R. esp. Fisiol.
Tom. IV, núm. 3, páginas 121 a 129. 1948.

Laboratorios de Fisiología de la Facultad de Medicina de Madrid
y del Instituto Español de Fisiología y Bioquímica
(Prof. J. M.ª del Corral)

Contribución a la técnica de registro de potenciales bioeléctricos

por RAMÓN DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ *

Recibido para publicar el 1 de noviembre de 1947

I. AMPLIFICADORES DE SALIDA SIMETRICOS

La etapa final de los amplificadores que han de actuar sobre las placas deflectoras de un tubo de BRAUN, ha de ser diseñada de tal forma que la tensión de salida sea simétrica con relación a tierra; es decir, de manera tal que si a las placas deflectoras llega una señal de 50 voltios, en una placa actúen 25 voltios, positivos respecto a tierra, y en la otra, 25 negativos.

Para conseguir una tensión de salida simétrica hemos visto empleado el montaje de la etapa final con dos válvulas, acopladas por una resistencia catódica común (1). Al reproducir el montaje en el amplificador que hemos construído, nos encontramos con que había una asimetría muy marcada en la señal de salida, por lo que nos ha parecido interesante el estudio matemático del circuito, para ver si su rendimiento podía ser mejorado.

En la figura 1 damos el esquema de principio del circuito. Su funcionamiento, brevemente resumido, es como sigue: al aplicar a la rejilla de la válvula I un potencial E, se produce una variación i, de la corriente de placa de esa válvula, lo cual sería causa de que en la resistencia A apareciese una caída de

(*) Profesor Adjunto de la Cátedra de Fisiología de Madrid y Becario del Instituto Español de Fisiología y Bioquímica.

potencial, que valdría i. A. Pero, como la rejilla de la válvula II está a un potencial fijo, la caída de potencial i. A produciría en esa válvula II una variación k de la corriente de placa, de signo contrario al de i. Por esta razón, el verdadero valor de la caída de potencial en A es (i-k) A. En adelante llamaremos D a la diferencia i-k. La tensión E aplicada a la rejilla de la primera válvula, produce variaciones de la corriente de placa de las dos válvulas, gracias a la caída de potencial que

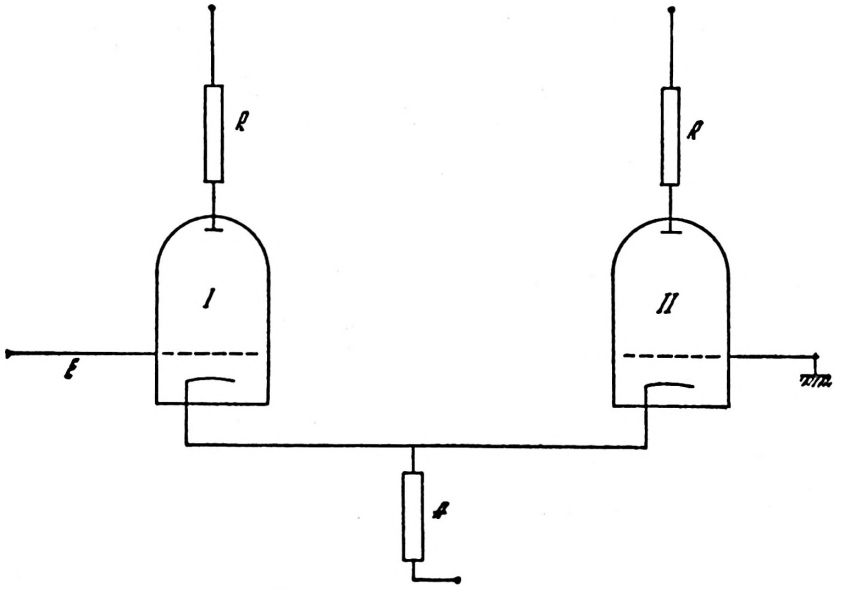

Fig. 1
Esquema del amplificador simétrico con acoplamiento catódico.

aparece en A. Podemos ya desde ahora comprender que no será simétrica la salida de las dos válvulas, pues ello exigiría que i fuera igual a k, anulándose la caída de potencial en A, cuya existencia es necesaria para que la segunda válvula entre en acción. Sin embargo, esto no quiere decir que haya que desechar el circuito que estudiamos, pues una asimetría del 10 por 100 es perfectamente tolerable. Se puede calcular fácilmente el valor que ha de tener la resistencia A para que la asimetría no exceda de ciertos límites.

Cálculo de la asimetría.

Llamemos v al coeficiente de amplificación de las dos válvulas, que suponemos iguales, con las mismas características.

Sea R la resistencia de placa y R_i la resistencia interna diferencial. Será:

$$i = \frac{(E - D \cdot A) \cdot v}{R + R_i + A},$$

$$k = \frac{D \cdot A \cdot v}{R + R_i + A},$$

$$D = i - k = \frac{(E - 2\,D \cdot A) \cdot v}{R + R_i + A},$$

de donde resulta que:

$$D = \frac{E \cdot v}{R + R_i + A + 2Av} \quad (1).$$

Para simplificar esta expresión hemos de distinguir dos casos, según que las válvulas sean triodos o pentodos.

Paso final con triodos. En este caso, podremos despreciar en el denominador los sumandos R_i y A, frente a R y 2A.v. Tendremos que:

$$D = \frac{E \cdot v}{R + 2A \cdot v}$$

D, la diferencia entre las variaciones de las corrientes de placa de las dos válvulas, es la asimetría del circuito. Su valor procentual será:

$$M = \frac{100 \cdot D}{k} = \frac{100\,(R + A)}{A \cdot v}$$

Si M no ha de exceder de 10, tendrá que ser:

$$A = \frac{100\,R}{10\,v - 100}$$

Llevando como final la válvula 6N7, dos triodos en la misma unidad, para la que v vale 30, con una resistencia de placa de 200.000 ohmios, será:

$$A = 100.000 \text{ ohmios.}$$

Paso final con pentodos. Si las válvulas I y II son pentodos, en la ecuación (1) podemos despreciar R y A frente a R_1, con lo que:

$$D = \frac{E \cdot v}{R_1 + 2A \cdot v}.$$

Dividiendo por R_1 los dos términos del segundo miembro y recordando que v/R_1 es S, inclinación de la válvula, será:

$$D = \frac{E \cdot S}{1 + 2A \cdot S}, \text{ y}$$

$$M = \frac{100}{A \cdot S}, \text{ por lo que, para } M = 10$$

$$A = \frac{S}{10},$$

ecuación en la que S se expresará en amperios por voltios.

Para verificar la teoría hemos medido las variaciones de la corriente de placa en dos pentodos E F 6, en montaje simétrico, acoplados por una resistencia de cátodo de 8.000 ohmios. Si las tensiones de salida fuesen completamente simétricas, la suma de las variaciones de corriente en las dos válvulas tendría que ser constante. En la Tabla I damos los resultados obtenidos.

TABLA I

Válvula I	78	91,5	108	121,5	136,5	151,5
Válvula II	103	91,2	75,4	58,5	46,5	31,5
Suma	181	182,7	183,4	180,0	183,0	183,0
Válvula I	76,5	87	102,5	118,5	135	
Válvula II	100,5	91,5	75,3	60	45	
Suma	177,0	178,5	177,8	178,5	180	
Válvula I	75	64,5	46,5	30		
Válvula II	97,5	111	126,7	142,5		
Suma	172,5	175,5	173,2	172,5		

Las intensidades de corriente se miden en centésimas de miliamperio.

Si la resistencia catódica se reduce a 500 ohmios, entonces se obtienen los valores de la tabla II.

TABLA II

Válvula I	53	38	31	21,5
Válvula II	68,6	75	79	84
Suma	121,6	113	110	105,5

Cálculo de la amplificación.

Sea V la amplificación efectiva del sistema. Para el paso a triodos, será:

$$V = \frac{(i - k) \cdot R}{E} = \frac{(E - DA) \cdot R \cdot v}{R + A} + \frac{D \cdot A \cdot v \cdot R}{R + A} : E$$

$$V = \frac{R}{R + A} \cdot v$$

y, para una asimetría del 10 %, para la que

$$A = \frac{100\ R}{10\ v - 100}, \text{ resultará}$$

$$V = v - 10.$$

Para el caso del pentodo es:

$$V = S \cdot R,$$

que es la misma amplificación que daría una sola válvula sin resistencia de cátodo.

En la figura 2 damos el esquema definitivo de la etapa final del amplificador. C, es la resistencia de carga de la rectificadora, en la que hay una toma de tierra en el punto adecuado para que la polarización negativa de rejilla tenga el valor conveniente. El acoplamiento a las placas deflectoras se hace directamente, sin condensadores, por medio de un divisor de potenciales, compuesto de dos resistencias tales que la toma de la placa deflectora quede al potencial de tierra. Con esto, variando el cursor del potenciómetro de 10.000 ohmios (3, en la figura), se puede desplazar en una línea vertical la posición del punto luminoso en la pantalla del tubo. También podemos llevar a ese potenciómetro impulsos regulares de tensión, de

aparición y desaparición muy brusca, como los obtenidos en el circuito descrito por HOLZER (2), que nos sirven para registrar el tiempo, sin necesidad de un conmutador electrónico.

II. CIRCUITO DE AMPLIFICACION CON ELIMINACION AUTOMATICA DE INTERFERENCIAS

La gran amplificación que alcanzan los amplificadores de baja frecuencia usados en Electrofisiología les hace muy sensibles a las perturbaciones originadas por campos electromag-

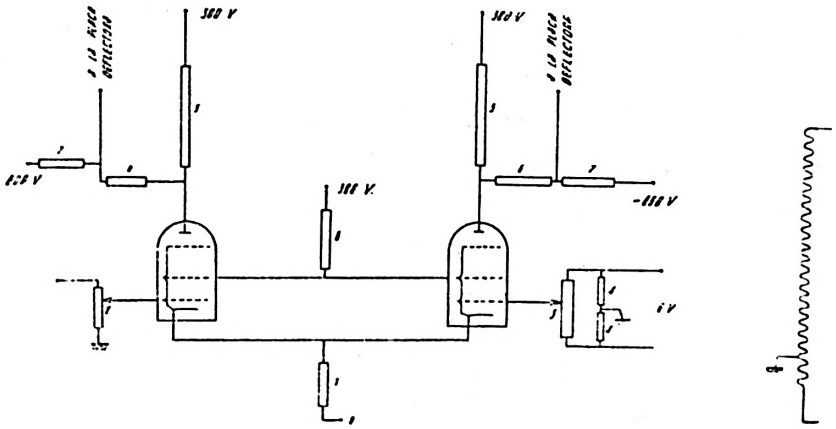

Fig. 2

néticos, como, por ejemplo, los que crean las redes de distribución de energía eléctrica o el funcionamiento de motores próximos al amplificador. Para evitar o reducir las interferencias podemos colocar el amplificador y el objeto cuya actividad eléctrica se estudia en una caja metálica cerrada, jaula de FARADAY. Este procedimiento tiene el inconveniente de que no es aplicable en cualquier lugar. Por eso, se han ideado otros procedimientos para eliminar las interferencias. Uno de ellos, consiste en construir el amplificador de manera que no amplifique las ondas de 50-60 períodos, frecuencia que suelen tener las redes de distribución de la energía eléctrica, que son la causa más importante de interferencias. Tiene el inconveneinte

de que si el objeto produce ondas de esa frecuncia, tampoco son amplificadas. Es necesario, pues, recurrir a una amplificador que, amplificando toda la gama de frecuencias, sea tal que no amplifique las interferencias. Tipos de estos amplificadores son los de TÖNNIES y el de HOLZER (3 y 2).

Con los amplificadores de TÖNNIES se obtienen resultados excelentes y son los de elección cuando el amplificador haya

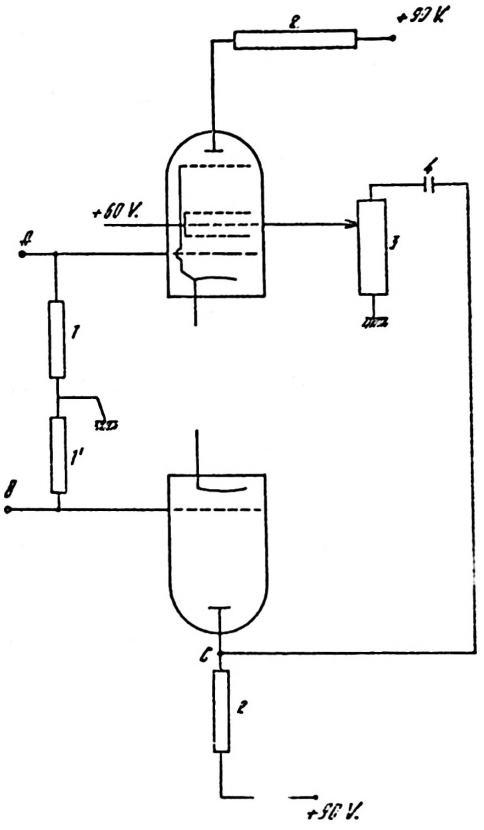

Fig. 3

de amplificar potenciales constantes en el tiempo. Tienen la desventaja de que el primer paso de amplificación, y todos los que vayan compensados, exigen dos baterías propias, una de caldeo y otra de alta tensión.

Hemos ensayado también el circuito de HOLZER, que, a nuestro entender, tienen el inconveniente de que las corrientes

de compensación recorren el objeto en que se experimenta. Hemos diseñado y construído un circuito, análogo al de HOLZER y libre de ese inconveniente.

Empleamos como amplificadora de baja frecuencia la válvula 6L 7, que teine dos rejillas de control. Sea, por ejemplo, positiva respecto a tierra la interferencia perturbadora. Al llegar al amplificador entra en él por A (fig. 3), haciendo más positivo el potencial de la primera rejilla de control de la 6L 7, por lo que aumentaría la corriente de placa de esa válvula. Pero, la misma interferencia penetrará por B, dirigiéndose a tierra a través de la resistencia 1, haciendo mayor la corriente

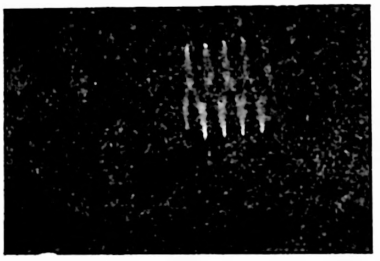

Fig. 4

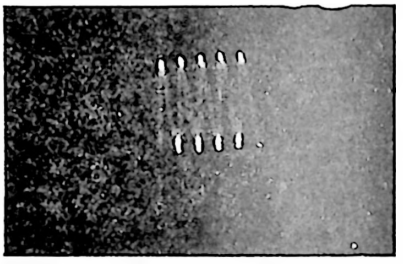

Fig. 5

de placa de la segunda válvula, que es una 6J 5. Entonces, el potencial en el punto C disminuye, originándose un impulso negativo de tensión, que, por el condensador, 4, y el potenciómetro 3, disminuye desde la segunda rejilla de control la corriente de placa de la 6L 7. Vemos, pues, como la interferencia elimina automáticamente, puesto que su acción directa sobre la válvula 6L 7, es anulada por su acción sobre la rejilla B, de la segunda válvula, que se transmite, con signo cambiado, desde la placa de la 6J 5 hasta la segunda rejilla de control de la 6L 7.

En las gráficas 4 y 5 vemos los oscilogramas de una corriente de 50 períodos, que lleva superpuesta como interferencia una de 1.000 períodos. En la figura 2, el dispositivo de eliminación automática está puesto fuera de juego.

Resumen

Se describe un paso de salida simétrico para amplificadores, compuesto de dos válvulas acopladas por una resistencia catódica común, planteando las ecuaciones que dan el valor más adecuado de la resistencia y el de la amplificación del sistema..

Asimismo se describe un circuito de entrada con eliminación automática de interferencias, empleando una válvula 6L7 y una 6J5 ; ésta para invertir el signo de la interferencia y la primera como mezcladora.

Summary

A symetrical output stage for amplifiers composed by two vacuum tubes coupled by a common cathodic resistor is described, The equations giving the most adequate value for the gain of the system have been established.

There is described also a balanced imput circuit insensitive to electrostatic flutuations, using a 6L7 and a 6J5 vacuum tubes, the latter as a phase-changer and the former as a mixing tube.

Bibliografia

1. Skotnicky, J., *Pflügers Arch.*, **246**, 59 (1942).
2. Holzer, *Pflügers Arch.*, **244**, 203 (1940).
3. Tönnies, J. F., *Rev. Scientifical Instrum.*, **9**, 95 (1938).