



# **AMPLIFICADORES CLASE E**

## **GUÍA DE LABORATORIO N° 6**

*Profesor: Ing. Aníbal Laquidara.*

*J.T.P.: Ing. Isidoro Pablo Perez.*

*Ay. Diplomado: Ing. Carlos Díaz.*

*Ay. Diplomado: Ing. Alejandro Giordana*

*Ay. Alumno: Sr. Nicolás Ibáñez.*

URL: <http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/electronicos2/>

---

---

## 1-Introducción

En un amplificador de alto rendimiento, incrementos de la eficiencia que a primera vista parecen menores pueden ser muy importantes, por ejemplo, aumentar la eficiencia del 80% al 90% reduce a la mitad las pérdidas. Esto permite duplicar la potencia de salida, o reducir a la mitad el número de transistores, o el volumen y peso de los disipadores de calor, o reducir a la mitad el incremento de la temperatura de juntura y así bajar la tasa de falla del transistor. El reciente incremento del costo de la energía provee mayor incentivo para acotar las pérdidas en instalaciones fijas de alta potencia, se debe tener en cuenta además, que el ahorro de potencia en generador o batería puede ser muy importante para equipos portátiles o remotos.

La mayor pérdida de energía es comúnmente la disipada en los dispositivos activos de salida, como transistores o tubos de vacío. Para minimizarla, se intenta que disminuya:

- 1) el voltaje a través del dispositivo cuando la corriente fluye por él;
- 2) la corriente a través del dispositivo cuando existe voltaje en sus terminales;
- 3) la duración de cualquier condición inevitable en la que apreciable corriente y voltaje existan simultáneamente.

La Clase C cubre las condiciones (1) y (2). La Clase D cubre (1), (2) y (3), y se han hecho intentos para reducir el tiempo de conmutación del dispositivo y llevarla a regiones de RF. La clase E soluciona el problema basándose en una red de carga que está sintetizada para dar una respuesta de transición que logra el objetivo, incluso cuando los tiempos de conmutación de los dispositivos son fracciones apreciables del ciclo de AC.

El amplificador clase E usa como dispositivo activo un switch y tiene un potencial de alta eficiencia porque los estados “on” y “off” cumplen las condiciones (1) y (2) y la (3) se logra por el uso de esta red de carga sintetizada para mantener una óptima respuesta de transición a la operación cíclica del switch.

## 2- Operación y análisis de un amplificador Clase E

La Figura 1 muestra un amplificador Clase E, este consiste en un conmutador  $S$ , un choke  $L_{ch}$  en la alimentación, la capacidad  $C_s$ , un circuito sintonizado  $L-C$  y una carga  $Z_L$ . Con una tasa del 50% el conmutador  $S$  está encendido la mitad del período, y apagado la otra mitad. Cuando  $S$  está encendido, el voltaje a través del mismo es cero, y cuando está apagado, la corriente es cero.

Después del transitorio inicial, en estado permanente, podemos plantear dos ecuaciones para el nodo A, una para cuando la llave se encuentra abierta (2.1) y otra para cuando la misma está cerrada (2.2).

$$i_c(t) = I_{dc} - i_o(t) \quad 0 \leq \omega_s t \leq \pi \quad (2.1)$$

$$i_s(t) = I_{dc} - i_o(t) \quad \pi \leq \omega_s t \leq 2\pi \quad (2.2)$$

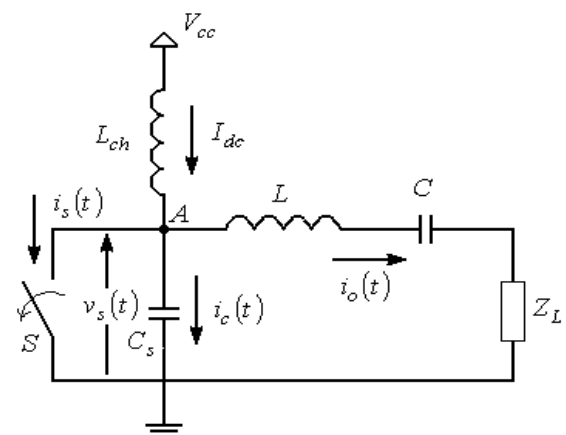


Figura 1 : Circuito de un amplificador de potencia clase E .

Generalizando a  $i_o(t)$

$$i_o(t) = \mathbf{a} \cdot I_{dc} \text{sen}(w_s t + \mathbf{f}) \quad (2.3)$$

Transformándose la (2.1) y la (2.2) en

$$i_c(t) = I_{dc}(1 - \mathbf{a} \cdot \text{sen}(w_s t + \mathbf{f})) \quad 0 \leq w_s t \leq \mathbf{p} \quad (2.4)$$

$$i_s(t) = I_{dc}(1 - \mathbf{a} \cdot \text{sen}(w_s t + \mathbf{f})) \quad \mathbf{p} \leq w_s t \leq 2\mathbf{p} \quad (2.5)$$

Donde  $w_s$  es la frecuencia de la señal,  $I_{dc}$  es la corriente continua que proviene de la fuente.

El funcionamiento óptimo de un amplificador Clase E requiere dos condiciones:

$$\frac{dv_s}{dt} \left( \frac{T_s}{2} \right) = 0 \quad (2.6) \quad v_s(t) \left( \frac{T_s}{2} \right) = 0 \quad (2.7)$$

Teniendo en cuenta estas condiciones resolvemos la ecuación 2.3, obteniendo:

$$i_o(\mathbf{q}) = 1.862 \cdot I_{dc} \text{sen}(\mathbf{q} - 32,48^\circ) \quad 0 \leq \mathbf{q} \leq 2\mathbf{p} \quad (2.8)$$

Pudiéndose ahora calcular cual será la impedancia  $Z_L$  para que la corriente  $i_o(t)$  adopte el valor calculado en 2.8 .

$$Z_L = \frac{v_{s1}(t)}{i_o(t)} = \frac{0.28}{w_s C_s} e^{j49^\circ} = \frac{0.28}{w_s C_s} (\cos 49^\circ + j \text{sen} 49^\circ) \quad (2.9)$$

De donde

$$C_s = \frac{0.28 \cdot \cos 49^\circ}{w_s R_L} = \frac{0.1836}{w_s R_L} \quad (2.10)$$

Otra relación importante que podemos obtener de la ecuación 2.9 , es la que existe entre la resistencia de carga  $R_L$  y la parte reactiva de  $Z_L$  .

$$|Z_L| = R_L (\cos 49^\circ)^{-1} = X_L (\text{sen} 49^\circ)^{-1} \quad (2.11)$$

$$X_L = \tan 49^\circ R_L = 1.15 R_L \quad (2.12)$$

Constructivamente la parte reactiva de la carga deberá ser agregada si ésta no la tuviere, quedando en serie con  $L_o$ , con lo que la inductancia deberá tener un valor  $L_o + \Delta L$  .

En la figura 2 mostramos como ha de quedar el circuito equivalente si ponemos de manifiesto que la carga  $Z_L$  esta compuesta de la resistencia  $R_L$  más una  $\Delta L$  como se desprende de la ecuación (2.9) .

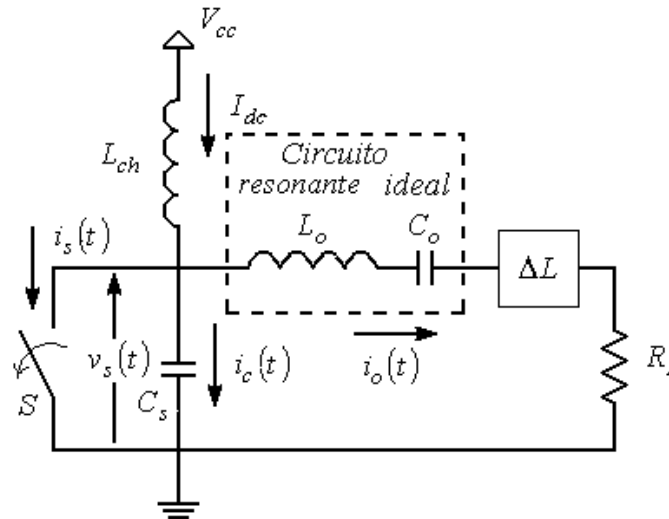


Figura 2 : Circuito de un amplificador de potencia clase E con carga resistiva.

De las relaciones existentes entre las tensiones y corrientes del circuito, podemos calcular cuales serán los valores máximos a los que será sometido el transistor que oficie de llave.

$$V_{s\cdot máx} = 3.56 \cdot V_{cc} \quad (2.13) \text{ (Figura 3)}$$

$$i_{s\cdot máx} = 2.862 \cdot I_{dc} \quad (2.14) \text{ (Figura 4)}$$

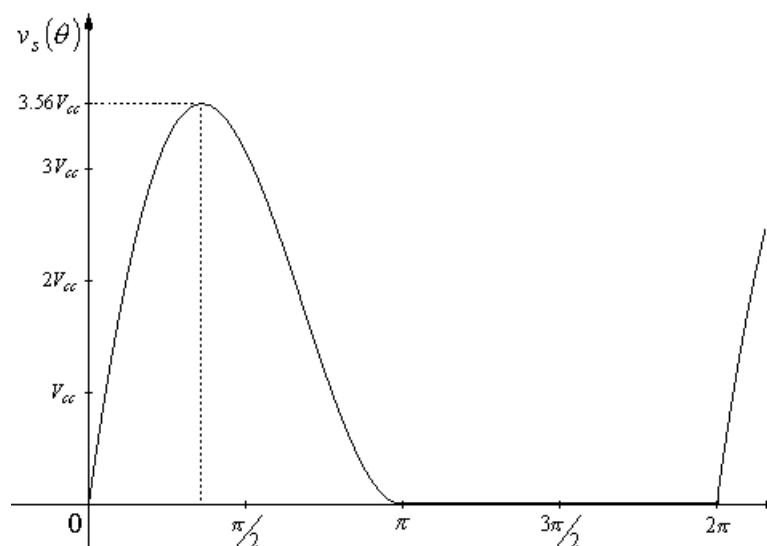


Figura 3 : Forma de onda de voltaje ideal del amplificador clase E.

De aquí en adelante, denominaremos forma de onda nominal de un amplificador clase E, a la de tensión de la llave que cumple con las condiciones de las ecuaciones 2.6 y 2.7, no existirá tensión ni corriente por ella al momento de la conmutación.

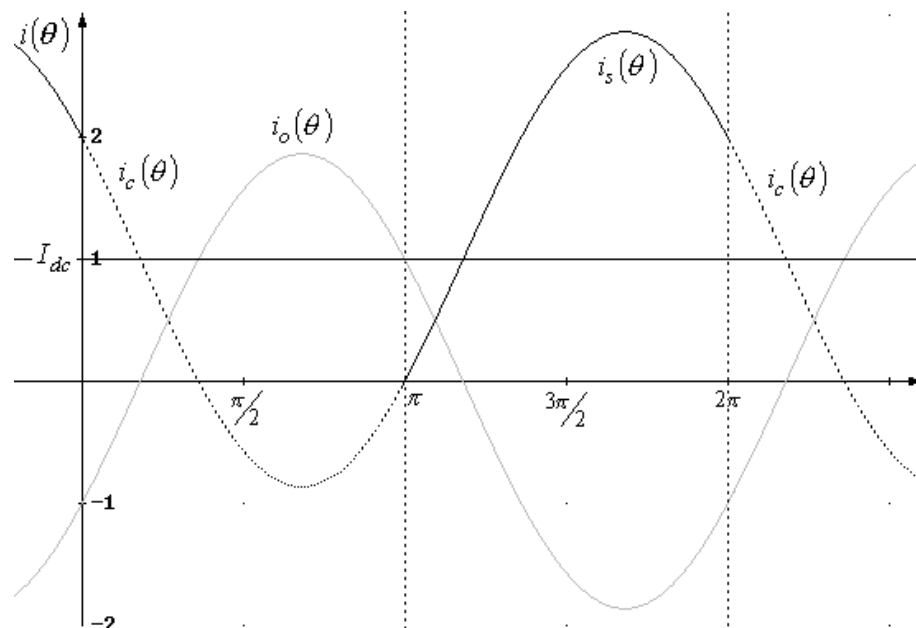


Figura 4 : Formas de ondas de corrientes del amplificador clase E.

### 3-Ecuaciones de diseño

$$P_{out-real} = P_{out} \frac{R_L}{R_{ef}} \quad \text{con} \quad R_{ef} = R_L + R_{perdidas}$$

$$P_{out} = \left( \frac{(V_{CC} - V_{sat})^2}{R_{ef}} \right) 0.576801 \left( 1.001245 - \frac{0.451759}{Q_L} - \frac{0.402444}{Q_L^2} \right)$$

$$R_{ef} = \left( \frac{(V_{CC} - V_{sat})^2}{P_{out}} \right) 0.576801 \left( 1.001245 - \frac{0.451759}{Q_L} - \frac{0.402444}{Q_L^2} \right)$$

$$C_s = \frac{1}{34.2219 f \cdot R_{ef}} \left( 0.99866 + \frac{0.91424}{Q_L} - \frac{1.03175}{Q_L^2} \right)$$

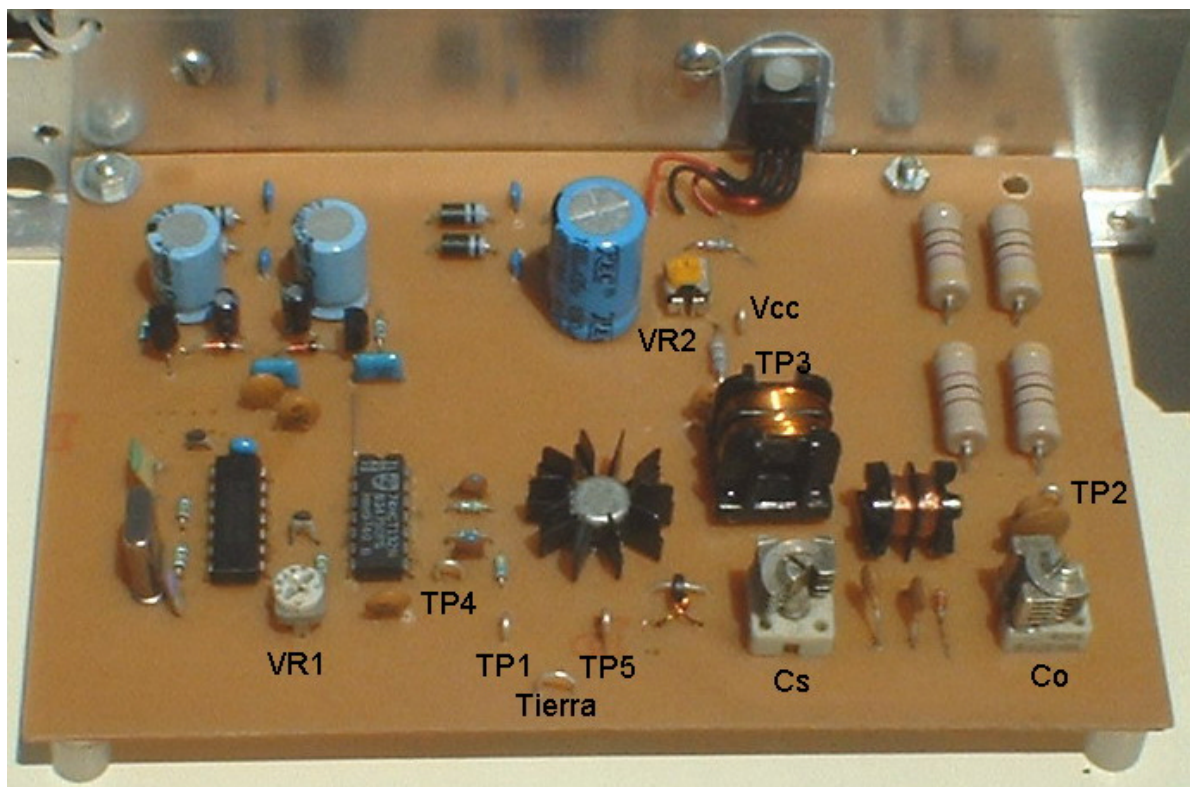
$$C_o = \frac{1}{2p \cdot f \cdot R_{ef}} \left( \frac{1}{Q_L - 0.104823} \right) \left( 1.00121 + \frac{1.01468}{Q_L - 1.7879} \right)$$

$$L_o + \Delta L = \frac{Q_L R_{ef}}{2p \cdot f}$$

## **4- DESARROLLO DEL TRABAJO DE LABORATORIO:**

### ***4.1 Verificación y conexonado:***

- Verificar la topología del circuito implementado.
- Ubicar en que sector se encuentra cada una de las etapas,(Fuentes, oscilador excitador, etapa de salida).
- Compararla con el diagrama esquemático ( Circuito que se encuentra al final de la guía ).
- Situar los puntos de medición y ajuste ( TPx , Cx ).
- Conectar canal A del osciloscopio a TP1 ( Forma de onda de colector, donde se debe obtener la forma de onda nominal del amplificador clase E ).
- Conectar canal B del osciloscopio a TP2 ( Forma de onda de la tensión en la carga, utilizada para calcular la potencia real a la salida ).
- Conectar voltímetro 1 entre TP3 y tierra ( Vcc utilizada para el calculo de la potencia de entrada ).
- Conectar voltímetro 2 entre TP3 y Vcc ( Idc utilizada para el calculo de la potencia de entrada ).
- Conectar el equipo a la alimentación de 220v y operar llave de encendido.



#### 4.2 Ajuste del amplificador :

- Con el preset VR2 ajustar la tensión de alimentación al mínimo.
- Utilizando los capacitores variables Co y Cs ajustar la etapa amplificadora hasta obtener la forma de onda nominal de un amplificador clase E.
- Observar lo que sucede al variar la relación de trabajo, esto puede hacerse operando sobre el preset VR1.
- Aumentar la tensión de alimentación a 13v y repetir el ajuste.

#### 4.3 Visualización de las formas de onda :

Utilizando el canal B del osciloscopio observar las siguientes formas de onda y medir la diferencia de fase con la de colector.

- Tensión en la carga ( TP2, comparar con el ángulo teórico ).
- Corriente en el transistor ( TP5, comparar con la figura 4 ).
- Excitación ( TP4, variar la relación de trabajo, ajustar al 50%)

#### 4.4 Medición del rendimiento :

Para cuatro distintos valores de tensión de alimentación, medir la eficaz en la carga y la potencia de entrada, calcular el rendimiento en cada caso y armar una tabla con ellos para poner de manifiesto las posibles variaciones.

Ecuaciones a utilizar:

$$P_{in} = V_{CC} \cdot I_{DC} \qquad P_{out-real} = \frac{V_{RMS}^2}{R_L} \qquad \eta\% = \frac{P_{out-real}}{P_{in}} \cdot 100$$

#### 4.5 Elementos necesarios para la realización del Laboratorio :

- Circuito a ensayar.
- 1 un generador de señales
- 2 multímetros (uno como amperímetro y otro como voltímetro).
- 1 osciloscopio de doble trazo.
- 1 Destornillador pequeño.
- 1 Calibrador plástico.
- 1 retro-proyector.
- 1 pantalla para proyección.

### 4.6 Circuito:

