.144369e+00
in = 0.000000e+00
out = 0.000000e+00
s = 0.000000e+00
vcc#branch = -7.66918e-03
vp = 1.200000e+01
vs#branch = 0.000000e+00
Transfer function analysis ...
transfer_function = 0.000000e+00
vs#input_impedance = 1.000000e+20
output_impedance_at_v(out) = 1.000000e+03
WinSpice 46 ->
    
```

## Barrido de Corriente Directa (.DC)

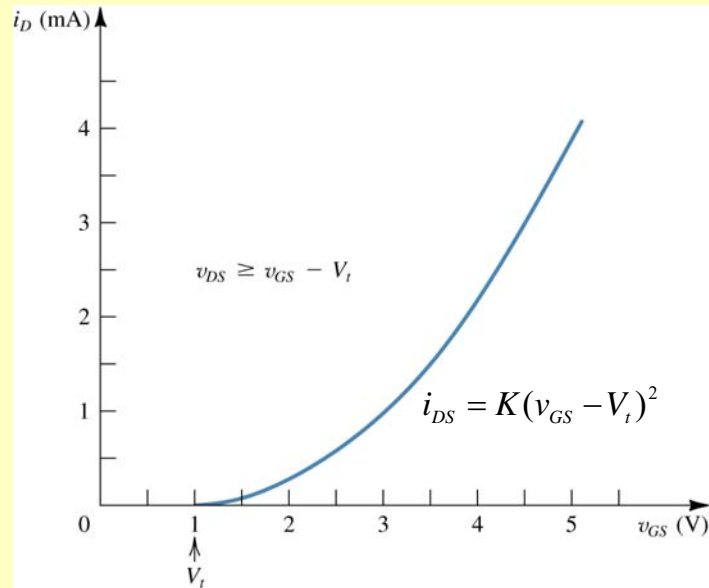
- Analiza el circuito a 0 Hz, variando alguna fuente de C.D.
- Muy útil para obtener funciones de transferencia estáticas en señal grande, así como familias de curvas estáticas
- Comando en lenguaje SPICE:

```
.DC fuente vinicial vfinal incremento [fuente
vinicial vfinal incremento...]
```

- Ejemplos

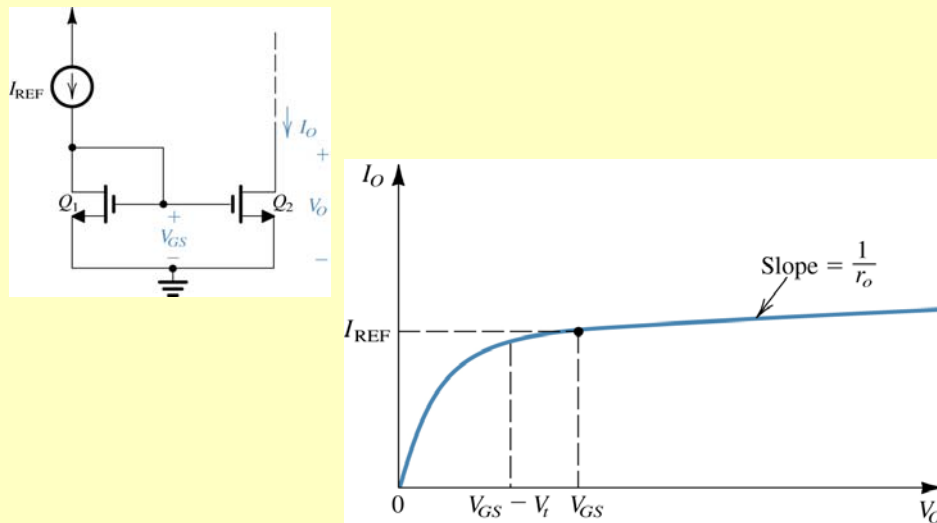
```
.DC VIN 0.25 5.0 0.25
.DC VDS 0 10 .5 VGS 0 5 1
.DC VCE 0 10 .25 IB 0 10U 1U
```

## Funciones de Características Estáticas – Ej. 1



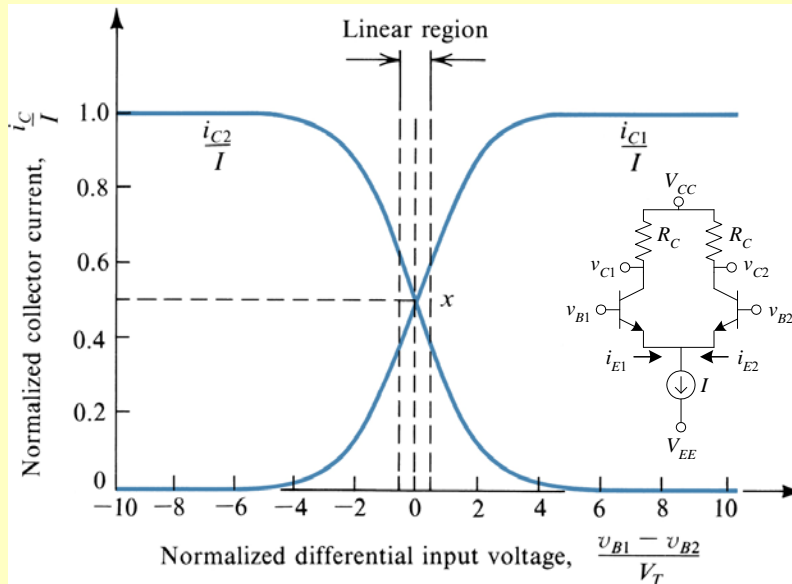
Dr. J. E. Rayas-Sánchez A.S. Sedra and K.C. Smith, *Microelectronic Circuits*. New York, NY: Oxford University Press, 1998. 41

## Funciones de Características Estáticas – Ej. 2



Dr. J. E. Rayas-Sánchez A.S. Sedra and K.C. Smith, *Microelectronic Circuits*. New York, NY: Oxford University Press, 1998. 42

## Funciones de Características Estáticas – Ej. 3



Dr. J. E. Rayas-Sánchez, A.S. Sedra and K.C. Smith, *Microelectronic Circuits*. New York, NY: Oxford University Press, 1998. 43

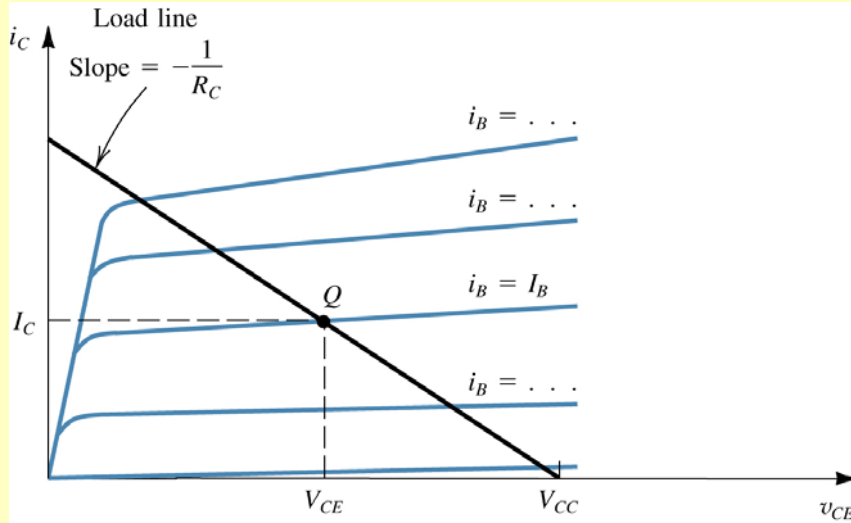
## Simulación Paramétrica

- Se emplea para simular el comportamiento del circuito cuando se varía algún parámetro del mismo
- Muy útil para obtener familias de curvas
- Pueden variarse valores de: fuentes de voltaje o corriente, componentes, modelos, temperatura de operación, etc.\*
- La variación de los valores puede hacerse en forma anidada
- Si el análisis es de C.D., se puede implementar mediante el comando de SPICE para hacer barridos en C.D., por ejemplo:  
 .DC R2 10K 100K 1K TEMP 20 100 10

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

44

## Curvas Características del BJT

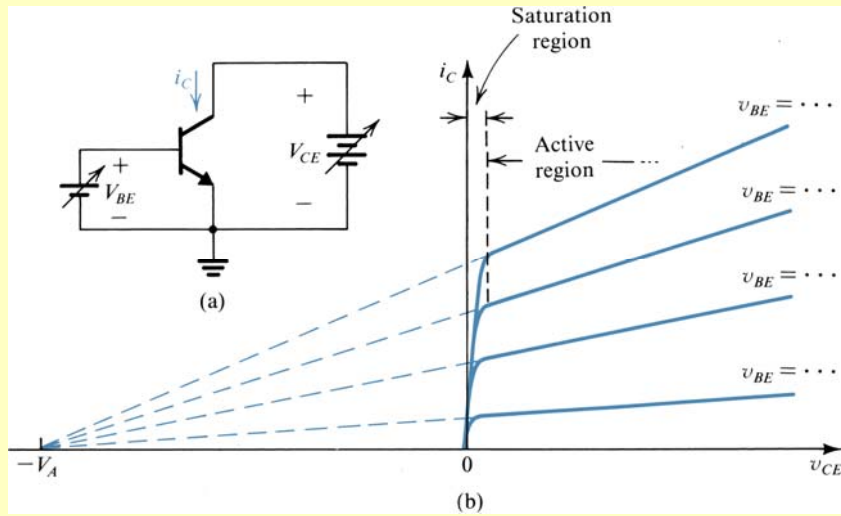


A.S. Sedra and K.C. Smith, *Microelectronic Circuits*. New York, NY: Oxford University Press, 1998.

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

45

## Curvas Características del BJT (cont.)

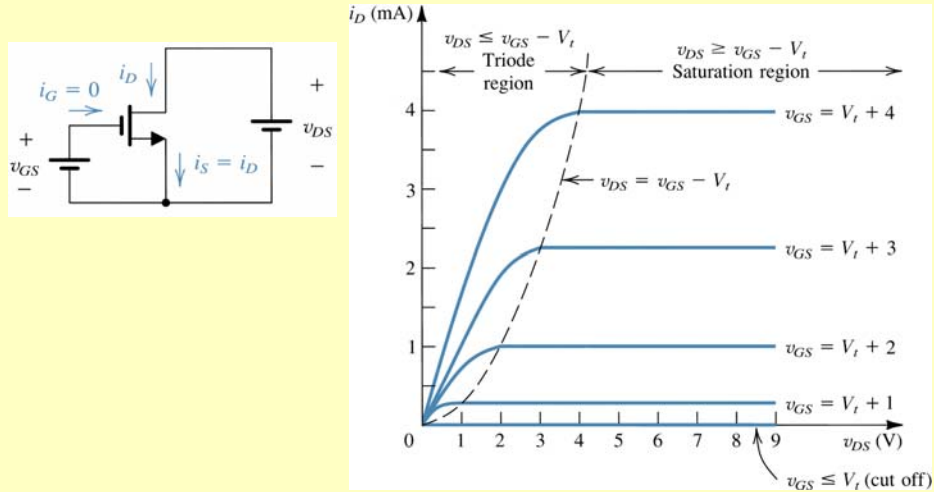


A.S. Sedra and K.C. Smith, *Microelectronic Circuits*. New York, NY: Oxford University Press, 1998.

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

46

## Curvas Características del MOSFET

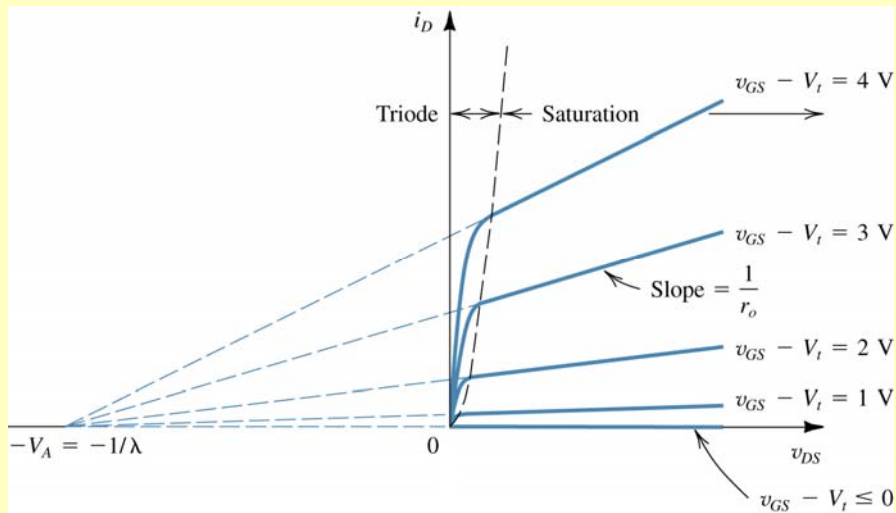


A.S. Sedra and K.C. Smith, *Microelectronic Circuits*. New York, NY: Oxford University Press, 1998.

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

47

## Curvas Características del MOSFET (cont.)



A.S. Sedra and K.C. Smith, *Microelectronic Circuits*. New York, NY: Oxford University Press, 1998.

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

48

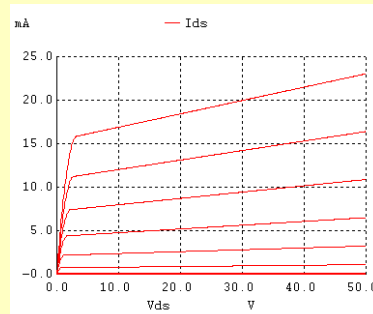


## Ejercicio: Curvas I-V de Transistor NMOS

\* MOSFET under test  
MT d g 0 0 n\_emosfet L=2um W=40um

\* EMOFET model statements  
\* Level 1: Shichman-Hodges model  
\* KP: Transconductance parameter,  $KP = \mu \cdot C_{ox}$   
\* VTO: Threshold voltage,  $V_t$   
\* LAMBDA: Channel-length modulation factor (inv of  $V_A$ )  
.MODEL n\_emosfet NMOS level=1  
+(KP=150u VTO=+1.8V LAMBDA=0.01)

- Barrido de CD
- Barridos anidados
- Interpretación de modelos



Dr. J. E. Rayas-Sánchez

49

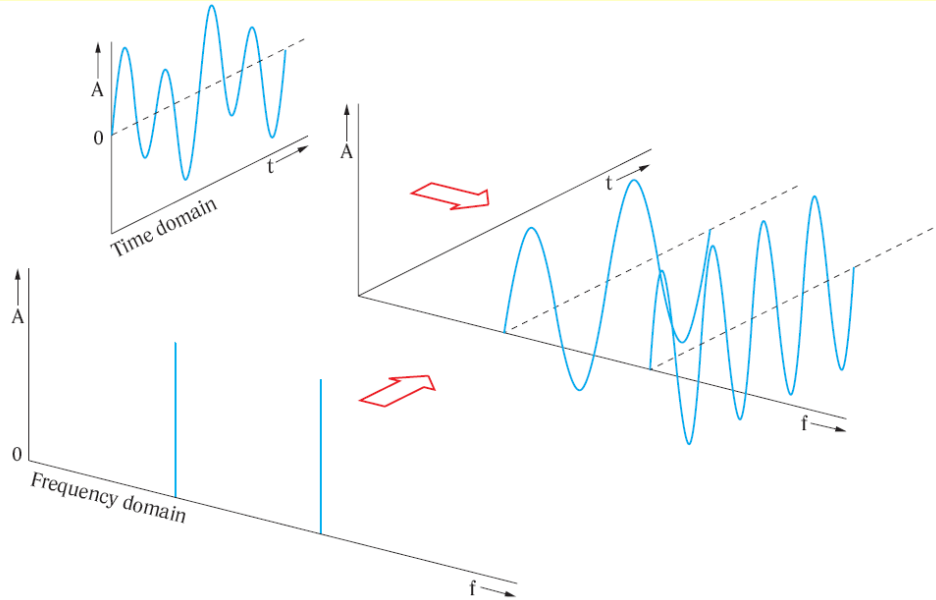
## Análisis de Fourier

- SPICE calcula numéricamente la Transformada de Fourier  $F(j\omega)$  de la señal  $v(t)$ :
$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} v(t)e^{-j\omega t} dt$$
- SPICE calcula la componente de directa (valor promedio), la componente fundamental, y las 8 primeras armónicas de la forma de onda  $v(t)$  obtenida durante el análisis transitorio
- Es como usar un analizador de espectros

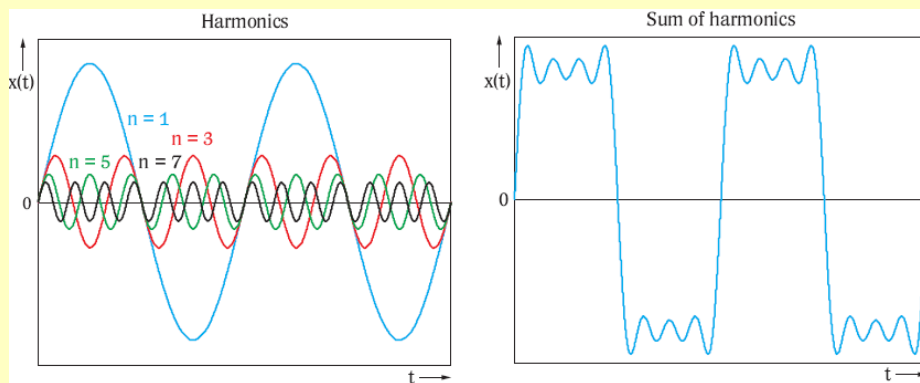
Dr. J. E. Rayas-Sánchez

50

## Dominios Frecuencial y Temporal

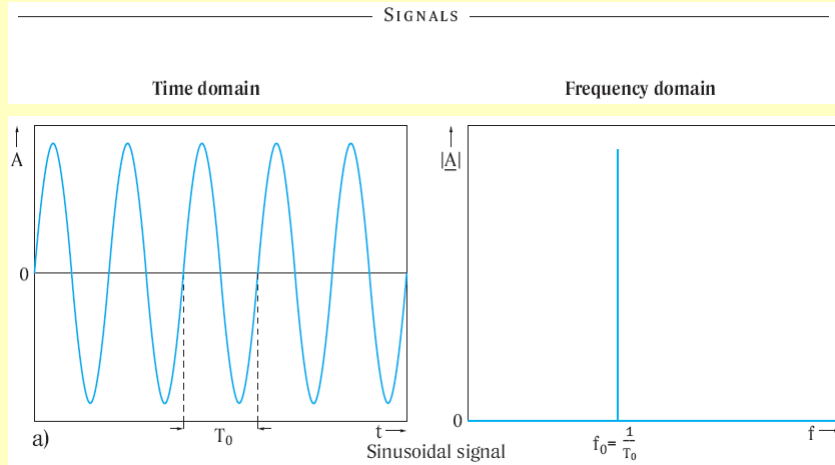


## Sumando Armónicos



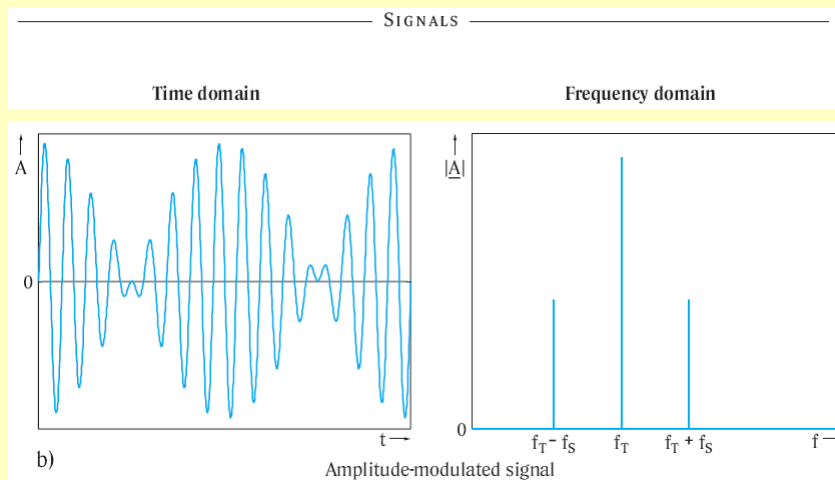
C. Rauscher, *Fundamentals of Spectrum Analysis*. Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, 2001.

## Contenido Espectral – Señales Periódicas



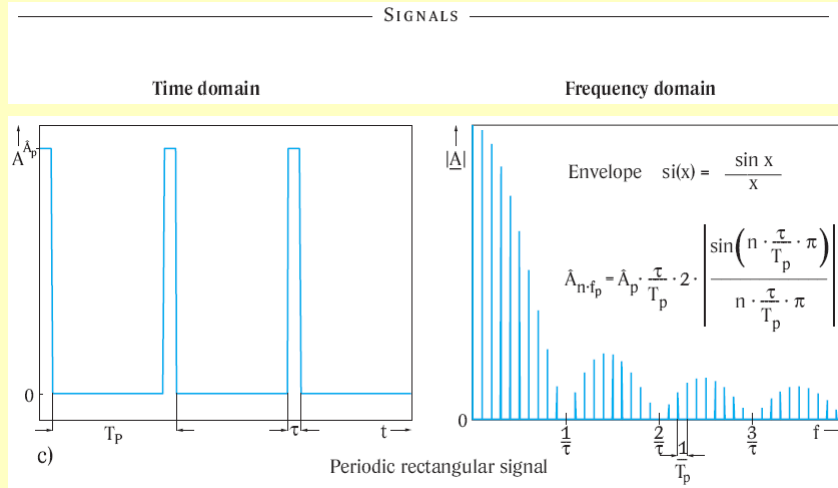
C. Rauscher, *Fundamentals of Spectrum Analysis*. Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, 2001.

## Contenido Espectral – Señales Periódicas (cont)



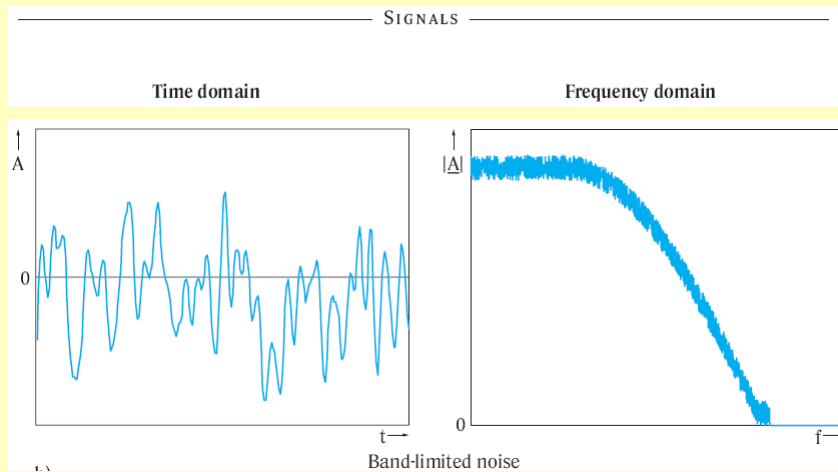
C. Rauscher, *Fundamentals of Spectrum Analysis*. Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, 2001.

## Contenido Espectral – Señales Periódicas (cont)



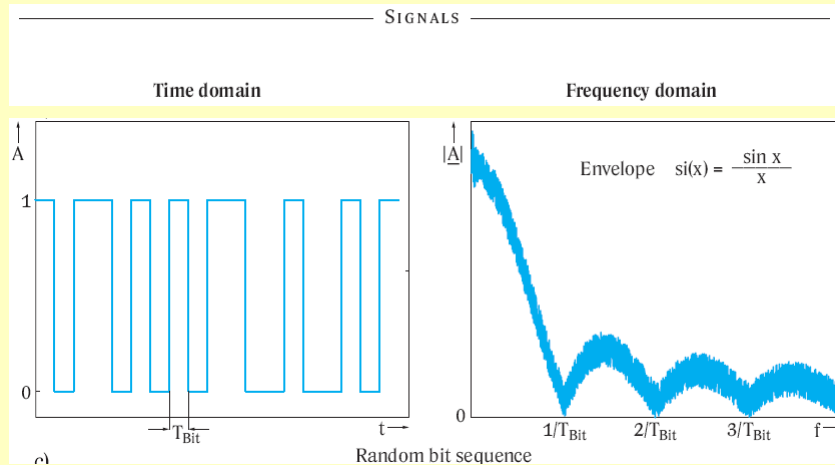
C. Rauscher, *Fundamentals of Spectrum Analysis*. Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, 2001.

## Contenido Espectral – Señales No Periódicas



C. Rauscher, *Fundamentals of Spectrum Analysis*. Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, 2001.

## Contenido Espectral – Señales No Periódicas



C. Rauscher, *Fundamentals of Spectrum Analysis*. Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, 2001.

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

57

## Realizando el Análisis de Fourier

- Desde la línea de comandos de SPICE (como parte del análisis transitorio)
    - `.FOUR FREQ OV1 <OV2 OV3 ...>`  
donde FREQ es la frecuencia de la fundamental, y  $OVn$  es el  $n$ -ésimo vector de salida (de un análisis transitorio)
  - La transformada de Fourier se realiza sobre el intervalo  $\langle T_{STOP} - period, T_{STOP} \rangle$ , donde  $T_{STOP}$  es el tiempo final de la simulación transitoria, y  $period$  es el periodo de la frecuencia fundamental
- Ejemplo:
- `.FOUR 10KHz V(out)`
- Usando la herramienta de post-procesamiento gráfico

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

58

## Análisis de Distorsión

- Para señal grande en régimen transitorio, el análisis de distorsión puede hacerse a partir de la información generada en el análisis de Fourier, con la cual se calcula la Distorsión Armónica Total (THD):

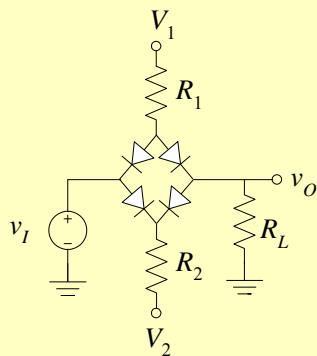
$$\%THD = \frac{100}{V_1} \sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2}$$

- Para señal pequeña en corriente alterna puede hacerse mediante el comando .DISTO

Dr. J. E. Rayas-Sánchez

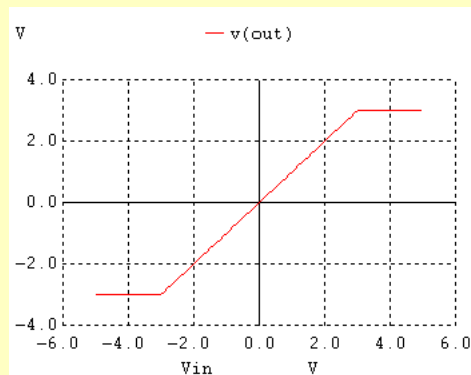
59

## Ejercicio: Limitador de Voltaje



Using ideal diodes:

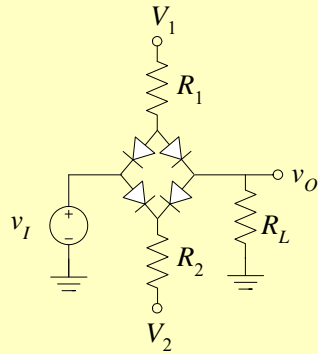
- Uso de modelos
- Análisis transitorio
- Barrido de CD
- Análisis de Fourier
- Distorsión armónica total (THD)



Dr. J. E. Rayas-Sánchez

60

## Ejercicio: Limitador de Voltaje (cont.)



Using diodes  
1N4004:

- Uso de modelos
- Análisis transitorio
- Barrido de CD
- Análisis de Fourier
- Distorsión armónica total (THD)

