

# Capítulo 9:

## Dispositivos semiconductores en microondas

Casi todos los circuitos de microondas y radiofrecuencia utilizan alguno de estos tres dispositivos: diodos de barrera Schottky, transistores de unión p-n o transistores de efecto de campo (FETs). Dentro de esta amplia gama hay varios tipos de dispositivos: gran variedad de diodos de barrera Schottky, transistores de unión bipolar (BJTs), de heterounión bipolar (HBTs), FETs con epitaxia metal semiconductor (MESFET), transistores de alta movilidad de electrones (HEMTs), transistores metal-óxido-semiconductor (MOSFET) y transistores de unión FET (JFET).

El presente capítulo aporta una descripción del modelo de los anteriores dispositivos en alta frecuencia.



# ÍNDICE

---

- Índice.
- Introducción a los dispositivos de estado sólido.
- Diodos basados en dispositivos de barrera Schottky.
- Varactores.
- Transistores basados en uniones bipolares.
- Transistores basados dispositivos de efecto de campo.
- Ejemplo de tablas de características de dispositivos



# INTRODUCCIÓN A LOS DISPOSITIVOS DE ESTADO SÓLIDO

- La mayor parte de los dispositivos de microondas y de RF se diseñan en base a: diodos de barrera Schottky, transistores bipolares y transistores de efecto de campo FET.
- Nomenclatura:
  - Dispositivos activos basados en transistores, FET o bipolares.
  - Dispositivos pasivos basados en diodos.
- De modo general se pueden tomar los siguientes dispositivos y aplicaciones:
  - Diodo Schottky: mezcladores, multiplicadores de frecuencia, moduladores
  - Diodos varáctores: VCOs, multiplicadores de frecuencia
  - Transistores bipolares (BJT): amplificadores de pequeña señal (no de bajo ruido)
  - Transistores bipolares de “heterounión” (HBT): amplificadores de potencia, osciladores de bajo ruido
  - Transistores de efecto de campo (JFET): amplificadores de bajo ruido, mezcladores, osciladores y conmutadores.
  - MESFET: amplificadores de bajo ruido, mezcladores, multiplicadores, y osciladores.
  - HEMT (high electron mobility transistor): igual que el FET con un mayor margen de frecuencias.



# RESUMEN DE DISPOSITIVOS DE ESTADO SÓLIDO (año 2005) (I)

Dispositivo	Rango de frecuencias	Características y aplicaciones
Diodo Schottky	Desde RF a submilimétricas	Mezcladores, moduladores, detectores y multiplicadores.
Varactores y SRDs	Varactor p-n hasta 50 GHz, varactor Schottky hasta cientos de GHz, SRDs hasta 25 GHz.	Multiplicadores de frecuencia. Los SRDs para generar pulsos rápidos y para multiplicadores de orden superior.
Bipolares BJT	Normalmente hasta banda X	Amplificadores de pequeña señal (no de bajo ruido). Dispositivos rápidos digitales. Dispositivos de potencia. Osciladores con bajo ruido de fase (gracias al bajo 1/f)
Bipolares de heterounión (HBTs)	Se puede llegar hasta 70 GHz, aunque lo normal es estar en 40 GHz.	Amplificadores de potencia, osciladores con bajo ruido de fase (para amplificadores de bajo ruido son preferibles los MESFETs o HEMTs)



# RESUMEN DE DISPOSITIVOS DE ESTADO SÓLIDO (año 2005) (II)

Dispositivo	Rango de frecuencias	Características y aplicaciones
Transistores JFET	Sólo hasta VHF o UHF	Aplicaciones de bajo coste y bajo ruido en amplificadores, mezcladores, osciladores y conmutadores.
MESFET (metal con semiconductor epitaxial)	Pueden trabajar hasta unos 30 GHz (a frecuencias superiores se prefieren los HEMTs)	Amplificadores, osciladores, mezcladores, moduladores, multiplicadores...
Transistores de alta movilidad HEMTs	Es el dispositivo que llega a una frecuencia mayor, el límite puede estar en los 300 GHz.	Igual que los MESFETs.
MOSFETs (metal-óxido-semiconductor)	Hasta la parte baja de la banda X, lo más común es 2-3 GHz.	En RF para aplicaciones de circuitos integrados.



# CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES (I)

- Las características van relacionadas con propiedades como: concentración intrínseca de portadores, movilidad de portadores y propiedades térmicas.
- Concentración intrínseca de portadores:
  - Interesa que no sea muy elevada por dos razones:
    - Tener mayor control sobre la concentración de impurezas.
    - Para tener un grado de aislamiento importante entre materiales distintos:  
$$\sigma = q(\mu_n n + \mu_p p)$$
    - Resulta ventajoso el AsGa frente al Si
- Movilidad de portadores: capacidad para transportar corriente.
  - En aplicaciones de alta frecuencia interesa alta movilidad (mejor AsGa que Si)
  - También es conveniente diseñar dispositivos con portadores mayoritarios electrones
- Efectos térmicos:
  - A mayor ancho de banda prohibida menores efectos térmicos (mejor AsGa que Si)



# CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES (II): MATERIALES UTILIZADOS

---

- Germanio:
  - Prácticamente abandonado.
  - La anchura del gap es menor que en el Si
  - Concentración de portadores mayor que el Si
  - Es complicada su utilización en alta frecuencia (aunque la  $\mu$  sea mayor que el Si)
- Silicio (muy abundante, lo que ha desarrollado una tecnología de Si):
  - Ancho del gap importante
  - Buena conductividad térmica y baja concentración intrínseca
  - Soporta campos de ruptura mayores que el Ge
- AsGa
  - Concentración intrínseca más baja que el Si y mayor movilidad de electrones.
  - Menor dependencia con la temperatura
  - Tecnología más compleja y de mayor coste. Comportamiento deficiente en alta potencia.
- PI
  - Características importantes en alta frecuencia pero todavía no están explotadas.



# DIODOS DE BARRERA SCHOTTKY (I)

---

- Un diodo de barrera Schottky es una unión metal-semiconductor (rectificador)
- Se usa en: mezcladores, detectores y multiplicadores de frecuencia.
- La combinación metal-semiconductor presenta dos configuraciones:
  - Configuración tipo contacto óhmico: el metal actúa como interfase
    - Función de trabajo del metal es menor que la del semiconductor.
  - Configuración tipo contacto rectificante: propiedades similares a una unión p-n
    - Función de trabajo del metal es mayor que la del semiconductor.
    - Esto crea una barrera energética en el sentido semiconductor- metal.
- Parámetros que caracterizan al metal y al semiconductor:
  - Metal:
    - Nivel de Fermi: por debajo de ese nivel los estados están ocupados por  $e^-$
    - Función de trabajo: cantidad de energía que hay que aportar a un  $e^-$  para pasar al nivel de vacío.
  - Semiconductor:
    - Nivel de Fermi: en la banda prohibida del semiconductor (su posición depende del tipo de semiconductor).
    - Afinidad electrónica: energía para ir de la banda de conducción al nivel de vacío



# DIODOS DE BARRERA SCHOTTKY (II)

---

- ¿Por qué se usan, en microondas, diodos Schottky en vez de diodos p-n?
  - La corriente viene determinada, fundamentalmente, por los portadores mayoritarios, normalmente, electrones.
  - En los diodos p-n, el mecanismo de conducción de corriente viene dado por los minoritarios.
  - Cuando un diodo p-n se alimenta en directa, se almacenan portadores minoritarios en la región de unión; si se polariza repentinamente en inversa, antes de que el diodo entre en corte hay que retirar la carga. Este proceso es lento como para que puedan funcionar como rectificadores en alta frecuencia.
  - Suelen tener buen comportamiento como varactores.
- Configuración básica de un diodo Schottky:
  - Se construye sobre un substrato n (de Si, más común, o de AsGa), nunca p en AF.
  - Por debajo de esa capa hay un contacto óhmico que hace de cátodo (Au ó Ni)
  - Por encima hay una capa gruesa fuertemente dopada n<sup>+</sup> que separa la capa epitaxial del substrato.
  - Capa epitaxial levemente dopada sobre la que se deposita el metal que hace de ánodo.
  - Se pueden ajustar los siguientes parámetros en el diodo: la selección del metal, forma y área del ánodo, densidad del dopaje.



# DIODOS DE BARRERA SCHOTTKY (III): CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

- En ausencia de polarización:
  - El contacto entre ánodo y semiconductor hace que fluyan  $e^-$  del sc al metal creando una región vacía de carga entre metal y sc (zona de depleción).
  - Esto ha creado una carga neta positiva en el metal y una neta negativa en el sc lo que origina un campo eléctrico que se opone al paso de más  $e^-$  de sc a metal.
- En presencia de polarización:
  - La carga se mueve entre dos polos (ánodo y cátodo) creando una capacidad no lineal.
  - Si se aplica un voltaje positivo al ánodo, disminuye la barrera y pueden pasar más  $e^-$  del sc al metal. Esta corriente es altamente no lineal.
- Ecuación que define la relación (I/V):

$$I_j(V_j) = I_s \cdot \exp\left(\frac{eV_j}{nkT}\right) \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-eV_j}{kT}\right)\right] \Bigg|_{V_j > \frac{3kT}{e}} = I_s \cdot \exp\left(\frac{eV_j}{nkT}\right)$$

- $I_s$  corriente de saturación, de valor muy pequeño de  $10^{-20}$  a  $10^{-8}$  A; n es el factor de idealidad (cuanto “más ideal” sea el diodo, más próximo a 1); e es la carga del electrón ( $1.6 \cdot 10^{-19}$  C); k es la constante de Boltzmann ( $1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K); T: temperatura absoluta en K

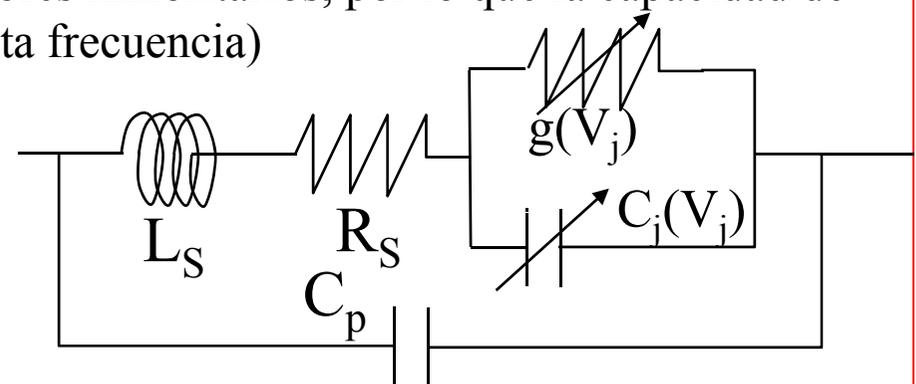


# DIODOS DE BARRERA SCHOTTKY (IV)

- Diferencias entre diodos p-n y Schottky:
  - Corriente de saturación tiene origen físico diferente
    - Diodo p-n: ligada a la constante de difusión; valores muy pequeños.
    - Portadores mayoritarios: valores de corriente elevados con bajas  $V$
  - En la barrera Schottky la conducción es debida a un único movimiento de portadores (dispositivo unipolar).
  - No es importante la contribución de portadores minoritarios, por lo que la capacidad de difusión no es importante (importante en alta frecuencia)

- Circuito equivalente del diodo Schottky:

- $L_S$  depende del hilo de conexión
- $C_p$  depende del encapsulado
- $g(V_j)$  conductancia no lineal
- $C_j(V_j)$  capacidad de deplexión



$$C_j(V_j) = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - \frac{V_j}{\phi}}} \Rightarrow \begin{cases} C_{j0} : \text{capacidad con } V_j = 0 \\ V_j : \text{polarización} \\ \phi : \text{diferencia de potencial sc - metal} \end{cases}$$



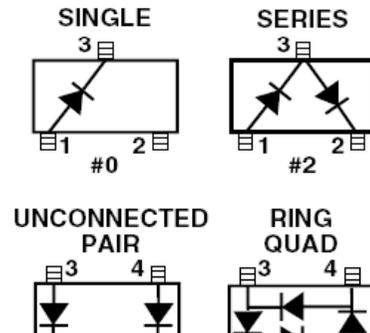
# DIODOS DE BARRERA SCHOTTKY (V)

- Selección del diodo: consideraciones ( $R_s$ ,  $C_j$ ,  $I_s$ )
  - A bajas frecuencias  $C_j$  no afecta a la rectificación proporcionada por  $g(V)$ . No obstante en altas frecuencias tiende a ser un cortocircuito por lo que conviene reducir su valor si se quiere mantener la eficiencia de la mezcla. Su valor es proporcional al área del ánodo.
  - $R_s$  es inversamente proporcional al área del ánodo. Su valor está en torno a  $10\Omega$
  - El producto  $R_s C_j$  es más o menos constante con el área del ánodo. Se puede definir una figura de mérito, llamada frecuencia de corte,  $f_c$  como:
$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R_s \cdot C_j}$$
  - Una forma incorrecta de seleccionar un diodo es mediante la figura de ruido, pérdidas de conversión que proporciona el fabricante ya que el diodo está claramente limitado por las características del circuito en el que está insertado. De esta forma las medidas proporcionadas serán muy próximas a las del test fixture.
- Medidas en el diodo:
  - Determinación de la pendiente de la curva  $I/V$  en milivoltios por década de corriente.
  - Para determinar  $R_s$  (como se sabe que es del orden de  $10\Omega$ ) se ve cuando  $I$  es del orden de 1 mA cuántas mV se separa de la recta (mV/década)

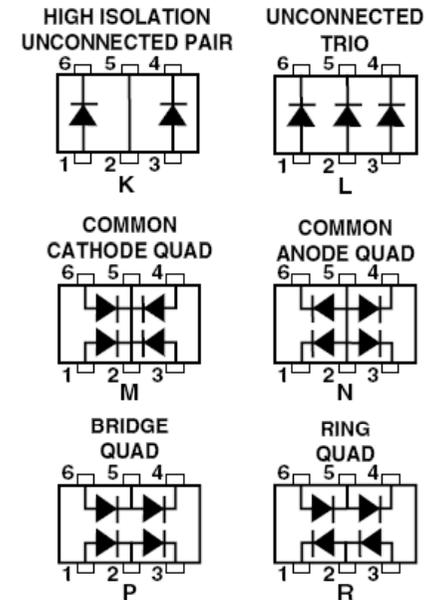


# HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DE LA FAMILIA DE DIODOS SCHOTTKY DE AVAGOTECH HSM280X: encapsulados

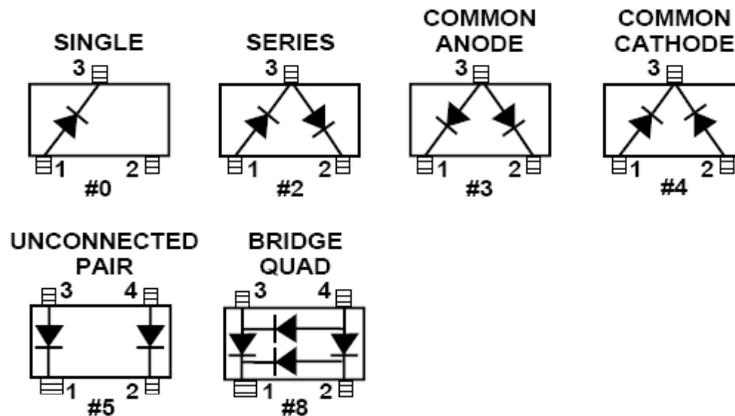
Package Lead Code Identification, SOT-323 (Top View)



Package Lead Code Identification, SOT-363 (Top View)

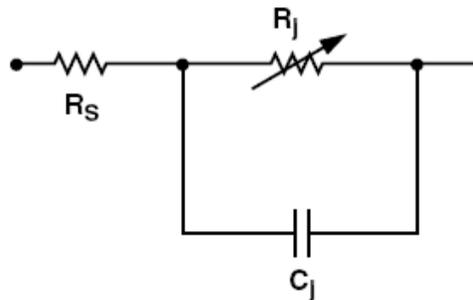


Package Lead Code Identification, SOT-23/SOT-143 (Top View)



# HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DE LA FAMILIA DE DIODOS SCHOTTKY DE AVAGOTECH HSM280X: circuito equivalente

Linear Equivalent Circuit, Diode Chip



$R_S$  = series resistance (see Table of SPICE parameters)

$C_j$  = junction capacitance (see Table of SPICE parameters)

$$R_j = \frac{8.33 \times 10^{-5} nT}{I_b + I_s}$$

where

$I_b$  = externally applied bias current in amps

$I_s$  = saturation current (see table of SPICE parameters)

$T$  = temperature, °K

$n$  = ideality factor (see table of SPICE parameters)

Note:

To effectively model the packaged HSMS-280x product, please refer to Application Note AN1124.

SPICE Parameters

Parameter	Units	HSMS-280x
$B_V$	V	75
$C_{J0}$	pF	1.6
$E_G$	eV	0.69
$I_{BV}$	A	E-5
$I_S$	A	3.00E-08
$N$		1.08
$R_S$	$\Omega$	30
$P_B$	V	0.65
$P_T$		2
$M$		0.5



# HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DE LA FAMILIA DE DIODOS SCHOTTKY DE AVAGOTECH HSM280X: prestaciones

Typical Performance,  $T_c = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise noted), Single Diode

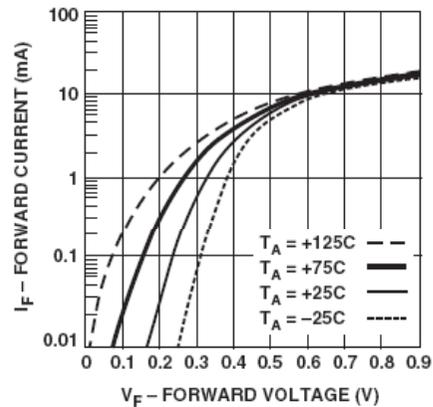


Figure 1. Forward Current vs. Forward Voltage at Temperatures.

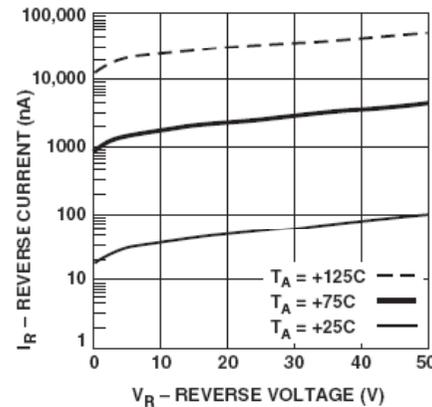


Figure 2. Reverse Current vs. Reverse Voltage at Temperatures.

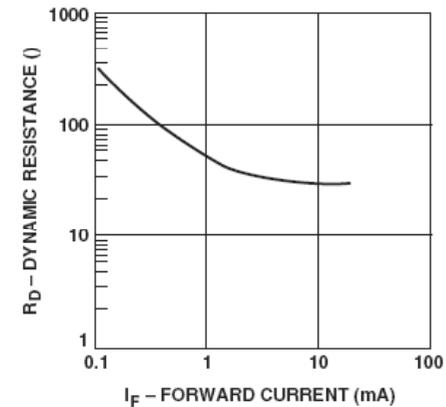


Figure 3. Dynamic Resistance vs. Forward Current.

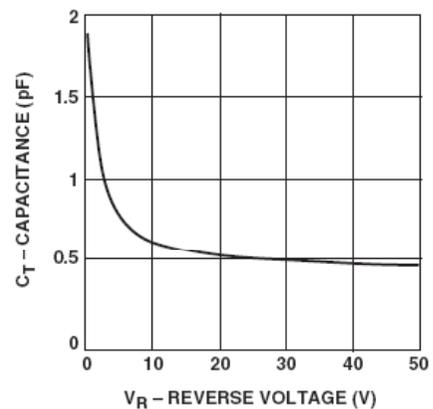


Figure 4. Total Capacitance vs. Reverse Voltage.

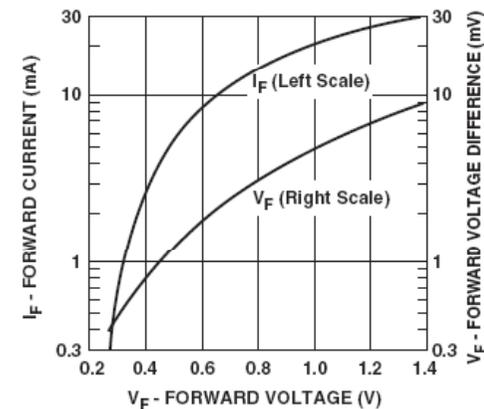


Figure 5. Typical  $V_f$  Match, Pairs and Quads.



# DIODOS VARACTORES (I)

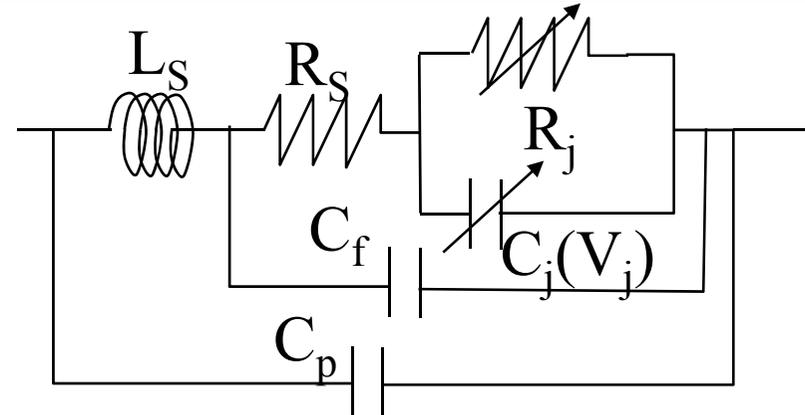
---

- Es un diodo con reactancia variable que se deriva de la variación de la capacidad de deplexión al polarizar en inversa el diodo.
- Aplicaciones:
  - Sintonizador fino en frecuencias de microondas para un OL
  - Osciladores controlados por tensión.
  - Amplificadores paramétricos.
  - Conversores y multiplicadores de frecuencia.
- Dispositivos:
  - Diodos de unión p-n por su capacidad no lineal.
  - Diodos Schottky: sólo cuando las capacidades de difusión son muy altas.
  - SRD (step recovery diodes): son dispositivos de unión p-n pero que funcionan con polarización directa.



# DIODOS VARACTORES (II)

- Circuito equivalente:
  - $L_s$  depende del hilo de conexión
  - $C_p$  depende del encapsulado
  - $R_j$  resistencia no lineal: en inversa tiende a un abierto
  - $C_f$  es la capacidad de fugas
  - $C_j(v)$  capacidad de deplexión



$$C_j(V_j) = \frac{C_{j0}}{\left(1 - \frac{V_j}{\phi}\right)^\gamma} \Rightarrow \begin{cases} C_{j0} : \text{capacidad con } V_j = 0 \\ V_j : \text{polarización en inversa} \\ \phi : \text{diferencia de potencial sc - metal} \\ \gamma : \text{engloba efectos de parámetros tecnologic.} \end{cases}$$

- Parámetros:
  - Voltaje de ruptura: máximo voltaje inverso antes de que se produzca disrupción.
  - Frecuencia de corte en estática: para una tensión de ruptura fija  $f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R_s \cdot C_{jv}}$
  - Frecuencia de corte en dinámica: se mide en función de la variación de la capacidad cuando se aplica una tensión inversa al diodo

$$f_c = \frac{\left[ \frac{1}{C_{j\text{mín}}} - \frac{1}{C_{j\text{máx}}} \right]}{2\pi \cdot R_s} \Rightarrow \frac{f_{\text{máx}}}{f_{\text{mín}}} = \sqrt{\frac{C_{\text{máx}}}{C_{\text{mín}}}}$$



# TRANSISTORES BIPOLARES BJT (I)

- Los BJT's se fabrican, fundamentalmente, en Si y cubre una banda desde DC hasta valores bajos de microondas. Las prestaciones de un BJT de AsGa o InP son peores debido a que el control de dopantes, mediante difusión, de la base es más difícil.
- Hay dos opciones:
  - De “homounión”(BJT): el dopaje se controla por difusión, creando regiones “relativamente” uniformes. Sólo se puede aplicar, con resultados apreciables, en Si.
  - De “heterounión” (HBT): el dopaje se realiza mediante epitaxia de haces moleculares, creando perfiles de dopaje muy abruptos y estrechos. Se puede realizar en materiales como AsGa y permite alcanzar unas frecuencias bastante mayores ( $\approx 10\text{GHz}$ ).
- Operación:
  - Como una unión p-n con un terminal adicional.
  - La corriente en la unión p-n está controlada por  $V_{BE}$ , pero esta corriente se recoge por un tercer terminal: colector, con una amplificación de dicha corriente:

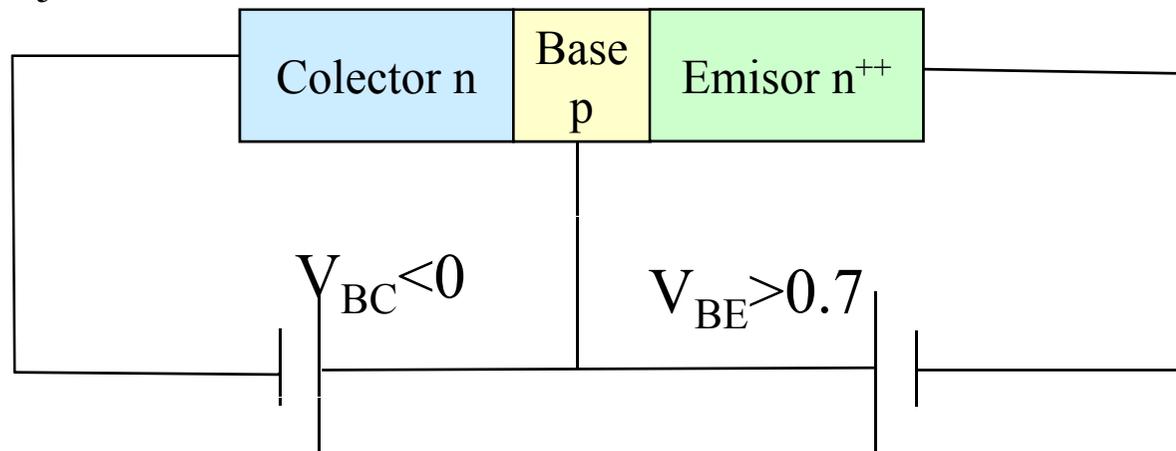
$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$



# TRANSISTORES BIPOLARES BJT (II)

- Estructura y funcionamiento:

- La región de base es muy estrecha para reducir la resistencia y en microondas, tipo p. La base está levemente dopada.
- Las regiones de colector y emisor son largas y en microondas con dopaje tipo n. El emisor está fuertemente dopado.
- Esta estructura hace que (bajo polarización directa de la unión base-emisor,  $V_{BE} > 0.7$ ) se inyecten  $e^-$  en la base, reduciendo la inyección de huecos en emisor.
- Como la base es estrecha estos  $e^-$  la atraviesan sin casi recombinarse.
- Una polarización inversa de la unión base colector ( $V_{BC} < \text{varios voltios}$ ) hace que el colector recoja dichos electrones.



# TRANSISTORES BIPOLARES BJT (III)

---

- Dificultades al funcionamiento anterior:
  - La corriente de base (debida a inyección de huecos o recombinación) es baja pero no es 0 (se limita la ganancia de corriente)
  - El tiempo de paso por la base es finito por lo que se almacena carga en la base empeorando las prestaciones debido a la capacidad base-emisor.
  - El BJT puede funcionar en inversa creando una unión p-n semejante a la base-colector.
  - Existen elementos parásitos como capacidades de deplexión y resistencias en los terminales.



# TRANSISTORES BIPOLARES: CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (I)

- Características I/V en estática establecida por la característica I/V de la unión p-n base emisor:

$$I_{cf} = I_{sf} \cdot \left[ \exp\left(\frac{e \cdot V_{BE}}{kT}\right) - 1 \right]$$

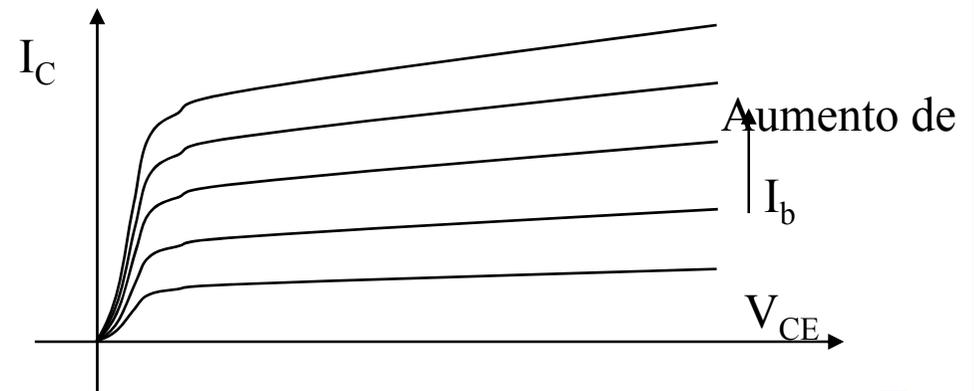
- En operación inversa tendríamos una expresión equivalente:  $I_{cr} = I_{sr} \cdot \left[ \exp\left(\frac{e \cdot V_{BC}}{kT}\right) - 1 \right]$
- La corriente total de colector será:

$$I_c = I_{cf} - I_{cr} = I_{sf} \cdot \left[ \exp\left(\frac{e \cdot V_{BE}}{kT}\right) - \exp\left(\frac{e \cdot V_{BC}}{kT}\right) \right] = I_{sf} \cdot \exp\left(\frac{e \cdot V_{BE}}{kT}\right) \left[ 1 - \exp\left(\frac{-e \cdot V_{CE}}{kT}\right) \right]$$

- El primer término establece el pico de la corriente de colector ( $V_{CE}$  grande)
- El segundo modela la corriente en función de la  $V_{CE}$

- La transconductancia será:

$$G_m = \left. \frac{dI_c}{dV_{BE}} \right|_{V_{CE} \gg \frac{kT}{e}} \cong \frac{e}{kT} \cdot I_c$$



# TRANSISTORES BIPOLARES: CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (II)

- Capacidades:

- De deplexión, dada por las capacidades del diodo

$$C_{je} = \frac{C_{je0}}{\sqrt{1 - \frac{V_{BE}}{\phi_{BE}}}}; C_{jc} = \frac{C_{jc0}}{\sqrt{1 - \frac{V_{BC}}{\phi_{BC}}}}$$

- De difusión originada por el almacenamiento de carga en la base

$$C_{be,\tau} = \frac{dQ_b}{dV_{BE}} = \frac{I_{sf} \cdot e}{kT} \cdot \tau \cdot \exp\left(\frac{e \cdot V_{BE}}{kT}\right)$$

- Capacidad total:  $C_{be} = C_{be,\tau} + C_{je}$

- Figuras de mérito en un transistor bipolar:

- Frecuencia de corte para ganancia de corriente unidad:

$$f_t = \frac{G_m}{2\pi C_{be}}$$

- Frecuencia máxima ( $f_{max}$ ) a la que el producto ganancia ancho de banda es 1.

- Otros parásitos:

- Resistencias en todos los terminales
- Capacidades asociadas a la unión colector-substrato

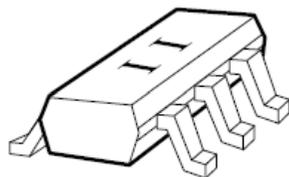


# HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DEL TRANSISTOR BIPOLAR DE AVAGO AT32063: encapsulados y características

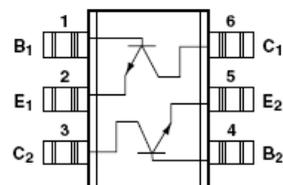
## Features

- High Performance Bipolar Transistor Optimized for Low Current, Low Voltage Operation
- 900 MHz Performance: 1.1 dB NF, 14.5 dB  $G_A$
- Characterized for End-of-Life Battery Use (2.7 V)
- SOT-363 (SC-70) Plastic Package
- Tape-and-Reel Packaging Option Available
- Lead-free

## Surface Mount Package SOT-363 (SC-70)



## Pin Connections and Package Marking



## AT-32063 Absolute Maximum Ratings<sup>[1]</sup>

Symbol	Parameter	Units	Absolute Maximum
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage	V	1.5
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage	V	11
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage	V	5.5
$I_C$	Collector Current	mA	32
$P_T$	Power Dissipation <sup>[2,3]</sup>	mW	150
$T_j$	Junction Temperature	°C	150
$T_{STG}$	Storage Temperature	°C	-65 to 150

## Thermal Resistance<sup>[2]</sup>:

$$\theta_{jc} = 370^\circ\text{C/W}$$

## Notes:

1. Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.
2.  $T_{\text{Mounting Surface}} = 25^\circ\text{C}$ .
3. Derate at 2.7 mW/°C for  $T_c > 94.5^\circ\text{C}$ .
4. 150 mW per device.

## Electrical Specifications, $T_A = 25^\circ\text{C}$

Symbol	Parameters and Test Conditions	Units	Min.	Typ.	Max.
NF	Noise Figure; $V_{CE} = 2.7\text{ V}$ , $I_C = 5\text{ mA}$	f = 0.9 GHz	dB	1.1 <sup>[2]</sup>	1.4 <sup>[2]</sup>
$G_A$	Associated Gain; $V_{CE} = 2.7\text{ V}$ , $I_C = 5\text{ mA}$	f = 0.9 GHz	dB	12.5 <sup>[2]</sup>	14.5 <sup>[2]</sup>
$h_{FE}$	Forward Current Transfer Ratio; $V_{CE} = 2.7\text{ V}$ , $I_C = 5\text{ mA}$		—	50	270
$I_{CBO}$	Collector Cutoff Current; $V_{CB} = 3\text{ V}$		$\mu\text{A}$		0.2
$I_{EBO}$	Noise Figure; $V_{EB} = 1\text{ V}$		$\mu\text{A}$		1.5

## Notes:

1. All data is per individual transistor.
2. Test circuit, Figure 1. Numbers reflect device performance de-embedded from circuit losses. Input loss = 0.2 dB; output loss = 0.3 dB.



# HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DEL TRANSISTOR BIPOLAR DE AVAGO ([www.avagotech.com](http://www.avagotech.com)) AT32063: gráficas y tablas

Symbol	Parameters and Test Conditions	Units	Typ.
$P_{1\text{dB}}$	Power at 1 dB Gain Compression (opt tuning); $V_{CE} = 2.7\text{ V}$ , $I_C = 20\text{ mA}$	$f = 0.9\text{ GHz}$	dBm
$G_{1\text{dB}}$	Gain at 1 dB Gain Compression (opt tuning); $V_{CE} = 2.7\text{ V}$ , $I_C = 20\text{ mA}$	$f = 0.9\text{ GHz}$	dB
$IP_3$	Output Third Order Intercept Point (opt tuning); $V_{CE} = 2.7\text{ V}$ , $I_C = 20\text{ mA}$	$f = 0.9\text{ GHz}$	dBm

## Typical Performance, $T_A = 25^\circ\text{C}$

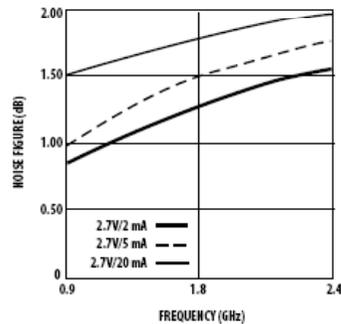


Figure 2. Minimum Noise Figure vs. Frequency and Current at  $V_{CE} = 2.7\text{ V}$ .

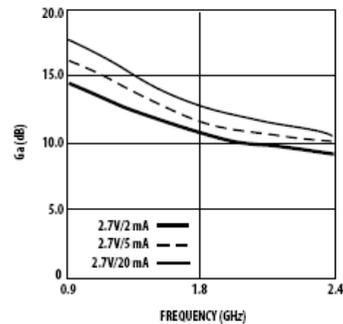


Figure 3. Associated Gain at Optimum Noise Match vs. Frequency and Current at  $V_{CE} = 2.7\text{ V}$ .

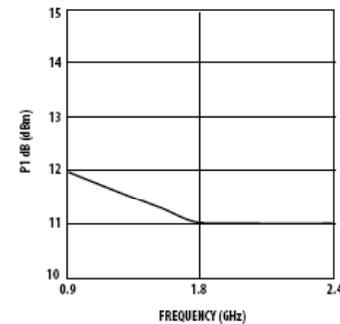


Figure 4. Power at 1 dB Gain Compression vs. Frequency at  $V_{CE} = 2.7\text{ V}$  and  $I_C = 20\text{ mA}$ .

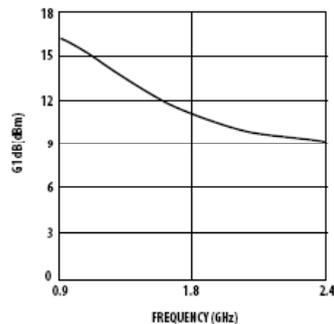


Figure 5. 1 dB Compressed Gain vs. Frequency at  $V_{CE} = 2.7\text{ V}$  and  $I_C = 20\text{ mA}$ .

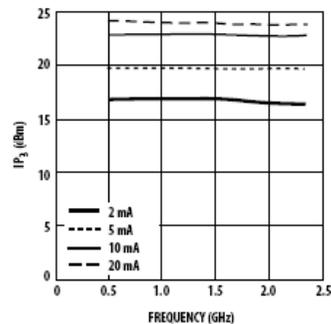


Figure 6. Third Order Intercept vs. Frequency and Bias at  $V_{CE} = 2.7\text{ V}$ , with Optimal Tuning.



# HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DEL TRANSISTOR BIPOLAR DE AVAGO ([www.avagotech.com](http://www.avagotech.com)) AT32063: parámetros S (I)

AT-32063 Typical Scattering Parameters, Common Emitter,  $Z_o = 50 \Omega$ ,  $V_{CE} = 1 V$ ,  $I_C = 1 mA$

Freq. GHz	$S_{11}$		$S_{21}$			$S_{12}$		$S_{22}$		
	Mag	Ang	dB	Mag	Ang	dB	Mag	Ang	Mag	Ang
0.1	0.98	-11	11.36	3.7	171	-34.77	0.02	83	0.99	-4
0.5	0.86	-50	10.14	3.21	138	-22.02	0.08	59	0.91	-20
0.9	0.72	-82	8.39	2.63	113	-18.97	0.11	43	0.82	-31
1.0	0.69	-88	7.87	2.48	108	-18.61	0.12	41	0.8	-32
1.5	0.58	-119	5.87	1.97	85	-17.8	0.13	31	0.73	-41
1.8	0.52	-134	4.83	1.74	74	-17.72	0.13	28	0.7	-45
2.0	0.49	-145	4.3	1.64	67	-17.69	0.13	28	0.68	-48
2.4	0.45	-165	3.16	1.44	55	-17.68	0.13	30	0.67	-54
3.0	0.41	166	1.84	1.24	39	-16.99	0.14	37	0.64	-63
4.0	0.42	124	0.17	1.02	16	-13.67	0.21	45	0.6	-81
5.0	0.47	93	-1.15	0.88	-2	-9.84	0.32	38	0.54	-107

## AT-32063 Typical Noise Parameters

Common Emitter,  $Z_o = 50 \Omega$ ,  $V_{CE} = 1 V$ ,  $I_C = 1 mA$

Freq. $F_{min}$ GHz	$G_{opt}$ dB	$G_{R_n}$ dB	Mag.	Ang.	—
0.9	0.71	10.4	0.76	50	0.44
1.8	1.37	8.3	0.60	112	0.24
2.4	1.80	7.2	0.50	155	0.10

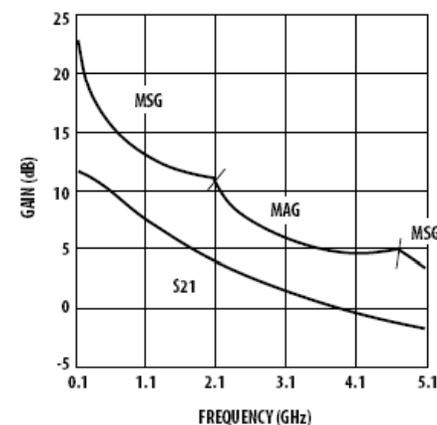


Figure 7. Gain vs. Frequency at  $V_{CE} = 1 V$ ,  $I_C = 1 mA$ .



# HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DEL TRANSISTOR BIPOLAR DE AVAGO ([www.avagotech.com](http://www.avagotech.com)) AT32063: parámetros S (II)

AT-32063 Typical Scattering Parameters, Common Emitter,  $Z_o = 50 \Omega$ ,  $V_{CE} = 5 \text{ V}$ ,  $I_C = 20 \text{ mA}$

Freq. GHz	$S_{11}$			$S_{21}$			$S_{12}$		$S_{22}$	
	Mag	Ang	dB	Mag	Ang	dB	Mag	Ang	Mag	Ang
0.1	0.61	-36	30.56	33.74	145	-40.46	0.01	75	0.86	-14
0.5	0.22	-91	21.75	12.23	98	-29.90	0.03	72	0.6	-19
0.9	0.13	-115	17.02	7.10	83	-25.40	0.05	72	0.57	-21
1.0	0.12	-118	16.14	6.41	81	-24.56	0.06	71	0.57	-21
1.5	0.08	-137	12.80	4.36	68	-21.23	0.09	69	0.57	-26
1.8	0.06	-148	11.31	3.68	62	-19.69	0.10	66	0.57	-30
2.0	0.06	-159	10.46	3.33	58	-18.79	0.12	65	0.57	-32
2.4	0.04	175	9.02	2.83	50	-17.21	0.14	61	0.57	-37
3.0	0.05	131	7.35	2.33	39	-15.22	0.17	56	0.56	-45
4.0	0.10	99	5.39	1.86	21	-12.48	0.24	46	0.54	-58
5.0	0.16	86	4.05	1.6	3	-10.27	0.31	34	0.50	-75

## AT-32063 Typical Noise Parameters

Common Emitter,  $Z_o = 50 \Omega$ ,  $V_{CE} = 5 \text{ V}$ ,  $I_C = 20 \text{ mA}$

Freq. GHz	$F_{min}$	$G_A$	$G_{opt}$	$R_n$	—
0.9	1.50	18.6	0.18	74	0.20
1.8	1.78	13.3	0.19	147	0.16
2.4	1.96	11.3	0.24	198	0.14

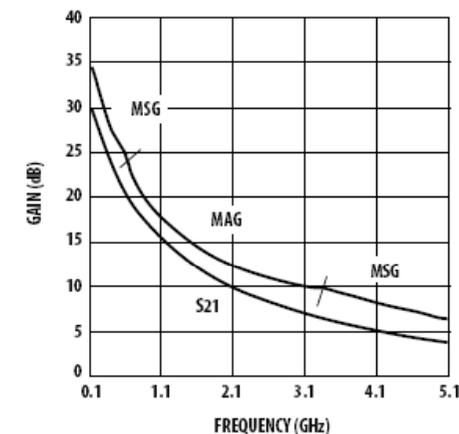


Figure 12. Gain vs. Frequency at  $V_{CE} = 5 \text{ V}$ ,  $I_C = 20 \text{ mA}$ .



# TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO (I)

---

- Los JFETs son el punto de partida para el estudio de todos los dispositivos FET aunque las prestaciones que tienen en microondas, los hacen inservibles.
- Tipos de FET:
  - JFET: control en puerta por medio de una unión p-n
  - MOSFET: contacto metal-óxido-semiconductor en puerta
  - MESFET: control en puerta por medio de una barrera Schottky
  - HEMT: barrera Schottky en puerta actuando sobre un gas de electrones con una alta movilidad. Son de heteroestructura.
- Estructura:
  - Sustrato de baja conductividad de tipo p
  - Se difunde un canal tipo n sobre dicho sustrato con regiones  $n^+$  en los extremos para realizar los contactos óhmicos.
  - Finalmente, se difunde una región  $p^+$  en el canal n que constituirá la puerta.



# TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO (II)

---

- Funcionamiento:
  - La unión puerta-canal ( $p^+ - n$ ) crea una región de vaciamiento en el canal que depende del voltaje entre puerta y fuente siempre que esté por encima de un voltaje de estrangulamiento (de pinch-off)
  - Un voltaje entre drenador y fuente ( $V_{DS}$ ) crea una corriente en el canal:
    - Si  $V_{DS}$  es pequeño, el canal funciona como una resistencia operando el FET lineal
    - Conforme crece  $V_{DS}$ :
      - Inicialmente aumenta la corriente.
      - $V_{GD}$  llega a ser mayor que  $V_{GS}$  haciendo que se estrangule el canal por el terminal de drenador. Esto hace que se inyecte una corriente fija en el drenador diciéndose que está saturado en corriente.
  - Proceso de funcionamiento de un FET:
    - Primero se crea el canal
    - Segundo se modela la corriente en función de  $V_{DS}$



# TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO (III): CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

La corriente de drenador, en zona lineal, viene dada por el modelo de Shockley:

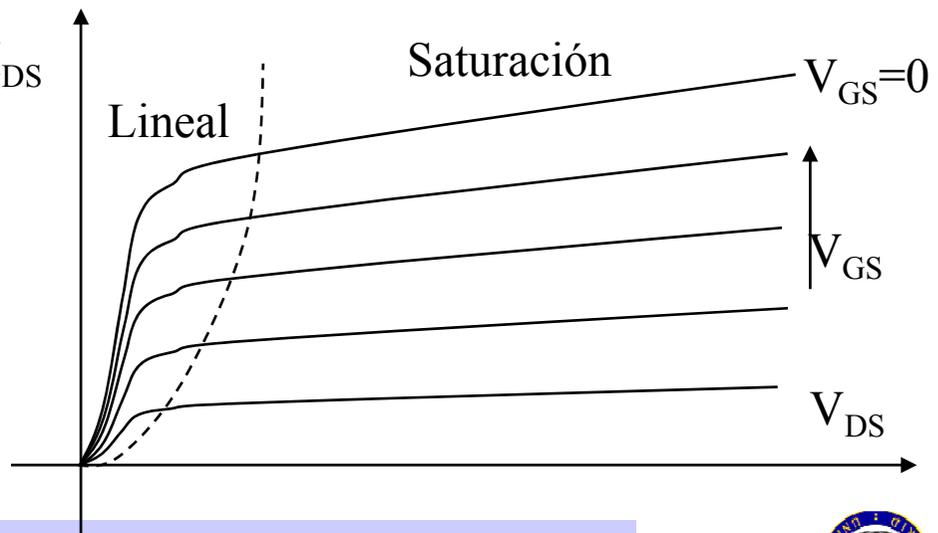
$$I_{ds}(V_{gs}, V_{ds}) = G_o \cdot \left[ V_{ds} - \frac{2}{3} \cdot \left( \frac{(V_{ds} + \phi - V_{gs})^{1.5} - (\phi - V_{gs})^{1.5}}{(\phi - V_p)^{0.5}} \right) \right]$$

El JFET normalmente opera en saturación, dicha corriente es independiente de  $V_{ds}$ :

$$I_{ds}(V_{gs}, V_{ds}) = I_{dss} \cdot \left[ 1 - \frac{V_{gs}}{V_p} \right]_{I_{DS}}^2$$

Transconductancia: una alta transconductancia es necesaria para conseguir alta ganancia en dispositivos de pequeña señal

$$G_m = \frac{dI_{ds}}{dV_{gs}}$$



# TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO (IV): PRESTACIONES

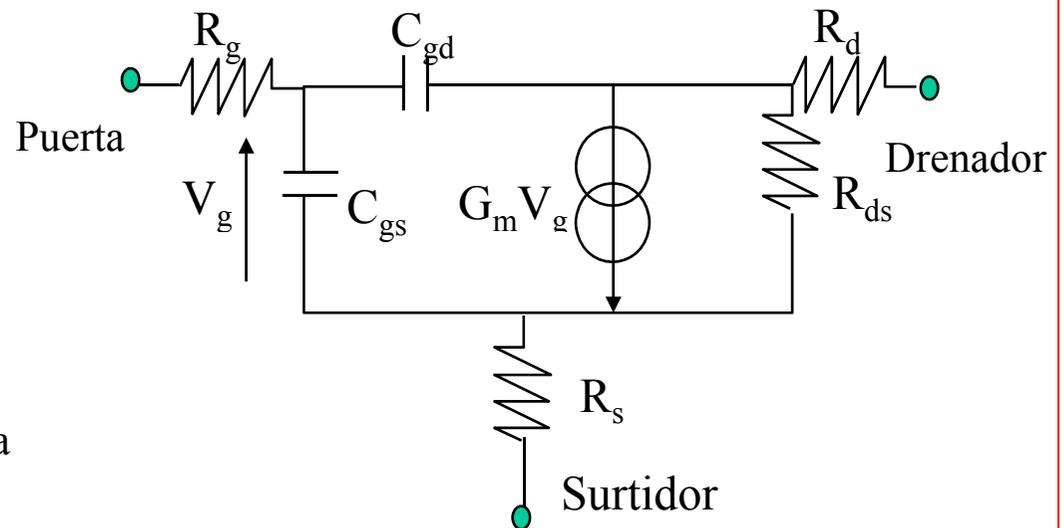
## Circuito equivalente de pequeña señal

- Ventajas:

- Trabaja bien para muchas aplicaciones pero en bajas frecuencias.

- Inconvenientes:

- El tiempo de tránsito es elevado lo que reduce el valor de la transconductancia y la máxima frecuencia de utilización.
- La capacidad de puerta a canal es elevada lo que reduce la máxima frecuencia de utilización. Esta capacidad está compuesta de  $C_{gd}$  y  $C_{gs}$  y su aportación depende de la región de funcionamiento.
- El proceso de fabricación es la difusión de dopantes lo que implica trabajar con Si que tiene características de movilidad menores que el AsGa o el InP.
- El proceso de difusión crea perfiles mucho menos abruptos.
- Se crea otra unión p-n entre canal y sustrato



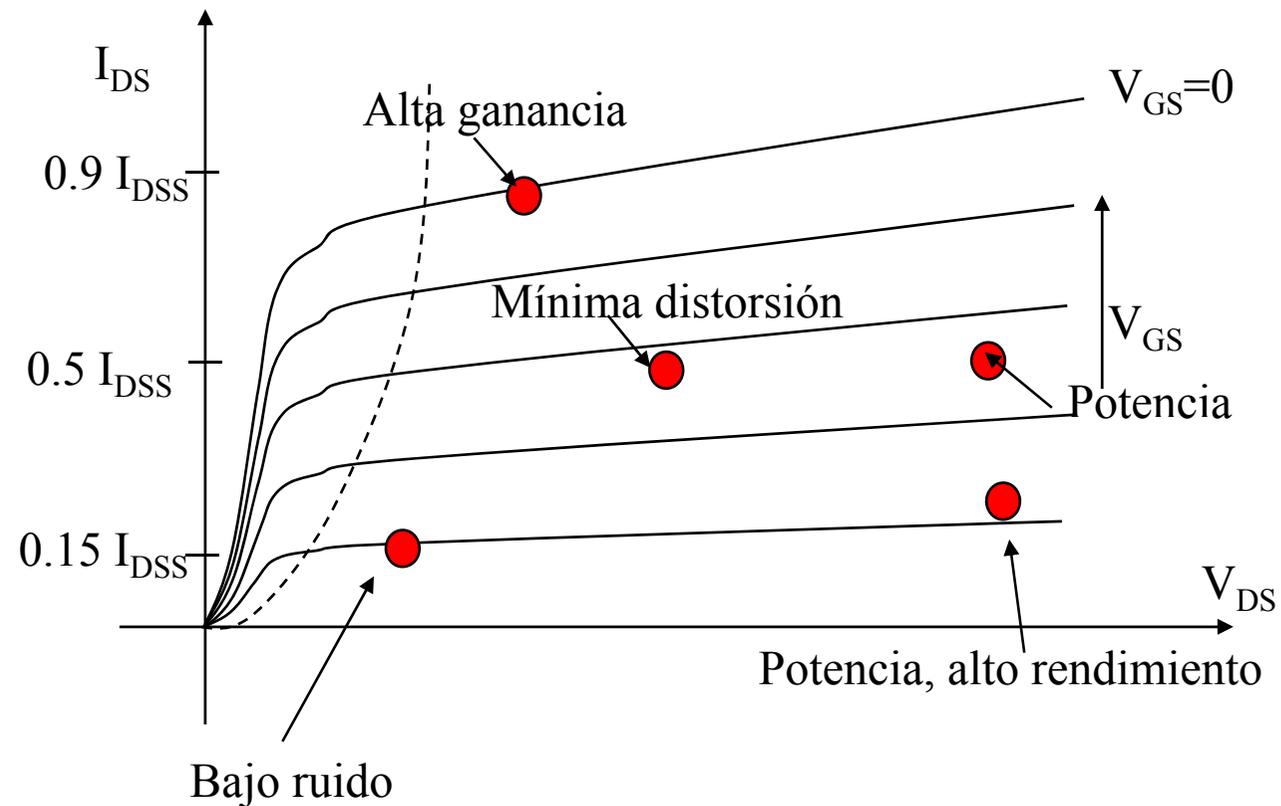
# TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO (V): MESFET

- Características. De los inconvenientes anteriores se derivan las exigencias:
  - Utilización de un material semiconductor con mayor movilidad que el Si. Esto conlleva a la utilización de uniones Schottky que evitan los procesos de difusión y reducen el tiempo de tránsito.
  - Empleo de técnicas con capacidad de crear perfiles más abruptos. Esto lleva a controlar las dimensiones de forma mucho más precisa (epitaxia haces moleculares)
  - Evitar el uso de una puerta tipo p (lo hace la unión metal semiconductor)
  - Cambio del substrato p por uno de alta resistividad.
  - El conjunto de estas características ha hecho acudir a otros materiales: AsGa o InP
- Prestaciones:
  - Sobre las características del circuito en que se utiliza:
    - Mínima figura de ruido para valores de  $I_{ds}$  del 10 al 25% de  $I_{dss}$
    - Mínima distorsión para valores de  $I_{ds}$  en torno al 50% de  $I_{dss}$
    - Máxima ganancia para valores de  $I_{ds}$  en torno a  $I_{dss}$
  - La impedancia de fuente que proporciona mínimo ruido es completamente diferente de la que proporciona la mejor ganancia. La ganancia y la distorsión son bastante insensibles a la impedancia de fuente.



# TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO (VI): MESFET, prestaciones

Prestaciones en la polarización de un MESFET



# TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO (VII): MESFET, prestaciones

- Prestaciones (continuación):
  - Impedancia de entrada:
    - En continua, es muy alta, igual que en los JFET
    - En frecuencias de microondas, el MESFET, tiene una impedancia baja. Como los parásitos resistivos son pequeños la Q de entrada es alta lo que hace difícil su adaptación, directa, en banda ancha.
  - Resistencia drenador-surtidor del MESFET es alta en bajas frecuencias (igual que JFET y MOSFET) pero es baja para frecuencias por encima de unos pocos de MHz.
- Forma de polarización (importante):
  - Tiene un voltaje de ruptura relativamente bajo con lo que hay que aislarlo fuertemente de las posibles descargas electrostáticas que puedan existir.
  - Es FUNDAMENTAL formar primero el canal (polarizar primero la puerta) y después “modelar” la corriente  $I_{ds}$  (polarizar el drenador). Por lo tanto a la hora de polarizar un MESFET:
    - Comenzar a subir suavemente a partir del pinch-off la tensión de puerta hasta que se forme el canal.
    - Conectar la tensión de drenador y subir suavemente hasta alcanzar el valor de  $V_{DS}$
    - Reducir la tensión de puerta hasta alcanzar el valor de  $I_{DS}$  deseado



# HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DEL TRANSISTOR MESFET DE AVAGO ATF34143: encapsulados y características

## Description

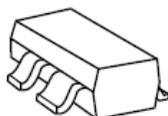
Avago's ATF-34143 is a high dynamic range, low noise PHEMT housed in a 4-lead SC-70 (SOT-343) surface mount plastic package.

Based on its featured performance, ATF-34143 is ideal for the first stage of base station LNA due to the excellent combination of low noise figure and high linearity<sup>(1)</sup>. The device is also suitable for applications in Wireless LAN, WLL/RLL, MMDS, and other systems requiring super low noise figure with good intercept in the 450 MHz to 10 GHz frequency range.

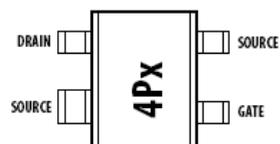
### Note:

1. From the same PHEMT FET family, the larger geometry ATF-33143 may also be considered either for the higher linearity performance or easier circuit design for stability in the lower frequency bands (800–900 MHz).

## Surface Mount Package - SOT-343



## Pin Connections and Package Marking



Note: Top View. Package marking provides orientation and identification.

"4P" = Device code

"x" = Date code character. A new character is assigned for each month, year.

## Features

- Lead-free Option Available
- Low Noise Figure
- Excellent Uniformity in Product Specifications
- 800 micron Gate Width
- Low Cost Surface Mount Small Plastic Package SOT-343 (4 lead SC-70)
- Tape-and-Reel Packaging Option Available

## Specifications

### 1.9 GHz; 4V, 60 mA (Typ.)

- 0.5 dB Noise Figure
- 17.5 dB Associated Gain
- 20 dBm Output Power at 1 dB Gain Compression
- 31.5 dBm Output 3<sup>rd</sup> Order Intercept

## Applications

- Tower Mounted Amplifier and Low Noise Amplifier for GSM/TDMA/CDMA Base Stations
- LNA for Wireless LAN, WLL/RLL and MMDS Applications
- General Purpose Discrete PHEMT for other Ultra Low Noise Applications



# HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DEL TRANSISTOR MESFET DE AVAGO ATF34143: características eléctricas

## ATF-34143 Electrical Specifications

$T_A = 25^\circ\text{C}$ , RF parameters measured in a test circuit for a typical device

Symbol	Parameters and Test Conditions	Units	Min.	Typ. <sup>[2]</sup>	Max.
$I_{dss}^{[1]}$	Saturated Drain Current $V_{DS} = 1.5\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	mA	90	118	145
$V_p^{[1]}$	Pinchoff Voltage $V_{DS} = 1.5\text{ V}, I_{DS} = 10\% \text{ of } I_{dss}$	V	-0.65	-0.5	-0.35
$I_d$	Quiescent Bias Current $V_{GS} = -0.34\text{ V}, V_{DS} = 4\text{ V}$	mA	—	60	—
$g_m^{[1]}$	Transconductance $V_{DS} = 1.5\text{ V}, g_m = I_{dss}/V_p$	mmho	180	230	—
$I_{GDO}$	Gate to Drain Leakage Current $V_{GD} = 5\text{ V}$	$\mu\text{A}$	—	—	500
$I_{gss}$	Gate Leakage Current $V_{GD} = V_{GS} = -4\text{ V}$	$\mu\text{A}$	—	30	300
NF	Noise Figure	$f = 2\text{ GHz}$ $V_{DS} = 4\text{ V}, I_{DS} = 60\text{ mA}$ $V_{DS} = 4\text{ V}, I_{DS} = 30\text{ mA}$	dB	0.5 0.5	0.8
		$f = 900\text{ MHz}$ $V_{DS} = 4\text{ V}, I_{DS} = 60\text{ mA}$	dB	0.4	
$G_a$	Associated Gain	$f = 2\text{ GHz}$ $V_{DS} = 4\text{ V}, I_{DS} = 60\text{ mA}$ $V_{DS} = 4\text{ V}, I_{DS} = 30\text{ mA}$	dB	16 17	19
		$f = 900\text{ MHz}$ $V_{DS} = 4\text{ V}, I_{DS} = 60\text{ mA}$	dB	21.5	
OIP3	Output 3 <sup>rd</sup> Order Intercept Point <sup>[3]</sup>	$f = 2\text{ GHz}$ +5 dBm $P_{out}/\text{Tone}$ $V_{DS} = 4\text{ V}, I_{DS} = 60\text{ mA}$ $V_{DS} = 4\text{ V}, I_{DS} = 30\text{ mA}$	dBm	29 30	31.5
		$f = 900\text{ MHz}$ +5 dBm $P_{out}/\text{Tone}$ $V_{DS} = 4\text{ V}, I_{DS} = 60\text{ mA}$	dBm	31	
$P_{1dB}$	1 dB Compressed Intercept Point <sup>[3]</sup>	$f = 2\text{ GHz}$ $V_{DS} = 4\text{ V}, I_{DS} = 60\text{ mA}$ $V_{DS} = 4\text{ V}, I_{DS} = 30\text{ mA}$	dBm	20 19	
		$f = 900\text{ MHz}$ $V_{DS} = 4\text{ V}, I_{DS} = 60\text{ mA}$	dBm	18.5	



# HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DEL TRANSISTOR MESFET DE AVAGO ATF34143: gráficas

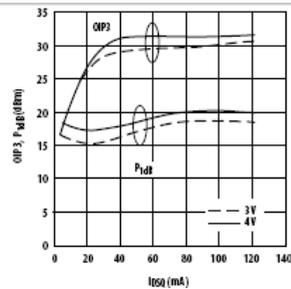


Figure 6. OP3 and P<sub>1dB</sub> vs. I<sub>DQ</sub> and V<sub>DS</sub> Tuned for NF @ 4 V, 60 mA at 2 GHz. [1,2]

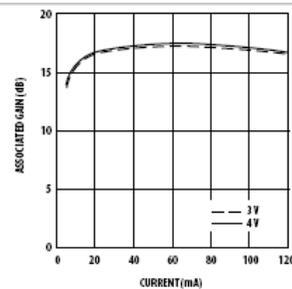


Figure 7. Associated Gain vs. Current (I<sub>D</sub>) and Voltage (V<sub>D</sub>) at 2 GHz. [1,2]

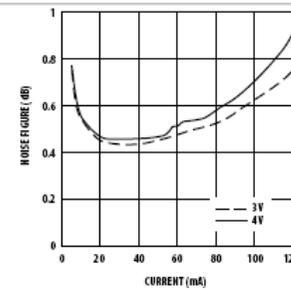


Figure 8. Noise Figure vs. Current (I<sub>D</sub>) and Voltage (V<sub>D</sub>) at 2 GHz. [1,2]

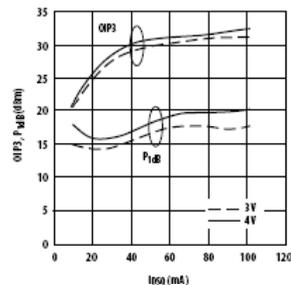


Figure 9. OP3 and P<sub>1dB</sub> vs. I<sub>DQ</sub> and V<sub>DS</sub> Tuned for NF @ 4 V, 60 mA at 900 MHz. [1,2]

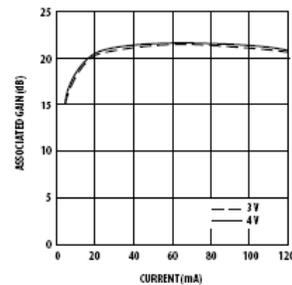


Figure 10. Associated Gain vs. Current (I<sub>D</sub>) and Voltage (V<sub>D</sub>) at 900 MHz. [1,2]

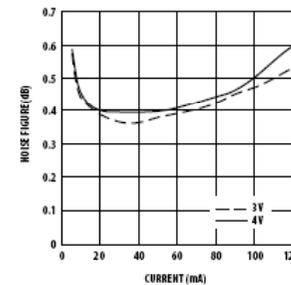


Figure 11. Noise Figure vs. Current (I<sub>D</sub>) and Voltage (V<sub>D</sub>) at 900 MHz. [1,2]

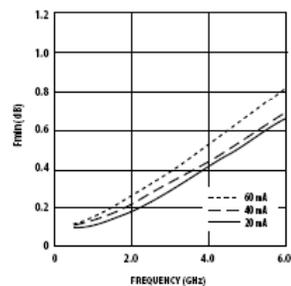


Figure 12. F<sub>min</sub> vs. Frequency and Current at 4V.  
Notes:

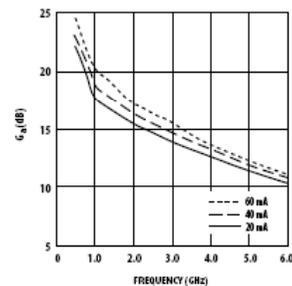


Figure 13. Associated Gain vs. Frequency and Current at 4V.



# HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DEL TRANSISTOR MESFET DE AVAGO ATF34143: parámetros S

ATF-34143 Typical Scattering Parameters,  $V_{DS} = 3\text{ V}$ ,  $I_{DS} = 20\text{ mA}$

Freq. GHz	$S_{11}$		$S_{21}$		$S_{12}$		$S_{22}$		MSG/MAG dB	
	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.		
0.5	0.96	-37	20.07	153	-29.12	0.035	68	0.40	-35	24.59
0.8	0.91	-60	19.68	137	-26.02	0.050	56	0.34	-56	22.85
1.0	0.87	-76	18.96	126	-24.29	0.061	48	0.32	-71	21.62
1.5	0.81	-104	17.43	106	-22.27	0.077	34	0.29	-98	19.85
1.8	0.78	-115	16.70	98	-21.62	0.083	28	0.28	-110	19.16
2.0	0.75	-126	16.00	90	-21.11	0.088	23	0.26	-120	18.55
2.5	0.72	-145	14.71	83	-20.45	0.095	15	0.25	-140	17.58
3.0	0.69	-162	13.56	76	-19.83	0.102	7	0.23	-156	16.69
4.0	0.65	-166	11.61	68	-19.09	0.111	-8	0.22	-174	15.35
5.0	0.64	-139	10.01	61	-18.49	0.119	-21	0.22	-146	14.25
6.0	0.65	-114	8.65	55	-18.06	0.125	-35	0.23	-118	13.35
7.0	0.66	-89	7.33	50	-17.79	0.129	-49	0.25	-91	10.91
8.0	0.69	-67	6.09	47	-17.52	0.133	-62	0.29	-67	9.71
9.0	0.72	-48	4.90	45	-17.39	0.135	-75	0.34	-46	8.79
10.0	0.75	-30	3.91	44	-17.08	0.140	-88	0.39	-28	8.31
11.0	0.77	-10	2.88	44	-16.95	0.142	-103	0.43	-10	7.56
12.0	0.80	-10	1.74	44	-16.95	0.142	-118	0.47	-10	6.83
13.0	0.83	-29	0.98	44	-17.39	0.135	-133	0.53	-28	6.18
14.0	0.85	-44	-0.96	44	-17.86	0.128	-145	0.58	-42	5.62
15.0	0.86	-55	-2.06	44	-18.13	0.124	-156	0.62	-57	5.04
16.0	0.85	-72	-3.09	44	-18.13	0.124	-168	0.65	-70	3.86
17.0	0.85	-88	-4.22	44	-18.06	0.125	-177	0.68	-85	3.00
18.0	0.88	-101	-5.71	44	-18.94	0.113	-165	0.71	-103	2.52

ATF-34143 Typical Scattering Parameters,  $V_{DS} = 4\text{ V}$ ,  $I_{DS} = 60\text{ mA}$

Freq. GHz	$S_{11}$		$S_{21}$		$S_{12}$		$S_{22}$		MSG/MAG dB		
	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.			
0.5	0.95	-41	21.91	124.54	150	-31.06	68	0.29	-41	26.48	
0.8	0.89	-65	21.33	116.54	134	-28.18	0.039	57	0.24	-67	24.75
1.0	0.85	-83	20.46	105.49	123	-26.56	0.047	49	0.23	-84	23.51
1.5	0.78	-111	18.74	86.46	103	-24.44	0.060	38	0.21	-114	21.59
1.8	0.75	-122	17.92	78.73	95	-23.74	0.065	33	0.21	-125	20.83
2.0	0.73	-133	17.16	72.07	87	-23.22	0.069	29	0.20	-136	20.19
2.5	0.69	-151	15.78	61.49	73	-22.38	0.076	22	0.19	-155	19.08
3.0	0.67	-168	14.56	53.45	60	-21.62	0.083	15	0.19	-171	18.09
4.0	0.64	-161	12.53	42.32	37	-20.54	0.094	3	0.18	-162	16.53
5.0	0.63	-134	10.88	35.01	16	-19.58	0.105	-10	0.19	-135	15.23
6.0	0.64	-111	9.49	29.83	-5	-18.79	0.115	-24	0.21	-109	12.89
7.0	0.66	-86	8.15	25.57	-26	-18.27	0.122	-38	0.24	-84	11.22
8.0	0.69	-65	6.92	22.17	-46	-17.79	0.129	-51	0.28	-62	10.21
9.0	0.73	-46	5.72	19.32	-65	-17.46	0.134	-65	0.33	-42	9.36
10.0	0.76	-28	4.73	17.23	-84	-16.95	0.142	-79	0.38	-25	8.94
11.0	0.78	-9	3.70	15.31	-104	-16.71	0.146	-94	0.42	-7	8.23
12.0	0.81	-11	2.57	13.44	-124	-16.71	0.146	-111	0.47	-12	7.56
13.0	0.84	-30	1.20	11.48	-143	-17.02	0.141	-126	0.52	-29	6.94
14.0	0.86	-44	-0.12	9.986	-159	-17.46	0.134	-139	0.58	-43	6.37
15.0	0.87	-56	-1.21	8.870	-175	-17.59	0.132	-150	0.62	-58	5.78
16.0	0.86	-72	-2.21	7.775	-168	-17.59	0.132	-163	0.65	-71	4.60
17.0	0.86	-88	-3.35	6.680	-151	-17.65	0.131	-178	0.68	-86	3.79
18.0	0.89	-101.99	-4.81	5.575	-135	-18.42	0.120	-169	0.71	-104	3.33

ATF-34143 Typical Noise Parameters

$V_{DS} = 3\text{ V}$ ,  $I_{DS} = 20\text{ mA}$

Freq. GHz	$F_{min}$ dB	Mag.	$\Gamma_{opt}$ Ang.	$R_{n50}$	$G_n$ dB
0.5	0.10	0.90	13	0.16	21.8
0.9	0.11	0.85	27	0.14	18.3
1.0	0.11	0.84	31	0.13	17.8
1.5	0.14	0.77	48	0.11	16.4
1.8	0.17	0.74	57	0.10	16.0
2.0	0.19	0.71	66	0.09	15.6
2.5	0.23	0.65	83	0.07	14.8
3.0	0.29	0.59	102	0.06	14.0
4.0	0.42	0.51	138	0.03	12.6
5.0	0.54	0.45	174	0.03	11.4
6.0	0.67	0.42	-151	0.05	10.3
7.0	0.79	0.42	-118	0.10	9.4
8.0	0.92	0.45	-88	0.18	8.6
9.0	1.04	0.51	-63	0.30	8.0
10.0	1.16	0.61	-43	0.46	7.5

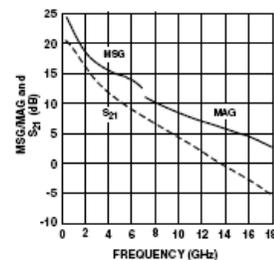


Figure 23. MSG/MAG and  $|S_{21}|^2$  vs. Frequency at 3 V, 20 mA.

ATF-34143 Typical Noise Parameters

$V_{DS} = 4\text{ V}$ ,  $I_{DS} = 60\text{ mA}$

Freq. GHz	$F_{min}$ dB	Mag.	$\Gamma_{opt}$ Ang.	$R_{n50}$	$G_n$ dB
0.5	0.11	0.84	15	0.14	24.5
0.9	0.14	0.78	30	0.12	20.7
1.0	0.15	0.77	34	0.12	20.2
1.5	0.20	0.69	53	0.10	18.5
1.8	0.23	0.66	62	0.10	17.7
2.0	0.26	0.62	72	0.09	17.2
2.5	0.33	0.55	91	0.07	16.3
3.0	0.39	0.50	111	0.05	15.4
4.0	0.53	0.43	149	0.03	13.7
5.0	0.67	0.39	-173	0.04	12.3
6.0	0.81	0.39	-137	0.07	11.1
7.0	0.96	0.42	-104	0.14	10.0
8.0	1.10	0.47	-76	0.26	9.2
9.0	1.25	0.54	-53	0.41	8.6
10.0	1.39	0.62	-37	0.60	8.2

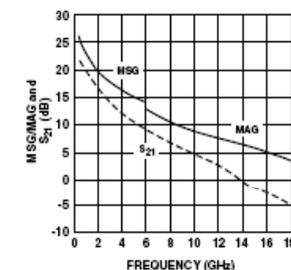


Figure 26. MSG/MAG and  $|S_{21}|^2$  vs. Frequency at 4 V, 60 mA.



# HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DEL TRANSISTOR MESFET AVAGO ATF34143: modelo no lineal y características de potencia

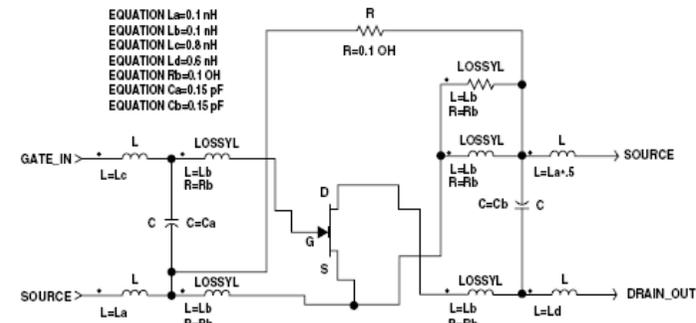
ATF-34143 Power Parameters tuned for Power,  $V_{DS} = 4\text{ V}$ ,  $I_{DSQ} = 120\text{ mA}$

Freq (GHz)	$P_{1dB}$ (dBm)	$I_d$ (mA)	$G_{1dB}$ (dB)	$PAE_{1dB}$ (%)	$P_{3dBm}$ (dBm)	$I_d$ (mA)	$PAE_{3dB}$ (%)	Gamma Out_mag (Mag)	Gamma Out_ang (Degrees)
0.9	20.9	114	25.7	27	22.8	108	44	0.34	136
1.5	21.7	115	21.9	32	23.1	95	53	0.31	152
1.8	21.3	111	20.5	30	23.0	105	47	0.30	164
2	22.0	106	19.5	37	23.7	115	50	0.28	171
4	22.7	110	12.7	40	23.6	111	47	0.26	-135
6	23.3	115	9.2	41	24.2	121	44	0.24	-66

ATF-34143 Power Parameters tuned for Power,  $V_{DS} = 4\text{ V}$ ,  $I_{DSQ} = 60\text{ mA}$

Freq (GHz)	$P_{1dB}$ (dBm)	$I_d$ (mA)	$G_{1dB}$ (dB)	$PAE_{1dB}$ (%)	$P_{3dBm}$ (dBm)	$I_d$ (mA)	$PAE_{3dB}$ (%)	Gamma Out_mag (Mag)	Gamma Out_ang (Degrees)
0.9	18.2	75	27.5	22	20.5	78	36	0.48	102
1.5	18.7	58	24.5	32	20.8	59	51	0.45	117
1.8	18.8	57	23.0	33	21.1	71	45	0.42	126
2	18.8	59	22.2	32	21.9	81	47	0.40	131
4	20.2	66	13.9	38	22.0	77	48	0.25	-162
6	21.2	79	9.9	37	23.5	102	46	0.18	-77

ATF-34143 SC-70 4 Lead, High Frequency Nonlinear Model  
Optimized for 0.1–6.0 GHz



This model can be used as a design tool. It has been tested on MDS for various specifications. However, for more precise and accurate design, please refer to the measured

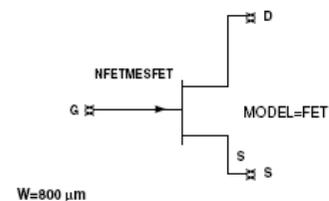
data in this data sheet. For future improvements Avago reserves the right to change these models without prior notice.

ATF-34143 Die Model

* STATZ MESFET MODEL *				
MODEL = FET				
IDS model	Gate model	Parasitics	Breakdown	Noise
NFET=yes	DELTA=2	RG=1	GSRFD=1	FNC=01e+6
PFET=	GS CAP=3	RD=Rd	GSREV=0	R=17
IDSMOD=3	CGS=cgs pF	RS=Rs	GDFWD=1	P=66
VTC=-0.85	GDCAP=3	LG=Lg nH	GDREV=0	C=2
BETA= Beta	GDC=Cgd pF	LD=Ld nH	VJR=1	
LAMBDA=0.09		LS=Ls nH	IS=1 nA	
ALPHA=4.0		ODS=Cds pF	IR=1 nA	
B=0.8		CRF=1	IMAX=1	
TNOM=27		RC=Rc	XTI=	
IDSTC=			N=	
VBI=7			EG=	

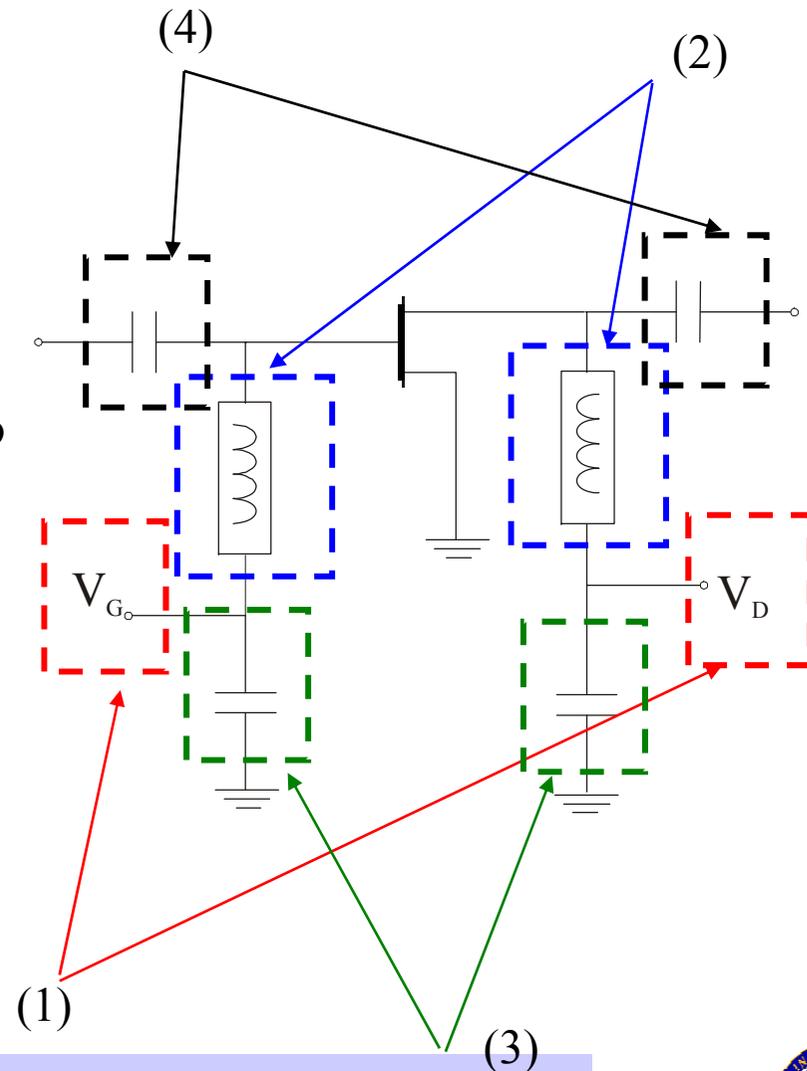
Model scal factors (W=FET width in microns)

EQUATION Cds=0.01\*W/200  
EQUATION Beta=0.06\*W/200  
EQUATION Rd=200/W  
EQUATION Rs=.5\*200/W  
EQUATION Cgs=0.2\*W/200  
EQUATION Cgd=0.04\*W/200  
EQUATION Lg=0.03\*200/W  
EQUATION Ld=0.03\*200/W  
EQUATION Ls=0.01\*200/W  
EQUATION Rc=500\*200/W

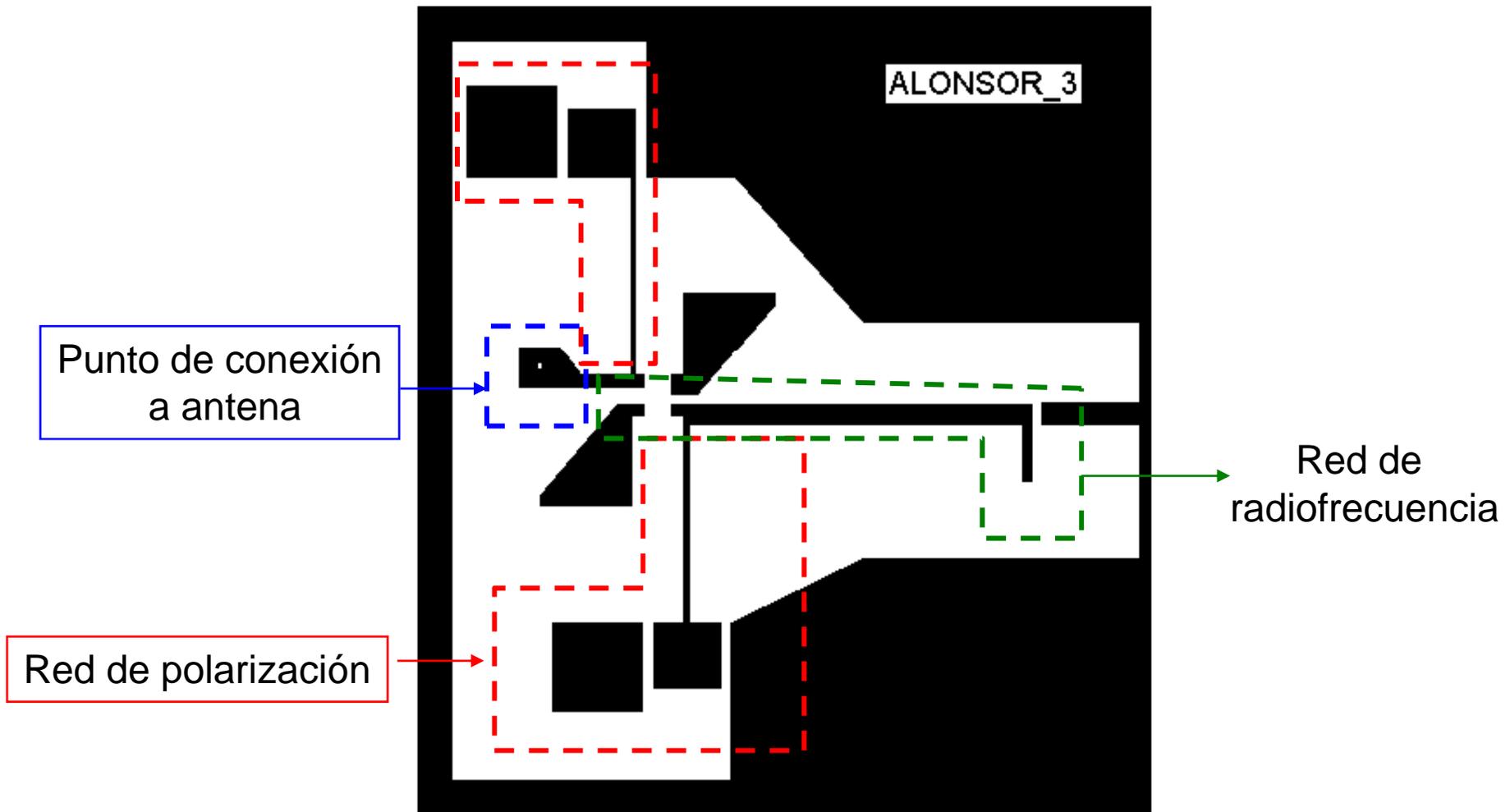


# POLARIZACIÓN DE AMPLIFICADORES

- Funciones:
  - Fija el punto de polarización del circuito: Circuito de polarización (fija  $V_g$  y  $V_d$ ) (1)
  - La señal RF no debe introducirse en el circuito DC (2)
  - El circuito RF no debe verse afectado por el circuito DC: reduce el efecto de las descargas transitorias y garantiza un corto en RF (3)
  - Los circuitos RF exteriores no deben verse afectados por la polarización del circuito en cuestión: aísla etapas de RF (4)
- Se pueden utilizar dos fuentes de polarización o una (autopolarizado)
- Estructura:
  - Elementos concentrados.
  - Elementos distribuidos.



# EJEMPLO DE TRAZADO FÍSICO PARA UN RADIADOR ACTIVO EN RECEPCIÓN (AMPLIFICADOR SIN RED DE ADAPTACIÓN EN LA ENTRADA)



# CONCLUSIONES

---

- Se han presentado las características y aplicaciones de los dispositivos semiconductores para circuitos de microondas.
- Son tres los dispositivos que, de forma general, se han presentado: diodos Schottky, transistor bipolar (normalmente de heteroestructura), transistores de tipo FET (normalmente HEMT y MESFET).
- Los diodos se utilizan para mezcladores, multiplicadores y moduladores.
- Los elementos bipolares se utilizan para aplicaciones de baja frecuencia (por debajo de 8 GHz, generalmente) y donde las especificaciones de ruido no son importantes. También se utilizan para osciladores porque su ruido de fase es bajo.
- Los elementos de efecto de campo se utilizan en frecuencias mucho más elevadas que los bipolares y donde las características de ruido han de ser bajas.  
Aplicaciones: amplificadores de bajo ruido, mezcladores y multiplicadores.



# BIBLIOGRAFÍA

---

- S. Maas, “The RF and Microwave Circuit Design Cookbook”, Artech House, 1998.
- S. Maas, “Nonlinear microwave circuits”, IEEE Press 1997.
- Collin, “Foundations for microwave engineering”, segunda edición, Wiley 1992.

