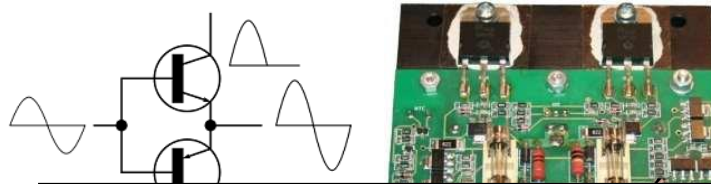




Tecnología Electrónica

Capítulo 8: Circuitos y Etapas de Potencia.

Etapas de salida lineales. Clases. (1/2)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Índice general del capítulo



Sección 1:

1. Etapas de salida lineales: clases.
2. Amplificadores en clase A
 - Circuito. Formas de onda. Balance energético.
3. Amplificadores en clase B, AB
 - Circuito. Formas de onda. Balance energético.
4. Amplificadores de potencia integrados

Sección 2:

5. Otras clases: C y D

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Índice de la sección 1



1. Etapas de salida: clases.
2. Amplificadores en clase A
 - 2.1. Conceptos generales. Circuito básico.
 - 2.2. Excursión de señal y formas de onda
 - 2.3. Balance energético y rendimiento
 - 2.4. Factores de diseño
3. Amplificadores en clase B y AB
 - 3.1. Circuito básico. Funcionamiento.
 - 3.2. Distorsión de cruce y su eliminación. Clase AB.
 - 3.3. Análisis, balance energético y rendimiento
 - 3.4. Factores de diseño
 - 3.5. Otros factores. Protecciones.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



1. Etapas de salida. Clases.

- ❑ Las etapas de salida son las finales de un amplificador
 - Criterio principal de diseño:
 - *Entregar la potencia requerida por la carga*
 - Factores adicionales:
 - *Linealidad: distorsión reducida de la señal de salida)*
 - *Protección de los dispositivos: SOA, T...*
 - *Rendimiento: menores P_D , mayor duración de baterías, ...*

- ❑ Diversas soluciones
 - Según la evolución tecnológica
 - *A mayor capacidad de integración en chips, mejores circuitos*
 - Según el coste relativo del circuito
 - *Balance entre el coste del amplificador y el resto de elementos del*

Cartagena99

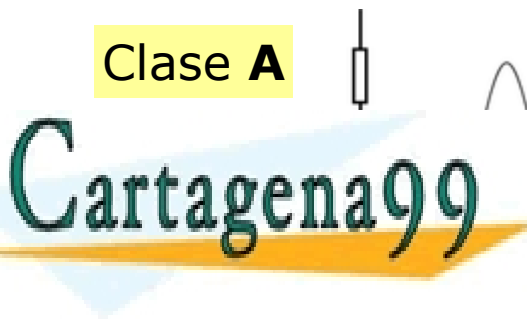
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



1. Etapas de salida. Clases.

- ❑ Históricamente, las etapas de salida se agrupan en **Clases**
 - Las clases reflejan además la propia evolución de estas etapas
 - Se dividen en clases lineales y clases en conmutación
 - *En función del modo de funcionamiento (lineal o conmutado) de sus dispositivos activos.*
 - *En conmutación son más complejas, pero con mucho mejor rendimiento.*
- ❑ Clases lineales: en función del ciclo de conducción por periodo T
 - Clase **A**: el dispositivo activo conduce **todo el periodo T**
 - Clases **B** o **AB**: cada dispositivo activo conducen la mitad, solo **$T/2$**
 - Clase **C**: el dispositivo activo conduce menos que $T/2$.



Clase A Clase B Clase C

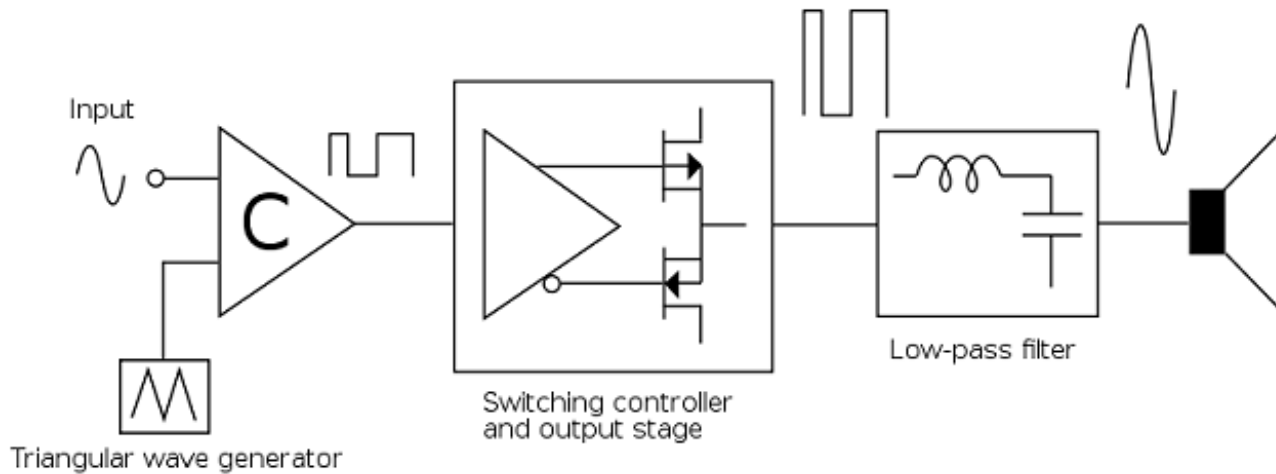
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



1. Etapas de salida. Clases.

- ❑ Clases en conmutación: basados en modulaciones digitales
 - Clase **D**: configuración básica en conmutación, mediante PWM (PWM = *Pulse Width Modulation* → Modulación de pulsos en anchura)



- ❑ Otras propuestas y mejoras
 - Clases **E**, **F**, **G**, etc.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

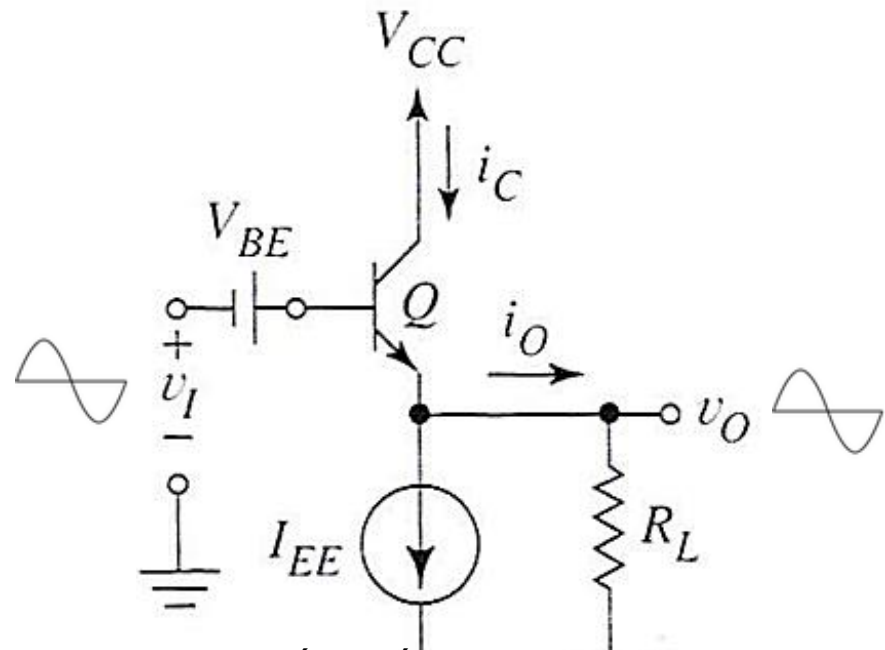
2.1. Etapa en clase A. Introducción.

❑ Características principales

- Su dispositivo de salida está activo todo el periodo T de la señal
- Reducida distorsión en la señal de salida
- Pobre rendimiento

❑ Circuito básico

- Seguidor de emisor:
 - $G_V=1$, $G_I \rightarrow$ grande.
- Polarización con: $\pm V_{CC}$, I_{EE}
- Carga y generador directamente acoplados
- Nota:
 - La batería V_{BE} se introduce



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

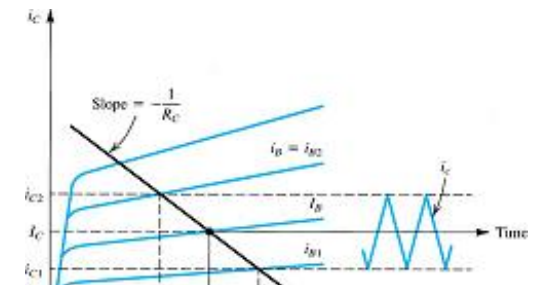
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



2.1. Etapa en clase A. Introducción.

- ❑ ¿Qué buscamos? ¿Qué queremos saber?
 - Potencia de entrada al circuito
 - *Las proporcionadas por alimentaciones, baterías, etc.*
 - Potencias entregadas por el circuito
 - *Potencia útil, la entregada a la carga*
 - *Potencias de pérdidas, disipadas en elementos activos y de polarización*
 - Rendimiento
 - Límites de funcionamiento y riesgos de rotura
 - *En tensión, corriente, potencia, temperatura*

- ❑ ¿Cómo lo hacemos?
 - Identificando las formas de onda
 - En gran señal (curvas de los dispositivos)



Cartagena99

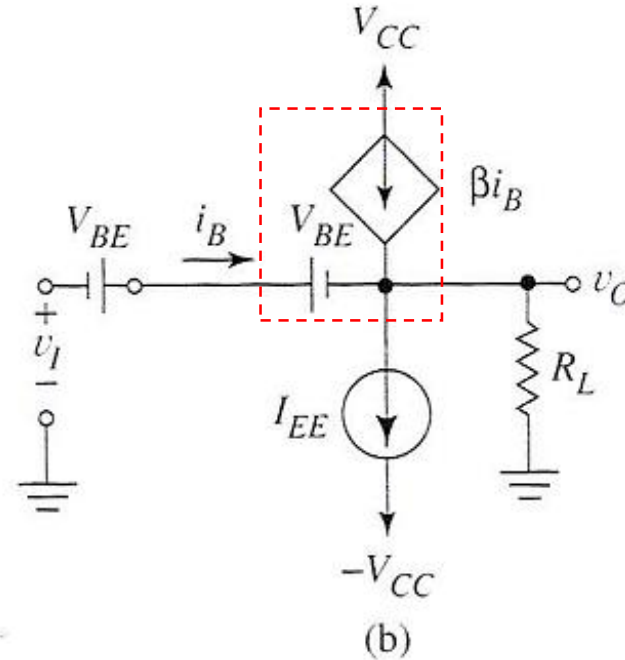
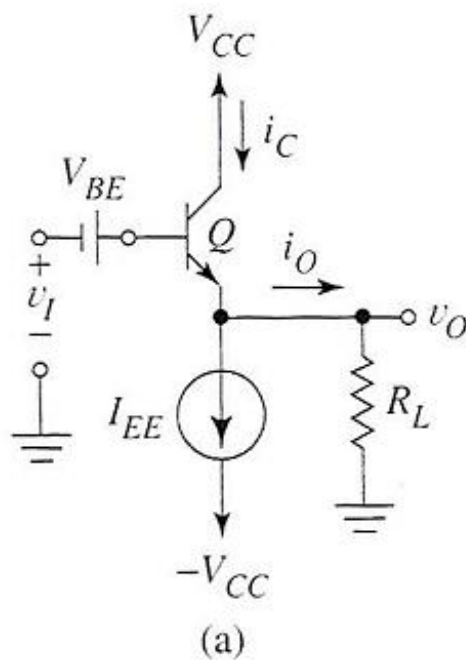
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

(b)



2.2. Clase A. Análisis

- Con señal nula ($v_I=0$): punto de polarización



Modelo en gran señal

$$v_I = 0 \rightarrow v_O = 0 \rightarrow i_O = 0$$

Potencia de entrada (alimentación):

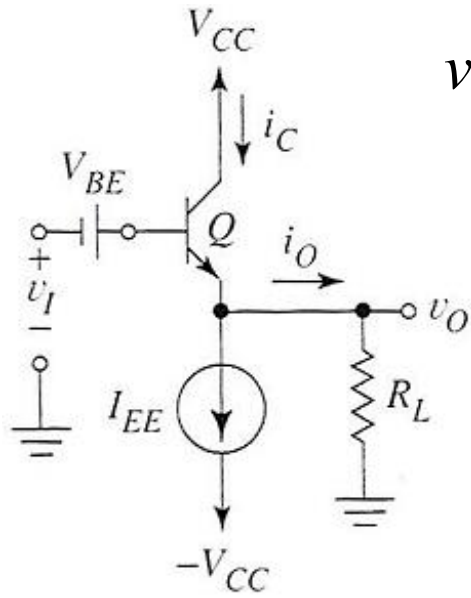
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

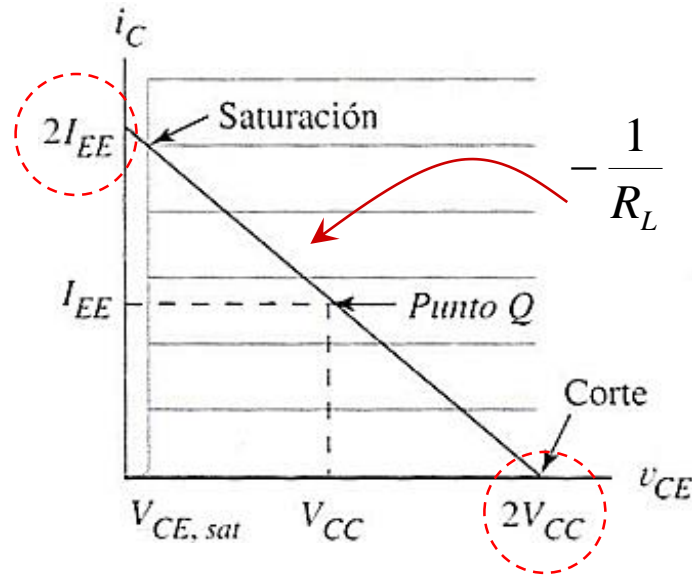
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

2.2. Clase A. Excursión de señal

- Con señal, el punto Q se desplazará por la **recta de carga**



$$v_O = v_I \Rightarrow i_C = I_{EE} + \frac{v_O}{R_L} = I_{EE} + \frac{V_{CC} - v_{CE}}{R_L}$$



Para máxima excursión de señal, interesa que Q esté en el **centro** de la **recta de carga**:

$$I_{EE} = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

En saturación ($v_i \sim 0$):

Cartagena99

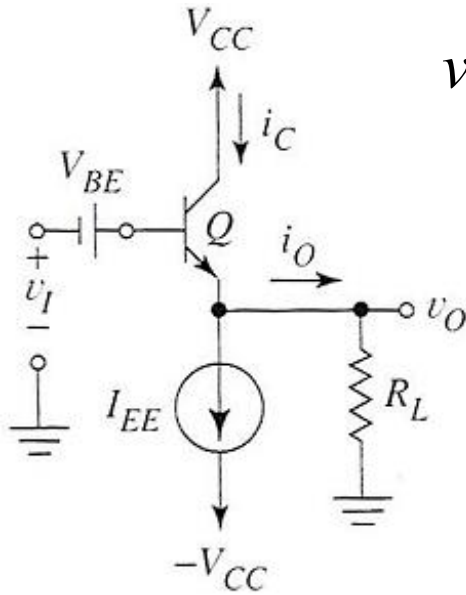
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



2.2. Clase A. Excursión de señal

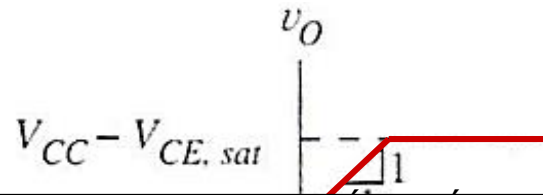
Por tanto, en las mejores condiciones, con $I_{EE} = (V_{CC} / R_L)$



$$v_O = v_I \Rightarrow -V_{CC} \leq v_O \leq V_{CC}$$

Teniendo en cuenta los límites de Q e I_{EE}

$$-V_{CC} + V_{I_{EE} \min} \leq v_O \leq V_{CC} - V_{CEsat}$$



Función de transferencia

Cartagena99

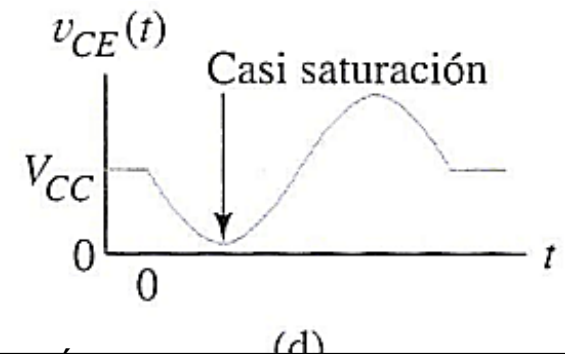
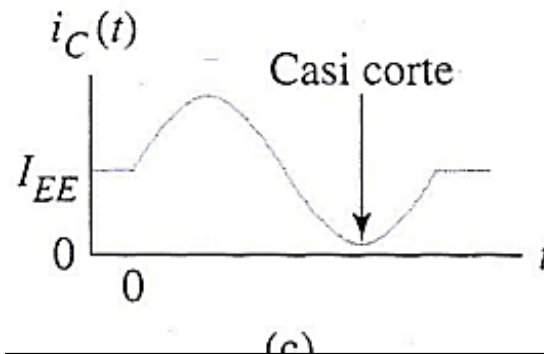
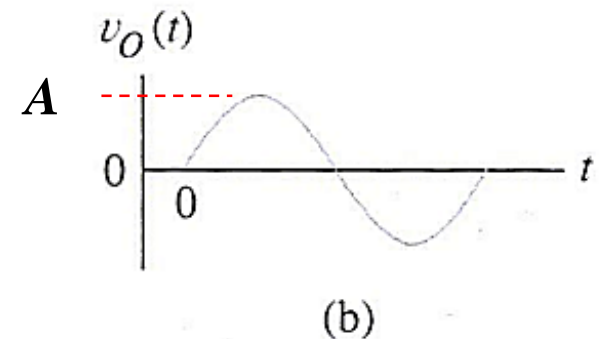
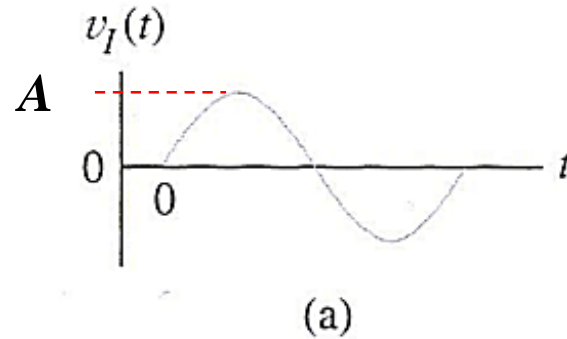
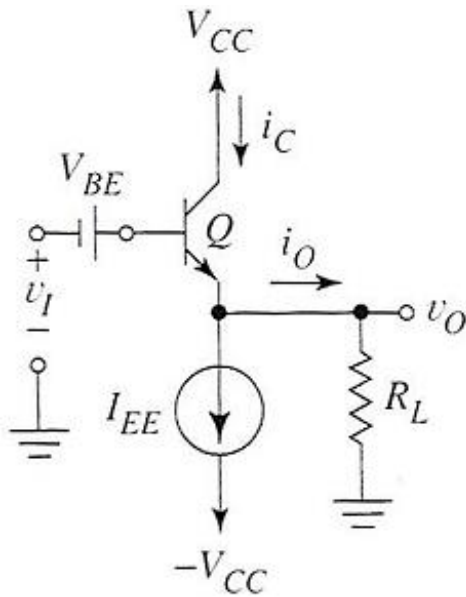
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

2.2. Clase A. Formas de onda

- Necesarias para evaluar las potencias en todo el circuito

$$v_I = A \sin(\omega_0 t) = v_O$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



2.3. Balance energético y rendimiento

- ❑ Evaluamos las potencias de entrada y salida al circuito
 - En condiciones óptimas y con $I_{EE} = (V_{CC} / R_L)$

- ❑ **Balance sin señal.**

- Potencia de entrada: de las alimentaciones $\pm V_{CC}$

$$P_i = 2 \cdot P_{CC} = 2 \cdot V_{CC} \cdot I_{EE} = 2(V_{CC}^2 / R_L)$$

- Potencia de salida: cero en la carga; disipan Q y la fuente I_{EE}

$$P_{DI_{EE}} = V_{CC} \cdot I_{EE} = (V_{CC}^2 / R_L)$$

$$P_{DQ} = V_{CC} \cdot I_{EE} = (V_{CC}^2 / R_L)$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

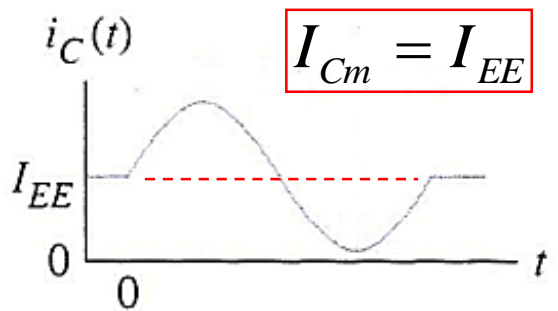
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



2.3. Balance energético y rendimiento

Balance con señal:

- Utilizaremos potencias medias \leftrightarrow señales *rápidas* (ver sección 2.5)
- Potencia de entrada:** de las DOS alimentaciones $+V_{CC}$ y $-V_{CC}$

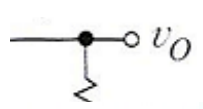


$$P_i = P_{CC+} + P_{CC-} \quad \begin{cases} P_{CC+} = V_{CC} \cdot I_{Cm} \\ P_{CC-} = V_{CC} \cdot I_{EE} \end{cases}$$



$$P_i = 2 \cdot V_{CC} \cdot I_{EE} = 2(V_{CC}^2 / R_L)$$

- Potencias de salida, 1.** Potencia útil en la carga:



$$v_o(t)$$

$$v_o(t) = A \sin(\omega_0 t)$$

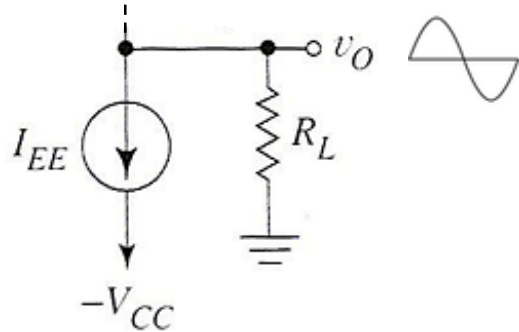
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

2.3. Balance energético y rendimiento

- **Potencias de salida, 2.** Pérdidas en la fuente de corriente:

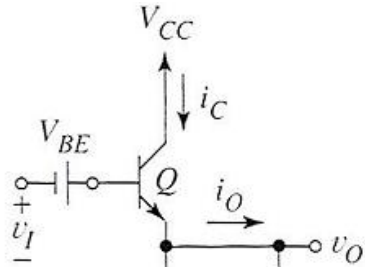


$$v_{I_{EE}} = v_O + V_{CC} \rightarrow V_{I_{EE}m} = V_{CC}$$

$$P_{DI_{EE}} = V_{CC} \cdot I_{EE} = (V_{CC}^2 / R_L)$$

- **Potencias de salida, y 3.** Pérdidas en el transistor:

- *Más fácil de obtener, mediante el balance de potencias*



$$P_i = P_{DQ} + P_{DI_{EE}} + P_L \rightarrow P_{DQ} = P_i - P_{DI_{EE}} - P_L$$

Cartagena99

V_{i2} V_{i2} A_2 V_{i2} A_2

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

2.3. Balance energético y rendimiento

□ Rendimiento:

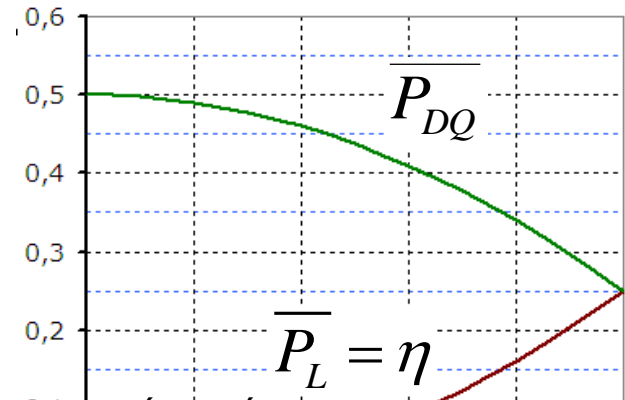
$$\eta = \frac{P_L}{P_i} = \frac{A^2}{2R_L} \cdot \frac{R_L}{2V_{CC}^2} = \frac{A^2}{4 \cdot V_{CC}^2} \rightarrow \eta_{\max} = \frac{A_{\max}^2}{4 \cdot V_{CC}^2} = \frac{V_{CC}^2}{4 \cdot V_{CC}^2} = 0,25$$

□ Varios parámetros del amplificador dependen de A:

- Potencia en la carga, pérdidas en el transistor Q y rendimiento

(■): Variación de η en función de la amplitud A de la señal:

(■ y ■): Variaciones de P_L y P_{DQ} en función de A y respecto a P_i :



Cartagena99

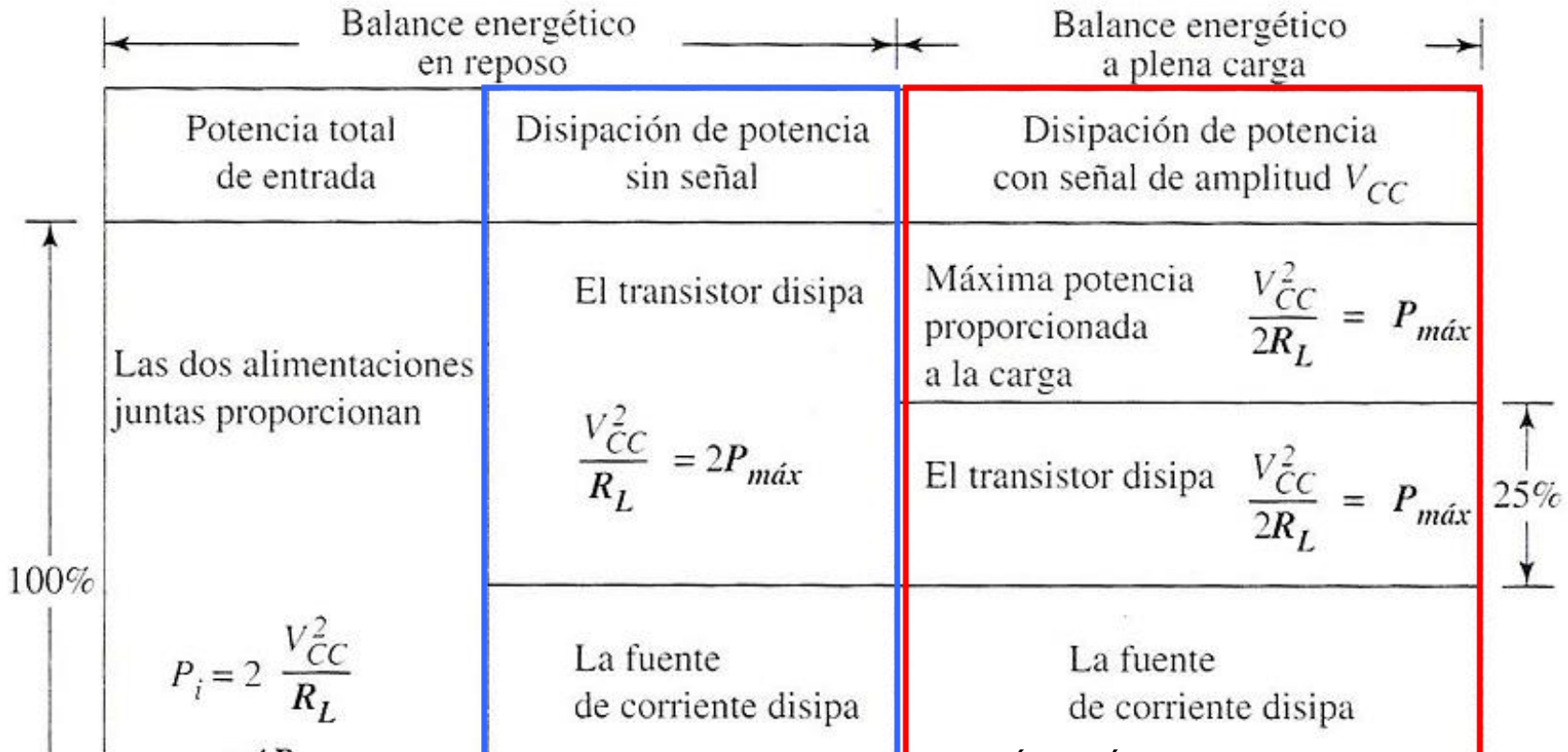
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



2.3. Balance energético y rendimiento

□ Casos extremos (**reposo** y **plena carga**) en función de la P_{Lmax} (P_{max})



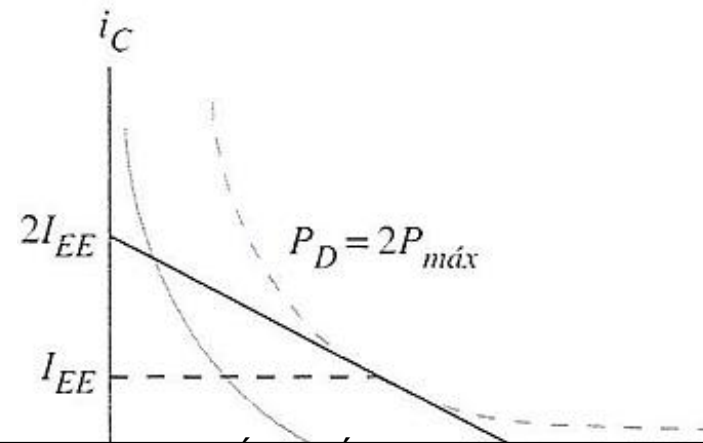
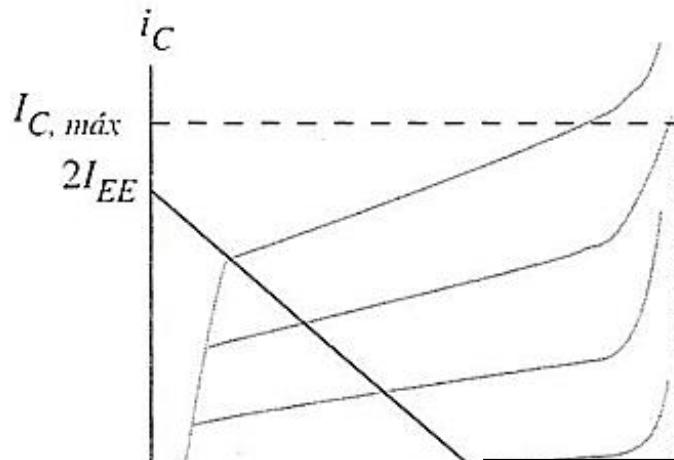
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

2.4. Limitaciones y factores de diseño

- ❑ El principal factor de diseño en una etapa de potencia es la potencia máxima requerida en la carga: P_{max}
- ❑ A partir de este dato tenemos que dimensionar el circuito.
 - Valores de alimentaciones y fuente de corriente
 - Límites máximos de los dispositivos activos: en V, I y P



Cartagena99

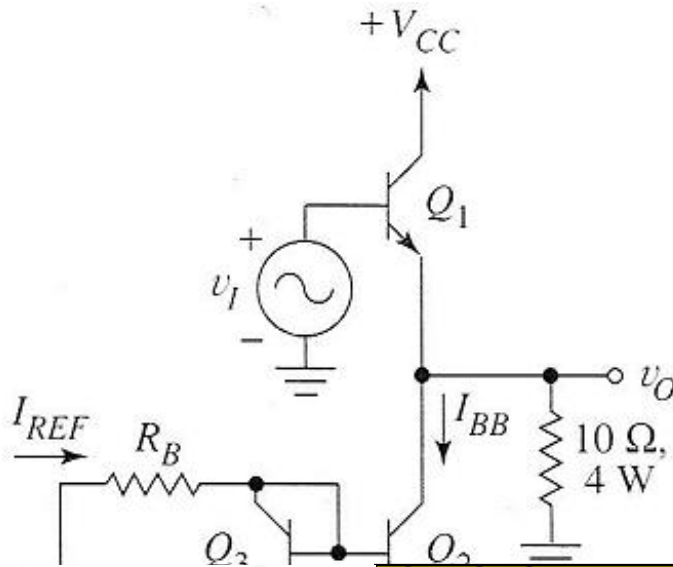
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

2.5. Ejemplo de diseño

□ Ejercicio 3 (ejemplo 10.2 Malik)

- En amplificador en clase A de la figura debe proporcionar 4W a una carga de 10Ω . Para la fuente de corriente, considere que Q2 tiene un área de unión seis veces mayor que la de Q3. Realice un diseño detallado de todos los elementos del circuito.



Nota 1: considere despreciable el efecto de la V_{γ} de Q1.

Nota 2: la relación dada entre las áreas (tamaños) de las uniones en Q2 y Q3 define igualmente la relación entre sus corrientes, esto es: la corriente por Q2 será

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

3. Amplificador en clase B

❑ Características definitorias de la clase

■ Para señal senoidal:

■ *su dispositivo de salida conduce sólo en un semiperiodo de la señal*

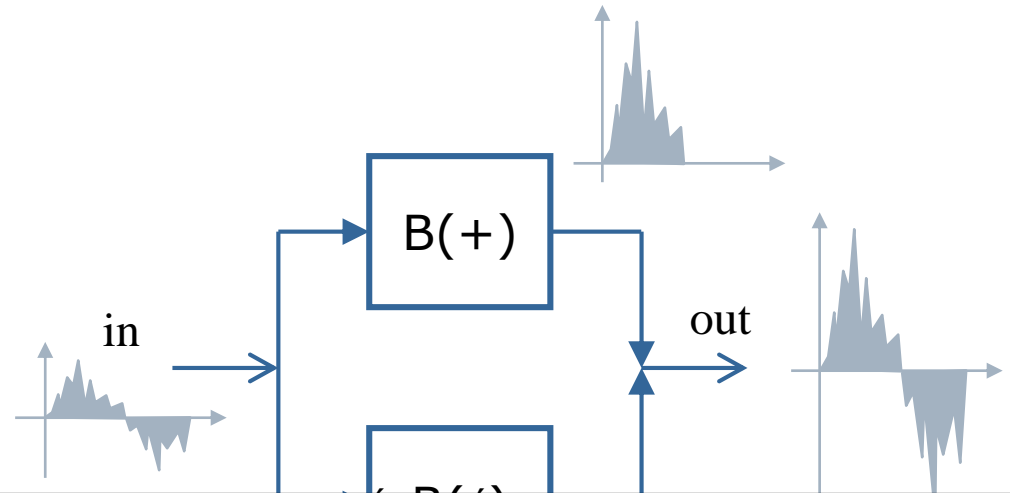
■ Para cualquier señal alterna:

■ *su dispositivo de salida conduce sólo para una única polaridad (positiva o negativa) de la señal de entrada.*

❑ ¿Puede un amplificador en clase B ser **lineal**?

■ Si, pero necesita DOS etapas clase B juntas:

■ Una para cada polaridad de la señal (+ y -)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

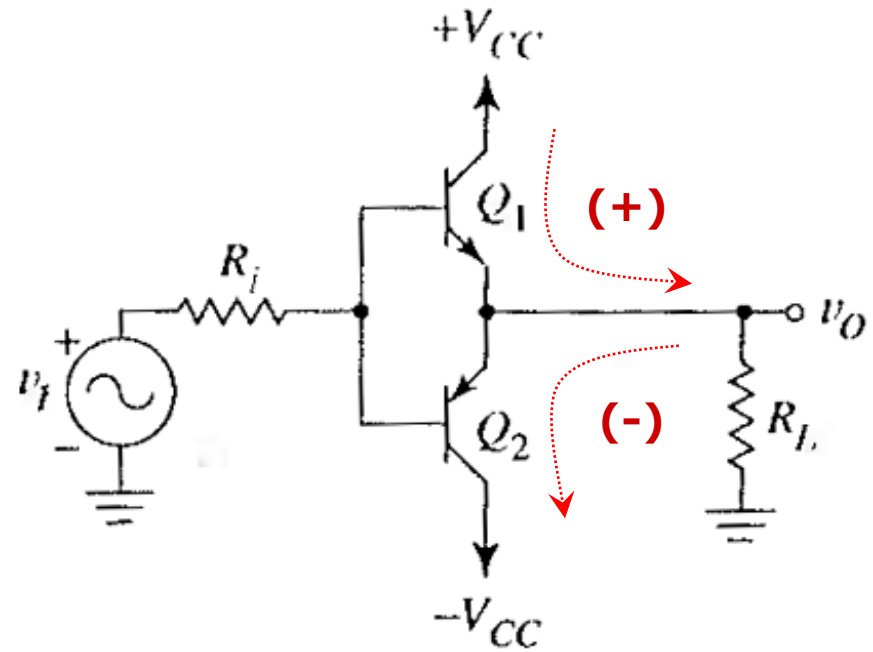
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



3.1. Clase B: circuito básico

□ Circuito básico usando BJTs:

- Un tipo para cada sentido de la corriente de salida
- Semiciclo (+):
 - corrientes salientes → NPN
- Semiciclo (-):
 - corrientes entrantes → PNP



□ Estructura con un eje de simetría longitudinal

- Los BJTs conviene que sean similares en características (β , P_D , etc.)
- Por ello, los fabricantes hacen **pares de Q's complementarios**

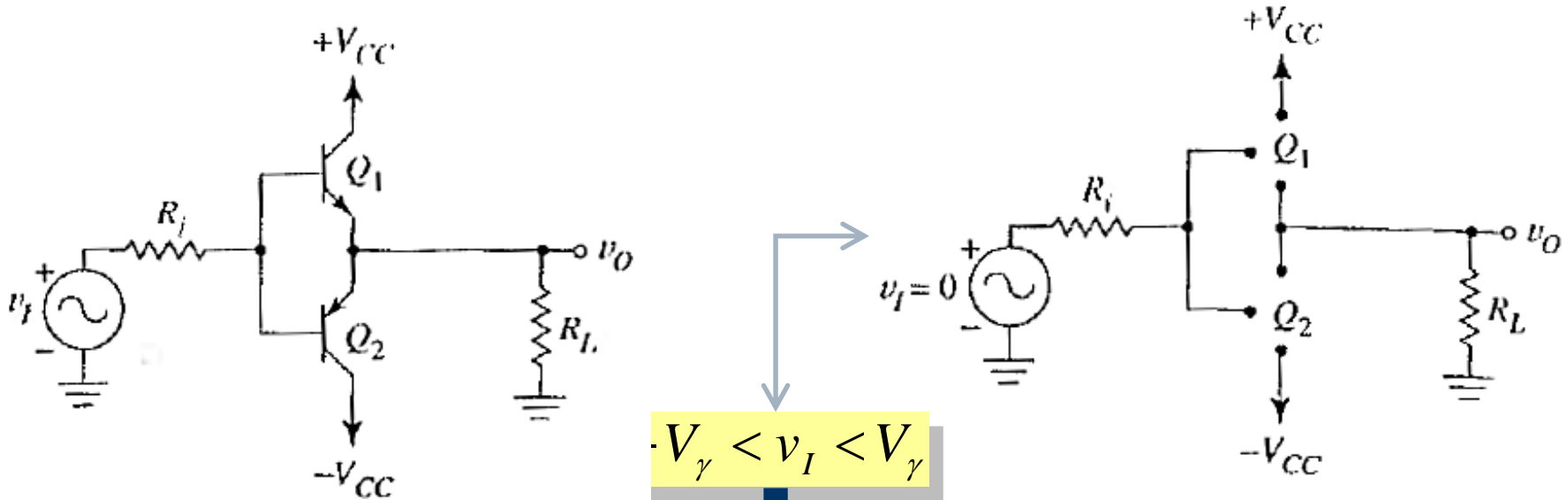
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

3.1. Clase B: funcionamiento

- **Sin señal:** $v_I = 0 \rightarrow v_O = 0$
 - Ambos transistores están cortados y no fluye corriente por R_L
 - Los transistores se mantendrán *cortados* si: $-V_\gamma < v_I < V_\gamma$



$-V_\gamma < v_I < V_\gamma$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

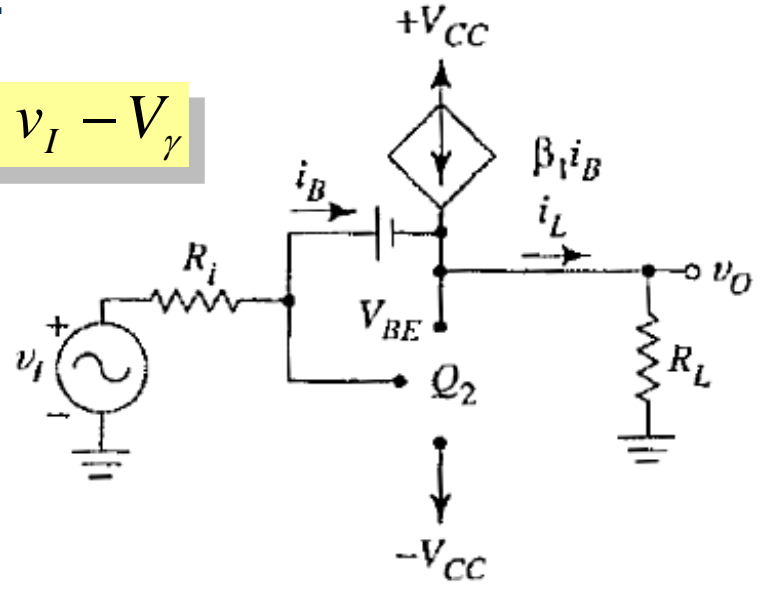
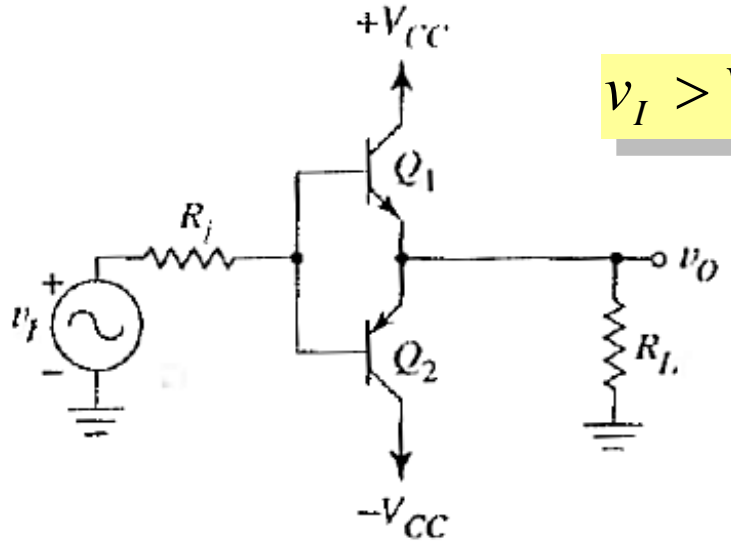
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

3.1. Clase B: funcionamiento

- ❑ Entradas **positivas**: $v_I > V_\gamma$
 - Conduce el transistor superior (Q_1 , npn). Q_2 está cortado.
 - Por sencillez en el análisis, supondremos que $(i_B \cdot R_i) \ll$
 - La tensión de salida tiene un *offset*:

$$v_I > V_\gamma \Rightarrow v_O = v_I - V_\gamma$$



- ❑ Ganancia de potencia

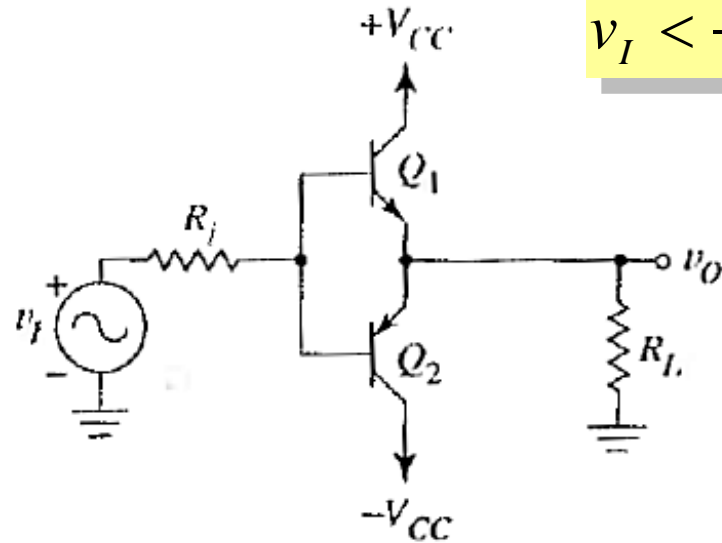
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

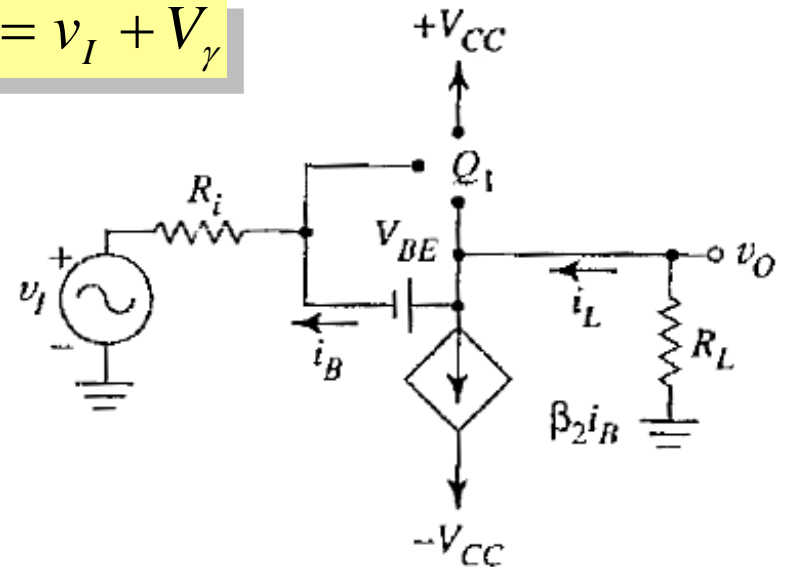
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

3.1. Clase B: funcionamiento

- ❑ Entradas **negativas**: $v_I < -V_\gamma$
 - Q_1 está cortado. Conduce el transistor inferior (Q_2 , pnp)..
 - La tensión de salida también tiene un *offset*:



$$v_I < -V_\gamma \Rightarrow v_O = v_I + V_\gamma$$



- ❑ Ganancia de potencia

Cartagena99

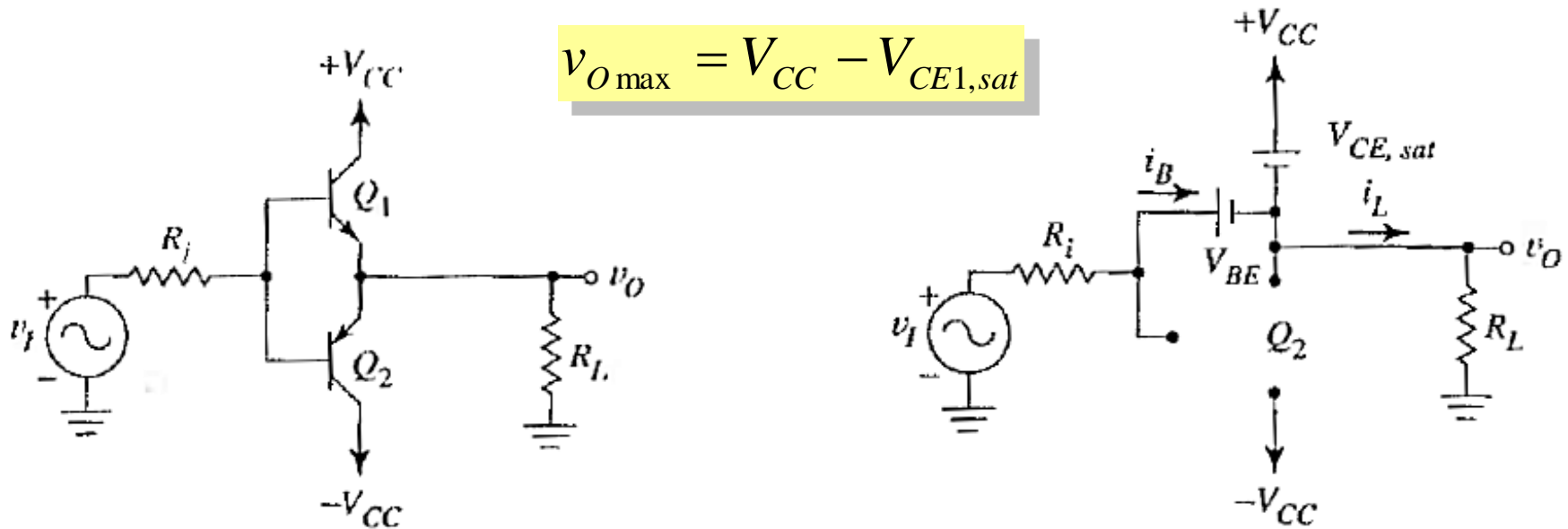
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

3.1. Clase B: funcionamiento

□ Límites de la tensión de salida

- Cuando la tensión de salida llega a hacer que los Q's saturen:



$$v_{O \max} = V_{CC} - V_{CE1,sat}$$

- En los ciclos negativos, el límite se debe a la saturación de Q₂

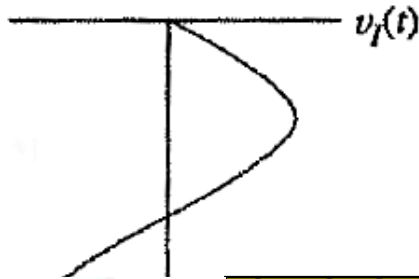
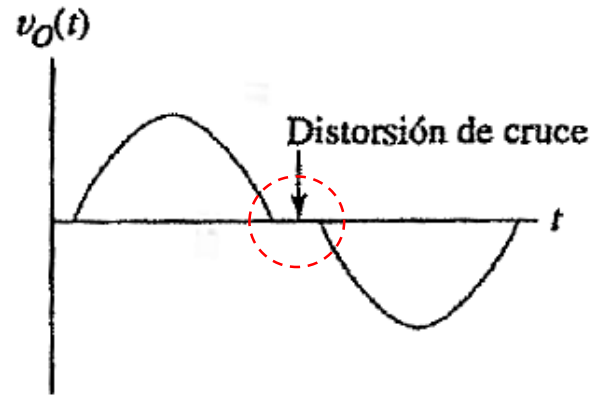
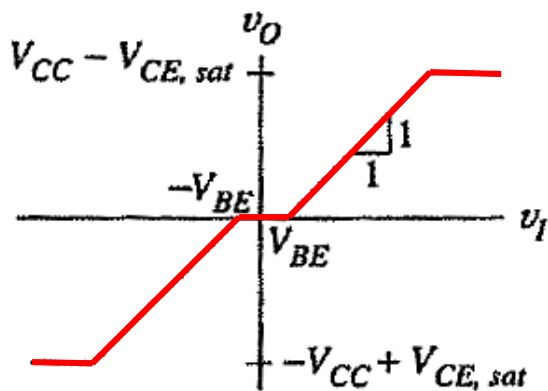
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

3.2. Clase B: función de transferencia

- La "zona muerta" en v_I es un problema muy importante
 - Es conocida como **distorsión de cruce** [en el paso de (+) a (-)]



- El efecto de la distorsión de cruce es la **eliminación** de la **banda central** de la señal:

$$-V < v_I < V \Rightarrow v_O = 0$$

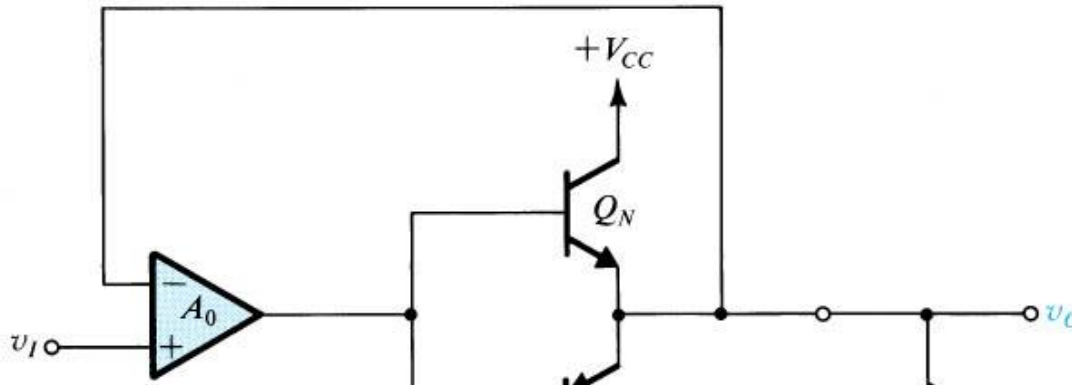
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

3.2.1. Eliminación de la distorsión de cruce

- ❑ En aplicaciones lineales, hay que eliminar la distorsión de cruce
 - Dos posibles alternativas:
 - *Mediante Realimentación*
 - *Mediante la pre-polarización de los elementos activos*
- ❑ Solución 1: mediante Realimentación
 - Con un operacional de ganancia infinita obligamos a que v_O siga a v_I



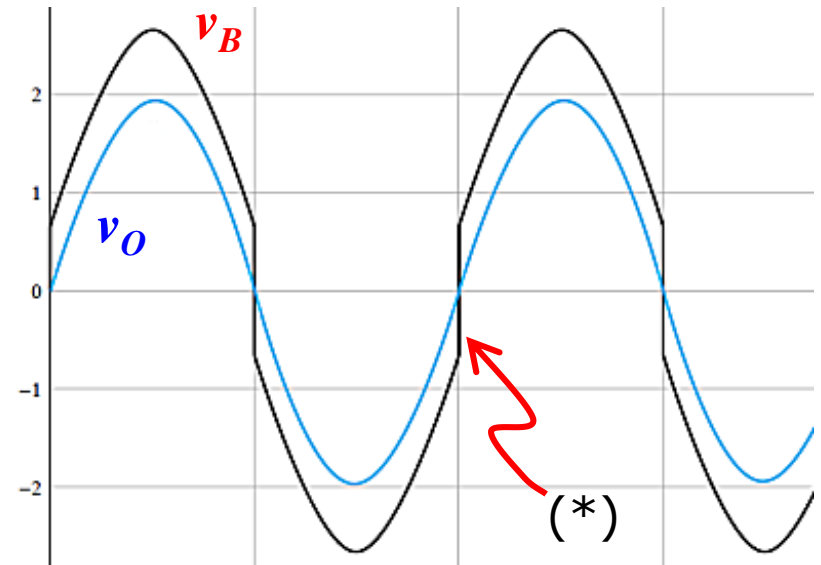
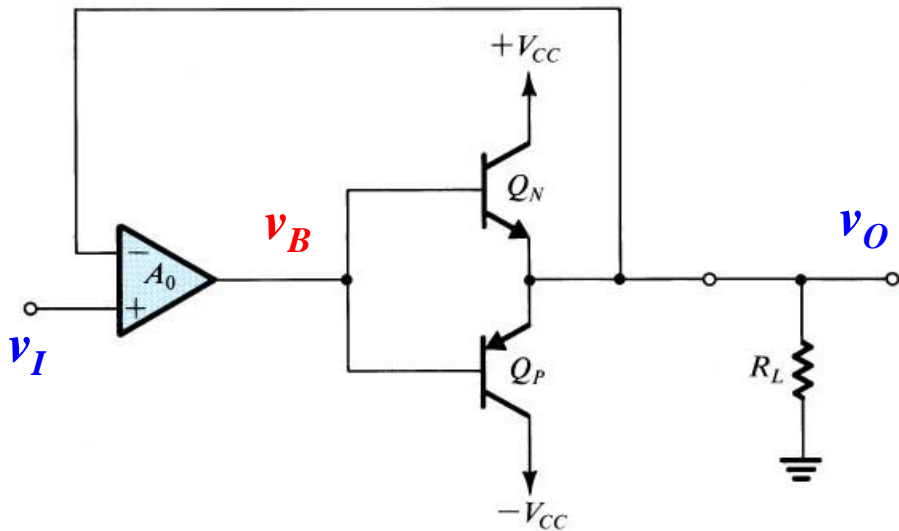
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3.2.1. Eliminación de la distorsión de cruce

- ❑ ¿Cómo funciona la solución con Realimentación?
- El operacional mientras esté en Zona Lineal saca en su salida la tensión necesaria para que se cumpla que $V^+ = V^-$.
- Sólo será posible mientras el OP no se sature



Cartagena99

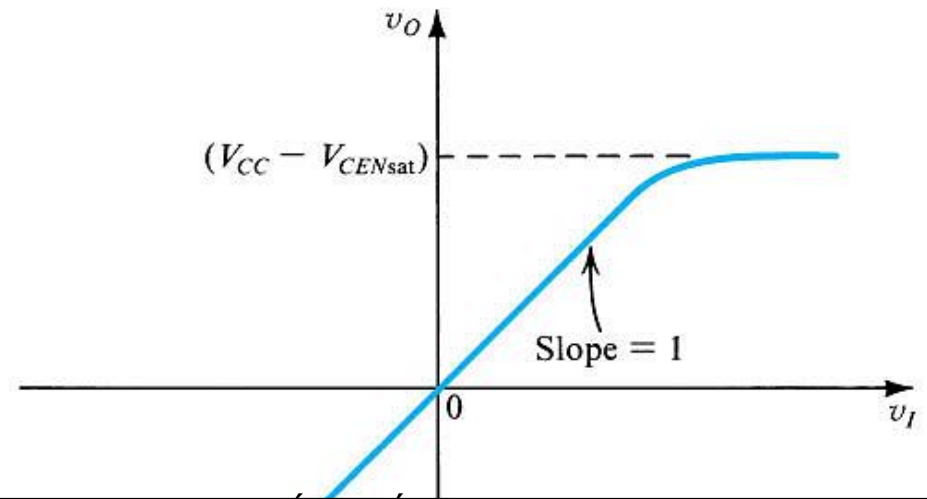
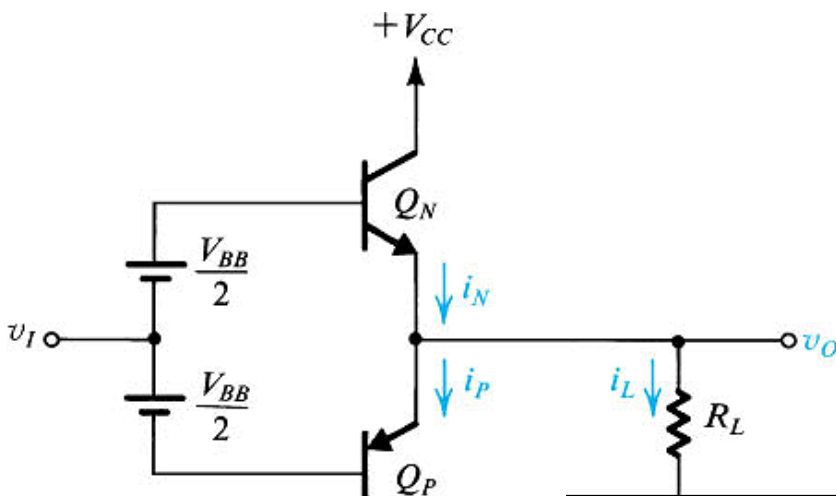
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Este curso dura un tiempo, y (SR) / Falda en los cruces por cero de v_O

3.2.2. Pre-polarización: clase AB

- Se polarizan ambas bases a una tensión $V_{BB} \approx 2V_{\gamma}$.
 - Ambos transistores están "a punto" de conducir
 - Con una cierta corriente inicial: con $i_L=0$ se tiene $i_N=i_P \neq 0$
 - Como conducen (un poco) sin señal \rightarrow se conocen como **clase AB**
 - Existen **varias formas** de conseguir la tensión V_{BB} necesaria



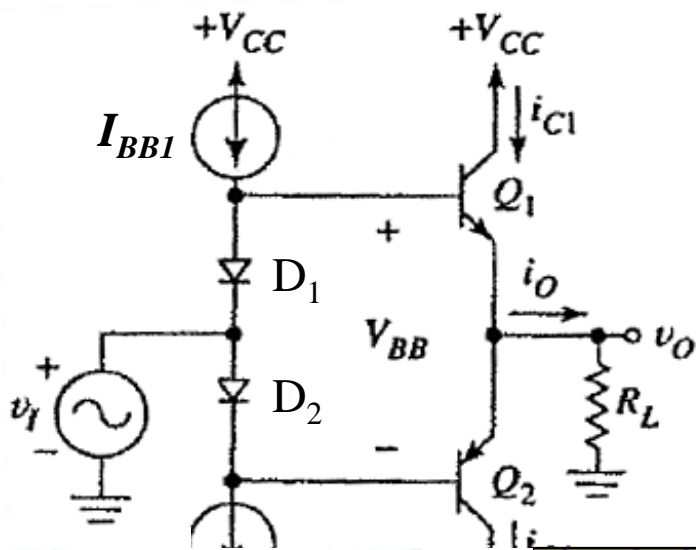
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

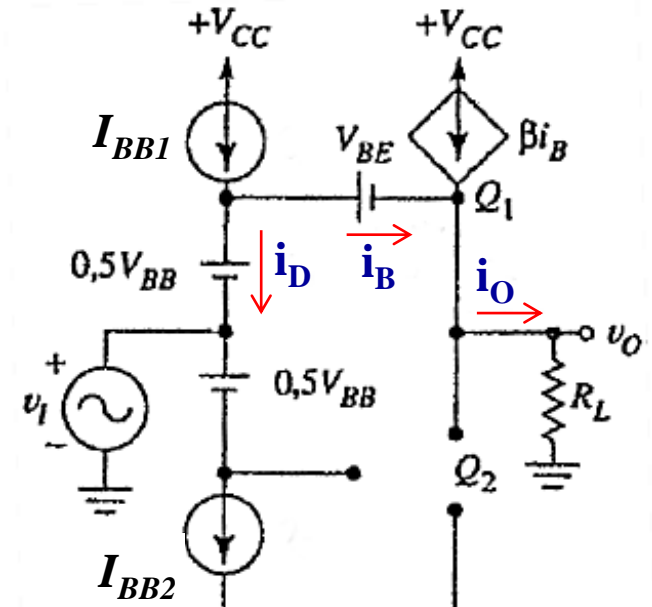
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

3.2.2. Pre-polarización con diodos

- Para V_{BB} se utilizan dos diodos en directo
 - Hay que garantizar la polarización de los diodos
 - Esto se hace con sendas fuentes de corriente auxiliares, I_{BB} .
 - Nótese que, en cualquier caso: $I_{BB} = i_B + i_D$



Para $v_I > 0$:



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

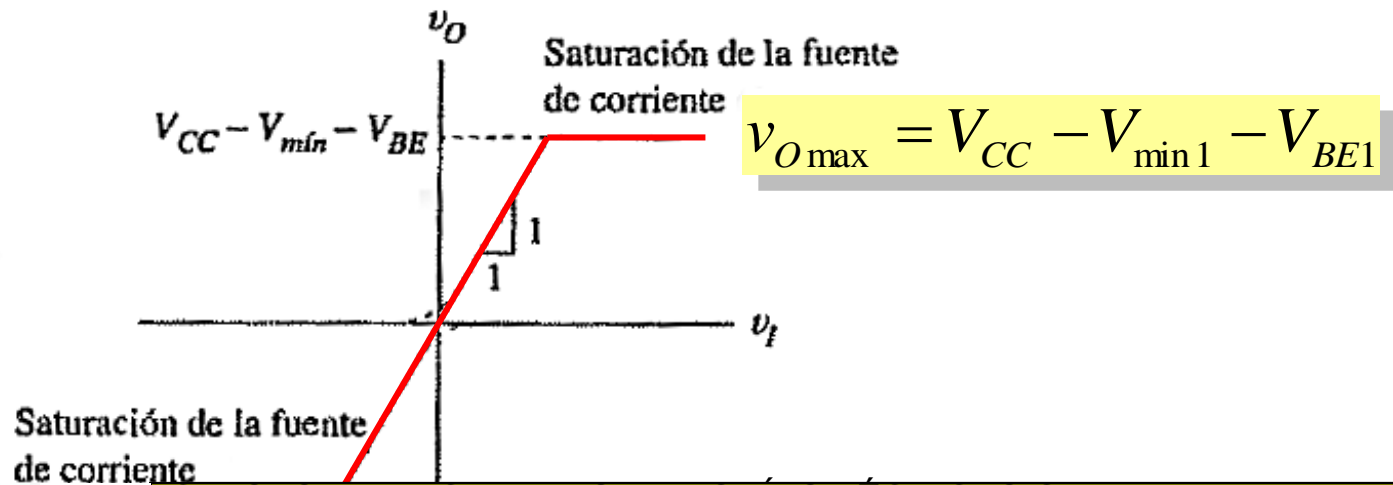
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



3.2.2. Pre-polarización con diodos

□ Función de transferencia sin distorsión de cruce

- Para $v_I > 0 \rightarrow Q1$ activo y $Q2$ corte, se tiene $v_O \approx v_I$
- Si v_I crece \rightarrow la V en I_{BB1} baja hasta alcanzar su valor mínimo $V_{\text{mín}}$.
 - En este momento, el amplificador alcanza su **saturación**
- Para $v_I < 0 \rightarrow Q1$ corte y $Q2$ activo: comportamiento similar.



Cartagena99

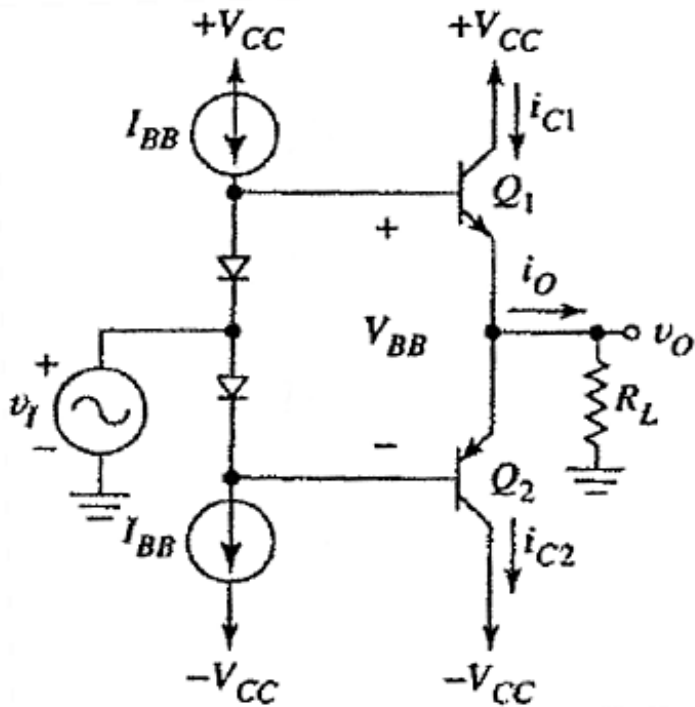
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3.3. Clase AB. Análisis.

□ Base de estudio: clase AB con diodos

■ Relaciones de corrientes y tensiones entre (Q1, Q2) y la salida



■ Semiciclos positivos: **Q1=ON**, Q2=OFF

$$i_o \approx i_{C1} \quad y \quad v_o = V_{CC} - v_{CE1}$$

■ Semiciclos negativos: Q1=OFF, **Q2=ON**

$$i_o \approx -i_{C2} \quad y \quad v_o = -V_{CC} - v_{CE2}$$

■ En la salida:

$$i_o = \frac{v_o}{R}$$

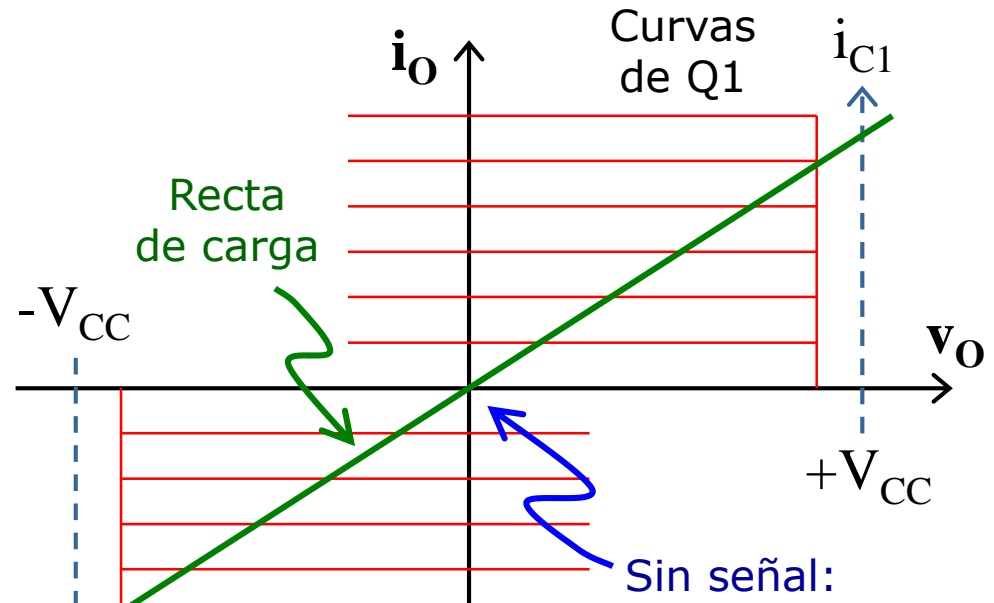
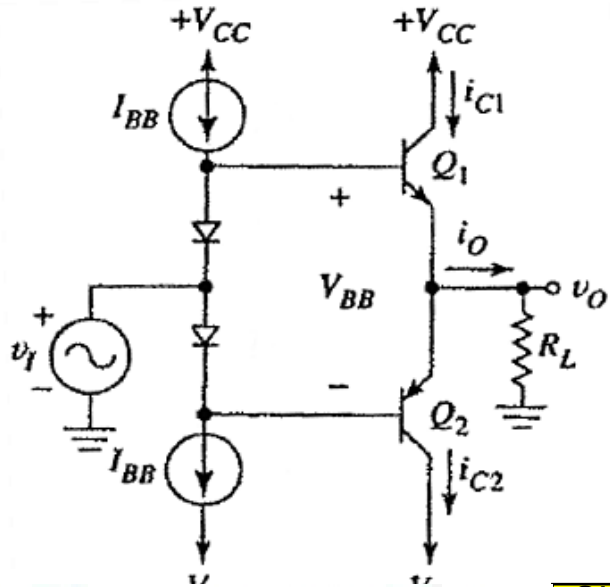
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

3.3. Clase AB. Recta de carga.

- ❑ Transferimos las ecuaciones anteriores de forma gráfica
 - Combinación de la f. de t. con las curvas de Q_1 (npn) y Q_2 (pnp)
 - La recta de carga relaciona entre sí todas las tensiones y corrientes importantes en el amplificador:



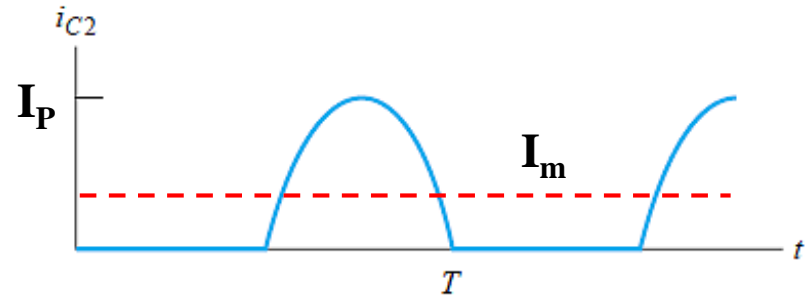
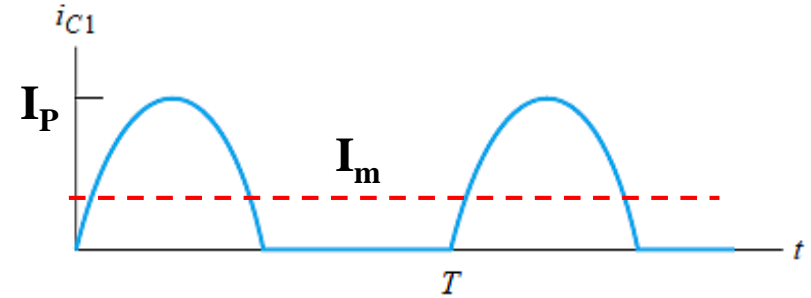
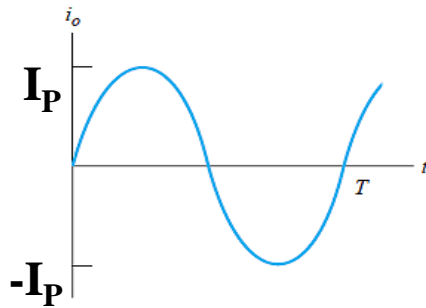
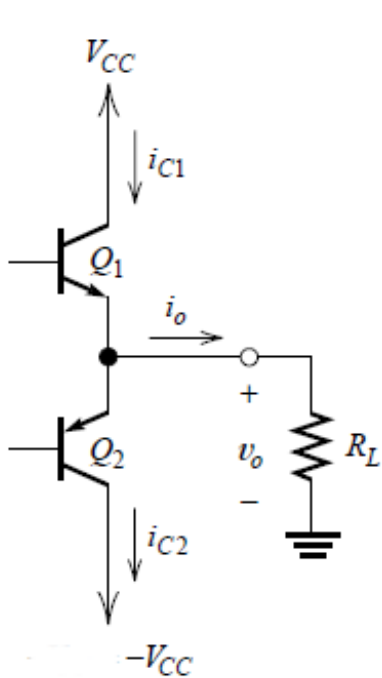
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

3.3. Clase AB. Formas de onda.

- ❑ Condiciones idealizadas de análisis $v_I(t) = v_O(t) = V_O \sin(\omega t)$
 - Régimen senoidal, sin distorsión de cruce ni saturaciones
 - Los valores obtenidos serán entonces en las mejores condiciones



Corriente de pico

$$I_P = \frac{V_O}{R_L}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



3.3. Clase AB. Balance energético

- ❑ Como cada fuente de alimentación (VCC) proporciona dichas corrientes por separado, tenemos que la potencia entregada por ambas juntas es:

$$P_i = 2 \cdot V_{CC} \cdot I_m = 2 \cdot V_{CC} \frac{V_0}{\pi \cdot R_L}$$

- ❑ La potencia media en la carga será:

$$P_L(V_0) = \frac{V_0^2}{2R_L}$$

- ❑ Con lo que el rendimiento en el clase AB resultará:

Alcanzando su máximo cuando

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

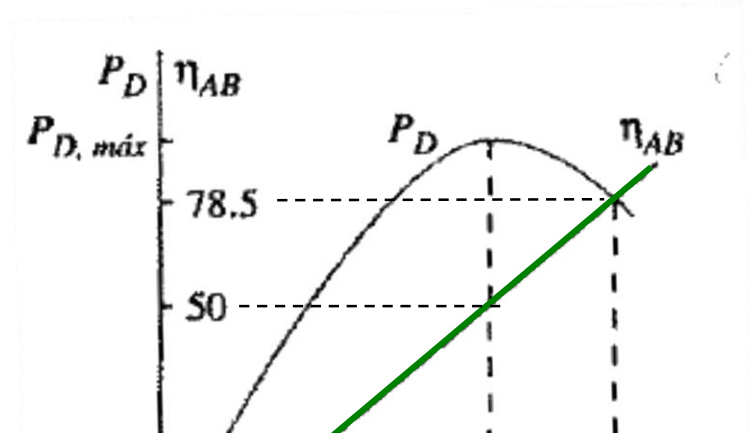
3.3. Clase AB. Balance energético

- Potencias disipadas en los transistores
 - Cada TRT trabaja la mitad del ciclo → misma P_{DQ} cada uno.
 - Deducimos P_{DQ} del balance energético

$$\left. \begin{aligned} P_i &= P_L + 2P_{DQ} \\ P_{DQ} &= 0,5(P_i - P_L) \end{aligned} \right\} \rightarrow P_{DQ}(V_0) = \frac{V_{CC} \cdot V_0}{\pi R_L} - \frac{V_0^2}{4R_L}$$

- P_{DQ} es una función parabólica de (V_0)
- El máximo está en $V_0 = (2V_{CC} / \pi)$:

$$P_{DQ,max} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L}$$



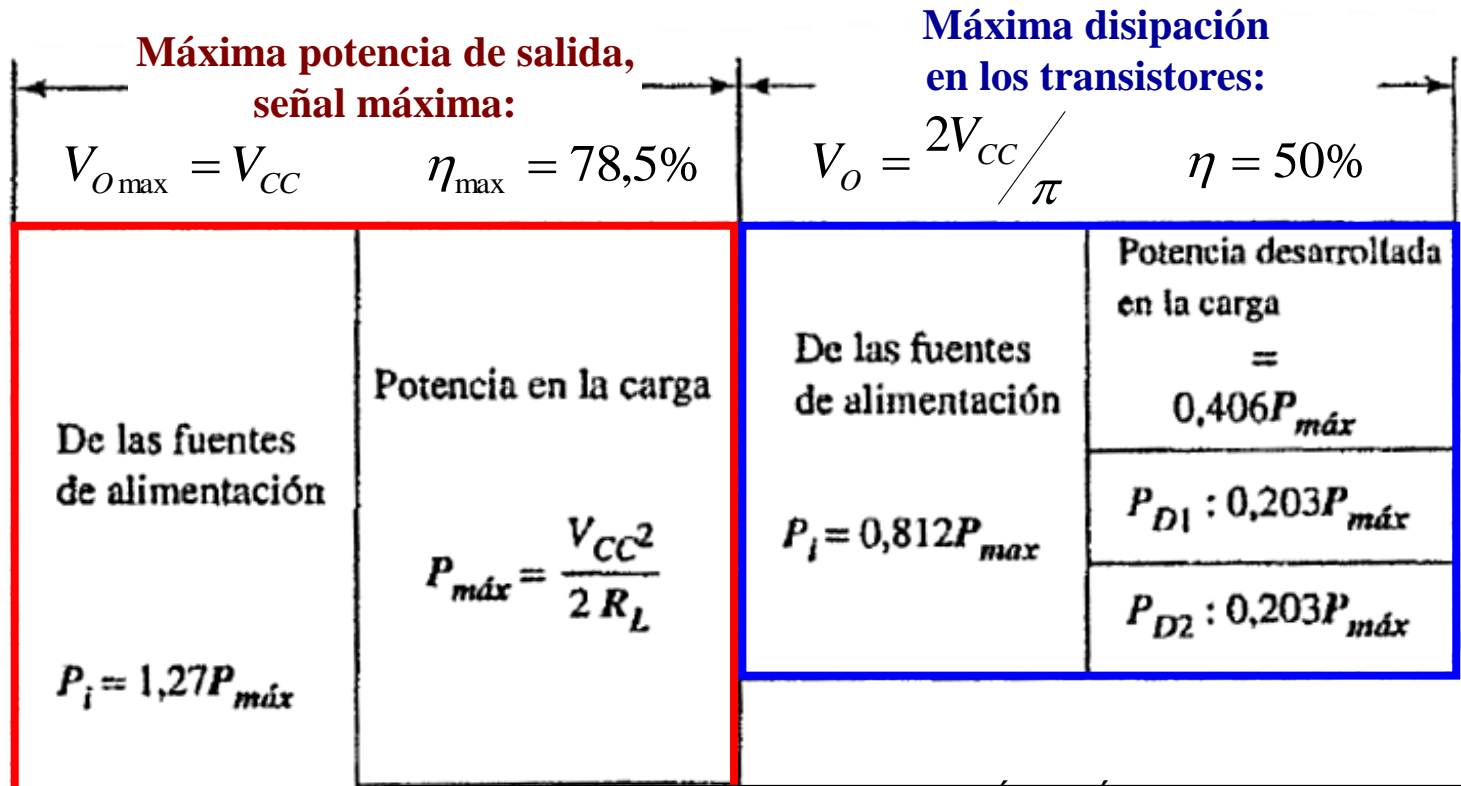
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

3.3. Clase AB. Balance energético

□ Casos de interés (*plena carga* y *máxima P_{DQ}*) en función de P_{Lmax}



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



3.4. Factores de diseño: clases B y AB

- ❑ Dato de partida: P_{max} , sobre una carga R_L dada.
 - Dimensionado de las alimentaciones y evaluación de las potencias necesarias
 - Condiciones máximas en cada caso
 - Nivel de señal para P_{max} → Alimentación y potencia de baterías
 - Potencias disipadas en los transistores → máxima para $\eta = 50\%$
 - Utilizaremos los cálculos y estimaciones del análisis teórico
 - **Muy Importante:** conclusiones de la tabla "Casos de interés", anterior.
- ❑ Otros factores
 - En un diseño práctico hay que considerar las saturaciones para determinar los valores máximos reales de la señal de salida.
 - Evitar especialmente la destrucción de los transistores de salida:

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



3.4. Diseño de amplificadores clase B y AB

Ejemplo (10.6): Diseñar un clase B para dar 4W a una $R_L=10\Omega$.

A partir de: $P_{\max} = (V_{CC}^2 / 2R_L)$

obtenemos la V_{CC} necesaria: $V_{CC} = \sqrt{2R_L P_{\max}} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 4} = 8,94V$

Para señal máxima, las fuentes han de dar $1,27 \times 4W = \mathbf{5,08W}$ al circuito, 2,54W cada una.

La corriente media en cada fuente es $I_m = (2.54W / 8.94V) = 0.284A$.

Cada TR debe ser capaz de disipar $0,203P_{\max} = \mathbf{0,812W}$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



3.4. Diseño de amplificadores clase B y AB

Ejemplo (10.6): Diseñar un clase B para dar 4W a una $R_L=10\Omega$.

→ *Los valores obtenidos para el diseño en clase B son **mucho mejores** que los correspondientes a un solución en **clase A**:*

Amplificadores en clase A y AB de 4W sobre una carga de 10Ω

	Disipación (W) En cada transistor	Características de la alimentación		Potencia media de la alimentación (W)	
		Tensión (V)	Corriente (A)	Sin señal	Con señal..
Clase A	8	8,94	0,895, 1,04	17,3	17,3
Clase B	0,81	8,94	0,284 A	0	5,08

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

3.5. Clase B. Otros factores de diseño

□ Disipación media e instantánea:

- Hasta ahora suponíamos que la señal era de **frecuencia elevada** en comparación con las *constantes de tiempo térmicas* de los TRTs y no les daba tiempo a calentarse y enfriarse en cada ciclo:
⇒ Evaluación de P_D → **Potencia media.**
- Con **señales muy lentas** la T^a puede cambiar durante el ciclo:
⇒ Evaluación de P_D → **Potencia instantánea**
- La **máxima potencia instantánea** en un TRT se da en el centro de su recta de carga y vale:

$$P_D = \frac{I_{\max}}{2} \cdot \frac{V_{CC}}{2} = \frac{V_{CC}}{2} \cdot \frac{V_{CC}}{2} = \frac{V_{CC}^2}{4} = 0,5P_{\max}$$

Cartagena99

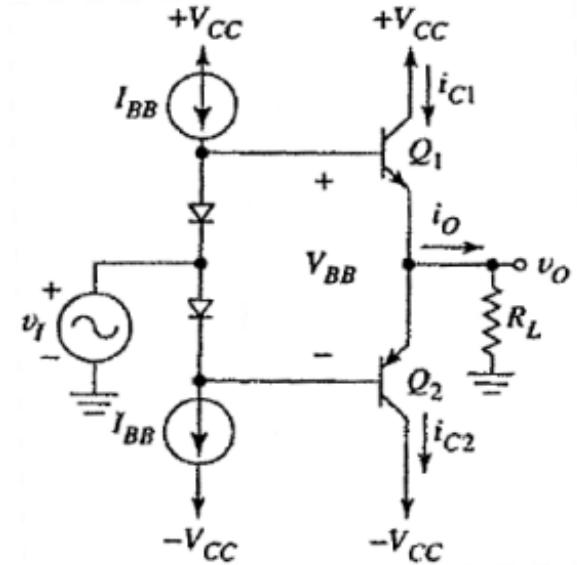
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

3.5. Clase B. Otros factores de diseño

Realimentación térmica en el AB:

- A la $T^a T_1$ cada TRT se polariza a una I_C pequeña: con $V_{BE}=0.5V_{BB}$ en I_{C1}
- La disipación de potencia provocará una elevación de la temperatura, entonces:
 $P_{D1}=V_{CE} \cdot I_{C1} \Rightarrow T^a \uparrow \Rightarrow T_2 \Rightarrow I_C \uparrow \text{ a } I_{C2} \Rightarrow$
 $\Rightarrow P_{D2} \uparrow \Rightarrow T^a \uparrow \Rightarrow \text{isigue subiendo!...}$
- Es un proceso de **realimentación térmica positiva (inestable)** que puede terminar destruyendo el TR por sobrecalentamiento.
- Se conoce como: **escape térmico.**



$$i_C = \beta i_B$$

$T_2 > T_1$
 T_1

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

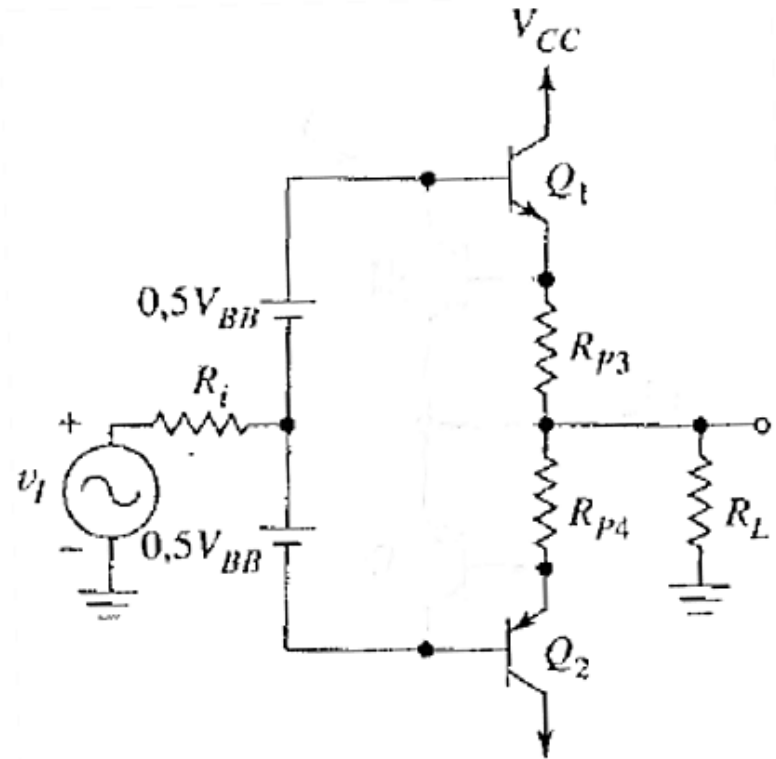


3.5. Clase B. Protecciones.

Realimentación térmica en el AB:

- La forma más simple de reducir o eliminar el efecto del **escape térmico** es mediante sendos resistores en emisor: R_{P3} y R_{P4}
- Realimentan **negativamente** la corriente de colector respecto a la V_{BE} de polarización.
- En definitiva, se tiene que:

$$I_{C1} \Rightarrow T^a \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow \Rightarrow V_{BE} \downarrow \Rightarrow I_C \downarrow \Rightarrow T^a \downarrow \Rightarrow \text{ise estabiliza!}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

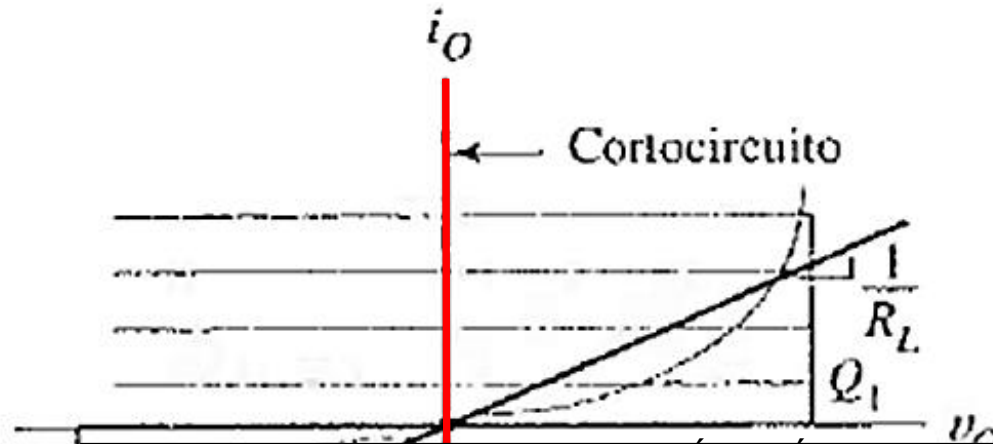
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



3.5. Clase B. Protecciones.

Protección de cortocircuito:

- Si se produce un cortocircuito entre la salida y masa, la recta de carga pasa a ser la línea vertical i_O
- Hay un fuerte incremento de i_B e i_C que obliga a los TRTs a trabajar fuera de sus hipérbolas de disipación máxima y se destruyen.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

3.5. Clase B. Protecciones.

Protección de cortocircuito:

- La solución se consigue con las redes formadas por:

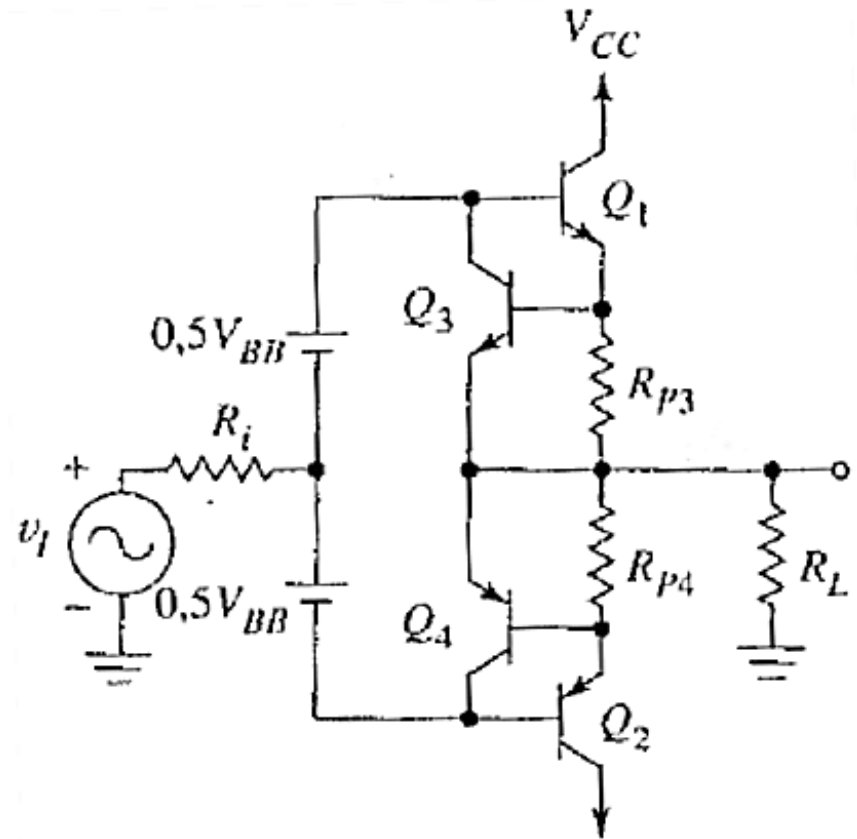
- ✓ Para Q_1 : Q_3 y R_{P3}
- ✓ Para Q_2 : Q_4 y R_{P4}

- Protección de Q_1 :

- Q_3 normalmente cortado y entra en conducción cuando:

$$i_{Omax} \cdot R_{P3} > V_{\gamma} \approx 0,5V$$

- Con Q_3 en conducción, parte de la i_b de Q_1 se desvía a R_L limitando la T y disipación de Q_1 .



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



4. Circuitos integrados de potencia

- ❑ Solución cómoda para realización de amplificadores de potencia
- ❑ Alternativas:
 - 1.- Amplificadores de potencia de ganancias fijas: *aplicación específica*
 - 2.- Amplificadores Operacionales de potencia: *más flexibles.*
El diseño con ellos es más sencillo, y similar al de los AO convencionales.

❑ Operacionales de potencia

- En una sola cápsula integran un AO + etapa de potencia.
- Datos y parámetros descriptivos:
 - **Convencionales para un AO:**
Ganancia en bucle abierto, Tensión y corriente de offset, CMRR, etc.
 - **Específicos para el trabajo en potencia:**
encapsulado especial, resistencia térmica, ...

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



4.1. Operacionales de potencia

□ Un ejemplo:

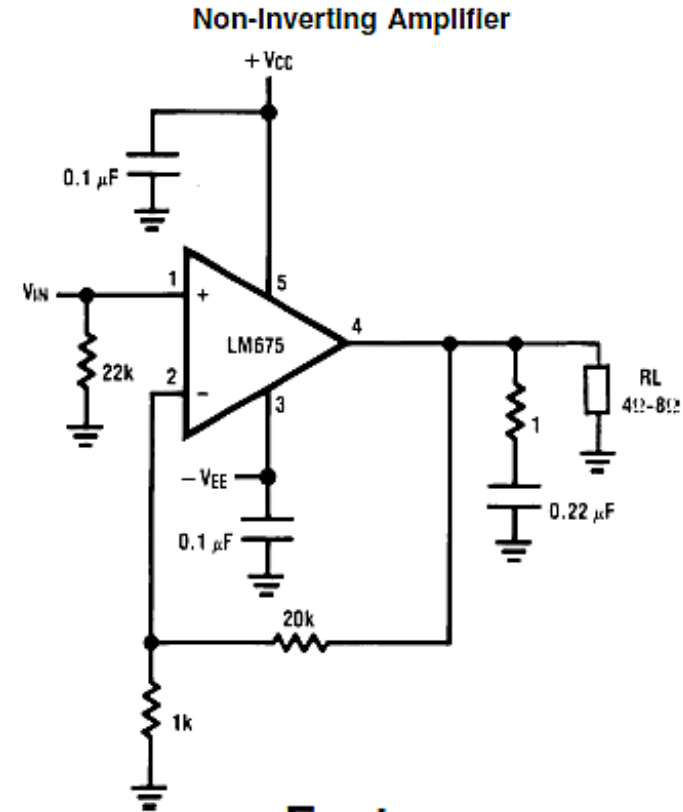
LM675

Power Operational Amplifier

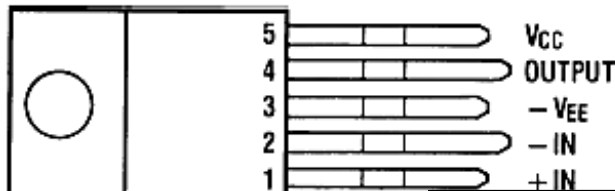
General Description

The LM675 is a monolithic power operational amplifier featuring wide bandwidth and low input offset voltage, making it equally suitable for AC and DC applications.

The LM675 is capable of delivering output currents in excess of 3 amps, operating at supply voltages of up to 60V. The device overload protection consists of both internal current limiting and thermal shutdown. The amplifier is also internally compensated for gains of 10 or greater.



TO-220 Power Package (T)



Features

- 3A current capability
- A_v typically 90 dB

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

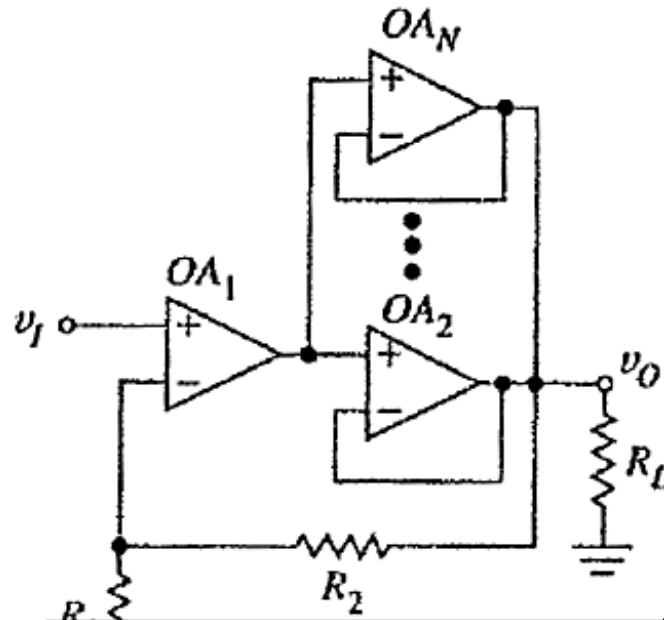
Cartagena99

www.cartagena99.com



4.1. Operacionales de potencia

- Pueden asociarse para dar potencias mayores
 - En este caso es conveniente colocar R's pequeñas ($=0.1\Omega$) en las salidas para ecualización de corrientes.



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

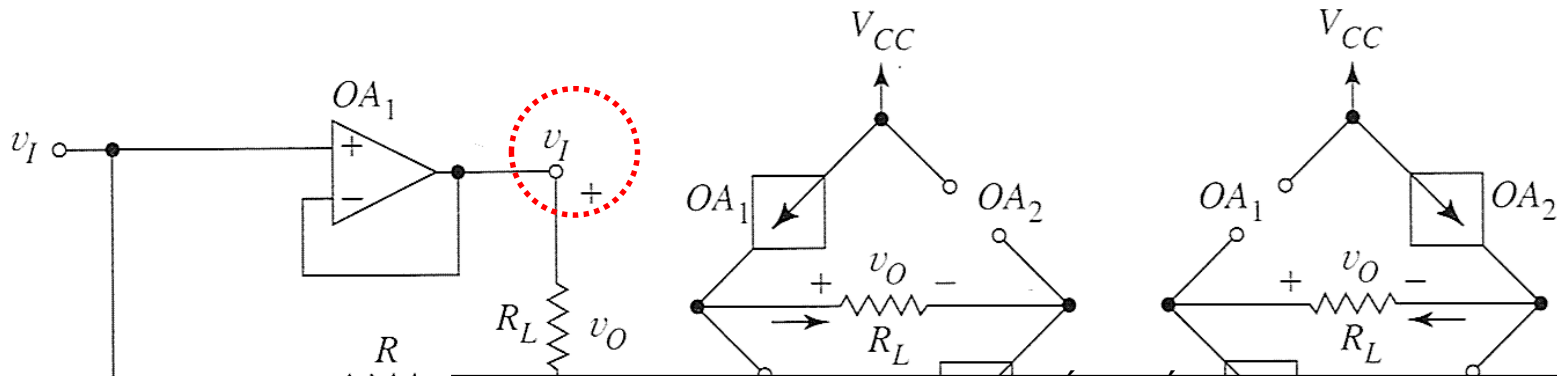
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



4.2. Configuración en puente

- ❑ Dos amplificadores, misma ganancia y signo opuesto
 - La carga debe conectarse **balanceada** (sin referencia a masa)
 - La amplitud máxima de la señal de salida pasa a ser $2V_{CC}$ y se cuadruplica la potencia respecto a una sola etapa clase B

$$P_{\text{max-puente}} = \frac{(2V_{CC})^2}{2R_L} = 4 \frac{V_{CC}^2}{2R_L} = 4 \cdot P_{\text{max-clase B}}$$



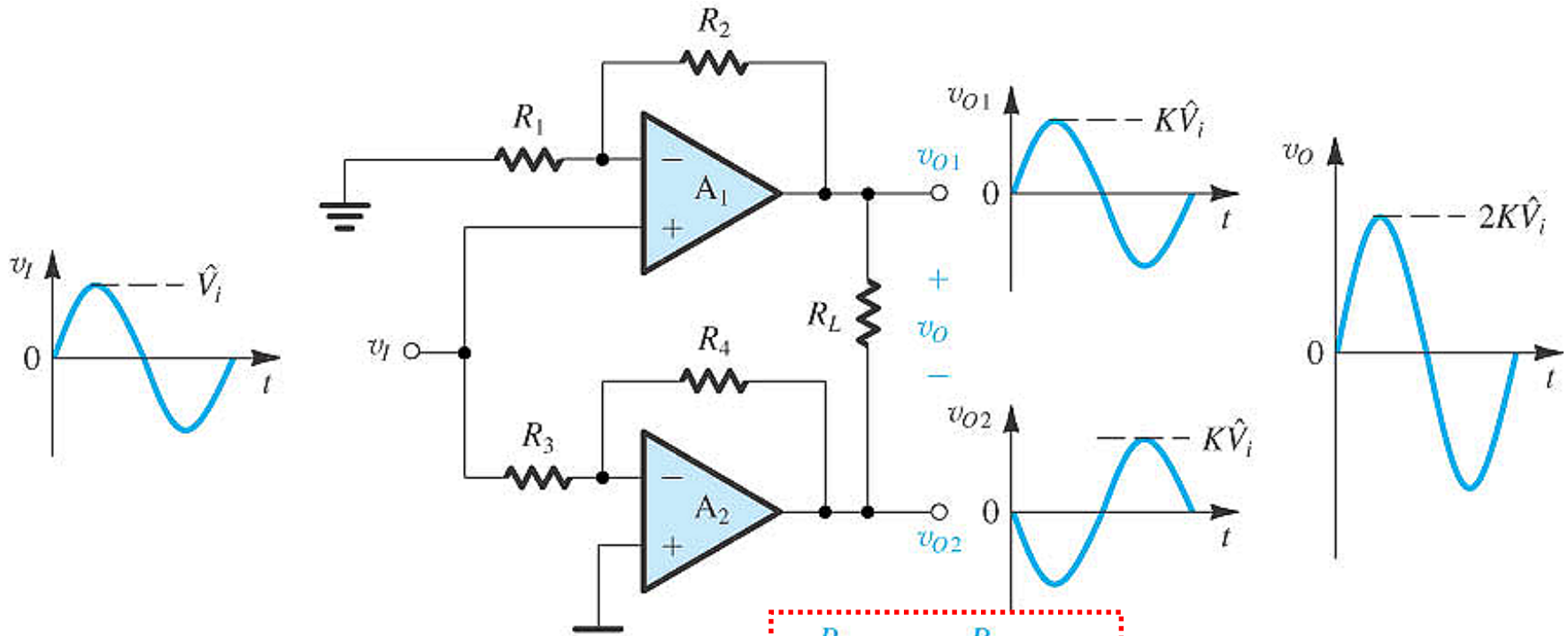
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

4.2. Configuración en puente

- Formas de onda: cada salida es equivalente a un clase B
 - Podemos extrapolar los cálculos ya realizados



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



4.2. Configuración en puente

Balance energético del amplificador en puente

(para entrada senoidal):

- La corriente entregada por cada alimentación es senoidal rectificadas en onda, de amplitud (V_o/R_L) , con lo que su valor medio es $I_m = (2/\pi)(V_o/R_L)$

- Las dos fuentes proporcionan en total:

$$P_i = 2V_{CC} I_m = \frac{4V_{CC} V_o}{\pi \cdot R_L}$$

- De los cuales, en la carga se entregan:

$$P_L = \frac{V_o^2}{2R_L}$$

- Con lo que en cada AO se disipa $P_{OA} = 0.5(P_i - P_{carga})$, quedando:

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



4.2. Configuración en puente

Balance energético del amplificador en puente (para entrada senoidal):

(sigue...)



$$P_{OA} = \frac{2V_{CC}V_O}{\pi \cdot R_L} - \frac{V_O^2}{4R_L}$$

- La V_O que maximiza P_{OA} es: $V_O = (4/\pi) \cdot V_{CC}$
- Operando y poniendo en función de $P_{m\acute{a}x}$ se tiene:

$$P_{OA \max} = \frac{2}{\pi^2} P_{\max} = 0,203 P_{\max}$$

- Esto es: la máxima disipación en cada AO es la misma que en

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Referencias

❑ Material de estudio:

■ Malik,

- *capítulo 10, secciones 10.1 a 10.7. Teoría y ejercicios.*

❑ Material complementario

■ Sedra-Smith

- *capítulo 9.*

■ Hambley,

- *capítulo 10.*

❑ Otros:

- Gráficas extraídas de los textos detallados.

- Trabajos de documentación y elaboración de materiales:

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Control de revisiones



- 2017-03-22: versión inicial (curso 16-17).

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70