

## **CAPÍTULO II**

### **Base de funcionamiento de los dispositivos amplificadores**

## Modos de funcionamiento

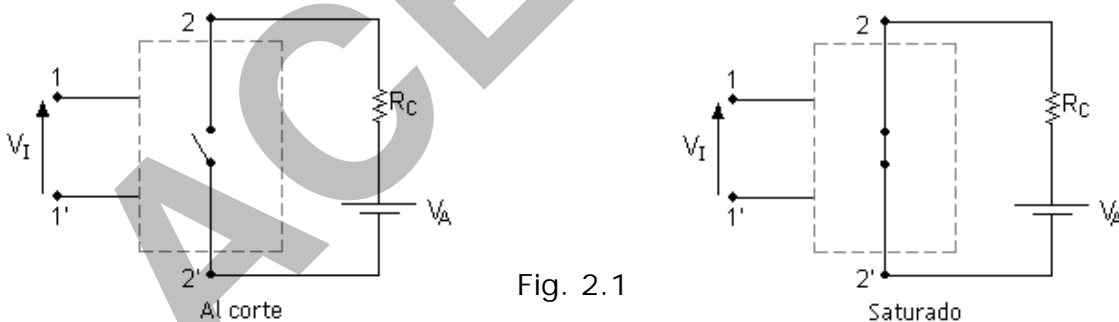
El dispositivo de control de señal bajo estudio, que ya llamaremos **transistor**, puede trabajar en **dos modos de funcionamiento** claramente diferenciados: modo **digital** y modo **analógico**.

### 2.1.- Funcionamiento del dispositivo en modo digital

En el modo digital,  $V_i$  podrá tomar valores tales que el punto de trabajo se encuentre sólo en dos puntos determinados de la recta de carga estática, generalmente en uno u otro extremo de ella, pues allí teóricamente no existe disipación de potencia.

Para  $V_i$  nulo o negativo (de acuerdo con los sentidos adoptados), el punto de trabajo estará en el extremo inferior de la RCE donde  $I_o = 0$  y  $V_o = V_A$ , resultando infinita la resistencia que presenta el dispositivo a la carga (equivalente a una llave abierta). En este caso se dirá que el dispositivo está **al corte**. Si  $V_i$  es tal que la corriente  $I_o$  sea igual a  $V_A/R_C$ , el punto de trabajo se ubica en el extremo superior de la RCE con  $I_o = V_A/R_C$  y  $V_o = 0$ , de donde la resistencia que presenta el dispositivo a la carga resulta nula (equivalente a una llave cerrada). En este caso se dirá que el dispositivo está **saturado**, ya que la corriente  $I_o$  no puede seguir aumentando aunque lo haga  $V_i$ .

Para este modo de operación el dispositivo puede representarse como se indica en la Fig. 2.1, donde **la condición de llave abierta o cerrada se comanda por medio de la tensión de control  $V_i$** .



Entonces, en el modo de operación digital, el dispositivo trabajará al **corte o saturado**. Es de hacer notar que **en ninguno de los casos el dispositivo disipa potencia**.

### 2.2.- Funcionamiento del dispositivo en modo analógico

En **modo analógico** la señal de control  $V_i$  toma **cualquiera de los infinitos valores comprendidos entre 0 e  $I_{oM}/G_m$** . En este caso la

tensión aplicada entre los terminales de entrada del dispositivo **podrá ser una tensión continua o variable en el tiempo**. Tomaremos para nuestro estudio un caso particular en que la tensión de entrada esta compuesta por una continua a la que se superpone una señal que varía en el tiempo. De aquí en adelante denominaremos  $v_i$  a la tensión total de entrada, reservando el símbolo  $V_i$  para la componente continua e indicando con  $v_i$  a la señal que varía en el tiempo a su alrededor:

$$v_i = V_i + v_i \quad (2.1)$$

Entenderemos por **señal aplicada**, a una tensión (o corriente) que varía en el tiempo resultando un incremento (positivo, negativo o periódico con semiciclos de ambos signos) de la tensión total  $v_i$ . Este incremento podrá ser un escalón de tensión del tipo:

$$v_i = V_i \cdot u(t) \quad (2.2)$$

o una tensión que varía en el tiempo en forma periódica o no.

Con **base conceptual en el desarrollo de Fourier**, resulta de suma facilidad para comprender la propiedad fundamental del funcionamiento de los dispositivos de control de señal en un circuito, considerar que  $v_i$  varía senoidalmente en el tiempo:

$$v_i = \hat{V}_i \sin \omega t \quad (2.3)$$

De este modo se considerará que **se excita al dispositivo** con una señal **alterna senoidal**, que varía alrededor de la tensión continua  $V_i$  aplicada. Por tratarse  $v_i$  de una senoide queda claro que, mientras no se diga lo contrario, **la señal** es de una función del tiempo que **no posee valor medio** y se encuentra aplicada desde  $t \rightarrow -\infty$ , con lo que el estudio se realizará en régimen senoidal permanente o estacionario, no existiendo transitorios para  $t \geq 0$ .

En **ausencia de señal alterna**, la corriente de salida corresponderá al valor continuo  $V_i$  de la entrada. El punto de trabajo así determinado se denomina **punto de trabajo estático**, **punto de polarización**, **punto de trabajo en reposo** o simplemente **punto de reposo** y se indica con la letra "Q". Los valores continuos de tensiones y corrientes - $V_i$ ,  $I_i$ ,  $V_o$  e  $I_o$ - correspondientes a este punto se indicarán, para dar mayor énfasis, con el agregado del subíndice Q ( $V_{iQ}$ ,  $I_{iQ}$ ,  $V_{oQ}$ ,  $I_{oQ}$ ). En este caso, las **potencias puestas en juego** en el circuito de salida serán:

$$\text{Potencia entregada por } V_A: \quad P_A = V_A \cdot I_{oQ} \quad (2.4)$$

Potencia disipada en el dispositivo<sup>(1)</sup>:  $P_d(v_i = 0) = V_{0Q} \cdot I_{0Q}$  (2.5)

Potencia de continua disipada en  $R_C$ :  $P_{R_C} = (V_A - V_{0Q}) \cdot I_{0Q}$  (2.6)

**Al aplicar señal alterna**  $v_i$  en los bornes de entrada, el valor de **tensión total**  $v_I$  entre los terminales de control será:

$$v_I = V_{I_0} + v_i \quad (2.7)$$

Se admitirá que  $\hat{V}_i$  es tal que  $v_I$  nunca se hace negativa ni superior a  $I_{0M}/G_m$  y que **la frecuencia** de  $v_i$  es tal, que **todos los efectos reactivos son despreciables**.

Para cada instante se tendrá un valor determinado del valor del  $v_I$  total y **el punto de trabajo correspondiente a ese instante** deberá encontrarse sobre la característica de salida que corresponde **a ese valor instantáneo total de**  $v_I$ . De este modo, el **punto de trabajo instantáneo o punto de trabajo dinámico**,  $Q_i$ , tendrá una trayectoria determinada en el plano  $I_0$ - $V_0$  en los **alrededores del punto de reposo**  $Q$ . Si los efectos reactivos son despreciables, esa trayectoria será una recta.

Se denomina **Recta de Carga Dinámica (RCD)** al **lugar geométrico de los posibles pares de valores**  $(i_0; v_0)$  de la corriente y tensión total, impuestos **al dispositivo por el circuito exterior de señal de la malla de salida**, es decir de los **puntos de trabajo instantáneos** en el plano  $I_0$ - $V_0$ .

Si se admite que el **circuito de continua visto desde los terminales 2-2', mirando hacia la carga** desde el dispositivo en estudio, **coincide con el de alterna**, la recta de carga dinámica coincidirá con la recta de carga estática ya trazada. Más adelante se verán circuitos donde no existe esa coincidencia.

De acuerdo a la ecuación (1.1) se tendrá:

$$i_0 = G_m \cdot v_I = G_m \cdot (V_{I_0} + v_i) = G_m \cdot V_{I_0} + G_m \cdot v_i \quad (2.8)$$

lo que conduce a:

$$i_0 = I_{0Q} + i_o \quad (2.9)$$

<sup>(1)</sup> Debe quedar claro que en este caso nos referimos a la **potencia disipada por el dispositivo en ausencia de señal**, que se conoce como potencia de entrada de continua al dispositivo  $P_e$  dado que, justamente, a partir de esta potencia de corriente continua que se disipa totalmente en el dispositivo cuando  $v_i = 0$ , se obtendrá la potencia de señal útil en la carga al ser  $v_i \neq 0$ .

y admitiendo que  $i_o$  se encuentra en fase con  $v_i$ , se tendrá:

$$i_o = \hat{I}_o \text{sen} \omega t \quad (2.10)$$

De este modo  $v_o$  será:

$$v_o = V_A - i_o \cdot R_c = V_A - (I_{o0} + i_o) \cdot R_c = V_{o0} + v_o \quad (2.11)$$

resultando:

$$v_o = -i_o R_c = -\hat{I}_o R_c \text{sen} \omega t = -\hat{V}_o \text{sen} \omega t = \hat{V}_o \text{sen}(\omega t + \pi) \quad (2.12)$$

wtf

De donde surge que  $i_o$  y  $v_o$  se encuentran en contrafase.

Cuidado: no se distingue la componente de alterna de la tensión de salida y la tensión de salida total (los símbolos los literalmente casi iguales. Que libro choto, imagínate pagar para tener que leer esto.

Si se realiza el análisis de **las potencias puestas en juego cuando hay señal alterna aplicada**, se observa que la potencia disipada por el dispositivo en presencia de señal resulta menor que sin ella, y que la diferencia aparece como potencia de alterna sobre  $R_c$ . La potencia que entrega la fuente de alimentación permanece constante, de lo que se desprende que **el dispositivo convierte parte de la potencia de continua que recibe, en potencia de alterna que entrega a la resistencia de carga  $R_c$ , controlada por la señal de entrada  $v_i$ .**

**A los efectos de la resistencia de carga, el dispositivo se comporta como un generador de señal alterna** que transforma energía eléctrica de continua tomada de la fuente de alimentación en energía eléctrica de alterna que entrega a la carga, es decir que **es un dispositivo activo para la señal alterna a los efectos de la carga.**

Hasta este momento se ha tenido en cuenta solamente la influencia de la tensión  $v_i$  sobre la corriente  $i_o$ . Sin embargo, en algunos dispositivos, al aplicar una tensión  $v_i$  en los bornes de entrada circulará por ellos una corriente  $i_i$ . **El valor de dicha corriente depende del dispositivo real a considerar**, pudiendo en varios casos ser nula la componente de corriente continua  $I_i$  e incluso resultar despreciable la componente de señal alterna  $i_i$ , para frecuencias muy bajas de señal (efectos reactivos despreciables). De este modo, entre los dispositivos prácticos utilizados normalmente, de existir  $i_i \neq 0$  se podrá trazar una **característica estática de entrada del dispositivo.**

Si al aplicar una tensión continua  $V_i$  circula una corriente  $I_i$ , **se disparará en la entrada del dispositivo una potencia de continua:**

$$P_i = V_i I_i \quad (2.13)$$

Al superponer una **tensión alterna de entrada o de excitación**  $v_i$ , circulará una componente de corriente alterna de excitación  $i_i$ , aunque  $I_i$  sea nula, por lo que el generador de señal **de excitación**  $v_i$  deberá entregar, si hay efectos disipativos para la señal en la entrada del dispositivo, una **potencia media de señal alterna** igual a:

$$P_i = \hat{V}_i \hat{I}_i / 2 \quad (2.14)$$

A esta potencia se la denomina **Potencia de excitación**.

La **potencia media de alterna entregada a la carga** o potencia de señal útil en la carga de valor,  $P_o = \hat{V}_o \hat{I}_o / 2$ , se extrae de la fuente de alimentación  $V_A$ , mientras que la potencia de excitación,  $P_i$ , es entregada por la fuente de señal de control.

En estos dispositivos la potencia de alterna en la carga, denominada **Potencia de salida**, es mucha mayor que la potencia de excitación y se define como **Ganancia de potencia** a la relación entre ellas:

$$G_p = P_o / P_i \quad (2.15)$$

Dado que hemos considerado al **dispositivo amplificador** como un **elemento que transforma potencia de continua** que recibe de la fuente de alimentación **en potencia de alterna** que entrega a la carga, definiremos para éste un rendimiento, de la misma manera en que se lo hace para cualquier sistema que transforme energía de una forma a otra. Llamaremos **Potencia de entrada** a la potencia de continua que recibe el dispositivo de la fuente de alimentación (en este ejemplo coincide con la potencia disipada en el dispositivo en ausencia de señal).

**El rendimiento del dispositivo** se definirá como la **relación** entre la **potencia de alterna útil sobre la carga** y la **potencia de entrada de corriente continua**:

$$\eta_d = P_o / P_e = P_o / P_d|_{v_i=0} \quad (2.16)$$

Puede también definirse un rendimiento respecto a la potencia de continua total entregada por la fuente de alimentación, que será la relación entre la potencia de alterna útil sobre la carga y la potencia entregada por  $V_A$ :

$$\eta_A = P_o / P_A \quad (2.17)$$

### 2.3.- Análisis de las potencias puestas en juego

Estudiaremos, las **potencias que se ponen en juego en la malla de salida**:

- Cuando trabajamos ***sin señal alterna de excitación aplicada***:

$$v_i = 0 \rightarrow \begin{cases} P_A (v_i = 0) = V_A I_{O_Q} \\ P_d (v_i = 0) = V_{O_Q} I_{O_Q} = P_e \\ P_{R_C} (v_i = 0) = P_{R_{C_{cc}}} = (V_A - V_{O_Q}) I_{O_Q} \end{cases} \quad (2.18)$$

donde:

$V_A$  : fuente de alimentación de tensión continua aplicada

$I_{O_Q}$  : corriente que circula por el dispositivo en la malla de salida o de polarización

$V_{O_Q}$  : tensión entre bornes de salida del dispositivo o tensión de polarización

$P_A$  : Potencia entregada por la fuente de alimentación

$P_e$  : Potencia continua de entrada al dispositivo

$P_{R_{C_{cc}}}$  : Potencia de continua disipada en la carga  $R_C$ .

- Cuando ***aplicamos*** la ***señal alterna de excitación***  $v_i$ , la corriente total que circula por la malla de salida del dispositivo y la tensión total entre sus bornes será: <sup>(2)(3)</sup>

$$\begin{cases} v_o = V_{O_Q} - \hat{V}_o \text{sen} \omega t \\ i_o = I_{O_Q} + \hat{I}_o \text{sen} \omega t \end{cases} \quad (2.19)$$

La potencia  $P_A$  entregada por la fuente de alimentación será:

$$P_A = \frac{1}{T} \int_0^T V_A i_o d(t) \quad (2.20)$$

$$P_A = \frac{1}{T} \int_0^T V_A i_o d(t) = \frac{1}{T} \int_0^T V_A (I_{O_Q} + \hat{I}_o \text{sen} \omega t) d(t) = V_A I_{O_Q} \quad (2.21)$$

La potencia  $P_d$  disipada en el dispositivo será:

<sup>(2)</sup> Cabe acotar que las expresiones halladas son válidas para señales senoidales que no poseen valor medio y por lo tanto las corrientes y tensiones medias o continuas se mantienen iguales a las continuas de polarización.

<sup>(3)</sup> Debe notarse que si  $i_o$  estuviera en contrafase con  $v_i$ , los resultados del análisis serían los mismos pues en ese caso  $v_o$  estaría en fase con  $v_i$ .

$$\begin{aligned}
P_d &= \frac{1}{T} \int_0^T v_o i_o d(t) = \frac{1}{T} \int_0^T (V_{o_0} - \hat{V}_o \sin wt) (I_{o_0} + \hat{I}_o \sin wt) d(t) = \\
&= V_{o_0} I_{o_0} - \frac{\hat{V}_o \hat{I}_o}{T} \int_0^T \sin^2 wt d(t) = V_{o_0} I_{o_0} - \frac{\hat{V}_o \hat{I}_o}{2}
\end{aligned} \quad (2.22)$$

La potencia  $P_{R_{CTot}}$  total disipada en la carga será:

$$\begin{aligned}
P_{R_{CTot}} &= \frac{1}{T} \int_0^T (V_A - v_o) i_o d(t) = \frac{1}{T} \int_0^T [V_A - (V_{o_0} - \hat{V}_o \sin wt)] (I_{o_0} + \hat{I}_o \sin wt) d(t) = \\
&= \frac{1}{T} \int_0^T [(V_A - V_{o_0}) + \hat{V}_o \sin wt] (I_{o_0} + \hat{I}_o \sin wt) d(t) = \\
&= (V_A - V_{o_0}) I_{o_0} - \frac{\hat{V}_o \hat{I}_o}{2}
\end{aligned} \quad (2.23)$$

Las expresiones de las potencias indicadas en las ecuaciones de (2.18), pero **con señal alterna de excitación aplicada** resultan:

$$v_i = \hat{V}_i \sin wt \rightarrow \begin{cases} P_A (v_i \neq 0) = V_A I_{o_0} \\ P_d (v_i \neq 0) = V_{o_0} I_{o_0} - \frac{\hat{V}_o \hat{I}_o}{2} = V_{o_0} I_{o_0} - V_o I_o \\ P_{R_C} (v_i \neq 0) = P_{R_{CTot}} = (V_A - V_{o_0}) I_{o_0} + V_o I_o \end{cases} \quad (2.24)$$

En donde  $V_o$  e  $I_o$  son los correspondientes valores eficaces de la tensión y la corriente que, al ser en este caso senoidales, resultan  $V_o = \hat{V}_o / \sqrt{2}$  e  $I_o = \hat{I}_o / \sqrt{2}$  respectivamente. Si llamamos:

Potencia de entrada al dispositivo:  $P_e = V_{o_0} I_{o_0} = P_d (v_i = 0)$

Potencia de alterna útil sobre la carga:  $P_o = P_{R_{Cca}} = \frac{\hat{V}_o \hat{I}_o}{2} = V_o I_o$

Las relaciones entre las potencias puestas en juego en el dispositivo cuando trabaja en reposo, **sin señal alterna aplicada** y cuando lo hace **con señal**, se resumen en las expresiones 2.25.

$$\begin{cases} P_A (v_i = 0) = P_A (v_i \neq 0) = V_A I_{o_0} \\ P_e = P_d (v_i = 0) = V_{o_0} I_{o_0} \\ P_d (v_i \neq 0) = P_e - P_o \\ P_{R_C} (v_i \neq 0) = P_{R_{CTot}} = P_{R_{CC}} + P_{R_{Cca}} = P_{R_C} (v_i = 0) + P_o \end{cases} \quad (2.25)$$





*Esto es lo q' importa*

## CONCLUSIONES

Pretendemos que el sistema amplifique, es decir, tener sobre  $R_c$  una tensión alterna de amplitud mayor que la señal de excitación, sobre la que, fundamentalmente, obtendremos la potencia de alterna útil.

Bajo estas condiciones, concluimos que:

- **La potencia que entrega la fuente de continua  $V_A$  es la misma con o sin señal.**
- **El dispositivo**, en estas condiciones de polarización en donde la señal alterna de salida está compuesta por la tensión  $v_o$  y la corriente  $i_o$ , que varían alrededor de un punto de reposo  $Q$ , **disipa menor potencia cuando trabaja con señal aplicada** que cuando trabaja sin ella. **Parte** de la potencia que disipa cuando trabaja sin señal, obtenida a partir de la fuente de alimentación de continua  $V_A$ , se transfiere a la carga como **potencia de alterna útil  $P_o$** .
- **La potencia** que entrega el generador de excitación  $v_i$ , denominada potencia **de excitación  $P_i$** , no se manifiesta en la salida sobre la resistencia de carga  $R_c$  como potencia de señal útil, es decir, **no entra a formar parte del juego de potencias en el circuito de salida del dispositivo**. Por lo tanto, cualquiera sea la potencia de alterna consumida en la entrada (incluso puede resultar prácticamente nula), **la salida del dispositivo** se comporta como un **"convertidor" de potencia de continua tomada de la fuente de alimentación  $V_A$  en potencia de señal útil en la carga**.
- **La potencia útil de señal  $P_o$  que se entrega a la carga, depende de la amplitud de la tensión de entrada  $v_i$** . En otras palabras, se puede **controlar la potencia útil entregada a la carga** mediante **la tensión de entrada**.

En resumen, el dispositivo **convierte la potencia de continua que toma de la fuente de alimentación, en potencia de alterna en la carga, controlada por la tensión de entrada**. Esta es la base del funcionamiento de un dispositivo amplificador.

**A los efectos de la carga**, el dispositivo trabaja **para la señal útil** como **un generador**, cuya amplitud está controlada por la amplitud de la tensión de entrada, pudiendo ser  $\hat{V}_o \gg \hat{V}_i$ . Si el sistema es lineal para la señal, como el que estamos analizando, podemos suponer que la salida del dispositivo se comporta como un generador de corriente alterna  $i_o = g_m v_i$ , donde  $g_m$  es la transconductancia para la señal

alterna (en este caso particular  $G_m = g_m$ , de acuerdo con lo supuesto en el capítulo 1). El circuito equivalente del dispositivo, al solo efecto de la señal alterna a la salida, será como el indicado en la Fig. 2.2, donde:  $g_m v_i$  es un **generador de corriente controlado o dependiente** de la tensión de señal de excitación  $v_i$ .

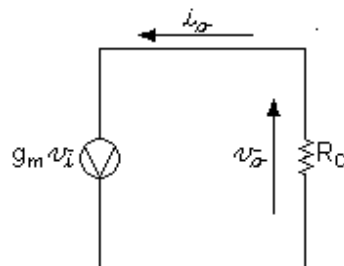
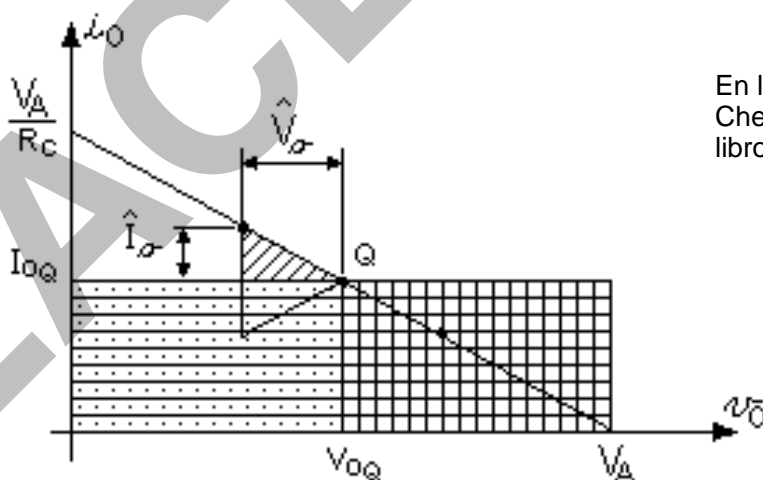


Fig.2.2

## 2.4.- Análisis gráfico de las potencias

Las expresiones obtenidas en 2.25 pueden representarse gráficamente en el plano de salida  $i_o - v_o$  (indicando los ejes coordenados **en este único caso** con letra minúscula con subíndices mayúsculos para poner en evidencia que, como se trabaja con valores de continua a los que se suman señales alternas senoidales, se identifican con la nomenclatura utilizada para representar valores totales de corrientes y tensiones), tal como se muestra en la Fig. 2.3. Normalmente los ejes se indican con letra mayúscula y subíndice mayúsculo,  $I_o - V_o$ , pues son diagramas donde sólo se realizan gráficos de características estáticas, aunque se acostumbra extenderlo a valores totales (continuas mas alternas) si pueden desprejiciarse todos los efectos reactivos del circuito (diagrama cuasi estático).



En las diapositivas lo pinté más lindo  
Che Zola, no vayas a poner un color en este libro eh.

Fig. 2.3

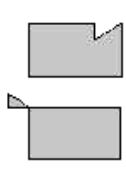
Las **potencias representadas** son:

- ≡  $P_A$ : Potencia que entrega la fuente de alimentación (con y sin señal de excitación alterna aplicada).

.....  $P_e = P_d(v_i = 0)$ : Potencia de entrada de continua al dispositivo, el que la disipa totalmente en ausencia de señal. Es la potencia que el dispositivo recibe de la fuente de alimentación de continua para tomar una parte y transformarla en potencia de alterna útil en la carga.

|||||  $P_{R_C}(v_i = 0)$ : Potencia disipada en la carga en corriente continua (ausencia de señal).

////  $P_o = P_{R_{Cca}}$ : Potencia de alterna útil sobre la carga.

  $P_d(v_i \neq 0) = P_e - P_o$ : Potencia que disipa el dispositivo con señal aplicada.

$P_{R_C}(v_i \neq 0) = P_{R_{Ctot}} = P_{R_{Ccc}} + P_{R_{Cca}} = P_{R_C}(v_i = 0) + P_o$ :

Potencia total disipada en  $R_C$  con señal.

La definición de **rendimiento del dispositivo** como potencia de señal alterna útil en la carga, sobre la potencia de entrada de continua al mismo da una idea clara de **su función** como **convertidor de potencia**.

$$\eta_d = P_o / P_e \quad (2.26)$$

Muchas veces interesa conocer el rendimiento de todo el circuito en cuanto a la potencia útil de señal en la carga respecto de la potencia total puesta en juego, o sea la entregada por fuente de alimentación de continua, por lo que se puede definir un **rendimiento del circuito amplificador** como:

$$\eta_A = P_o / P_A \quad (2.27)$$

Observando la Fig. 2.3, vemos que el **rendimiento máximo del dispositivo** como **convertidor de potencia** que se puede obtener, se logra cuando el punto  $Q$  se encuentra en el centro de la recta de carga y vale  $1/2$ . Bajo esta condición, la excursión en alterna del punto  $Q_i$ , es decir el movimiento del punto trabajo dinámico sobre la recta de carga, se produce entre ambos extremos de la misma.

Se repiten a continuación las definiciones dadas para las rectas de carga estática, en el capítulo I, y dinámica, en el punto 2.2 de este capítulo, de modo de diferenciar conceptualmente sus significados.

La **Recta de carga estática (RCE)** representa el **lugar geométrico de los posibles pares de valores**  $(I_o; V_o)$  impuestos al dispositivo **por los componentes del circuito de corriente continua de la malla de salida, exteriores al dispositivo**. El punto de trabajo en reposo o punto de polarización  $Q$ , queda fijado en forma unívoca por la tensión  $V_{I_o}$ , aplicada en la malla de control o de entrada<sup>(4)</sup>. De acuerdo al valor de  $V_{I_o}$ , la corriente continua de polarización  $I_{o_0}$  circulará por la malla de salida y se tendrá una tensión continua de polarización  $V_{o_0}$  entre los terminales de salida del dispositivo.

Al aplicar una señal alterna de excitación  $v_i$ , en serie con la tensión de polarización de entrada  $V_{I_o}$ , para cada instante se tendrá un valor determinado de la tensión total aplicada  $v_I = V_{I_o} + v_i$ . **El punto de trabajo correspondiente a ese instante** en el plano  $I_o - V_o$  deberá encontrarse en la intersección de la característica de salida que corresponde **al valor que toma**  $v_i$  en ese momento y el lugar geométrico de la curva que en el plano  $I_o - V_o$  imponen los elementos de la malla de salida externos al dispositivo. Si los efectos reactivos del circuito se pueden considerar despreciables, ese lugar geométrico coincidirá con el punto  $(I_{o_0}; V_{o_0})$  en los instantes en que  $v_i$  se anula ( $v_I = V_{I_o}$ ). De este modo, el **punto de trabajo instantáneo o punto de trabajo dinámico**,  $Q_i$ , tendrá una trayectoria determinada en el plano  $I_o - V_o$  en los **alrededores del punto de reposo**  $Q$ . Si los efectos reactivos son despreciables, esa trayectoria será una recta.

Se denomina **Recta de carga dinámica (RCD)** al **lugar geométrico de los posibles pares de valores totales**  $(i_o; v_o)$  impuestos **al dispositivo por** los componentes del circuito exterior **de señal** de la malla de salida, (trayectoria de los **puntos de trabajo instantáneos**  $Q_i$  en el plano  $I_o - V_o$ ). Si el camino que imponen los elementos externos al dispositivo en su malla de salida resulta **el mismo** para la corriente continua  $I_{o_0}$  y la corriente alterna  $i_o$ , las funciones que vinculan la corriente continua de salida con la tensión continua entre los terminales de salida y la corriente total de salida [ $i_o = I_{o_0} + i_o$ ] con la tensión total  $v_o$ , serán las mismas [ $I_o = f(V_o)$  e  $i_o = f(v_o)$ ], con lo que las rectas de carga estática y dinámica **coincidirán** como en el caso de la Fig. 2.3.

<sup>(4)</sup> De existir componentes reactivos externos al dispositivo en su malla de salida, se comportarán de acuerdo al principio de funcionamiento de los mismos para  $\omega \rightarrow 0$ . Los capacitores presentarán reactancia infinita, por lo que por ellos no circulará corriente continua y los inductores serán cortocircuitos.

Si estos caminos de corrientes son distintos, manteniéndose despreciables todos los efectos reactivos del circuito, ambas rectas serán distintas pero se cruzarán en el punto de trabajo estático  $Q$ , único punto en donde se tendrá  $i_o = I_{oQ}$  y  $v_o = V_{oQ}$ .

Si existen componentes reactivos en la malla de salida, el camino de la corriente alterna  $i_o$  será distinto al de la corriente continua  $I_{oQ}$ , aún cuando los efectos reactivos que introducen, sean despreciables a las frecuencias de interés de la señal de excitación. De haber un intervalo de frecuencias en donde ocurra esto último, se lo denominará habitualmente **"rango de frecuencias medias"**. Por ejemplo, si se acopla al circuito de la Fig 1.2. del capítulo I, otra resistencia de carga  $R_L$  entre los terminales 2 y 2' a través de un capacitor de reactancia despreciable a la frecuencia de la señal aplicada, como se muestra en la Fig. 2.4, la corriente continua de salida  $I_{oQ}$ , seguirá circulando sólo a través de  $R_C$ , pero la corriente de señal alterna,  $i_o$ , lo hará por  $R_C$  y  $R_L$  simultáneamente, teniendo por lo tanto caminos distintos.

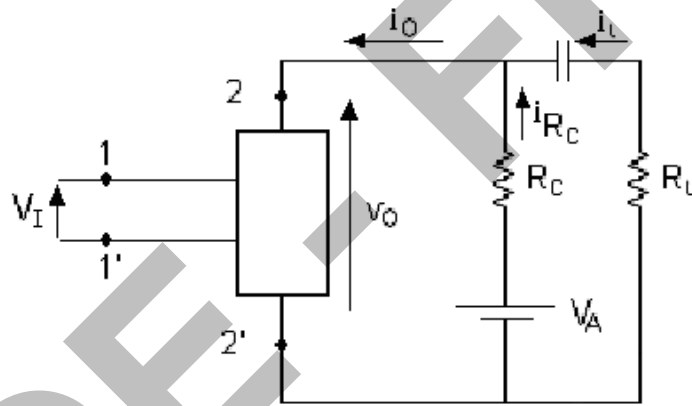


Fig. 2.4

En esta figura se comprueba que por Kirchoff (KCL) deberá ser:

$$i_o = I_{oQ} + i_o \quad (2.28)$$

ya que  $I_{oQ}$  no puede circular por  $R_L$  pues se encuentra el capacitor  $C_A$  en serie con ella e  $i_o$  circula a través de  $R_C$  y  $R_L$  siendo ( $i_{R_{Ca}} = i_{R_C} - I_{oQ}$ ):

$$i_o = i_{R_{Ca}} + i_I \quad (2.29)$$

Si se admite que  $V_A$  no posee impedancia interna, es decir, que se comporta como un cortocircuito para la corriente de señal  $i_{R_{Ca}}$  que circula por  $R_C$ , y se puede admitir que el capacitor de "acople" de  $R_L$  posee una reactancia despreciable a la frecuencia de la señal de excitación  $v_i$ , ambas corrientes alternas estarán en fase y se podrá considerar que las

resistencias  $R_c$  y  $R_L$  están directamente en paralelo para la señal, resultando en este caso:

$$v_o = -i_o R_{ca} \quad (2.30)$$

donde:

$$R_{ca} = R_c // R_L \quad (2.31)$$

Además, de existir efectos reactivos en el circuito, si las ondas senoidales de tensión y corriente de salida  $v_o$  e  $i_o$  se encuentran defasadas un ángulo distinto de  $180^\circ$ , de acuerdo a los sentidos de referencia adoptados, la **trayectoria del punto de trabajo instantáneo** sobre el plano  $I_o$ - $V_o$ , ya no **será** una recta sino **una elipse** (figura de Lissajous con frecuencias iguales en ambos ejes ortogonales) si el sistema se comporta linealmente.

En este caso debe tenerse en cuenta que la potencia de señal sobre la carga será:

$$P_o = V_o I_o \cos \varphi_o \quad (2.32)$$

donde  $\varphi_o = \angle v_o i_o$  es el ángulo de defasaje entre  $v_o$  e  $i_o$ .

Por otro lado, en los terminales de entrada podrá existir también, eventualmente, una corriente de polarización  $I_{I_0}$  y una corriente de señal alterna  $i_i$ , con lo que se disipará potencia de continua de polarización en la entrada del dispositivo y análogamente, el generador de excitación de señal, deberá entregar potencia de alterna. – Fig. 2.4 -.

$$v_I = V_{I_0} + v_i \quad i_I = I_{I_0} + i_i \quad (2.33)$$

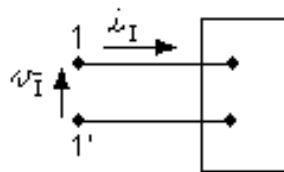


Fig. 2.5

Podemos distinguir así dos potencias que se pueden disipar en la entrada del dispositivo<sup>(5)</sup>:

<sup>(5)</sup> Podrán existir ambas, una de ellas, o ser las dos nulas según sea el dispositivo real empleado y la configuración de trabajo en que se lo utilice.

Potencia de continua disipada en la entrada:

$$P_{I_o} = V_{I_o} I_{I_o} \quad (2.34)$$

Potencia de excitación alterna disipada en la entrada:

$$P_i = \hat{V}_i \hat{I}_i / 2 = V_i I_i \quad (2.35)$$

Tal como se dijo al definir ganancia de potencia, en los dispositivos amplificadores prácticos normalmente resulta  $P_i \ll P_o$ , es decir, la potencia de señal alterna útil que se obtiene en la carga, puede ser controlada con una potencia de señal de excitación mucho menor que incluso puede ser o considerarse nula, según el caso. Es así que se define una ganancia de potencia  $G_p = P_o / P_i$ , dada por 2.15, normalmente mucho mayor que la unidad, que puede incluso tender a infinito.

**En resumen:** Todo dispositivo amplificador basa su funcionamiento en el **efecto transistor**, que consiste en la variación de su resistencia estática de salida mediante **una tensión de control de entrada**. Dicho efecto permite que el dispositivo funcione como **convertidor de potencia de continua**, tomada de la fuente de alimentación de tensión continua, **en potencia de señal alterna útil sobre la carga**. En otras palabras, **a los efectos de la carga** conectada entre sus terminales de salida, el transistor se comporta como generador de potencia de alterna. Es decir, es un **dispositivo activo** para la señal alterna de excitación.

LACE - FLUBA