

# SISTEMA PARA GRABACION REPRODUCCION DE SEÑALES DE MUY BAJA FRECUENCIA

Ing. Juan Carlos Mikalef

En el presente artículo se describe un sistema electrónico desarrollado con el objeto de permitir la registración y posterior recuperación para el análisis en laboratorio, de las señales sísmicas captadas en los sitios donde se presume la existencia de fuentes geotermales.

## Introducción

Las aguas termales se encuentran en la corteza terrestre en un estado de equilibrio de tipo dinámico, lo que provoca ciertas vibraciones captables a nivel de superficie que delatan su presencia, y que analizadas adecuadamente, permiten determinar las características de la fuente en cuestión. Tales vibraciones dan origen, con un transductor adecuado, a señales eléctricas cuya amplitud es inferior a un microvoltio, y que conforman una banda de frecuencias comprendida aproximadamente entre 0 y 50 Hz.

Ante la necesidad de analizar las señales en el laboratorio, con el instrumental adecuado, se decidió registrarlas en un grabador comercial a cassette, debido a su bajo costo, y facilidad de transporte y manejo. Las características propias de la señal hacían imposible su grabación directa, y por ello fue necesario construir un amplificador que elevara adecuadamente su nivel, un modulador que trasladara su espectro a la banda útil del grabador, un demodulador que permitiera recuperar a posteriori la señal, y una fuente de tensión, para alimentar los circuitos mencionados.

El sistema mencionado se puede resumir entonces en cuatro bloques:

- a. Modulador
- b. Demodulador
- c. Amplificador
- d. Fuente de alimentación

Todo el equipo está constituido en base a componentes electrónicos de fácil obtención en la plaza local, dándosele prioridad a ese factor, aún a costa de una mayor complejidad en el diseño.

## Descripción de los Circuitos

### a. Modulador

Su finalidad es trasladar el espectro de las señales sísmicas de modo de posibilitar su registración con un grabador comercial de audio frecuencia. Se adoptó como solución un convertidor tensión frecuencia cuya salida es una onda cuadrada de aproximadamente 2400 Hz modulada en frecuencia por la señal de interés. Las características del circuito son:

1. buen comportamiento en cuanto a ruido y distorsión (calidades inherentes de la modulación de frecuencia)

2. simplicidad en el diseño, ajuste y manipulación de la señal, por tratarse de una onda cuadrada.

La frecuencia central elegida está comprendida bien dentro de la banda útil del grabador, y es suficientemente mayor que las frecuencias sísmicas como para facilitar su posterior eliminación.

La Figura 1 muestra un diagrama de bloques del circuito:

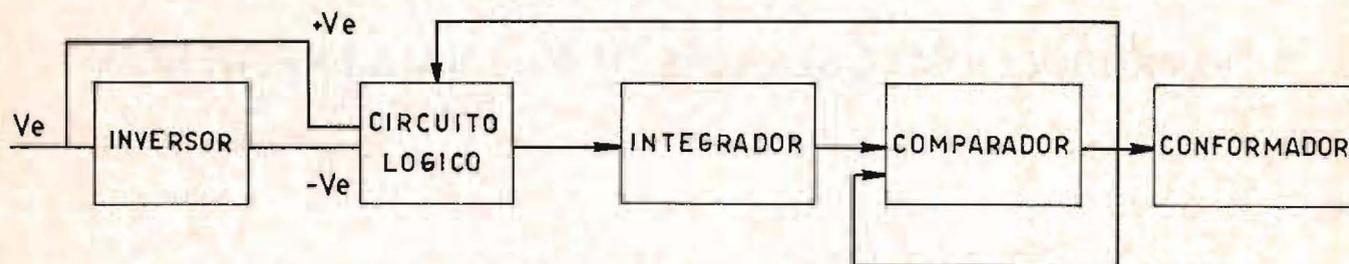
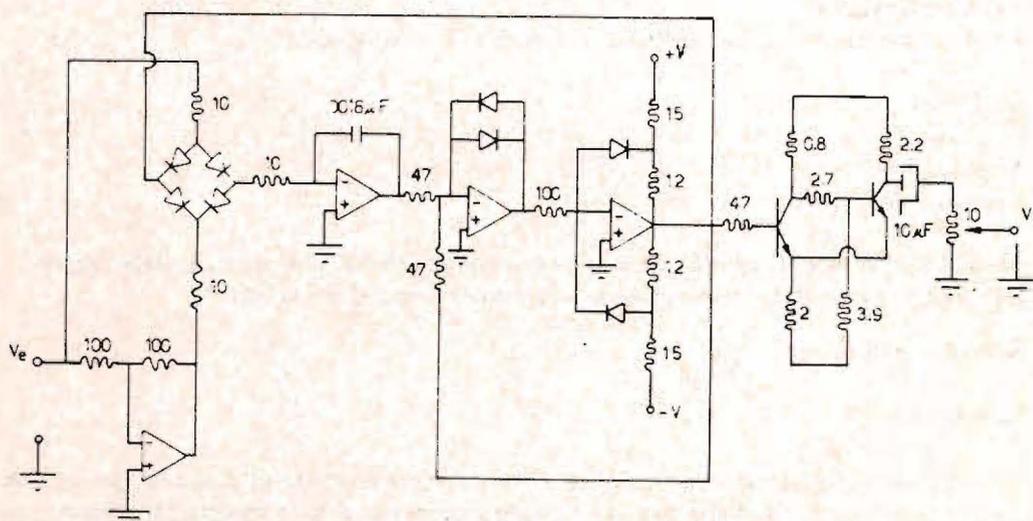


FIG. 1

$V_e$  es la señal moduladora, más una cierta tensión continua que se le adiciona en la etapa amplificadora previa. El circuito lógico, comandado por la misma onda cuadrada de salida, permite alimentar el integrador alternativamente con  $+Ve$  o con  $-Ve$ . Siendo la frecuencia de la señal moduladora mucho menor que la de la onda portadora, se puede suponer que, durante el transcurso de un ciclo de la señal de salida, la entrada se mantiene constante. La salida del integrador, es en ese caso, una onda triangular cuya pendiente está determinada directamente por  $V_e$ . Cuando esta onda alcanza una amplitud igual y opuesta a la de salida, se produce el vuelco del comparador y simultáneamente se inicia la carga del integrador en el otro sentido. Como resultado de este proceso se obtiene, a la salida del comparador, una onda cuadrada cuya frecuencia está determinada directamente por  $V_e$ . Lo antedicho se puede sintetizar en lo siguiente: la pendiente de la onda triangular varía linealmente con la tensión de entrada  $V_e$ , y por lo tanto la frecuencia de esta onda, que es igual a la de salida, varía linealmente con  $V_e$ , y tenemos en consecuencia un convertidor tensión frecuencia. Como etapa final se agregó un conformador, que tiene como única finalidad mejorar la forma de la onda de salida.

La Figura 2 muestra el circuito completo del modulador:



AMPLIFICADORES OPCIONALES LM 741  
 TRANSISTORES BC 548  
 DIODOS 1N914  
 RESISTENCIAS EN K  $\Omega$

FIG. 2

b. **Demodulador**

Su finalidad es recuperar la señal sísmica original, partiendo de la onda registrada en el cassette. Como las frecuencias de modulación son suficientemente menores que la frecuencia de portadora, se las separó por simple filtrado, previa transformación de la onda de FM en un tren de pulsos de amplitud y ancho constantes.

La Figura 3 muestra un diagrama de bloques del circuito:

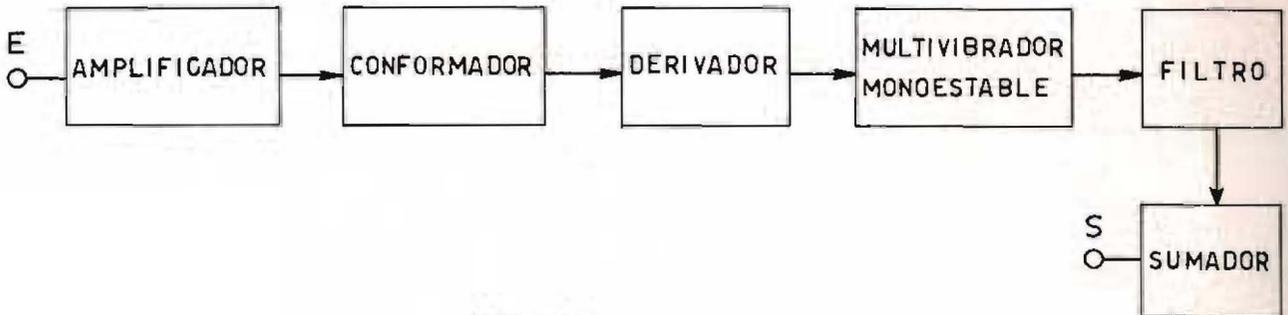


FIG. 3

Los impulsos del derivador disparan al multivibrador monoestable, que entrega entonces un tren de pulsos de amplitud y ancho constantes, a razón de uno por cada ciclo de la onda de entrada. La siguiente etapa es un filtro activo pasabajos, que recibe los pulsos y reconstituye la señal sísmica, eliminando la portadora. Por último, hay una etapa sumadora, que permite eliminar la componente continua que acompaña a la señal a la salida del filtro.

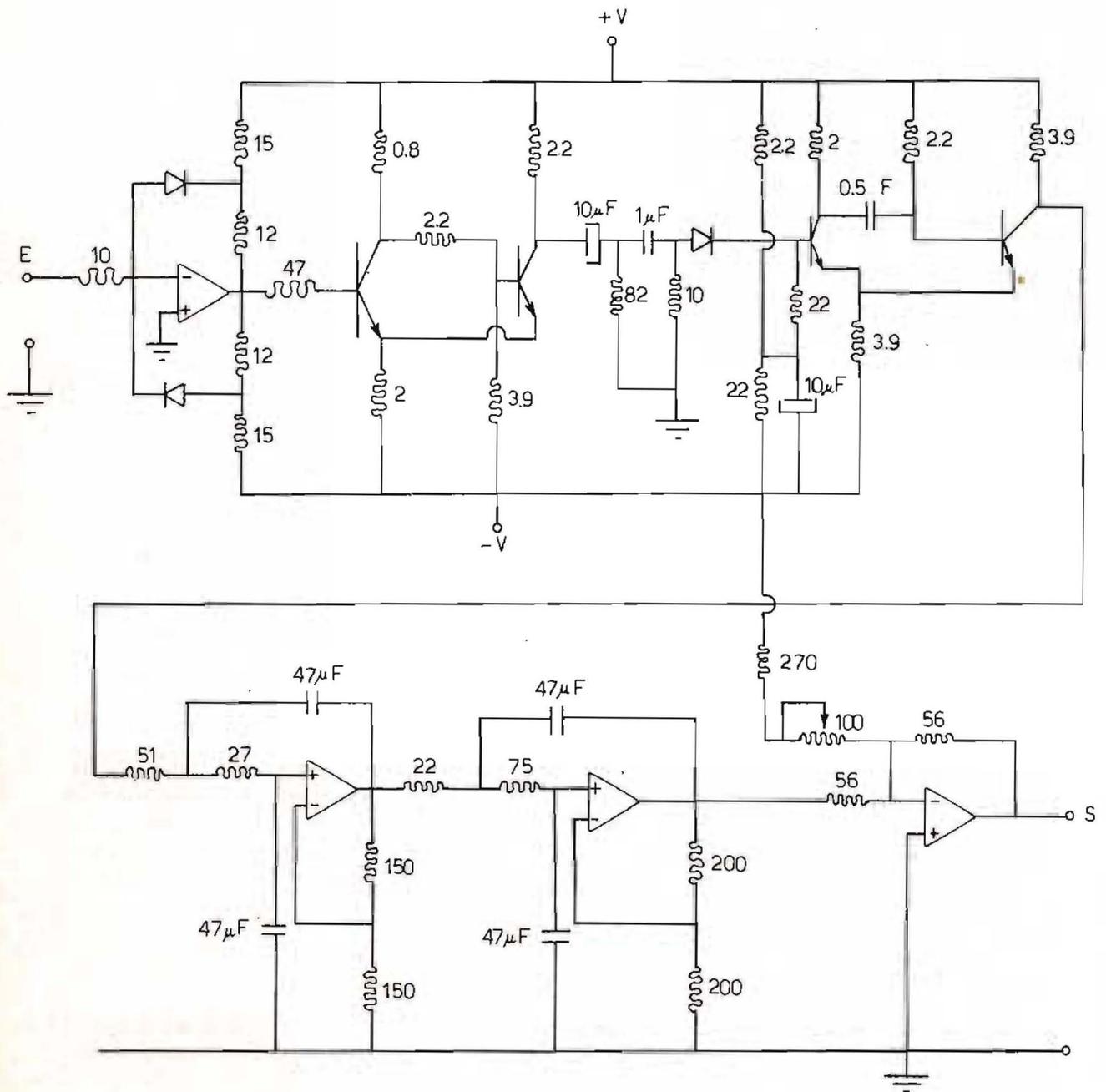
El circuito completo del demodulador, es el que muestra la Figura 4.

La señal proveniente del grabador, entra a un amplificador, que lleva su amplitud a un nivel adecuado; luego pasa al conformador, un multivibrador Schmitt que corrige cualquier deformación, entregando una onda con flancos verticales, lo que va a permitir que los impulsos que genera la onda al pasar al derivador estén perfectamente definidos en el tiempo (ello es necesario en razón de que el parámetro que permite extraer la información es la separación de impulsos, y cualquier indeterminación en su posición se traduciría en una distorsión en la salida).

c. **Amplificador**

Tiene por finalidad amplificar la señal y agregarle una componente continua, adecuada para excitar al modulador. Está formado, como muestra la Figura 5, por dos etapas implementadas con amplificadores operacionales, con las siguientes características:

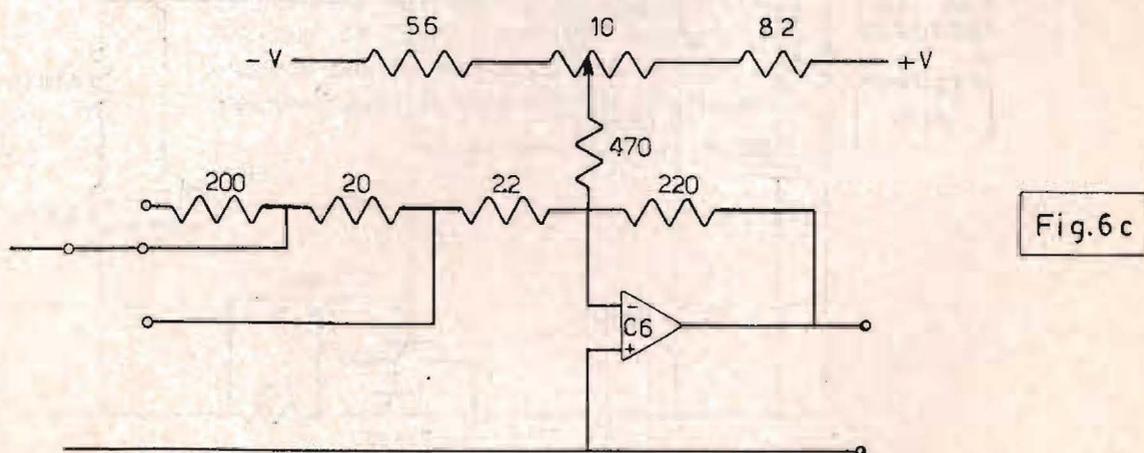
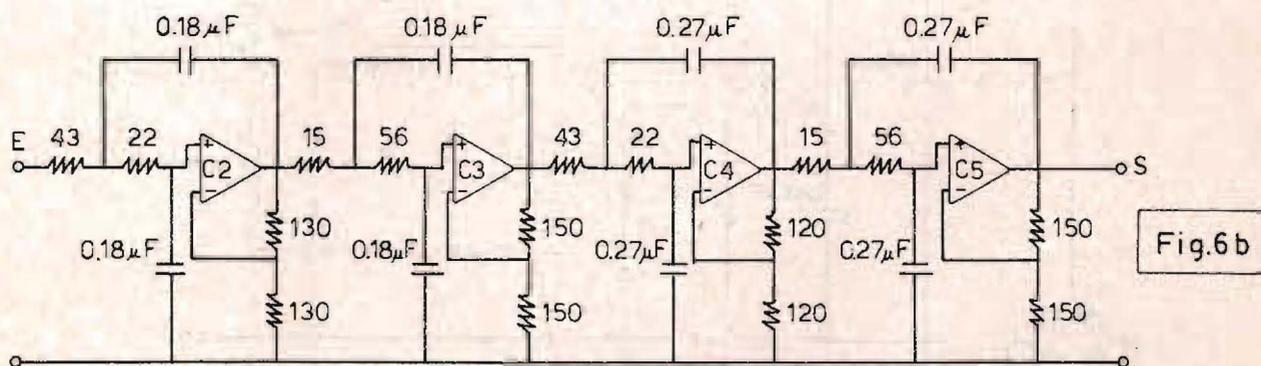
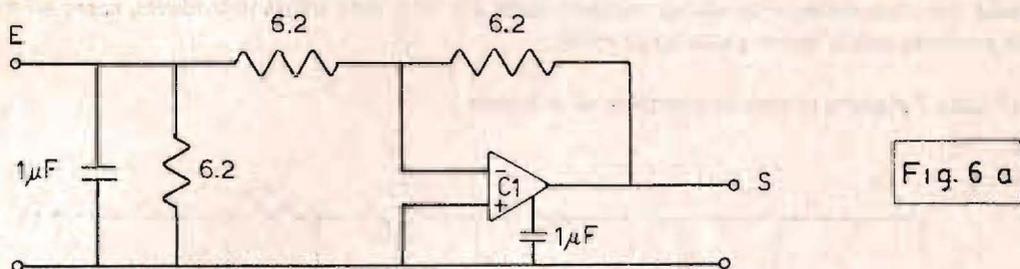
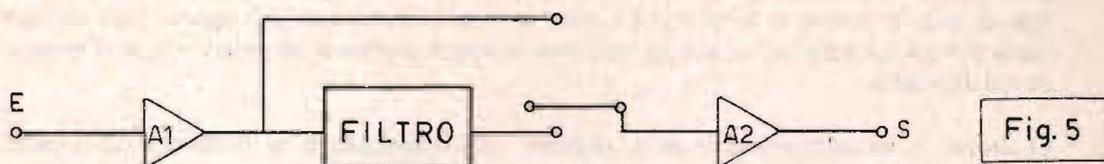
- La etapa de entrada tiene baja ganancia y cumple funciones de adaptación. Está realizada con un amplificador de alta impedancia y bajo corrimiento, previo a la cual hay un filtro pasabajos para atenuar la presencia de ondas de alta frecuencia.
- Como paso intermedio se colocó un filtro activo pasabajos, formado por dos etapas de cuarto orden en cascada, que provee una atenuación muy fuerte de aquellas señales que estén fuera de la banda de interés, y que puede ser intercalado o no en el circuito, en caso necesario mediante una llave exterior.
- La segunda etapa es otro amplificador operacional conectado como sumador, con dos entradas: a) la señal proveniente de la etapa anterior (o del filtro), con ganancia regulable de 1, 10 ó 100; y b) una tensión continua, controlable también desde el exterior que permite ajustar el nivel de entrada al modulador, y eventualmente corregir corrimientos provocados por los amplificadores operacionales.



AMPLIFICADORES OPERACIONALES : LM741  
 DIODOS : 1N914  
 TRANSISTORES : BC548  
 RESISTENCIAS EN K  $\Omega$

FIG.4

La Figura 5 muestra el circuito completo del amplificador y filtros: 6a primera etapa; 6b filtro; 6c segunda etapa.



C1 : LM 308  
 C2, C3, C4, C5, C6 : LM 741  
 RESISTENCIAS EN K  $\Omega$

d. Fuente de alimentación

Su finalidad es alimentar los circuitos anteriores partiendo de la tensión de red, 220 v, 50 Hz.

El empleo de amplificadores operacionales determinó que debía ser de doble polaridad. La tensión de trabajo de todo el sistema se la fijó en 12 v, tanto del lado positivo como del negativo, para permitir el reemplazo directo por baterías, ya que en los sitios de interés geotermal en general no habrá energía eléctrica de red disponible.

El circuito es un doble regulador serie, ajustable, con el agregado de un limitador en cada salida, a fin de evitar que la corriente supere los 600 mA en caso de sobrecarga.

Con el objeto de darle mayor versatilidad, para su posible utilización fuera de su finalidad específica, se la diseñó para que entregue tensiones variables entre 0 y 13 v, para ambas polaridades, como así mucha mayor corriente que la que su uso original prevé.

La Figura 7 muestra el circuito completo de la fuente.

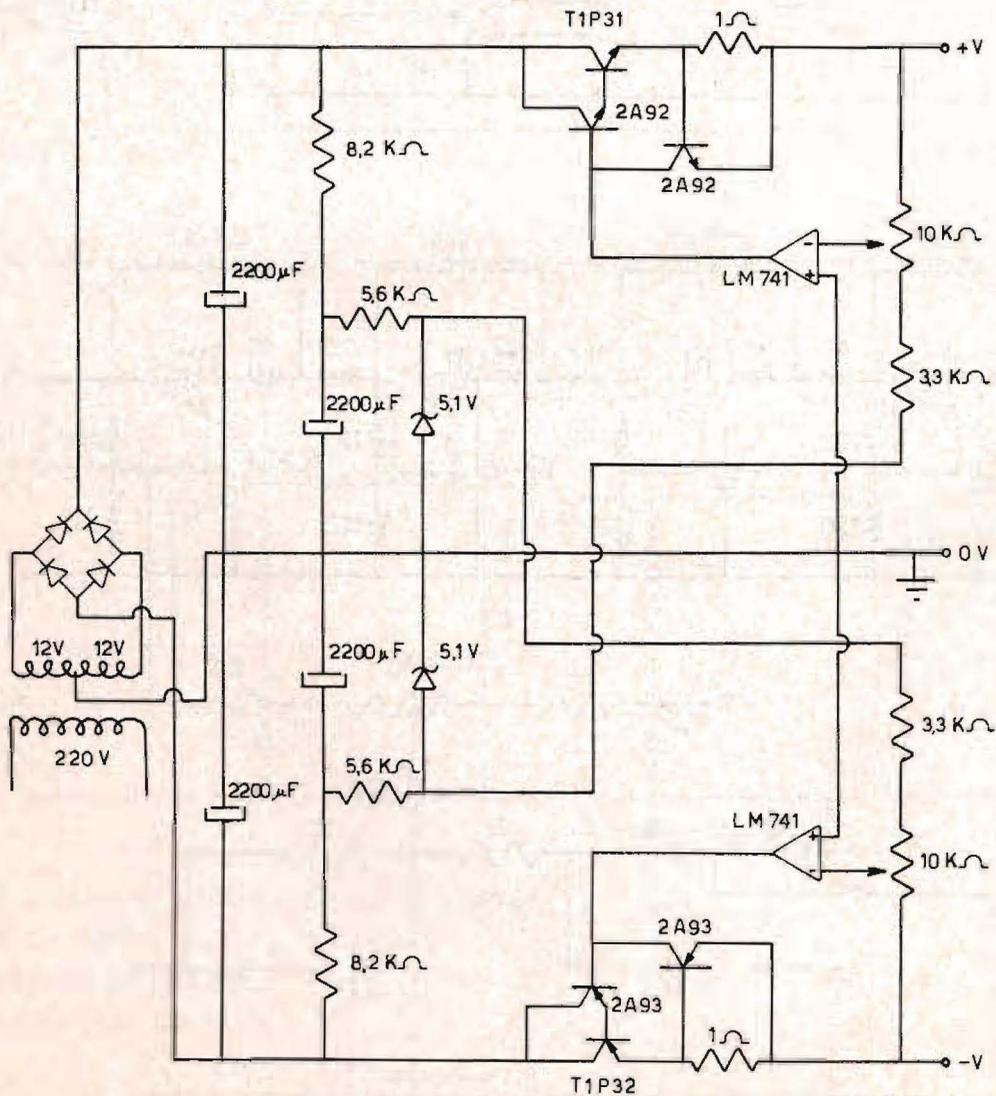


FIG. 7