

PROYECTO :

S I N T E T I Z A D O R

M U S I C A L

JULIO 1983

ALUMNO : FRANCISCO JOSE MEJIAS LOPEZ :

TUTOR : JUAN MANUEL CARUUCHO RODADO :

LAS PALMAS G. CANARIA 6 DE JULIO DE 1983.

INDICE

INTRODUCCION -----	Pág.	I
TECLADO Y CIRCUITERIA ASOCIADA -----	Pág.	5
VCO (OSCILADOR CONTROLADO POR TENSION) -----	Pág.	17
VCF (FILTRO CONTROLADO POR TENSION) -----	Pág.	33
FILTROS DE RESONANCIA -----	Pág.	44
GENERADOR DE ENVOLVENTE -----	Pág.	48
AMPLIFICADOR CONTROLADO POR TENSION (VCA) -----	Pág.	55
OSCILADOR DE BAJA FRECUENCIA (LFO) -----	Pág.	60
GENERADOR DE RUIDOS -----	Pág.	64
ALIMENTACION -----	Pág.	68
ETAPA DE CONTROL -----	Pág.	71
REVERBERACION -----	Pág.	73
PEDAL Y MODULADORES DE FASE -----	Pág.	78
CAJA DE RITMOS (BATERIA ELECTRONICA) -----	Pág.	81
BIBLIOGRAFIA -----	Pág.	87

INTRODUCCION:

El sintetizador musical es un instrumento electrónico generador de sonidos de muy diversa índole y con posibilidad de regulación por el operador. Estos sonidos audibles son muy ricos e interesantes y con muchas posibilidades dentro del campo musical.

El sintetizador no posee un timbre característico como por ejemplo lo tiene la guitarra, el violín, ..etc. Una vez ajustado puede producir el sonido de una guitarra eléctrica, de una flauta, de un piano, ..etc, a la vez de una variedad inagotable de sonidos complejos. La limitación de sus posibilidades está impuesta fundamentalmente por la imaginación y el dominio técnico del operante.

Posee un cierto número de circuitos que son relativamente independientes entre si y que permiten controlar los parámetros que definen las características de cualquier sonido. Estas características son el timbre, la frecuencia y la intensidad. Cada instrumento musical tiene su timbre característico y el timbre es la forma de onda de la señal de sonido que emiten dichos instrumentos. Así por ejemplo la onda sinusoidal pura sin distorsión suena de una manera pura y sosa y sugiere a flautas, la señal cuadrada simétrica suena brillante y hueco y sugiere clarinetes, la diente de sierra suena brillante y lleno sugiriendo metales y cuerdas, la triangular es poco brillante sugiere oboes, flautas, ...etc.

El circuito ó unidad electrónica que es capaz de generar estas variadas formas de onda o timbres es un oscilador controlado por tensión (VCO). Esta unidad (VCO) al igual que la demás unidades que forman el sintetizador (VCF, VCA, ..) tienen la característica común de ser controladas por tensión y ésta tensión es proveniente tanto del teclado (cada nota al ser accionada genera un nivel de tensión equivalente a la altura de la nota), como exterior (cada unidad posee una entrada exterior de tensión con la cual se permite gobernar a dichas unidades mediante otros teclados u otros circuitos).

La unidad del sintetizador que se encarga de controlar a otra importante

propiedad como es la frecuencia ,es el filtro controlado por tensión ó VCF. Esta unidad recibe la forma de onda proveniente del VCO y deja pasar (filtra) solamente un espectro de frecuencias de la señal: En otras palabras se hace impermeable para un cierto número de frecuencias y permeable para otras. Es también controlable por tensión y el operador mediante ajuste puede dejar pasar el espectro de frecuencia de la señal que desee.

Al igual que el VCO es el equivalente a las funciones de los instrumentos clásicos(p.e. el VCO equivale a la cuerda en un violín), el VCF simula las propiedades resonantes de la caja acústica del instrumento.

La siguiente propiedad trivial del sonido es la intensidad sonora (volumen) y la unidad que se encarga de gobernarla mediante control por tensión es un amplificador controlado por tensión ó VCA. La tensión de control del teclado no actúa sobre esta unidad, siendo la característica ó curva de tensión que la controla suministrada por un circuito que se llama generador de envolvente. Este circuito da una característica de tensión de salida según desee el operante (músico) y la cual regula la intensidad sonora del espectro de frecuencia que ha sido filtrado por el VCF. Posee una serie de potenciómetros los cuales regulan, a gusto del operador, los tiempos de ataque, sostenimiento y decaimiento del sonido que se procesa. El VCA junto con el generador de envolvente equivaldrían al arco de cuerda con que se frota las cuerdas del violín (siendo las cuerdas el VCO y la caja el VCF).

Un teclado convencional de varias octavas es el que se utiliza como controlador de las tensiones de mandos que gobiernan las distintas unidades. A cada tecla (ó nota) le corresponde un nivel de tensión de manera que entre una nota y su octava (frecuencia doble a la de la nota) exista un voltio de tensión, obteniéndose por tanto la característica: VOL/OCT. o sea un voltio por octava.

La naturaleza del sintetizador le hace monódico y por lo tanto solo se puede generar el sonido de una nota a la vez, no siendo posible obtener acordes.

Otra característica exclusiva del sintetizador es la de generar señales no

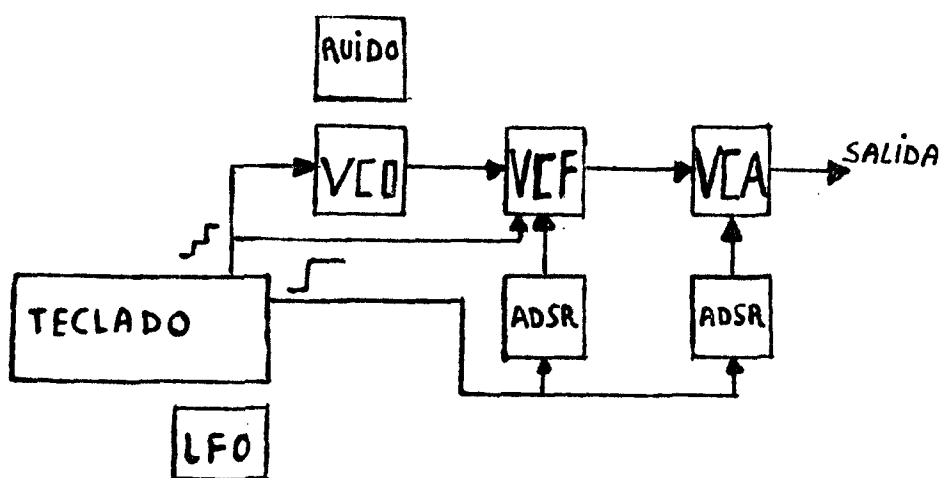
periódicas (aperiódicas) como por ejemplo el viento o un trino de pájaros. El sintetizador es un imitador de sonidos típicos de la naturaleza como la lluvia, un riachuelo, una tormenta, ...etc. Permite efectuar glisando entre las notas es decir pasar de un La a un Do de una manera continua, sin cambio brusco de sonido.

Además de las unidades descritas, el sintetizador posee otras que pueden, controlen, retarden, memoricen... la señal de audio se se procese. Estos circuitos son esenciales en el sintetizador ya que con ellos se logra un mayor efecto natural del sonido sintetizado, haciéndolo menos frío al igual que permiten obtener efectos de eco, phasing (orquesta), modulación para trinos (AM) ó FM. Entre estas unidades están los generadores de envolvente, los generadores de ruido, los LFO (osciladores de baja frecuencia para modular p.e. al filtro VCF), Sample and Hold, caja de ritmos y otras más.

El generador de ruido produce un espectro de ruido blanco el cual es tratado mediante filtro y permite obtener el ruido rosa y otros. Este generador junto con el VCF y el VCA permiten obtener esos sonidos complejos de viento, truenos, tormenta....etc.

El sintetizador constituye un verdadero instrumento de expresión artística, en la que el músico participa enteramente buscando y creando nuevos sonidos que describan mejor sus sentimientos e ideas musicales.

El diagrama de bloques del sintetizador con sus unidades más fundamentales, está dibujado a continuación:



TECLADO, LFO, ADSR → FUENTES DE TENSION DE CONTROL
 VCO, GENERADOR DE RUIDO → FUENTES SONORAS
 VCA, VCF → MODELADORES DEL SONIDO

Las fuentes generadoras de sonido son el VCO y el generador de ruidos (blanco, rosa y aleatorio).

Del teclado , al accionar una tecla, salen dos tensiones de salida. Una es un nivel de tensión y la otra es un impulso de cierta duración. El nivel de tensión tiene un valor máximo que es el correspondiente a la nota más aguda del teclado. Este nivel continuo de tensión constituye la tensión de control para el VCO y VCF, ya que toda tecla del teclado tiene " anexionada " un nivel de tensión distinto en cada una. El valor mínimo de este nivel es de $I/I2 = 0,08333$ voltios y corresponde a la nota más grave del teclado.

El impulso que se genera , al mismo tiempo que el nivel de tensión , al accionar una tecla en el teclado es el que se encarga de activar a los generadores de envolvente (ADSR) los cuales controlan las características en frecuencia y amplitud del VCF y VCA respectivamente. La duración de este impulso depende del tiempo que esté apretada la tecla en el teclado.

Este sintetizador tiene un teclado de 3 octavas con repetición del Do correspondiente a la 4ª octava, un total de 37 notas. La característica fundamental del mismo es la relación : 1 voltio/octava, es decir, que a una octava de frecuencia le corresponde un voltio de tensión. Como en una octava (según el sistema temperado que es el que afina al piano) hay 12 semitonos, cinco corresponden las posiciones posibles alteradas de los grados diatónicos de las escalas diatónicas y siete a las correspondientes posiciones de los grados naturales (DO-RE-MI-FA-SOL-LA-SI) de dichas escalas. Por lo tanto, si en una octava hay 12 notas y le corresponde un voltio, entonces entre dos notas sucesivas hay : $1 \text{ vol} / 12 \text{ teclas (notas)} = 0,08333 \text{ vol}$ ó medio tono que es su equivalente en frecuencia en este caso.

El teclado tendrá tres octavas (37 notas) y será monódico (solo genera un sonido a la vez). Si se apretase dos notas simultaneamente, siempre generará el voltaje correspondiente a la nota más aguda de las accionadas.

Empleo un teclado porque es el controlador más usado en un sintetizador musical, y además que permite desarrollar cómodamente las escalas musicales.

En un piano convencional a cada tecla le corresponde una frecuencia de sonido determinada, similarmente el teclado del sintetizador es fundamentalmente una fuente que suministra diferentes niveles discretos de tensión y que son proporcionales a la tecla que se oprime.

En el teclado se generan dos señales de control que sirven para activar a las distintas partes que constituyen el sintetizador. Estas señales son la tensión de teclado y un impulso positivo. La tensión de teclado varía discretamente en escalones de tensión proporcionales a la tecla . Son incrementos de tensión de igual valor, teniendo su valor mínimo en la primera tecla del teclado (nota más grave) y su valor máximo en la última tecla (nota más aguda). Cada incremento de tensión vale 0,08333 vol., por tanto su valor mínimo es de 0,08333 vol. y el máximo es de 37 veces esa cantidad o sea 3,08333 vol. Esta tensión es para controlar los VCO y VCF (osciladores y filtros controlados por tensión).

El impulso positivo va desde cero voltios a un valor positivo con un tiempo de duración igual al tiempo que se tiene la tecla apretada. Este impulso informa o avisa de que alguna tecla está siendo apretada y durante cuanto tiempo está apretada. Se aplica a los generadores de envolventes para que inicien su ciclo de activación (ataque, decaimiento, sostenimiento y relajación).

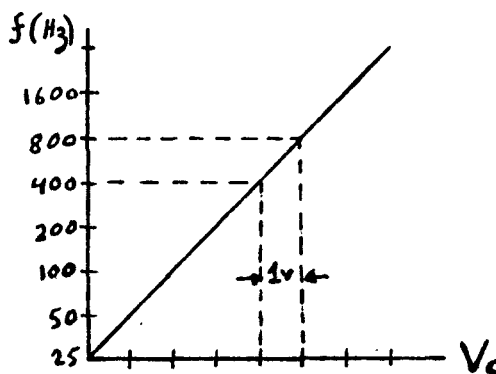
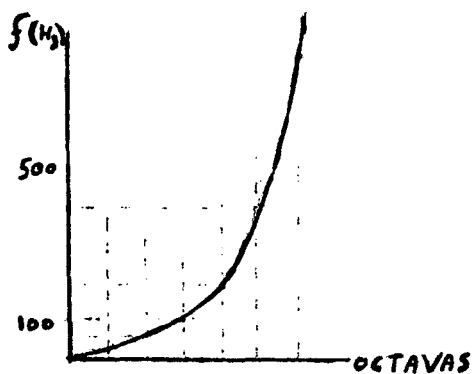
Asociada al teclado hay una circuitería que permite un mejor ajuste y musicalidad de los sonidos o más bien de las tensiones salientes del teclado, entre esos circuitos están los correspondientes al portamento, la memoria analógica, modulación FM, ajuste global y de offset.... El ajuste de offset es para corregir las fugas pequeñas de los operacionales y la modulación FM de la tensión de control del teclado se realiza mediante la tensión de modulación procedente de un oscilador de baja frecuencia que se le añade a la tensión de control.

El papel fundamental del teclado es entregar la tensión de control correspondiente a la frecuencia de la nota que se está accionando, esta tensión se aplica como control al VCO y VCF. Al mismo tiempo se está aplicando el impulso que activará a los generadores de envolvente para que comiencen su ciclo.

En la música la distribución del sonido es en octavas. La octava de una nota, ó mejor dicho de la frecuencia a que equivale esa nota, es la nota (es la nota) que tiene una frecuencia igual al doble ó la mitad de la frecuencia de la nota dada. Si por ejemplo la nota es el Do entonces la nota que tiene una frecuencia doble es un Do también, pero una octava más alta y la nota (que tiene) que tiene una frecuencia, que es la mitad, es un Do una octava más baja. Igualmente se puede aplicar esto a todas las notas.

De una nota a su octava (superior ó inferior) existen siete notas. Las notas reciben el nombre de: Do-Re-Mi-Fa-Sol+La-Si-Do (octava superior).

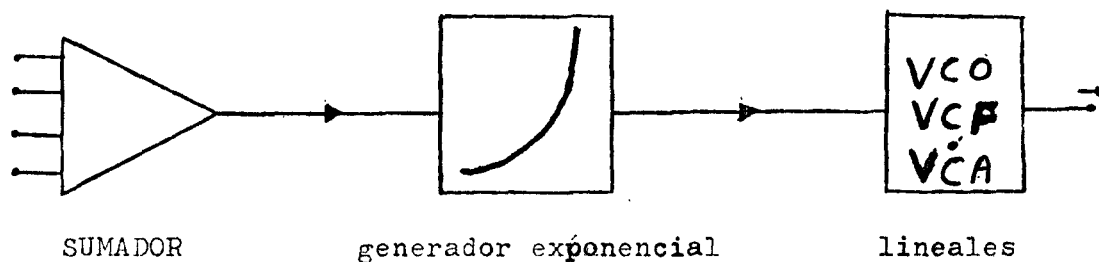
Cuando la frecuencia cambia de 50hz a 100hz el oído humano lo interpreta como la variación en una octava. Hay que tener en cuenta que la percepción de la frecuencia por el oído humano es de manera exponencial y por tanto cuanto más alta es la octava o mejor dicho, cuanto más alta sea la frecuencia de la nota, mayor tendrá que ser el aumento de la frecuencia para obtener la octava correspondiente a esa nota (frecuencia). Entonces se ve claro que existe una relación exponencial entre las octavas y las frecuencias:



Debido a esta relación exponencial el control lineal en voltios/herzs no es el adecuado, he de usar el control voltios/octava que es exponencial. Tengo que lograr que por cada voltio de variación de la tensión de control, la frecuencia correspondiente sea el doble de la que había antes de la variación.

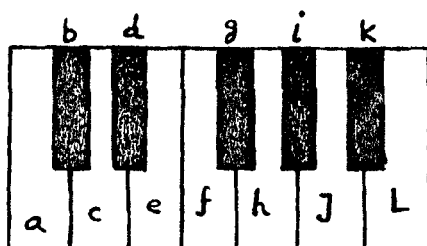
Esta característica de 1 voltio por octava será la pieza fundamental para el ajuste y afinamiento del VCO y VCF que son el corazón del sintetizador.

Con Voltio/octava se logra un control por tensión musicalmente lineal. Si quiero atacar a un oscilador controlado, por ejemplo, por corriente he de disponer de un generador exponencial en el que la corriente de salida se doble cada vez que la tensión de entrada aumente en un voltio. Además del exponenciador dispondré a la entrada de un sumador que suma las tensiones aplicadas a las entradas quedando de esta manera el siguiente diagrama de bloques:



En el teclado convencional una octava posee 12 teclas (7 blancas y 5 negras). En la estructura musical se ha adoptado que entre dos notas haya un tono de separación excepto entre Mi y Fa, Si y Do en los que existe medio tono. Entre una tecla blanca y su siguiente más próxima tecla negra hay medio tono, dicha tecla negra se denomina sostenido ó bemol si está a la derecha ó izquierda de la nota respectivamente. Además entre las doce teclas que forman la octava hay 1 voltio de tensión lo que equivale que entre cada dos teclas consecutivas haya una doceava parte de voltio ($1/12$). Por tanto tengo que entre una tecla y su inmediata siguiente o anterior hay una diferencia de medio tono o $1/12$ voltio.

Las notas de un teclado convencional ó cualquier teclado realmente son:



siendo: a= Do natural, b= Do sostenido, c= Re natural, d= Re sostenido
 Si sostenido Re bemol Mi bemol
 e= Mi natural, f= Fa natural, g= Fa sostenido, h= Sol natural
 Fa bemol **Mi SOSTENIDO** Sol bemol
 i= Sol sostenido, j= La natural, k= **La sostenido**, l= Si natural
 La bemol Si bemol Do bemol

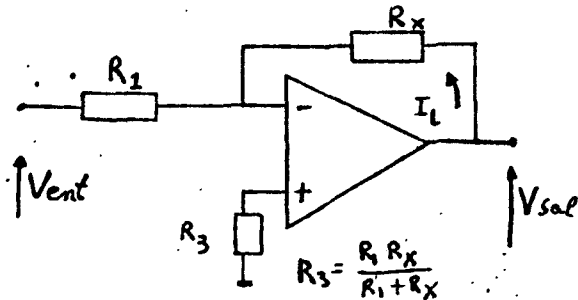
Solamente entre las notas Si-Do y Mi-Fa existe medio tono, siendo todas ellas notas naturales. Entre las demás notas naturales consecutivas hay un tono de diferencia y entre una natural y su alterada (bemol o sostenido) hay medio.

Según esta variación constante de tensión que existe entre las teclas, si coloco una hilera de resistencias exactamente iguales y con muy poca tolerancia (del orden del uno por ciento) y las alimento mediante un generador de corriente constante, obtengo por medio de interruptores colocados entre cada resistencia, una serie de tensiones iguales en cada resistencia, y una tensión de salida (procedente de cualquier eslabón de la hilera de resistores) que será proporcional (al) al nivel de tensión correspondiente al interruptor que se está accionando (osea, nota que se está oprimiendo).

Por ello es muy importante que todas las resistencias sean exactamente iguales para que la caída de tensión sea igual en todas. Dicha caída de tensión es igual a I/I_2 voltios (0,08333). Las resistencias y sus interruptores son los equivalentes de las notas y por tanto su número en una octava ha de ser igual al de sonidos en una octava según la escala temperada de Bach. y que son 12 sonidos, y que por tanto hay 12 resistencias. Como se puede ver en el esquema del circuito las resistencias van conectadas en serie.

Como deseo un teclado de tres octavas entonces habrá un total de resistencias de 37, correspondientes a tres octavas más el Do de la cuarta octava. Esta cadena de resistencias es alimentada por el generador de corriente constante (lo más posible). Uso un generador de corriente en vez de uno de tensión porque al apretar varias teclas el de corriente me define mejor que solo suene una de ellas. En el esquema del circuito correspondiente al generador de corriente se ve que está formado por un operacional 741 montado como fuente de corriente. La corriente que circula por la cadena de resistencias (I_2) es la misma que la que circula por R_I (I_I), ya que al mantener la entrada no inversora a masa, entonces el punto A está también a cero voltios por el concepto de masa virtual. La impedancia de entrada del operacional es muy elevada por lo que la corriente I' es prácticamente igual a cero. La cadena de resistencias es la resistencia de carga que forma parte del circuito de realimentación. El voltaje de salida se genera por el paso de una corriente constante a través de la cadena de resistencias, siendo este voltaje el voltaje de control del teclado y tendrá un valor en tensión que será el equivalente de la nota que se está tocando en el teclado.

Para el generador de corriente constante (que me alimenta a la cadena de resistencias) uso el montaje que se muestra en la hoja adjunta. El amplificador operacional A_1 es un 741 montado como amplificador inversor, el operacional A_2 actúa como separador-adaptador, de las tensiones provenientes de las resistencias correspondientes a las teclas (un total de 37 resistencias) y los circuitos posteriores. A_2 presenta una impedancia de entrada bastante elevada lo que significa que la cadena de resistencias trabajan virtualmente en vacío. La resistencia R_3 es para evitar llastos insuficiencias de las corrientes de entrada en el amplificador operacional A_1 . R_x es la resistencia equivalente a la cadena de resistencias en el esquema siguiente:



$R_x = R_{eq.}$ de la cadena de resistencias.

Es una fuente de corriente con carga flotante.

$I_L =$ corriente por la carga $= V_{sal} / R_x$; $V_{sal} = V_{ent} \cdot \text{Ganancia} = V_{ent} \left(-\frac{R_x}{R_1} \right)$.

La tensión de salida que me alimenta a la cadena de resistencias es de:

$$V_{sal} = 37 \cdot I / I_2 = 3 \text{ voltios} ; V_{ent} = -V_{cc} = -15 \text{ vol.}$$

La resistencia R_x es la equivalente a las 37 conectadas en serie y de idéntico valor: $R_x = 37 (100) = 3700$ ohmios. Cada resistencia de la cadena tiene un valor de 100 ohmios, con un 1% de tolerancia y de película metálica.

La tensión de salida es: $V_{sal} = V_{ent} R_x / R_1$ donde $R_1 = V_{ent} / V_{sal} \cdot R_x$

$$R_1 = 15 / 3 \cdot 3700 = 18500 \text{ ohmios.}$$

Esta R_1 la puedo dividir en un potenciómetro con una resistencia en serie. Este potenciómetro lo pongo de valor 10 kilohmios y a la resistencia serie con el de 10 kilohmios también: $R_1 = P_1 + R_2 = 10 \text{ Koh} + 10 \text{ Koh} = 20 \text{ koh.}$

Al variar el potenciómetro puedo variar o mejor ajustar la corriente que pasa por la resistencia de carga R_x :

$$I_L = V_{ent} / R_1 = -15 / 18500 = -810 \text{ microamperios.}$$

con el potenciómetro de 10 Koh : $I_L = V_{ent} / P_1 + R_2$ entonces los valores máximo y mínimo de I_L son: $I_{Lmax} = 15 / 10 \text{ Koh} + 10 \text{ Koh} = 750 \text{ microAmp.} = 0,75 \text{ mA.}$

$$I_{Lmin} = 15 / 0 \text{ Koh} + 10 \text{ koh} = 1,5 \text{ mA.}$$

Teniendo de esta manera (usando un P_1) la posibilidad de variar la corriente I_L desde 0,75 mA hasta 1,5 mA y así facilitar el ajuste de tensión a la salida.

Para estos valores de I_L tengo entonces la correspondiente tensión en la cadena de

resistencias : cada R vale 100 ohmios ; $V_{Rcadena} = 3700 \cdot 0,75 = 2,775 \text{ vol.}$

$V_{Rcadena} = 3700 \cdot 1,15 = 4,255 \text{ vol.}$

Obteniendo así una tensión de salida de la cadena de resistencias ajustable para compensar posibles pérdidas en otras partes del circuito. La corriente de entrada al operacional A_I es prácticamente cero. P_I me ajusta que en cada doce resistencias contiguas (una octava en frecuencia) exista exactamente un voltio de caída de tensión.

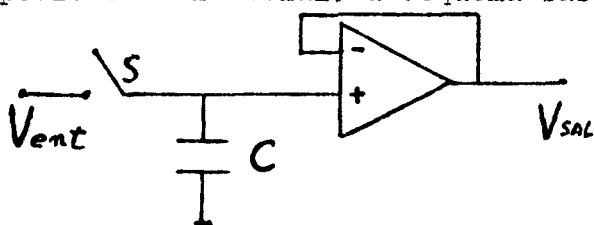
Esta tensión que procede del teclado y que es la tensión de control V_c se lleva a una memoria analógica del tipo Sample and Hold (muestra y almacenamiento). Esta memoria S&H es un circuito que retiene el último valor de la tensión de salida del teclado y lo uso porque sino, al dejar de apretar la tecla del teclado, la tensión de control equivalente a esa nota (tecla) desaparecería bruscamente y por consiguiente no podría efectuar efectos como el sostenido de una nota.

Lo más importante que hay que exigirle a la memoria analógica S & H es que mantenga con gran exactitud el valor de la tensión de salida del teclado. La duración máxima del almacenamiento de la tensión y la estabilidad dependen de las corrientes de fuga de la memoria analógica y por tanto cuanto menor sean mejor.

Un circuito muestra- almacenamiento se compone generalmente de tres partes:

- a) Un interruptor electrónico.
- b) Un condensador de almacenamiento.
- c) Un seguidor de tensión (de muy alta impedancia de entrada).

Durante el tiempo de muestreo (Sample) la salida seguirá a la entrada y durante los periodos de retención (Hold), el condensador conservará el último valor de tensión adquirido (aunque siempre existirá alguna pequeña descarga de C). La duración del periodo del tiempo de muestreo siempre suele ser pequeña comparado con el periodo de la señal. Su esquema básico es:



$V_{entr} \text{ máxima} = V_{sal} \text{ máxima}$

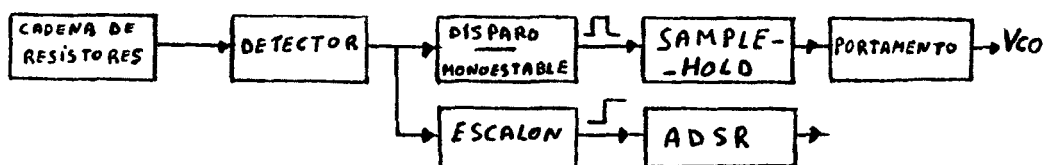
$V_{entr} \text{ mínima} = V_{sal} \text{ mínima}$

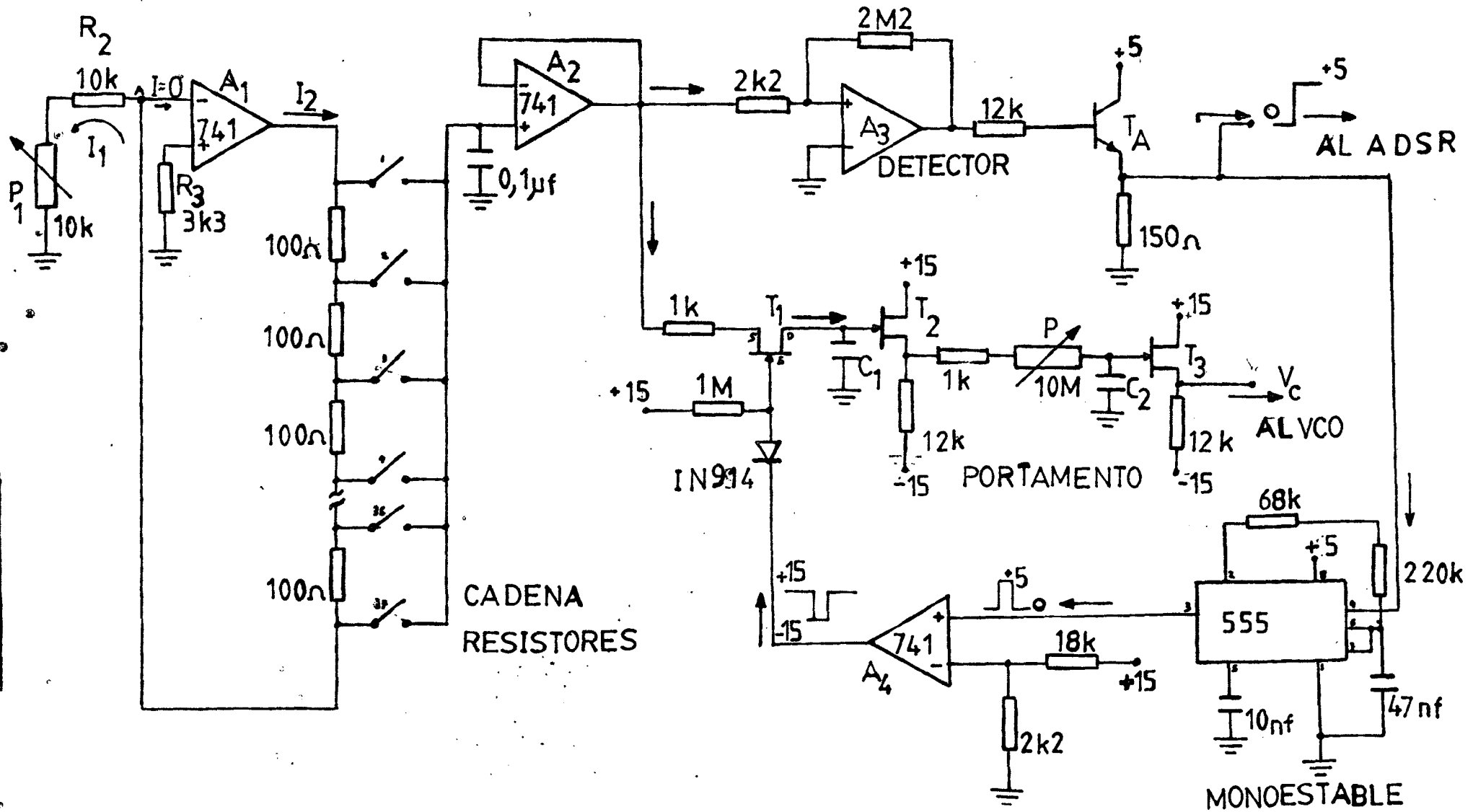
Para reducir al máximo las corrientes de fuga me interesa que el interruptor sea transistor de efecto de campo FET ó Most y que el seguidor de tensión sea un FET

de canal N (por su simplicidad) o un operacional con entrada FET. ^{EN} el caso de tocar más de una nota, la tensión correspondiente a la más alta (en frecuencia) de las dos es la que se almacena en el condensador del S&H.

El esquema del circuito de esta memoria se muestra en la hoja adjunta. El interruptor esta formado por el transistor tipo FET T_I el cual se cierra (dejando pasar la tensión al condensador C_1 de la memoria) cuando le llega el impulso indicador que una tecla ha sido presionada proveniente del detector. El transistor FET (T_2) es el seguidor de tensión y tiene por su alta impedancia de entrada poca perdida por corrientes de fuga. El detector que genera el impulso disparador del interruptor T_I está formado por el operacional A_3 que detecta cualquier tipo de variación de tensión en el teclado, dando a su salida un impulso de 15 vol (Vcc) el cual ataca a la base del transistor bipolar T_A . La salida por emisor de este transistor T_A es un escalón de tensión (cuya duración depende del tiempo que se tenga la tecla oprimida) de + 5 voltios. Este escalón de tensión sirve para activar a los generadores de envolvente ADSR y también hacer disparar al monoestable 555 (que es un circuito integrado especializado en aplicación de temporización y es el NE555), el cual me da a su salida un impulso de + 5 voltios. Este impulso de + 5 voltios lo llevo a un comparador (A_4) el cual me convierte los niveles de 0 a + 5 vol. en niveles de -15 a + 15 vol. que son los que se aplican al transistor T_I (que actúa como interruptor) y entonces se cierra a cada orden de disparo, almacenándose en el condensador de memorización la tensión presente a la salida del separador A_2 . T_2 permite la salida al exterior de las tensiones memorizadas.

La tensión más baja que sale de la cadena de resistencias es de $1/12 = 0,083$ vol. La tensión de referencia que tengo en el comparador (que me detecta cuando una tecla ha sido presionada) ha de ser como mínimo igual a la tensión mínima que sale del teclado y que es igual a 0,083 vol para que pueda detectar todas las notas del teclado. El comparador ante cualquier cambio de tensión generará un impulso que va hacia el interruptor para que se cierre. Este pulso ha de ser como máximo igual a 5,5 voltios. A continuación muestro un diagrama de bloques de estos circuitos:

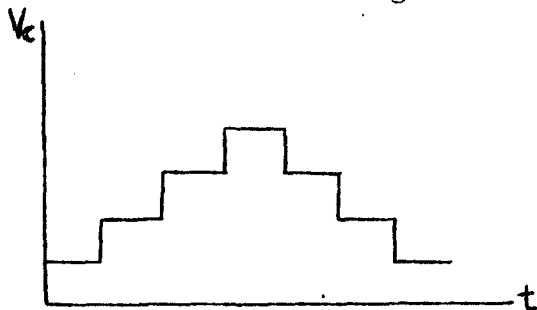




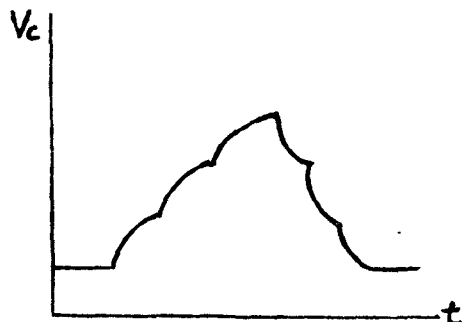
$A_3 = LM307$; $C_1 = 47\text{nf}$; $C_2 = 680\text{nf}$

$T_1 = T_2 = 2N3819$; $T_3 = BF245A$; $T_A = 2N2222$

La tensión máxima de salida del teclado es la correspondiente a la nota más alta en frecuencia. El detector tendrá que detectar rápidamente cualquier tecla pulsada. Un factor que hay que tener muy en cuenta es que cuando se pulsan las teclas, la tensión de salida del teclado varía a saltos, ascendiendo y descendiendo después según sea las notas de la pieza musical que se esté tocando. Si esta señal la llevo a un osciloscopio se puede ver en la pantalla que esta señal de control tiene forma de escalera como se muestra en la figura:



Esta "escalera" de tensiones produce un efecto de "escalera" en la frecuencia de las notas a que equivalen esas tensiones. Este efecto de escalera ^{en} las frecuencias de las notas es muy desagradable al oído y sobre todo musicalmente. Lo que hago entonces es procurar producir de una forma continua la variación entre las frecuencias de las distintas notas. Para ello se usa el circuito de PORTAMENTO. En este sintetizador se obtiene fácilmente solo con integrar las variaciones de tensión de las notas mediante una red RC, quedando un aspecto más redondeado que se traduce al oído en un efecto más suave del paso de una nota a otra. Quedaría así la señal que se viera en el osciloscopio después de pasar por el circuito de Portamento:



Al usar un potenciómetro P (como se muestra en el esquema del circuito) como resistencia, puedo ajustar a voluntad la constante de tiempo de la red RC_2 y determinar la velocidad de paso de una nota a la otra: $\tau = R \cdot C_2 = \text{Pot. } C_2$. Para adaptar impedancias a la salida coloco un seguidor de tensión formado por un FET en drenador común T_3 que es más simple (del tipo BF245A, BF244A). Se puede colocar a la salida de la memoria S & H para que detecte las notas aunque hayan sido tocadas muy brevemente. El FET en drenador común no es un seguidor de tensión ideal ya que entre la entra-

da (puerta) y salida (fuente) en cualquier punto de funcionamiento existe una tensión indispensable que se traduce en una tensión de " desplazamiento " positiva. La ganancia en tensión es menor que la unidad. Las pérdidas de tensión del drenador común se pueden compensar por el ajuste de la corriente que atraviesa la cadena de resistencias del teclado con el fin de obtener una tensión de control con una relación exacta de un voltio por octava.

La tensión de desplazamiento se anula compensando la tensión de control mas la tensión de desplazamiento con una tensión de desplazamiento de polaridad inversa.

Si añado una tensión continua variable a la tensión de salida del teclado puedo desplazar el margen de afinamiento del sintetizador en todo el espectro audible.

En las hojas adjuntas se muestra el circuito del sumador de salida que incluye la V_c del teclado y las distintas tensiones adjuntas para obtener un buen afinamiento del sintetizador así como para corregir el offset de los operacionales y FET. También dispone de una entrada para efectuar una modulación de frecuencia de la V_c .

Esta FM de la tensión del teclado la realizo por medio de un oscilador de baja frecuencia (LFO), el cual me da una tensión de modulación (de baja frecuencia) que se le añade al teclado. El potenciómetro P_3 me ajusta dicha modulación FM.

El potenciómetro P_4 me añade la tensión de desplazamiento negativa para corregir el offset de los operacionales y FET. P_1 y P_2 son los respectivos de afinamiento de sintonía fina y gruesa (octavas).

Los distintos circuitos del teclado se comprueban una vez montados. La calidad de las resistencias y potenciómetros es indispensable para el buen funcionamiento del sintetizador.

Los distintos circuitos del teclado se comprueban una vez montados. La calidad de las resistencias y potenciómetros es indispensable para el buen funcionamiento del sintetizador.

Los distintos circuitos del teclado se comprueban una vez montados. La calidad de las resistencias y potenciómetros es indispensable para el buen funcionamiento del sintetizador.

Los distintos circuitos del teclado se comprueban una vez montados. La calidad de las resistencias y potenciómetros es indispensable para el buen funcionamiento del sintetizador.

Los distintos circuitos del teclado se comprueban una vez montados. La calidad de las resistencias y potenciómetros es indispensable para el buen funcionamiento del sintetizador.

Los distintos circuitos del teclado se comprueban una vez montados. La calidad de las resistencias y potenciómetros es indispensable para el buen funcionamiento del sintetizador.

Los distintos circuitos del teclado se comprueban una vez montados. La calidad de las resistencias y potenciómetros es indispensable para el buen funcionamiento del sintetizador.

Los distintos circuitos del teclado se comprueban una vez montados. La calidad de las resistencias y potenciómetros es indispensable para el buen funcionamiento del sintetizador.

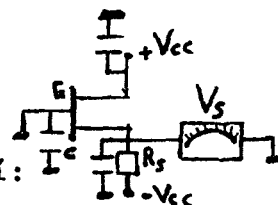
Los distintos circuitos del teclado se comprueban una vez montados. La calidad de las resistencias y potenciómetros es indispensable para el buen funcionamiento del sintetizador.

Cuadro de test para los FET:

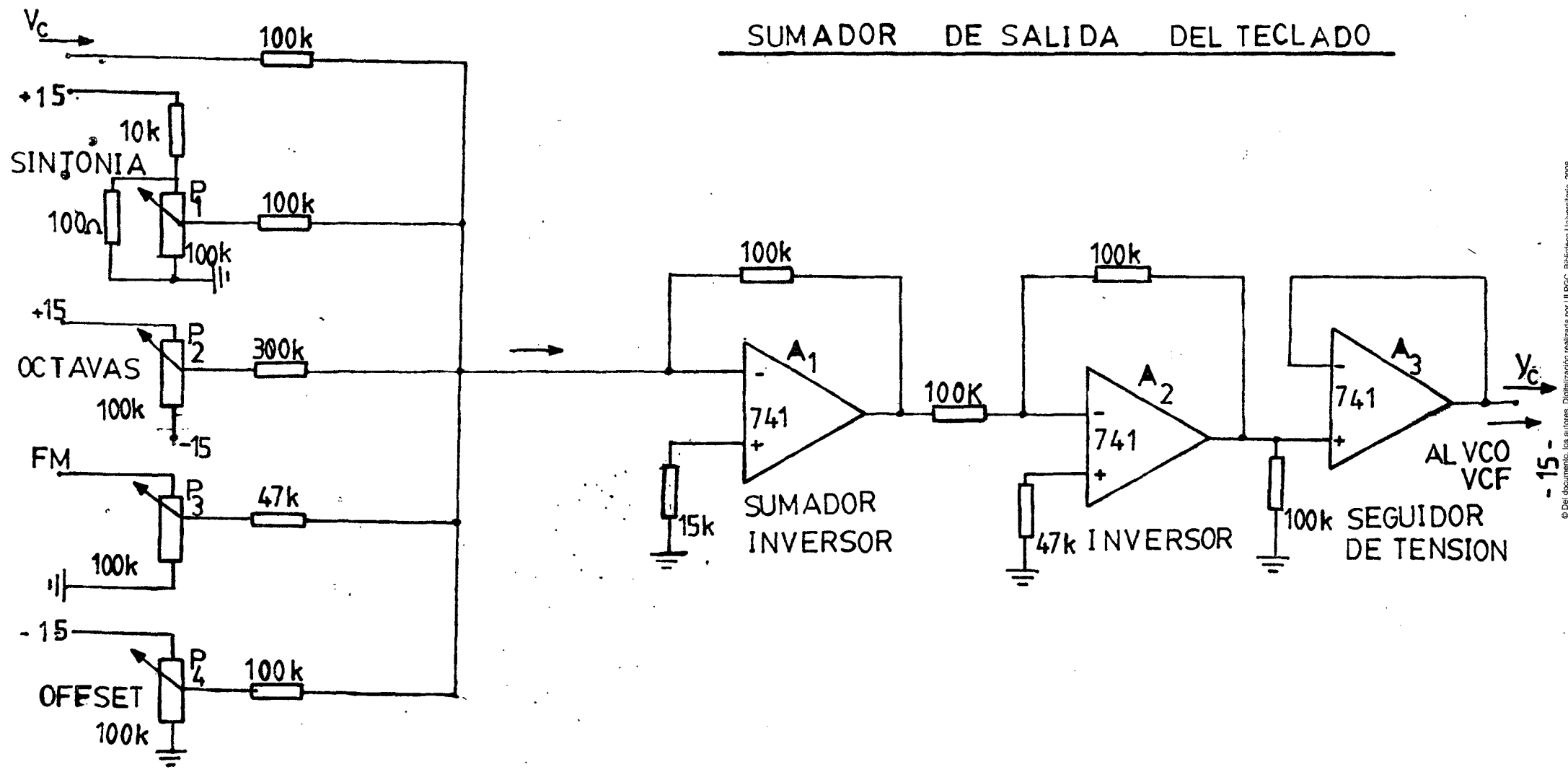
<u>V_s (tensión de fuente) Voltios</u>	<u>R_s (resistencia de fuente) Kilo-ohmios</u>
0,2	22
0,25	18
0,3....0,4	15
0,4....0,5	12
0,6....0,8	10
0,9....1,1	8,2
1,2....1,6	6,8

Los FET se montan con el valor de la R_s adecuado.

Colocando un condensador a la salida de la fuente y masa así:



El C está descargado con la puerta G a masa. La subida de la V_s va cargando poco a poco a C. Se puede medir la I de fuga de la puerta del FET. Si tensión V_s no sube



muy deprisa (un voltio por segundo ó más) entonces la corriente de fuga I_f es débil. Una varación de dos voltios en diez segundos es normal.

El amplificador operacional A_1 actúa como sumador inversor y el A_2 como inversor quedando pues la tensión de control que entra al sumador A_1 y la que sale del amp. op. A_2 en fase. El operacional A_3 es un seguidor de tensión de salida (buffer).

La tensión de salida V_C va hacia el oscilador controlado por tensión (VCO) y al filtro también controlado por tensión (VCF), y en donde la V_C del teclado es y tratada y moldeada con el fin de obtener la sonoridad deseada ó el sonido del instrumento que quiero imitar.

EL oscilador controlado por tensión o abreviadamente VCO (voltage controlled oscillator) es la clave del sintetizador, es su corazón ya que además de ser la principal fuente de sonido, el oído humano es muy sensible a las variaciones de frecuencia, más que a cualquier otro parámetro del sonido. El VCO es la fuente acústica esencial del sintetizador y los sonidos que son generados " en bruto " por él se moldean y tratan mediante el VCF (filtro) y VCA (amplificador) ambos también controlados por tensión, a fin de obtener las estructuras sonoras deseadas en el plano musical.

Las características esenciales y primordiales que hay que exigir a un VCO son la estabilidad y la precisión. Los VCO son controlados por la tensión continua proveniente del teclado. Al pulsar una tecla el circuito del teclado envía una tensión de control que es equivalente en tensión a la frecuencia ó altura de la nota que se está accionando en ese momento.

Este control por tensión del VCO es exponencial y su característica de trabajo es de 1 voltio por octava. Los VCO con una relación lineal tensión-frecuencia no interesan musicalmente pues en la música lo que interesa es el intervalo entre dos notas y no la diferencia de frecuencia que existe entre ellas. El intervalo fundamental de frecuencia entre dos notas es la octava cuya relación de frecuencia es de 2:1 .

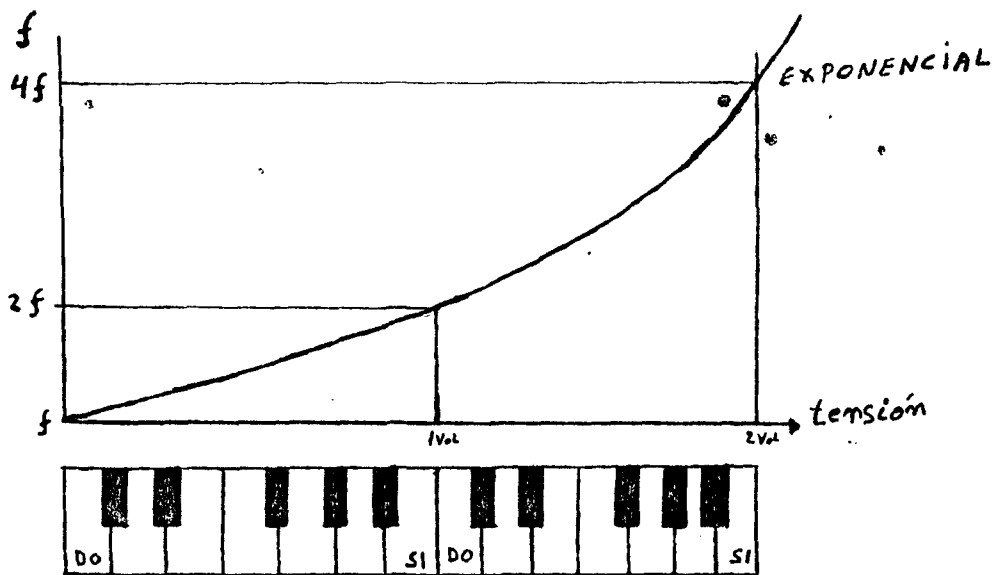
En una escala cromática (doce semitonos) igualmente temperada, el intervalo entre dos notas sucesivas es de 1.05946309 que es la raíz a la doceava de dos.

Para que un VCO sea útil musicalmente debe poder generar una relación fija de frecuencia para un cambio de la tensión de control. La frecuencia debe ser una función exponencial de la tensión de control:

$$F = K \cdot 2^{V_c}$$

siendo V_c la tensión de control y K una constante de proporcionalidad.

La necesidad de una relación exponencial frecuencia-tensión de control parte del intervalo natural de la música. La relación de 2:1 de frecuencia frente a cambios de 1 voltio por octava es imprescindible para cumplir con los requisitos que definen la escala temperada de Bach. La relación es de 1 voltio por octava siendo la caída de tensión por tecla de $1/12$ voltios (0,083 vol.).



El teclado entrega incrementos de tensión igualmente espaciados obteniéndose así una serie de puntos (en la gráfica de arriba) relacionados entre sí por una ley de variación exponencial.

La escala temperada de BACH la componen doce notas y esta escala es la que se usa en los pianos. En ella los bemoles (alteración que cuando precede a una nota le quita medio tono) tienen los mismos valores de frecuencia que los sostenidos (alteración que cuando aparece en una nota le añade medio tono de más) correspondientes.

Los sintetizadores son instrumentos que operan con la escala igualmente temperada de doce notas por octava (BACH). En el control exponencial tengo que colocar la tensión de control (Vc) como exponente de la función y entonces las frecuencias de trabajo vienen dadas por la ecuación anteriormente vista:

$$F = K \cdot 2^{Vc}$$

Vc es el valor nominal de la tensión de control, el 2 es la escala escogida para producir los cambios de relación 2:1 y la K es una constante representada por la frecuencia inicial cuando Vc=0.

Aumentando en un voltio la Vc que controla al VCO se realiza una transposición de la melodía que se vaya a ejecutar en una octava. Una melodía es un conjunto arbitrario de notas dispuestas de manera ordenada. En los VCO lineales no se puede transponer mediante tensiones a menos que la transición de tensión que defina esta transposición sea idéntica en los VCO que se usen y también la Vc aplicada.

Si cojo varios VCO que tengan un mínimo de desafinamiento entre sí provoco un efecto de "phasing" o efecto orquesta dando al sonido un carácter suave y animado.

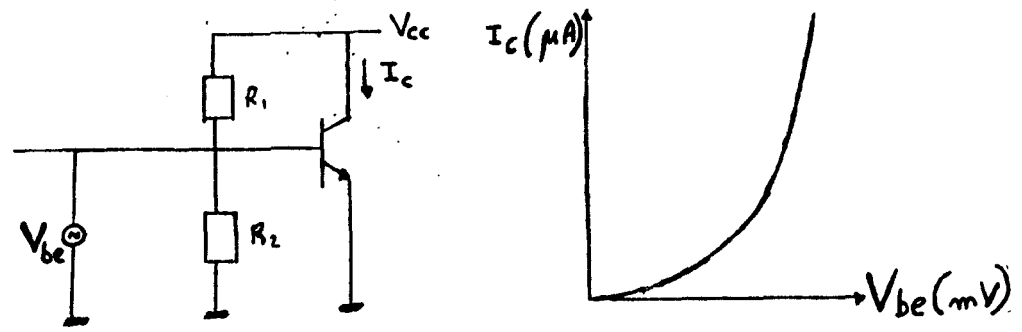
Cuando dos VCO oscilan a frecuencias muy próximas las frecuencias se suman y el desfase entre ellas es cambiante, apareciendo por tanto una modulación periódica de la forma de onda. La modificación de los timbres durante el desarrollo de un periodo da al sonido esa sensación de espacio o "phasing".

Para ver el comportamiento de calidad de un VCO se analiza su comportamiento después de una transposición.

ANALISIS DEL VCO:

El circuito que enlaza la cadena de resistencias del teclado con la entrada del VCO es el exponenciador o sea el convertidor exponencial. Este ha de ser un dispositivo que ofrezca a los cambios lineales de tensión, que se producen en el teclado al accionar las teclas, una característica exponencial de salida.

Un simple transistor bipolar de Silicio de elevado factor $\beta = 250$ (aproximadamente) tiene unas características de salida exponencial:



$$I_c = I_s e^{qV_{be}/KT}$$
 siendo K la constante de Boltzman, T la temperatura en grados Kelvin, q la carga del electrón, e base logaritmo natural=2,7182, Vbe es la tensión base-emisor en milivoltios y Is es la corriente de fuga.

La Ico del transistor ha de ser lo más baja posible. Cada transistor se caracteriza por una relación exponencial de Vbe/Ic en un margen relativamente amplio de corriente de colector (corriente de salida del transistor) que es del orden de varias potencias de 10. Las variaciones mínimas de temperatura afectan a la Vbe de saturación y este es un problema grave que hay que evitar ya que cualquier variación de tensión no deseada se traduce en una variación de frecuencia no deseada lo cual perturba al muy sensible oído humano. Existen transistores especiales que realizan la función exponencial con muy pocos problemas de Ico. A temperatura de ambiente, la corriente de colector Ic de un transistor se dobla cada vez que la Vbe aumenta en 17mvol y también hay que tener en cuenta que cada 10 grados centígrados de aumento, la Ic se dobla.

© Del documento, los autores. Digitalización realizada por ULPGC. Biblioteca Universitaria, 2006

$I_C = I_{CBO} \cdot (1 + \beta) + I_B \cdot \beta$. I_{CBO} es la corriente inversa de saturación de la unión colector-base con emisor abierto y tiene bastante dependencia de la temperatura. Cada seis grados de aumento de la temperatura la I_{CBO} se duplica, en los transistores de Silicio. En los transistores de germanio esta duplicación de la I_{CBO} se efectúa cada diez grados de aumento.

En los transistores de silicio la tensión base-emisor (V_{be}) disminuye en dos milivoltios por grado centígrado de aumento de la temperatura mientras que en los de germanio esta disminución de la V_{be} queda enmascarada por las de I_{CBO} .

Por tanto según se ha expuesto es muy importante hacer una buena compensación eficaz para los cambios de temperatura en el transistor que se use como exponenciador, el cambio de temperatura en una fracción de grado provocaría variaciones en las frecuencias de las notas musicales y esto es perceptible por el oído humano.

La función de transferencia del convertidor exponencial me ha de dar la relación de un voltio por octava necesaria entre el tensión de control (V_c) y la frecuencia del oscilador. La corriente que genera el exponenciador frente a los cambios de tensión de control viene dada por la ecuación:

$$I_{exp} = I_{ref} \cdot e^{-V_c/26}$$

La tensión de control V_c que proviene del teclado se aplica a un sumador de entrada que suma todas las tensiones que son de control sobre el oscilador como puede ser la tensión que corrige el offset del operacional ó la tensión que se aplica cuando se quiere realizar una modulación en frecuencia del VCO.

En el esquema adjunto se puede ver el sumador de entrada con las diversas entradas para el control por tensión del oscilador propiamente dicho. El amplificador operacional A_I está montado como sumador atenuador de las diversas tensiones de entrada al VCO. La ganancia de este sumador es regulada por el cociente de las resistencias R_5 y R_I .

El conmutador S permite elegir la tensión de control del teclado o bien una tensión de control exterior como por ejemplo de otro teclado. Los potenciómetros P_1, P_2, P_3 y P_4 permiten graduar el nivel de tensión deseado de sus respectivas tensiones de control. P_1 selecciona el nivel deseado de modulación en frecuencia (FM). P_2 permite desplazar hacia arriba o hacia abajo hasta cinco octavas la frecuencia del VCO. Esto se logra al añadir una tensión de ± 5 voltios a la tensión de

control proveniente del teclado y esto permite a la vez el hacer un ajuste grueso de la sintonía del VCO. P_3 forma parte del divisor de tensión R_a y R_b siendo la resistencia R_a mucho mayor que R_b (del orden de cien veces mayor) que permiten la realización del ajuste fino de la sintonía del VCO en ± 1 semitono ($\pm 1/12$ vol.). Si por ejemplo P_2 eleva la frecuencia del VCO en dos octavas (al añadirle 2 voltios a la V_c del teclado) entonces la nota que se accione en el teclado quedará sonando a la frecuencia de 2 voltios + la V_c correspondiente a la nota del teclado, que se está accionando, y con P_3 es posible ajustar más finamente en \pm un semitono dicha frecuencia del VCO.

P_4 permite ajustar el Offset del operacional afín de corregir en lo posible la pérdida pequeña pero importante del ^mamplificador. P_5 me sirve como ajustador de la característica 1 voltio/octava en un grado más fino.

La estabilidad del VCO define la seguridad de permanencia en sintonía del mismo, generalmente se expresa en estabilidad por deriva térmica y los porcentajes más típicos son entre 0,1 % y 1 %.

La respuesta exponencial del exponenciador ha de ser precisa ya que afecta a la sintonía del VCO.

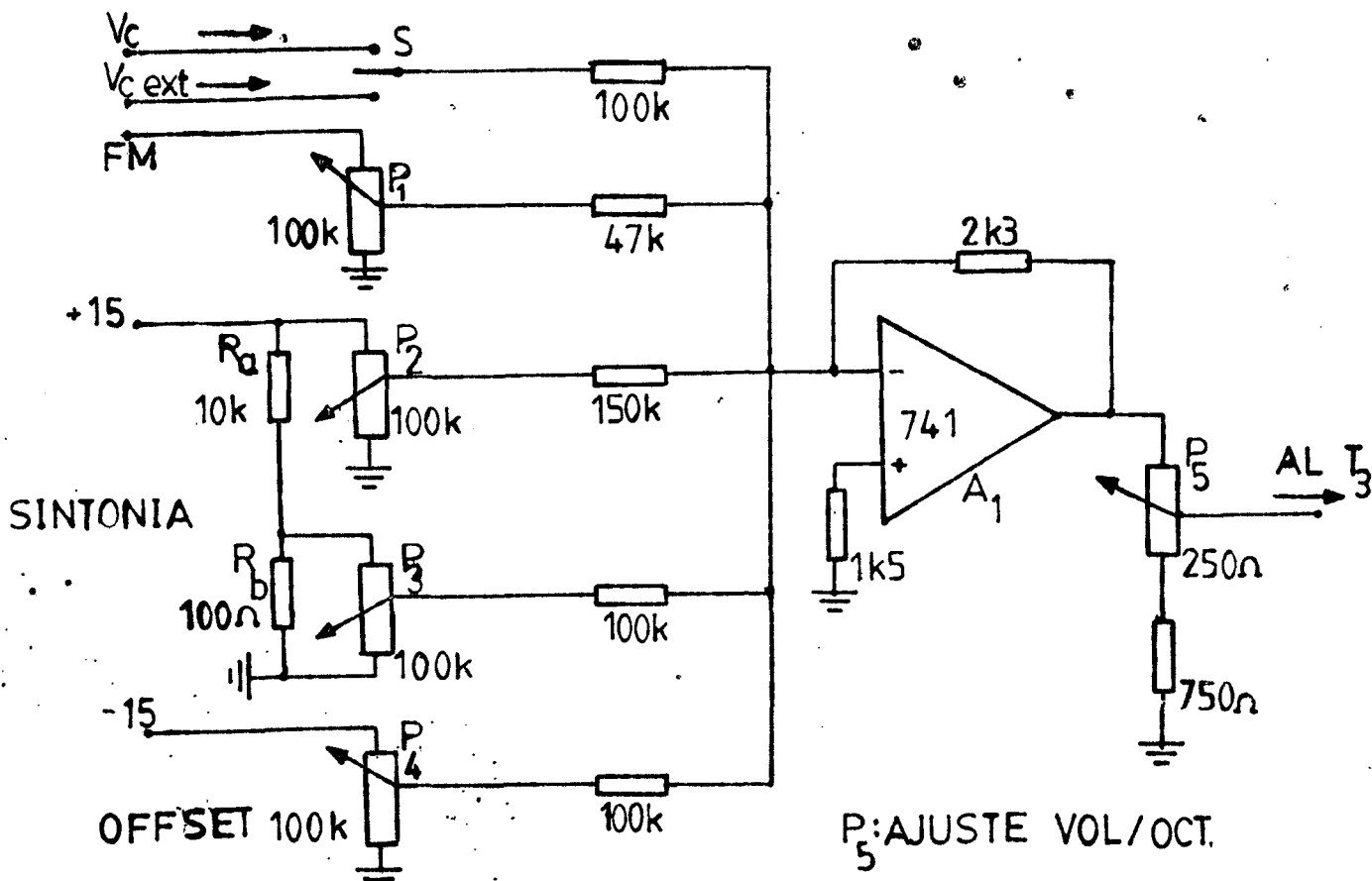
El circuito integrado CA 3046 de la RCA posee cinco transistores NPN en un mismo substrato y encapsulado en un chip dual-in-line. Los cinco transistores son idénticos y cada transistor posee un coeficiente de temperatura negativo de -1,9 milivoltios por grado centígrado. Usando a uno de los transistores como informador de la temperatura del chip y otro como calefactor, puedo obtener un chip termostático calentado que (que) permite trabajar a temperaturas elevadas y constantes frente a las variaciones ambientales de temperatura.

Un circuito estabilizador térmico del convertidor exponencial usando el CA 3040 sería como el que está en la figura de la hoja adjunta.

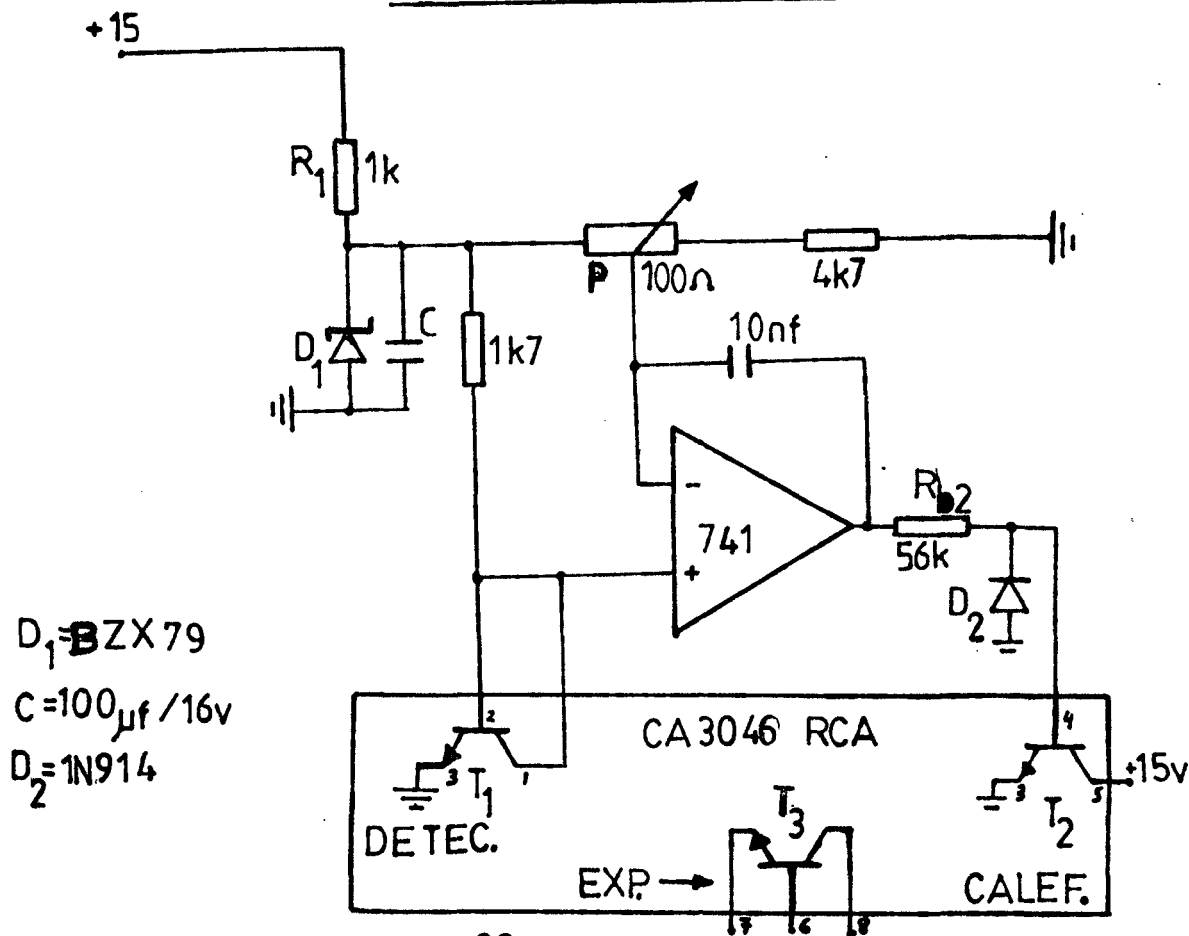
El transistor T_1 actúa como detector de temperatura (-2mvol/°C), el T_2 actúa como calefactor y el T_3 como convertidor exponencial .

El chip trabajará a una temperatura de aproximadamente 50°C y será constante. El potenciómetro P pone la entrada inversora del 741 a una tensión negativa que es menor que la V_{be} del T_1 , el cual está montado como diodo. Con las características que da el fabricante para cada transistor vemos que para una corriente $I = 3$ mA la V_{be} de T_1 es de 700 milivoltios por tanto la resistencia R_1 vendrá dada por:

SUMADOR DE ENTRADA DEL VCO



ESTABILIZADOR DE TEMPERATURA DE T₃ (EXPONENCIADOR)



$$R_I = V_{zener} / I_c = 5,1 / 3 = 1700 \text{ ohmios.}$$

El 74I está montado como comparador de tensión y aplica la tensión al T_2 hasta que la V_{be} de T_1 sea distinta a la tensión de referencia ajustada por el potenciómetro P. El que determina la temperatura del chip es también el potenciómetro P. La β del transistor T_2 es de 100 y por tanto tenemos:

$$I_c = \beta \cdot I_b ; \text{ con } I_b = V_{sal \text{ del } 74I} / R_{b2} = V_{cc} - V_{be2} / R_{b2}$$

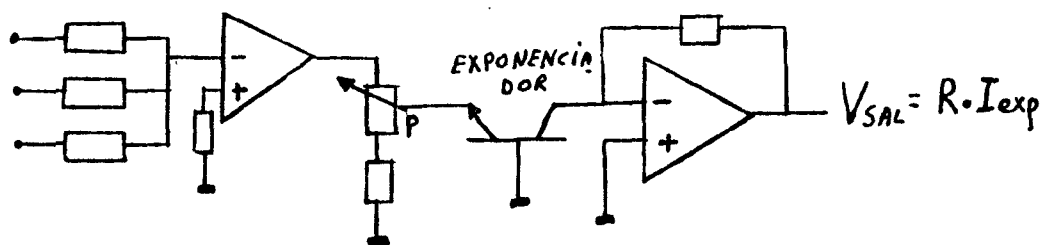
entonces $I_c = 100 \cdot (V_{cc} - V_{be2}) / R_{b2}$

El diodo D evita la destrucción de T_2 por polarización inversa y el condensador C estabiliza el funcionamiento del conjunto. Cuando la V_{be} del T_1 es igual a la prefijada en la referencia del 74I entonces la salida de éste es $-V_{cc}$ y el calor interno cesa. La temperatura del chip se estabiliza en 30-40 segundos.

El sistema es realimentado térmicamente por T_1 y este ciclo se va repitiendo en la misma medida que varía la temperatura de ambiente.

Los incrementos de tensión deben aplicarse al emisor del transistor T_3 (estos incrementos de tensión son los que vienen del teclado). T_3 es el convertidor de tensión lineal (teclado) en corriente de colector exponencial. Estos incrementos de tensión han de ser negativos ya que la base de T_3 está a cero voltios y para producir una corriente por la unión base-emisor hay que aplicar potenciales más negativos en el emisor. Estos incrementos son del orden de 22 milivoltios, es decir que con 22 mvol la corriente de colector reacciona con cambios del orden de 2:1 y esto significa el cambio de frecuencia en octavas como respuesta a esos cambios de tensión de proporción lineal.

Dado que la característica de la tensión de control es de un voltio por octava y nos interesa incrementos de tensión del orden de 22mvol, entonces tengo que atenuar controlando la ganancia del amplificador sumador de entrada mediante el potenciómetro P_5 . En la figura de abajo se muestra el esquema del exponenciador:

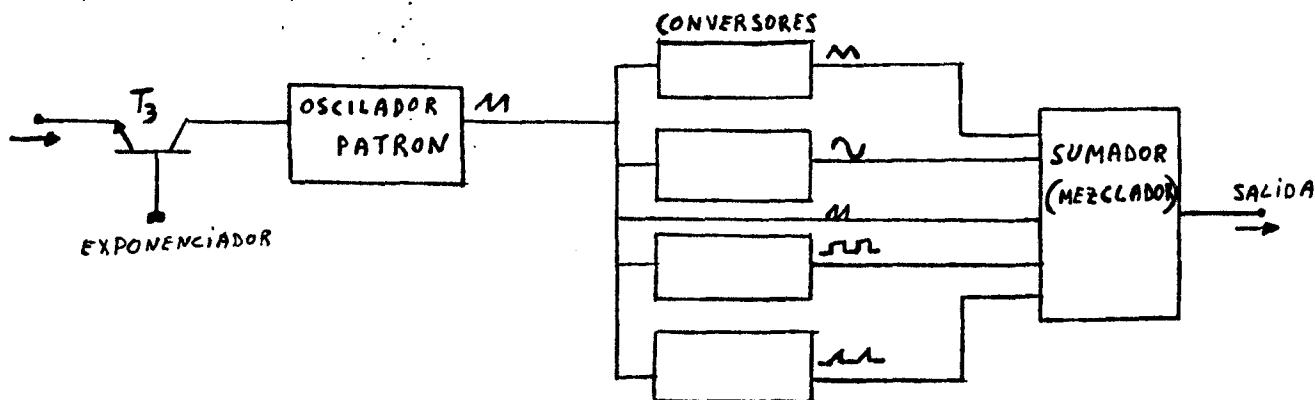


Después del conversor exponencial va el circuito oscilador al que hay que exigirle una buena linealidad, estabilidad y precisión para poder usar el VCO musical.

En la hoja adjunta se muestra el esquema del circuito oscilador. El amplificador operacional A_1 está montado como integrador y el A_2 como comparador. Cuando la tensión en el condensador C iguala a la tensión de referencia que he fijado, entonces la salida del comparador A_2 pasa a $-V_{cc}$ haciendo conducir al transistor tipo Fet y éste abre el camino de descarga del condensador C .

En la toma X del integrador A_1 obtengo una señal en forma de onda del tipo de diente de sierra. Este diente de sierra lo uso como patrón general para obtener las demás formas de onda por medio de conversores de onda, los cuales me transforman la diente de sierra en los demás tipos de onda (cuadrada, triangular, rectangular asimétrica, senoidal,...) que son interesantes musicalmente.

Este circuito oscilador patrón en diente de sierra va conectado a la salida del transistor exponenciador (colector de T_3) y a la entrada de los distintos conversores de onda tal como lo muestro en el diagrama de abajo:



La importancia musical de las diferentes formas de onda ha determinado la elección de varias de ellas que son muy interesantes. Los cuatro tipos de onda que son los que se usan generalmente en la composición musical electrónica:

- a) Tipo de onda senoidal (recuerda a flautas)
- b) Tipo de onda cuadrada (recuerda a clarinetes)
- c) Tipo de onda triangular (recuerda a flautas, oboes)
- d) Tipo de onda diente de sierra (recuerda a trompetas)

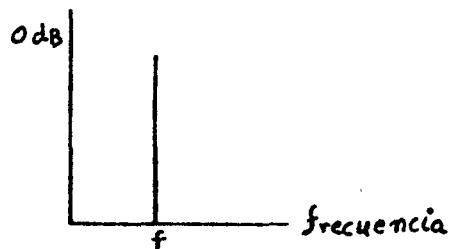
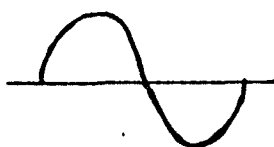
La información sobre las distintas formas de ondas de las señales constituye una referencia de gran interés para elaborar determinados timbres y cualidades tonales mediante las correctas combinaciones entre ellas y posterior tratado por el VCF (filtro) y VCA (amplificador).

Las características de un sonido vienen determinadas por el género y la amplitud relativa de los diferentes armónicos de que se compone todo tipo de onda.

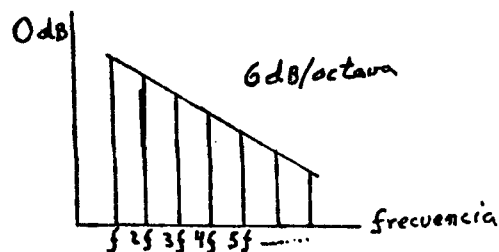
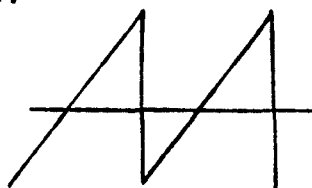
Los armónicos pares e impares no tienen el mismo efecto sonoro. Los impares tienen una sonoridad más profunda y velada mientras que los pares la tienen agradable y

cantarina. Los pares poseen y producen intervalos musicalmente agradables con la frecuencia fundamental y entre sí. Los impares tienen un comportamiento más bien disonante respecto a la fundamental.

A medida que la amplitud y el número de armónicos aumenta el sonido se hace más agresivo y metálico. Los efectos del contenido en armónicos pares e impares presagian ya diferencias sonoras importantes entre las diversas formas de onda. Cualquier forma de onda compleja está formada por muchas frecuencias de señal senoidal y la senoide es la única forma de onda pura y son el bloque constitutivo de todo sonido según Fourier. La onda senoidal sin distorsión no tiene armónicos y sólo contiene la fundamental:

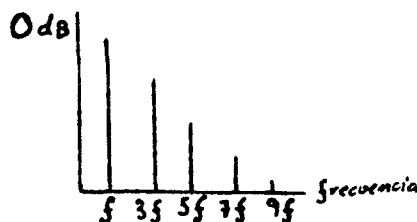
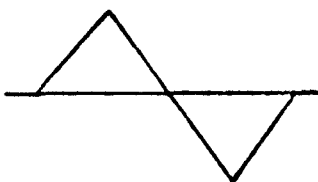


El diente de sierra contiene todas las frecuencias siendo cada una de ellas y tras la fundamental de amplitud ligeramente inferior a la anterior (todas las frecuencias se refiere a todas las que tiene la senoide). Su espectro de frecuencia contiene tantos armónicos pares como impares. Un armónico n -múltiplo de la fundamental tiene una amplitud igual a $1/n$ veces la amplitud de la fundamental. Permite imitar a los instrumentos de viento (metal y madera) así como los de cuerda. Su espectro es rico en todos los armónicos:



Cuando los metales deben ser más claros y transparentes o para producir sonoridades de violín o violonchello se usa el diente de sierra espaciado:

La triangular se obtiene de la senoide. Contiene todas las mismas componentes de frecuencia que el diente de sierra con la excepción de que cada uno de los armónicos sucesivos tenga una amplitud mucho más reducida que en el diente de sierra. Su sonoridad es semejante a la senoide, sus armónicos pares están ausentes y los impares están muy debilmente. Su sonido es muy dulce semejante a flautas u oboes y no es tan brillante como el diente de sierra:



La rectangular simétrica solo contiene los múltiplos impares, de ahí que su sonoridad sea opuesta a la del diente de sierra. Su sonoridad es metálica y profunda, se acerca mucho a la del clarinete (y numerosos instrumentos de madera, lo cual se consigue filtrándola). La señal ó mejor la forma de onda cuadrada es un caso particular de la onda rectángular y suena brillante y hueca se asemeja bastante al sonido del clarinete:



La relación de los distintos instrumentos respecto a sus formas de onda es la siguiente: las cuerdas (violín, viola...) recuerdan al diente de sierra con alguno de sus armónicos exaltados debido a las cajas de resonancias de los instrumentos, los metales (trompetas..) generan también el diente de sierra con la excepción de que los armónicos aparecen después de la fundamental y acompañados con la transición del ataque, los de viento (clarinetes....) con una sola lengüeta generan ondas cuadradas como por ejemplo los saxos, el fagot, la flauta y el oboe suenan como senoidales.

El diente de sierra parece más propenso a ser interpretado por el cerebro como cualquier instrumento de metal.

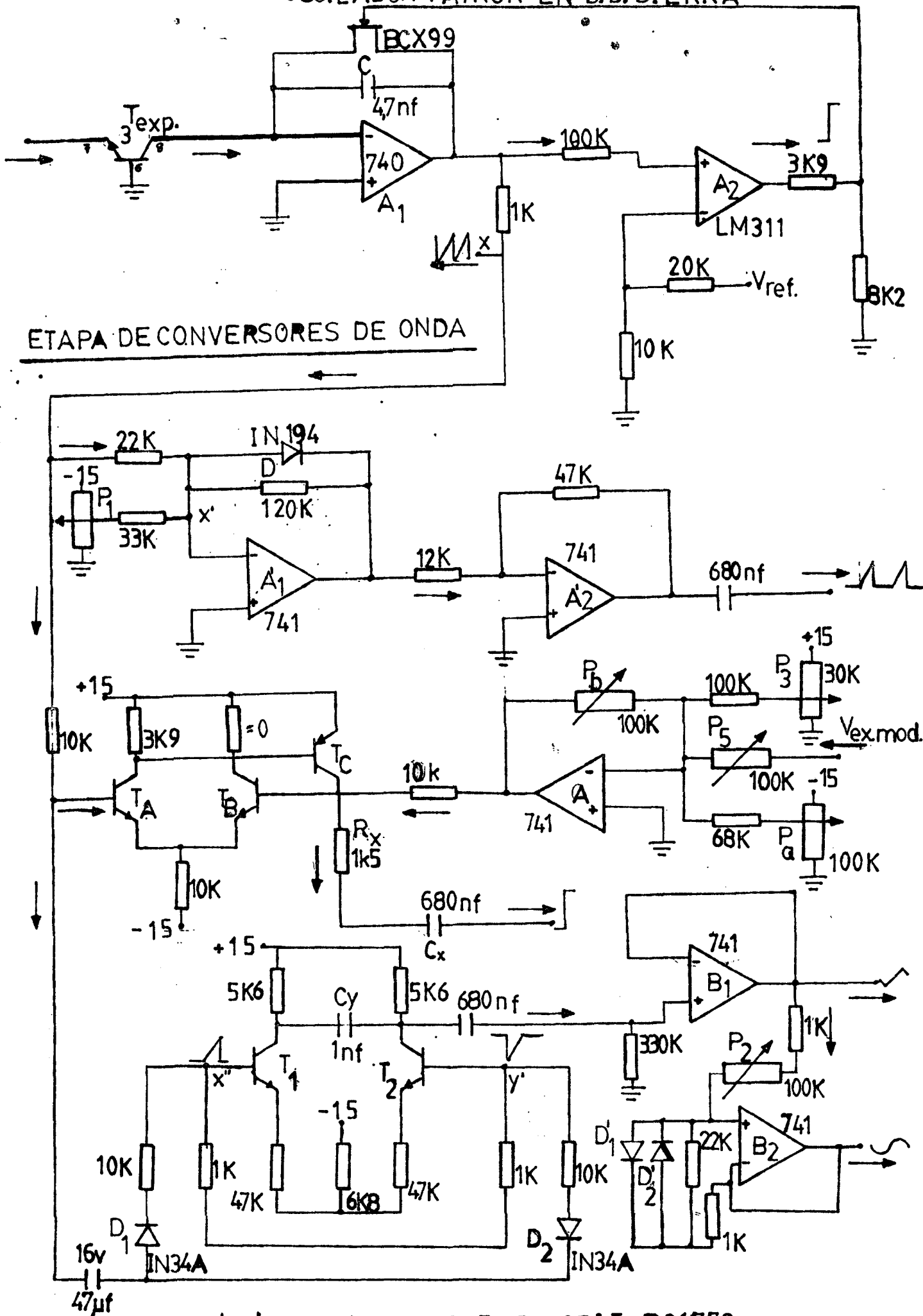
El sintetizador en este aspecto es el único instrumento capaz de crear infinidad de matices, timbres y tonos. La razón básica de elegir un timbre en particular es el efecto psicológico que se pretende conseguir o crear (osea cualidad emocional que se provoca).

Haciendo una analogía entre formas de ondas y colores del espectro visual tenemos que por ejemplo el diente de sierra sugiere un timbre caliente como el color rojo, la senoidal sugiere en frío y distante color azul, la cuadrada es algo intermedio a las otras dos, un diente de sierra filtrado o una triangular puede resultar un sonido majestuoso como el color violeta.

El ruido es algo de sensación gris y los diferentes matices dependen de las frecuencias que se hallen presentes con más preferencia en el ruido y de esta forma tengo el ruido rosa, blanco,... etc.

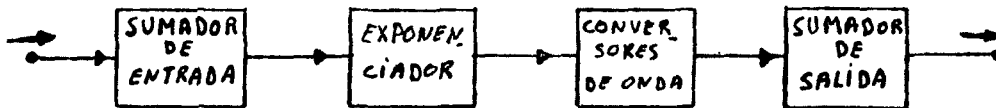
El siguiente paso a tratar es obtener estas diferentes formas; de onda a partir de

OSCILADOR PATRON EN D.D. SIERRA



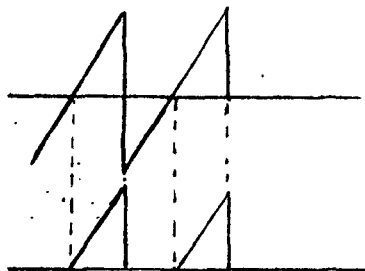
$D'_1 = D'_2 = \text{IN914}$; $T_A = T_B = T_{1,2} = \text{BC107}$; $T_C = \text{BC177C}$

la diente de sierra patrón generada en el oscilador antes visto (y que es el oscilador del VCO). El diagrama de las partes constitutivas del VCO es el siguiente:



Los diferentes tipos de onda se obtienen a partir del diente de sierra y mediante circuitos conversores de onda. A continuación analizo estos diversos conversores:

a) **Convertor diente de sierra-diente de sierra espaciado:** el diente de sierra espaciado se obtiene del normal (patrón) al retardar los picos de éste y amplificándola para luego recortarla y amplificarla:



d. d. sierra espaciado

Para esta labor necesito entonces un amplificador y un recortador como se muestra en el circuito correspondiente en la hoja adjunta. El potenciómetro P_1 me ajusta el nivel de recorte ya que coloco un nivel de tensión negativa en el punto X' , esto me hace polarizar al diodo D en inverso y no me deja pasar la señal a Y. Una vez que la señal de entrada en diente de sierra proveniente de la etapa osciladora del VCO supera ese valor negativo de tensión entonces el diodo D conduce y tengo señal en Y hasta que se llega a la cresta del diente de sierra. La señal de salida es un diente de sierra espaciado pero de poco nivel y mediante el amplificador operacional A_2 elevo el nivel de tensión de esta señal a un nivel óptimo para poderla tratar.

b) **Convertor diente de sierra-triangular:** Uso para este un amplificador diferencial formado por dos transistores (T_1 y T_2) iguales, a los que les llega respectivamente, mediante diodos apareados (invertidos uno respecto del otro) en sus bases, tensiones opuestas. La diferencia de las salidas de ambos me da la señal triangular. En la hoja adjunta se puede ver el esquema de este circuito. La amplitud de la onda triangular es la mitad de la del diente de sierra. En esta transformación de diente de sierra-triangular se origina un impulso corto al pasar de una semionda a la otra y esto origina que en la punta del triangulo halla

una pequeña abertura que afecta un poco al sonido. Para evitar esto se introduce el condensador C_Y (a frecuencias elevadas produce una disminución de la señal).

El circuito funciona de la siguiente manera:

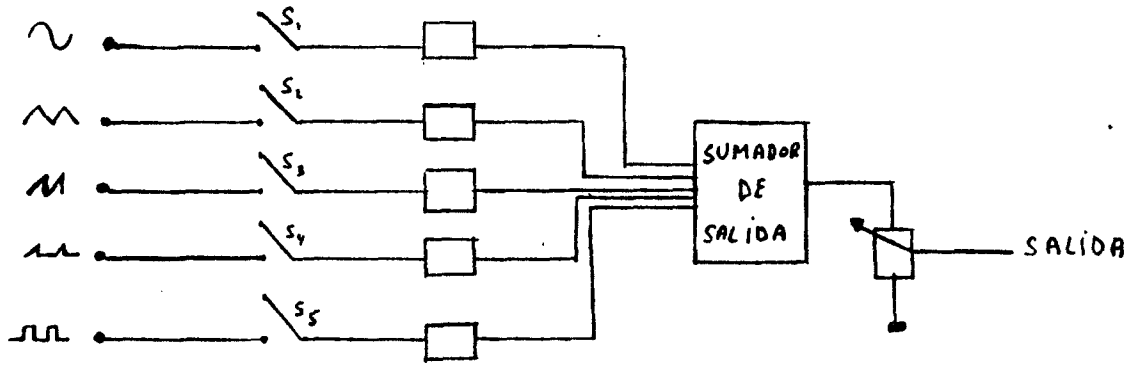
En el punto X", hasta que la tensión de la diente de sierra patrón llega a $+V_{cc}$ el que conduce es el transistor T_I y la salida es una rampa creciente como la de la tensión de entrada. Una vez que alcanza el valor de $+V_{cc}$ entonces inmediatamente pasa a $-V_{cc}$ y el diodo D_I deja de conducir quedando bloqueado al estar polarizado en inverso y por tanto el transistor T_I queda cortado. En este momento y con una tensión de $-V_{cc}$ el diodo D_2 queda polarizado en directo lo que le hace ponerse en conducción y T_2 también empieza a conducir lo cual hace que la salida comience a decrecer con una pendiente del mismo valor que la de la rampa de subida pero de sentido contrario. Esta onda triangular de salida se amplifica y se separa del circuito mediante un buffer de salida (operacional montado como seguidor de tensión)(B).

c) Conversor Triangular-Senoidal: Mediante la triangular anteriormente obtenida obtengo la forma de onda senoidal recortando los picos de ésta. El circuito conformador de la onda triangular en la sinusóide se muestra también en las hojas adjuntas. Los diodos apareados D'_I y D'_2 debilitan exponencialmente los picos de la onda triangular con relación al potencial de masa. A la salida tenemos una onda triangular redondeada que me sirve para obtener de manera bastante aceptable la sonoridad que deseo. El potenciómetro P_2 me ajusta el grado de redondeo. El operacional de salida me eleva el nivel de la señal a uno aceptable para poderla tratar (B).

d) Modulador de anchura de pulso: Este circuito me da a su salida una onda rectangular con un ciclo de trabajo ajustable entre el 0 y 100% y a la vez la puedo modular con un diente de sierra. El circuito lo muestro en las hojas adjuntas. El potenciómetro P_3 me regula la relación inicial de marca-espacio y permite el ajuste manual de la anchura del pulso. P_5 me regula la tensión de entrada V_{ext} que me efectúa la modulación de esta onda con el diente de sierra y el potenciómetro P_4 fija la ganancia (gama de modulación de 0 al 100%). (Sigue al final).

El paso siguiente es llevar todas estas formas de ondas a un sumador de salida. En este sumador dependiendo de la posición de los conmutadores se transmite la forma de onda deseada con el fin de obtener la sonoridad que se desee o una mezcla

de varias de ellas. Esta forma de onda seleccionada pasa al filtro controlado por tensión (VCF). Las resistencias se deben de escoger de forma que se obtenga la misma amplitud para cada forma de onda. Un esquema de esta etapa sería:

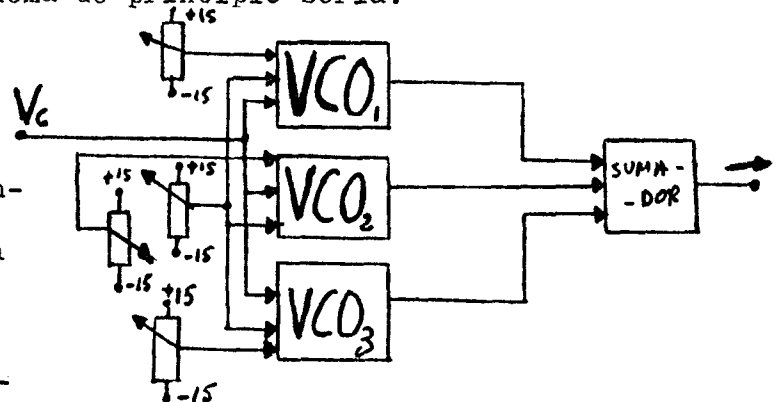


Las frecuencias de las notas entregadas por el VCO siguen las variaciones en tensión de la salida del teclado (V_c). Ajustando cuidadosamente el VCO en 1 voltio por octava se podrá tocar en la escala temperada de Bach que consta de 12 semitonos. El mando de control del VCO permite desplazar la extensión de las frecuencias de las notas del teclado mediante la suma de una tensión continua en el sumador de entrada del VCO, de esta manera si estoy tocando en las octavas 1, 2 y 3 del teclado, al añadir por ejemplo 2 voltios entonces estoy tocando en las octavas 3, 4 y 5 (siempre son tres ya que este sintetizador tiene un teclado de tres octavas).

A la salida del VCO se dispone de cinco formas de onda cuyos contenidos armónicos son distintos y cubren una gama ancha de timbres fundamentales dentro de la música. Un VCO puede ser modulado en frecuencia por otro VCO produciéndose una gama inagotables de vibratos, sirenas, trinos y glisandos. Mediante sus señales de salida un VCO puede modular el timbre de un sonido, controlando la frecuencia de corte de un VCF y produciendo barridos del tipo WHA-WHA, MEOW, WOW, ... en forma cíclica.

La síntesis de un sonido se obtiene principalmente mediante el filtrado de un espectro rico en armónicos con ayuda de un VCF.

Este sintetizador consta de un VCO solo pero se le pueden añadir los que se desee (lo ideal son tres). Por ejemplo para obtener un acorde de tres notas se tendría que disponer de tres VCO y su esquema de principio sería:



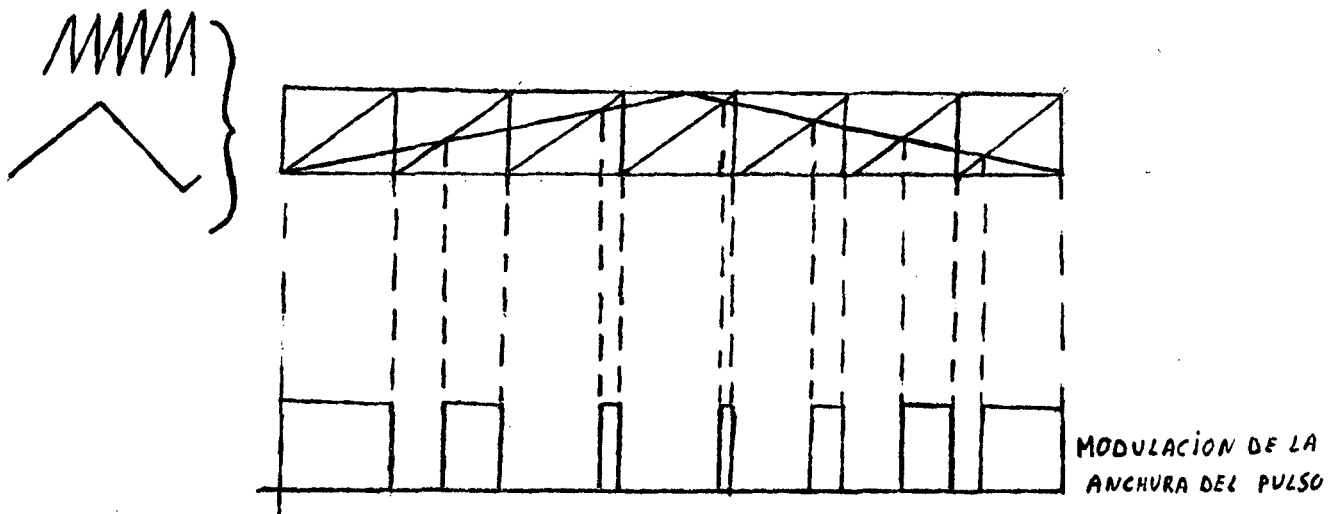
Cada VCO sintonizado a una frecuencia distinta correspondiente a una de las tres que tiene el acorde.

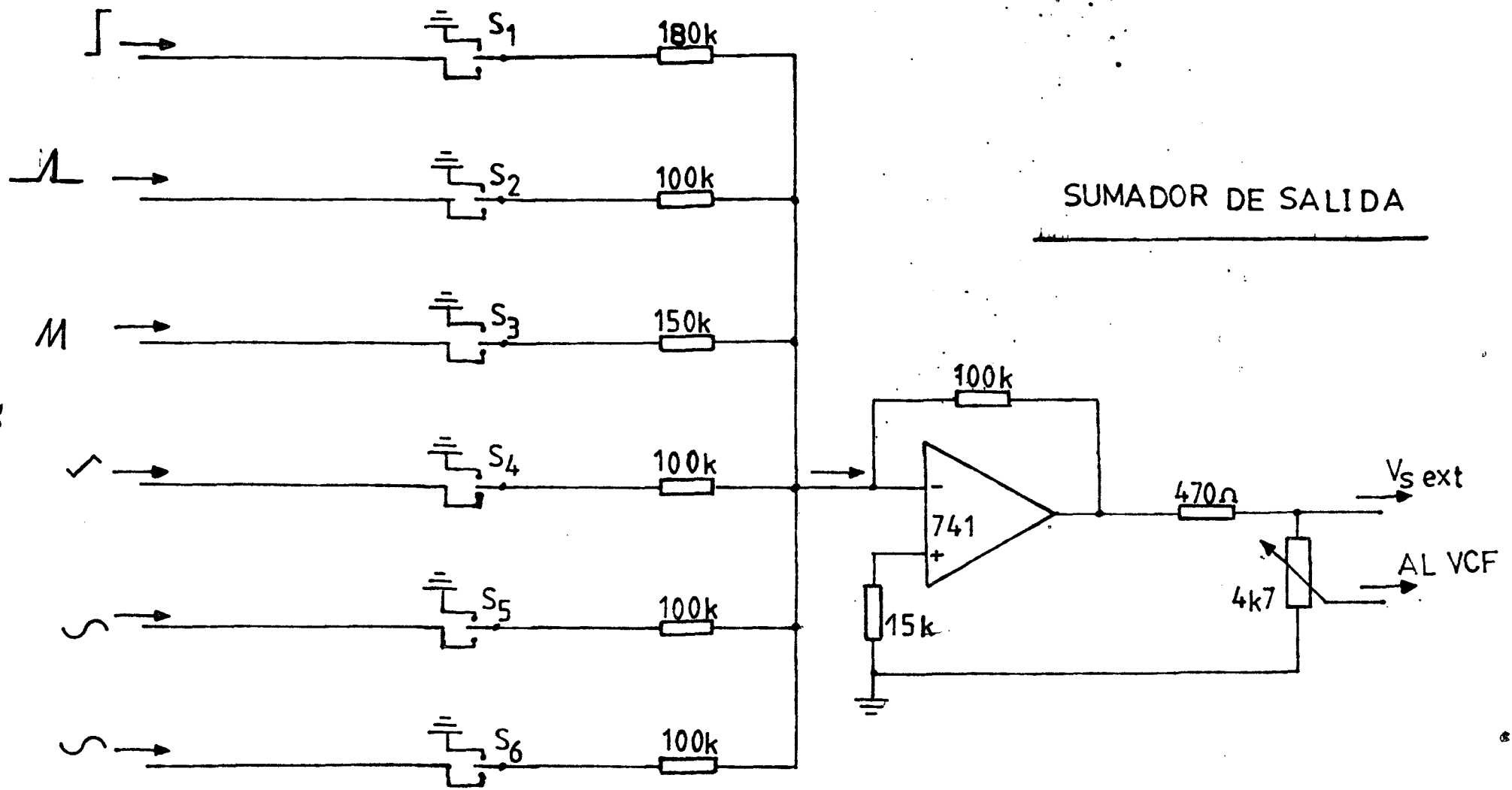
Continuación del circuito Modulador de anchura de pulso:

Como dije en el apartado anterior que trataba sobre este circuito, es el que se encarga de proporcionarme a su salida una onda rectangular con ciclo de trabajo ajustable del 0% al 100%. Los transistores T_A , T_B y T_C constituyen un comparador de alta velocidad. Si cambio la tensión de comparación se obtiene una salida de señal rectangular con un ciclo de trabajo variable. En la figura de abajo se muestra una modulación del ciclo de trabajo de la señal rectangular al utilizar una tensión de comparación triangular de baja frecuencia. Esta tensión de comparación la obtengo de un sumador de tensiones (operacional A) y proviene de la entrada $V_{ext Mod}$. Esta entrada es por la que se inyecta una tensión moduladora (de baja frecuencia) del tipo de onda que se desee y la cual me gobierna el ancho de los pulsos de la señal rectangular. Es una entrada del exterior.

El potenciómetro P_3 me permite ajustar manualmente la anchura de los pulsos y el potenciómetro P_5 para atenuar la señal de modulación que entra al circuito. Los otros dos potenciómetros P_a y P_b son los que fijan la gama de modulación (de 0 a 100%).

Cualquier tensión que provenga de la salida del sumador A actúa sobre la base del transistor T_B . T_A y T_B forman un amplificador diferencial (comparador) y cualquier variación de tensión que haya en la base de T_B produce en el colector de T_A una variación proporcional de tensión que se transmite rápidamente por T_C al condensador de **desbloqueo** C_x a través de la R_x . El condensador C es solo para extraer la señal rectangular de ciclo variable (anchura de pulso).





Una vez generado el sonido en el VCO es modelado y tratado mediante el VCF (filtro controlado por tensión) y el VCA (amplificador controlado por tensión) con ayuda de sus respectivos generadores de envolvente los cuales son manejados a gusto del operador.

El tipo de filtro que se use en el sintetizador influye mucho en las posibilidades musicales del mismo más que cualquiera de las otras unidades constituyentes (VCA, generadores de envolventes, LFO, generador de ruido....). El tipo de filtro determina las diferentes sonoridades instrumentales que puede producir el sintetizador. La frecuencia de corte de un filtro controlado por tensión viene determinada por la tensión de mando que proviene del generador de envolvente que a su vez ha sido "programado" por el operador a fin de obtener el efecto sonoro deseado.

El generador de envolventes es un circuito cuya característica de tensión de salida gobierna la frecuencia de corte del VCF y el espectro de frecuencias que viene procedente del VCO, exaltando a unas y atenuando a otras.

El VCF (filtro) se alimenta de la misma (o mismas) tensión(es) de control que el VCO (oscilador). La frecuencia del VCF sigue las variaciones de frecuencia del VCO obteniéndose así un timbre constante del conjunto armónico presente (una nota musical grave tiene la misma tonalidad que una aguda), es decir la forma de onda de salida del filtro (VCF) es idéntica a la de salida del VCO cualquiera que sea su frecuencia, por tanto el filtro o mejor dicho la frecuencia del filtro sigue una evolución que va unida a la frecuencia de la nota siendo esta variación por tanto exponencial.

En la figura se muestra un diagrama de las partes constituyentes del VCF:



El VCF consta de una parte que suma las diversas tensiones de control que actúan sobre el mismo, también consta de un exponenciador igual que en el VCO y de la parte de filtro propiamente dicha.

Una tensión continua (exterior ó interior) que se aplique a una de las entradas del sumador de entrada produce un desplazamiento de la frecuencia de corte del fil-

filtro en función de la característica I voltio/octava.

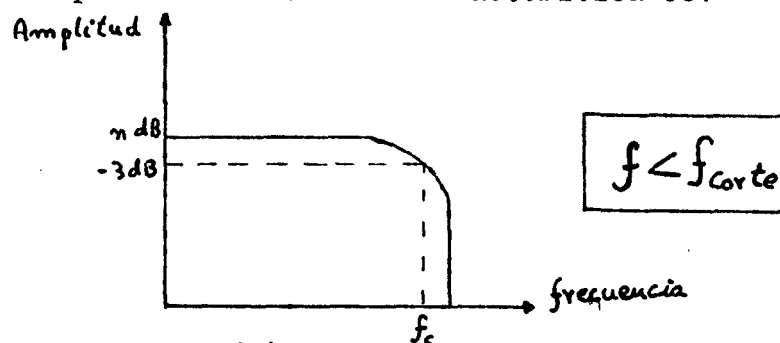
Como la tensión de control (V_c) equivalente a la frecuencia de la nota que se está tocando se aplica simultáneamente a otra de las entradas del sumador, entonces el filtro deja pasar siempre la misma proporción de armónicos independientemente si la nota es grave o aguda.

Los sonidos de los instrumentos musicales convencionales se caracterizan generalmente por la evolución dinámica del timbre mientras dura la percepción acústica de la nota. Por ejemplo al golpear una teclad del piano violentamente se emite un sonido metálico claro y luego se extingue. Para producir esta evolución de la dinámica del timbre y que cubra la duración de percepción de la nota, es necesario aplicar al VCF una tensión que lo module según esa evolución dinámica, y esta tensión moduladora es la característica tímbrica del sonido que deseo obtener. El generador de envolvente es el circuito encargado de proporcionarme esa característica de tensión a que equivale la evolución dinámica del sonido que quiero reproducir.

La característica de salida y la temporización del generador de envolvente tienen amplios límites de ajuste, lo que permite al operador grandes posibilidades a la hora de modular la frecuencia de corte del filtro (VCF).

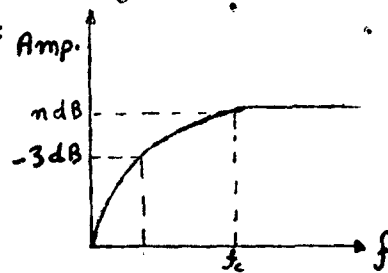
La frecuencia de corte del filtro es: $F = 1 / 2 RC$, al variar R varío la frecuencia de corte del VCF. Como ya dije, según sea el tipo del filtro tengo diferentes sonoridades instrumentales. Por ejemplo un filtro de 12 dB pasabajo es adecuado para sintetizar sonidos claros y transparentes, ricos en armónicos y un filtro de pendiente de 24dB pasabajos es propio para sonidos sordos, potentes y sinfónicos. En la música electrónica se usan los VCF como equivalentes eléctricos de los resonadores acústicos de los instrumentos.

Los filtros más usados son: Pasa Banda, Pasa Bajo, pasa Alto y rechazo de Banda. El pasa bajo deja pasar todas las frecuencias que están por debajo de la frecuencia de corte y elimina a las otras con una pendiente (dB / OCTAVA) que depende del orden o número de polos del fitro. Su característica es:

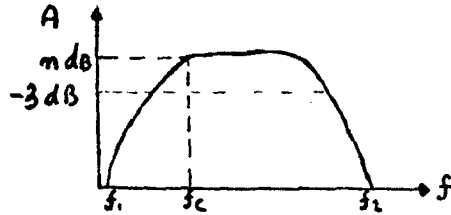


El pasa alto solo deja pasar las frecuencias que están por encima de la frecuencia de corte del filtro y no deja pasar a las demás, con una atenuación que depende de su característica dB/oct. Su característica es :

$$f < f_c$$

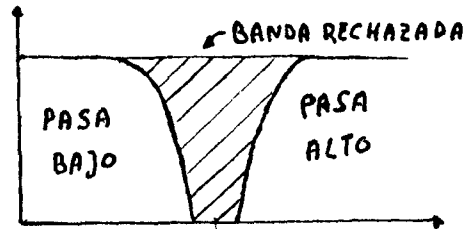


El pasa banda me deja pasar las frecuencias que se hayan entre las dos frecuencias extremos de una banda de frecuencias. Su característica es:



$$f_1 < f_c < f_2$$

El de rechazo de banda se compone de un pasa bajo y otro pasa bajo conectados en serie quedando rechazada la banda de frecuencias que se hayan entre los dos filtros. Su característica es :



Hay otros tipos de filtros que son muy usados en la música electrónica como los pasatodos que se aplican a redes de desfase ^{en} los circuitos moduladores en fase, que se usan para obtener el efecto de phasing o efecto orquesta. También se usan en los circuitos desplazadores de frecuencia (frequency shifter).

La frecuencia de corte (f_c) es la frecuencia a la que la ganancia del filtro disminuye 3 dB con respecto a la amplitud máxima. El orden del filtro es el número de células RC y determina la disminución regular de ganancia o pendiente (dB/oct):

Un filtro de 6 dB/oct quiere decir que si para una frecuencia la ganancia es de n dB, para una frecuencia mitad de esa, la ganancia es de $n-6$ dB. Un filtro de orden uno tiene una pendiente de 6 dB/oct . De orden dos la pendiente es de 12 dB/oct (siempre de 6 en 6 dB según el orden del filtro)...etc.

Todos los filtros activos están formados por células RC ó LC en los buclés de realimentación de elementos activos como por ejemplo operacionales, transistores..etc. Estos dispositivos activos funcionan como dispositivos cuya impedancia depende de la frecuencia y por tanto la ganancia también.

A continuación entro en la descripción del filtro de este sintetizador (24 dB/oct).

Filtro controlado por tensión (VCF) de característica 24 dB/octava:

Elijo este filtro de 24 dB/oct porque esta fuerte pendiente atrae mucho musicalmente, en especial en sus modalidades de paso bajo y paso alto. Con una atenuación de 24 dB/oct se produce una dinámica de timbre y una musicalidad bastante aceptable para el sintetizador.

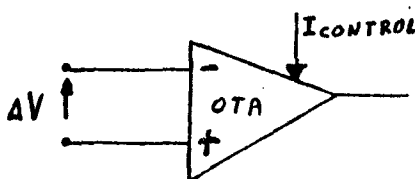
Usado uno de 12 dB/oct combinado con uno de 24 dB/oct (en conexión serie ó paralelo), se agranda enormemente las posibilidades de modelar las estructuras armónicas de los sonidos. El de 12 dB/oct se usaría como filtro de resonancia para reforzar la "coloración" de los sonidos que son filtrados dinámicamente por el de 24 dB/oct. Aplicando una señal triangular a la entrada de cada filtro (del de 24 y el de 12 dB/oct), sus salidas serían como se muestra en la gráfica:



El de 24 dB da una señal casi senoidal y el de 12 dB da una señal de salida que se parece más a la triangular de entrada.

Los sonidos producidos por el filtro de 24 dB/oct son mucho más naturales que los del de 12 dB/oct que suenan más electrónicos, esto es debido a la eliminación de armónicos más elevados en el filtro de 24dB/oct, amplificándose primero los armónicos de orden inferior que son los que se oyen primero. Cuando la frecuencia de corte del filtro de paso bajo (LP) llega a las frecuencias altas (KHz) entonces los armónicos superiores ejercen influencia en el filtro.

La frecuencia de corte del filtro debe ser controlada por tensión (o corriente) y una de las soluciones más interesantes es usar los circuitos OTA que son amplificadores operacionales de transconductancia variable. Su relación de parámetros de entrada, salida y control es:



$$I_{sal} = \Delta V \cdot K \cdot I_{control}$$

$$g_m = K \cdot I_{control}$$

$$I_{sal} = g_m \cdot \Delta V$$

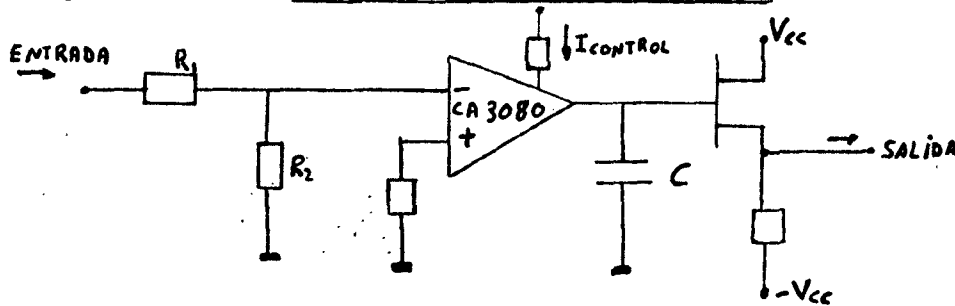
La corriente de salida es proporcional a la corriente de control y a la tensión diferencial de entrada. La magnitud de salida del OTA es una corriente y por tanto

en las hojas características del fabricante se dan valores de la transconductancia (gm): $g_m = \Delta I_{sa1} / \Delta V_{ent}$.

La constante K viene determinada por la constitución del OTA y de la temperatura de ambiente. La transconductancia gm se da en milisiemens ($ms = mA / vol$).

El circuito integrado CA 3080 es un amplificador de transconductancia variable (OTA) que tiene una linealidad bastante buena de gm y de Icontrol (de hasta aproximadamente 1000:1). La tolerancia es más bien pequeña, pero su buena linealidad es solo para señales pequeñas. Esto me lleva a que al utilizar el circuito CA 3080 tenga que atenuar a ± 10 milivoltios las señales de entrada.

Un esquema práctico del OTA CA 3080 como integrador es:

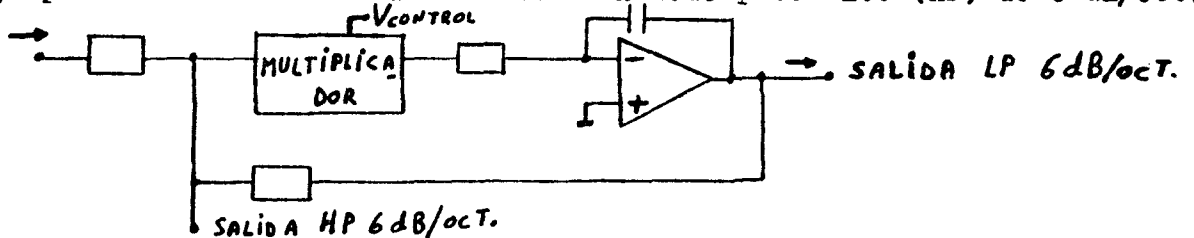


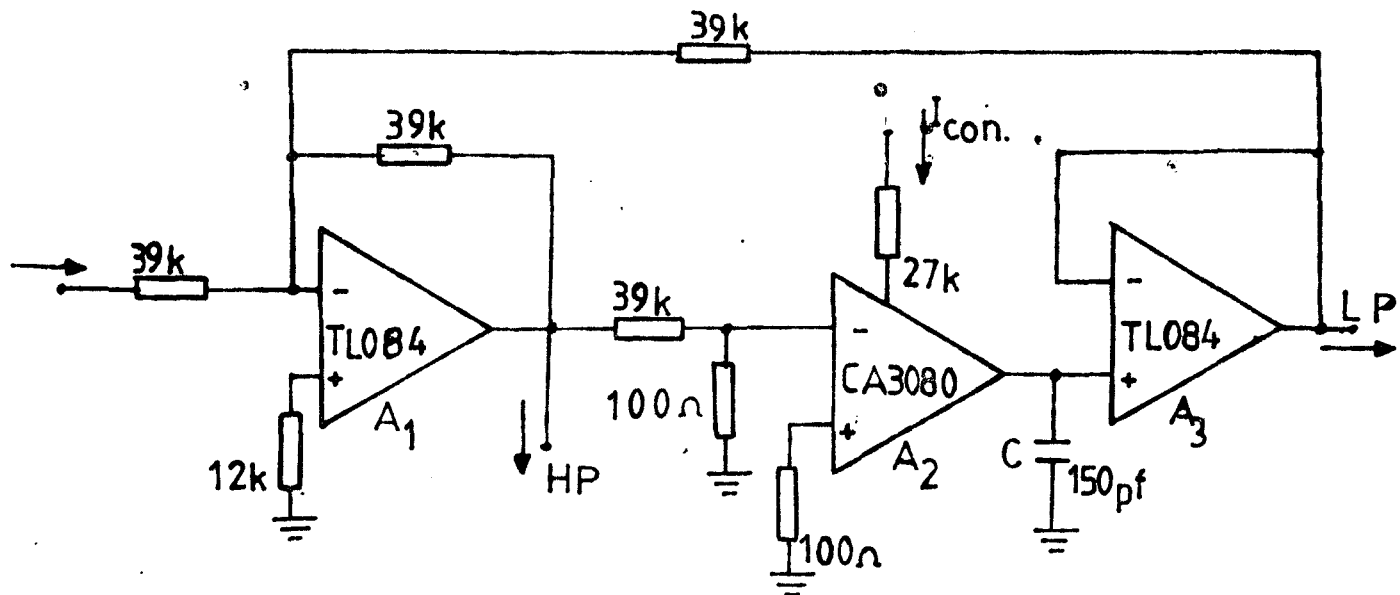
El CA 3080 con el condensador C es una red de control lineal de corriente por lo que la frecuencia de corte del filtro es controlada por corriente y no por tensión. R_1 y R_2 forman el divisor de tensión para atenuar la señal de entrada que viene del VCO. El condensador C (timing capacitor) integra la corriente de salida que va al transistor tipo FET que está montado en drenador común y me da una salida de baja impedancia.

La corriente de control que me controla al OTA es generada por un convertidor exponencial que me convierte ó mejor dicho me transforma la tensión procedente del teclado (V_c) en una corriente exponencial (logarítmica).

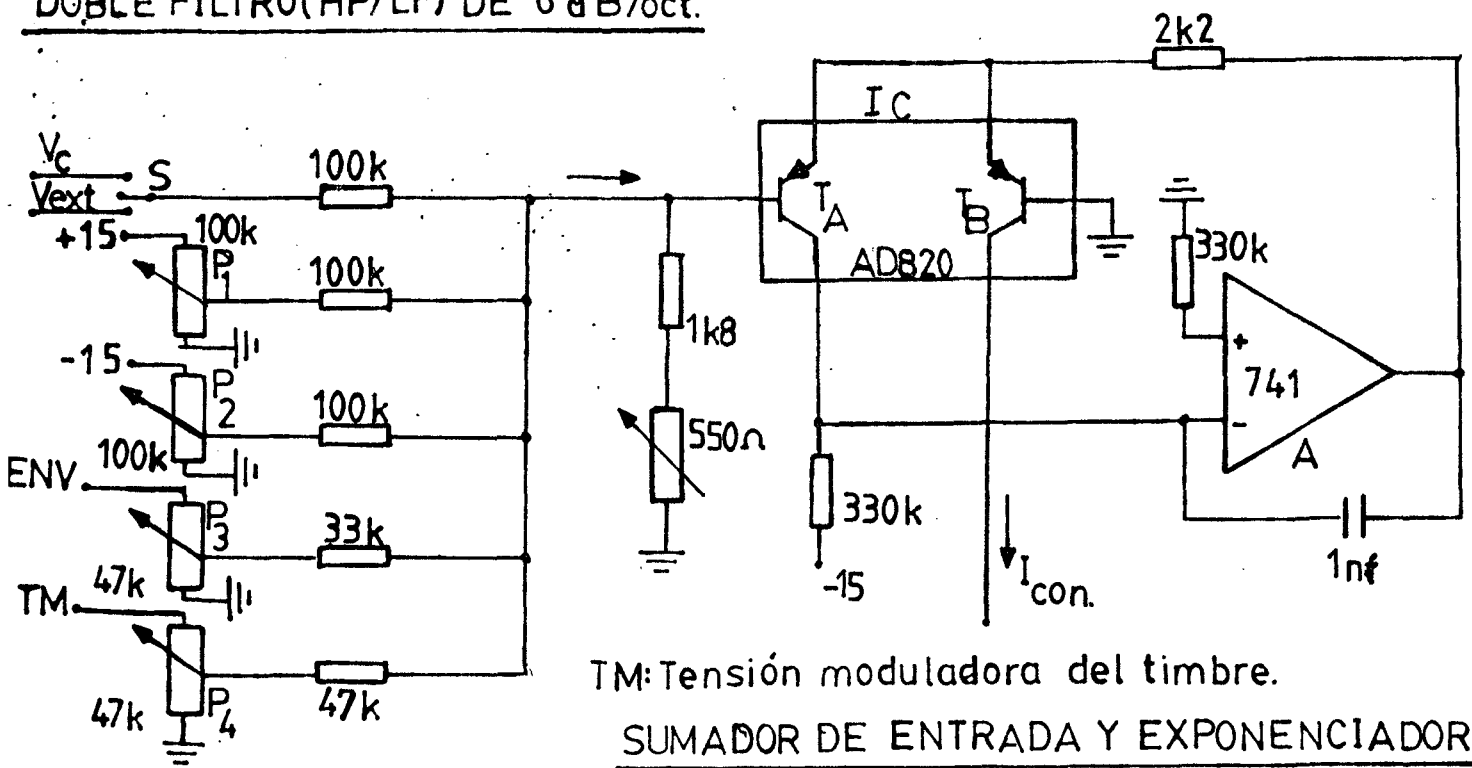
El montaje práctico del OTA mostrado en el esquema de arriba es un integrador que tiene una pendiente de 6 dB/oct. Entonces si uso cuatro de estas etapas integradoras de 6 dB/oct tengo los 24 dB/oct que quiero para mi filtro.

La salida de este montaje es en modo pasa bajo (LP) de 6 dB/oct, pero con el siguiente montaje puedo obtener también la salida en modo paso alto (HP) de 6 dB/oct.



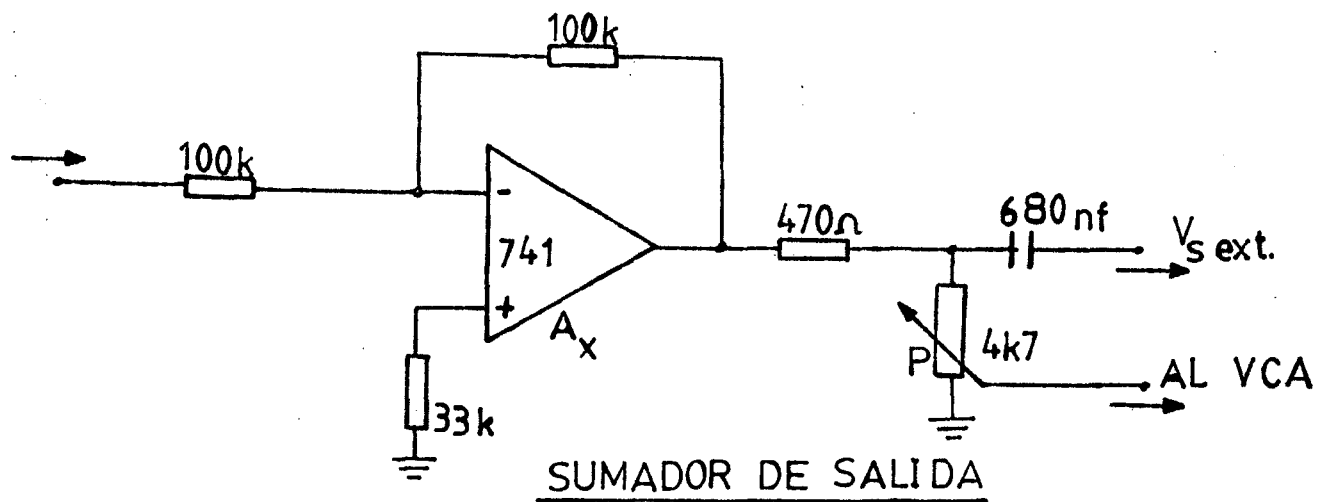


DOBLE FILTRO(HP/LP) DE 6 dB/oct.



TM: Tensión moduladora del timbre.

SUMADOR DE ENTRADA Y EXPONENCIADOR

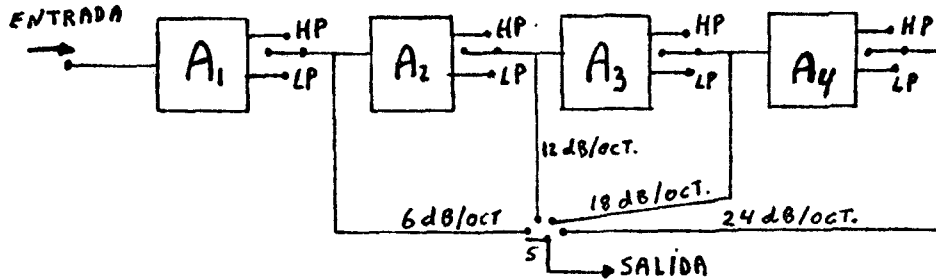


SUMADOR DE SALIDA

El multiplicador es el que me controla la frecuencia de corte mediante la tensión de control procedente del teclado (Vc) en ambos modos pasa bajo y alto.

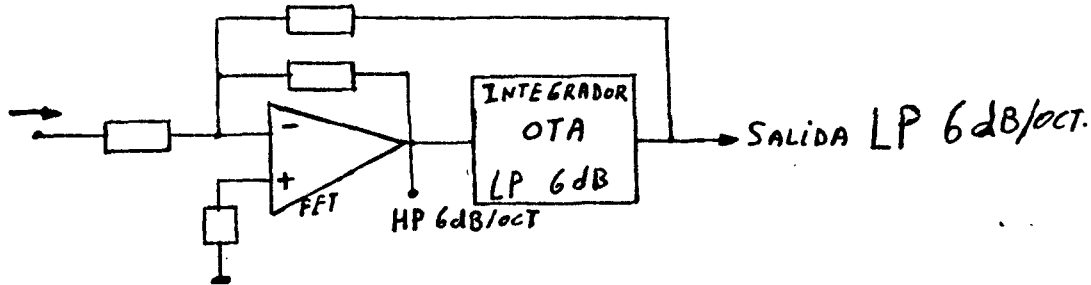
El circuito se compone de un amplificador operacional W montado como Integrador Miller precedido de un multiplicador analógico.

Un filtro de 24 dB/oct con cuatro etapas de doble salida (LP y HP) sería en diagrama de bloques así:

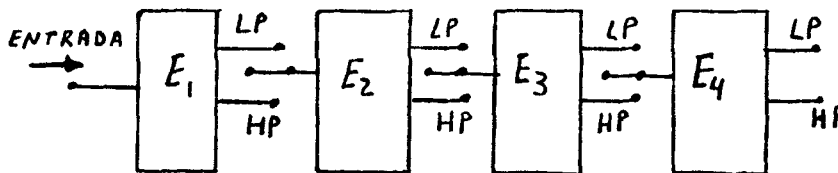


Cada etapa tiene una pendiente de 6 dB/oct.

La Vc aplicada a la entrada de control del multiplicador realiza el control lineal en tensión de la constante de tiempo del integrador. Si realimento la salida del integrador a la entrada del multiplicador entonces obtengo un filtro activo tipo pasa bajo de pendiente 6 dB/oct. Si conecto esta sección pasa bajo en el bucle de realimentación negativa de un amplificador operacional tipo FET montada como seguidor de tensión, obtengo el modo pasa alto del filtro (también con 6 dB/oct de pendiente), tal como se muestra a continuación:



Un total de cuatro de estas etapas dobles (LP y HP) conectadas en cascada formarían el VCF de 24 dB/oct:



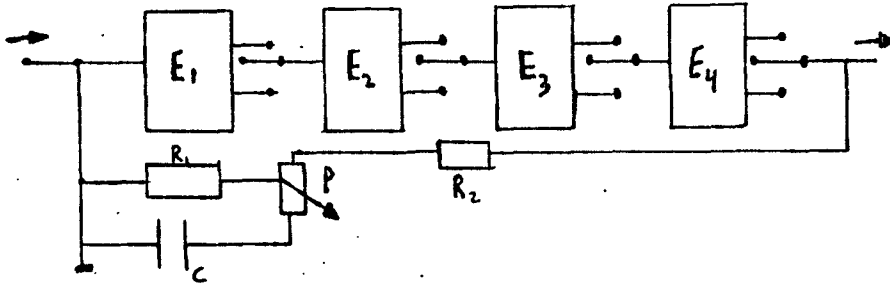
Combinando estas etapas puedo formar por ejemplo un filtro banda paso de 12 dB/oct formado por dos filtros paso bajo y dos de paso alto.

En cada etapa existe para la frecuencia de corte un desfase entre la entrada y la salida de -45° , entonces en total tengo un desfase de: $4 \times (-45^\circ) = -180^\circ =$

= 180°, entonces si invierto la señal de salida 180° tengo un desfase total de 360° = 0° estando las dos señales (la de entrada a la cadena de etapas dobles en cascada y la de salida de la misma) en fase.

Si realimento y con una ganancia del bucle mayor o igual a la unidad, el filtro de 24 dB/oct oscilaría y para que no oscile tengo que atenuar la realimentación pero me aumenta su ganancia en las proximidades de la frecuencia de corte.

Mediante un potenciómetro P atenúo la realimentación positiva y ajusto la resonancia del filtro en todo momento hasta el amortiguamiento de la oscilación del VCF:

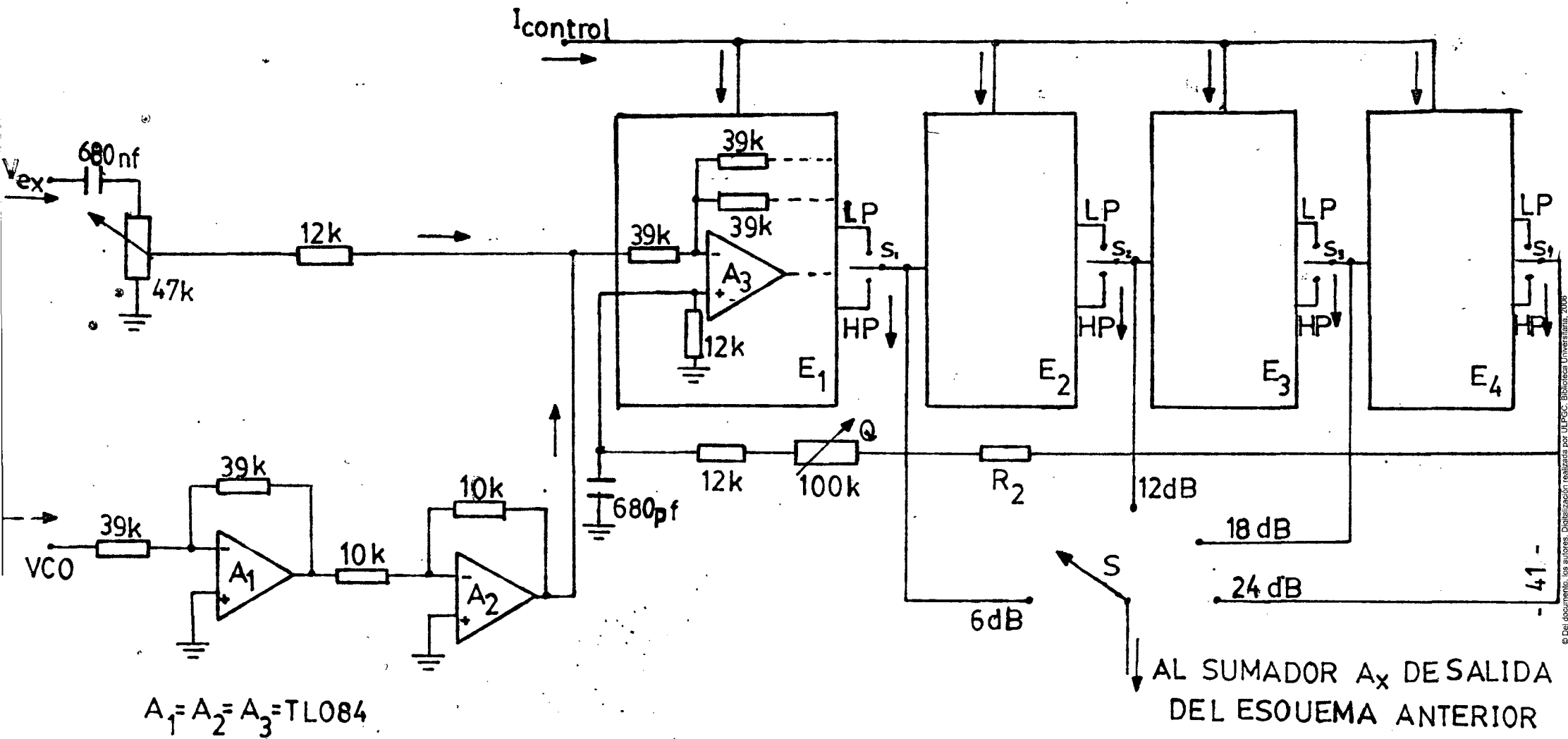


La resistencia R₂ permite que el filtro sea estable con la adaptación de este atenuador. La resonancia del filtro aumenta cuando aumenta la frecuencia de corte del mismo y por tanto la tendencia a oscilar también aumenta. Con un dispositivo de red RC con 6 dB de atenuación a frecuencias elevadas me produce un debilitamiento progresivo de 6 dB.

A la entrada del filtro VCF de 24 dB/oct hay un sumador de tensiones de control que pueden actuar sobre la frecuencia de corte del filtro y después de este sumador de entrada va el convertor exponencial (igual al del VCO) que genera la corriente de control que me controla linealmente a los OTA de la cadena de etapas filtradoras de 6 dB/oct. A la salida hay un sumador que me recoge todas las salidas del filtro y las amplifica a un valor óptimo para pasar al amplificador controlado por tensión VCA. El esquema del circuito formado por el sumador de entrada y el convertor exponencial está en las hojas adjuntas.

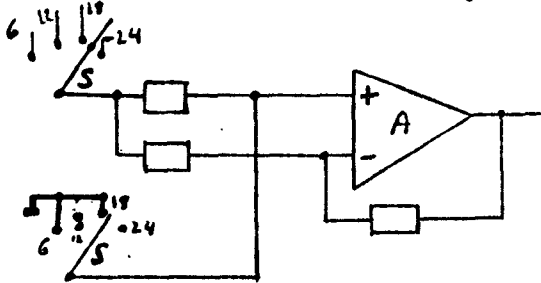
En el esquema el exponenciador actúa como fuente de corriente que controla a los OTA de las etapas de salida doble. El circuito integrado IC está formado por dos transistores tipo PNP que son iguales y hacen que sus características compensen suficientemente la estabilidad del IC.

Estos transistores forman el convertor exponencial y el amplificador operacional A también forma parte de exponenciador además que contribuye a la compensación de temperatura.



FILTRO DE 24 dB/oct (4 ETAPAS DOBLE DE 6 dB EN CASCADA)

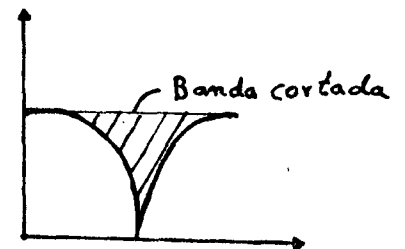
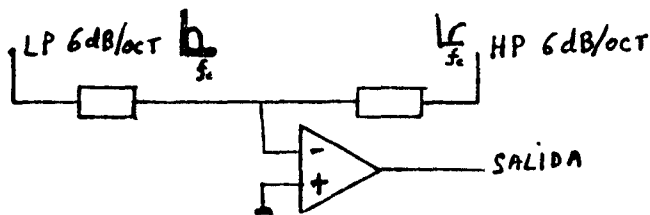
Como cada etapa invierte 180° entonces entre la 1^a etapa (de 6 dB/oct) y la 3^a etapa (18 dB/oct) habrá una inversión de fase con respecto a la señal que entra a la cadena de filtros . En la 2^a y 4^a etapa hay 360° grados por lo que están ambas señales en fase. Para corregir esta inversión de fase al elegir, por medio de S_I , el tipo de pendiente deseada del filtro uso un doble conmutador S_I y con este montaje que a continuación muestro corrijo la inversión en las etapas 1^a y 3^a :



Al elegir la pendiente de 6 dB/oct ó la de 18 dB/oct, el amplificador operacional A que está montado como sumador inversor me invierte la salida. Si la entrada positiva del amplificador está a masa entonces actúa como inversor y si ésta entrada positiva no está a potencial de masa entonces las dos entradas al operacional se alimentan con la misma señal y A no funciona como inversor sino como sumador no inversor.

De esta forma los cuatro tipos de filtros dan señales no invertidas a la salida del conmutador S_I .

Si tomo las salidas del pasa bajo y alto de la etapa de 6 dB/oct (1^a etapa) y las llevo a un operacional actuando como sumador, tengo a su salida la función de banda rechazada:

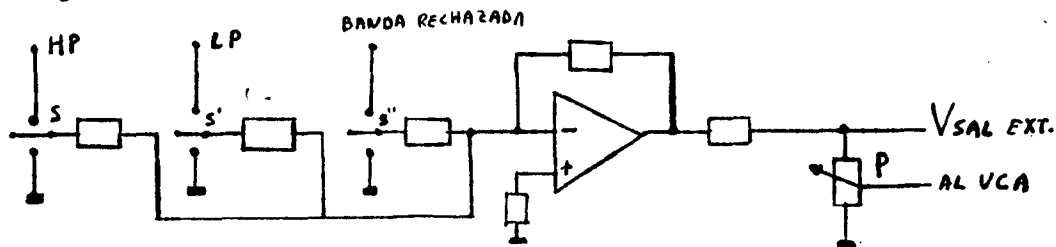


Con cualquiera de las otras pendientes (12, 18 y 24 dB/oct) puedo hacer lo mismo. Es muy importante tener una relación entre la corriente de control y la frecuencia de corte del filtro lo más lineal posible para garantizar el buen funcionamiento del mismo. Al doblarse la $I_{control}$ entonces la frecuencia de corte del filtro (f_c) debe ser el doble más alta (una octava más alta).

Para comprobar el exponenciador (independientemente de la cadena del filtros) varío de 0 a 1 voltio la tensión de la señal externa mediante su potenciómetro de ajuste y la corriente de salida del exponenciador debe ser el doble. Si la $I_{control}$

no varía entonces la frecuencia de corte del modo pasa alto y del modo pasa bajo ha de ser la misma.

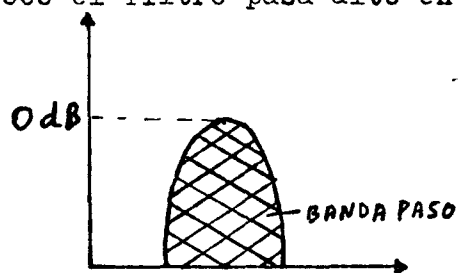
Para elegir los modos pasa bajo (LP), pasa alto (HP), y banda rechazada llevo las distintas tomas de salida a tres conmutadores y luego a un seguidor de tensión según el monataje:



Con el potenciómetro P controlo la amplitud de la corriente de salida del VCF y que va a la siguiente etapa que es el amplificador controlado por tensión VCA.

Al comprobar el exponenciador si la Icontrol no varía, entonces la frecuencia de corte del modo pasa bajo y alto debe ser la misma.

Para la función de banda paso (ó pasa banda) coloco el filtro pasa alto en serie con el de pasa bajo así:



El control por tensión es por medio de un generador de envolvente que es un circuito que genera sonidos cuya estructura armónica varía en función de la atenuación natural de cada nota según el instrumento con que se esté tocando dicha nota.

Por ejemplo el trombón comienza con pocos armónicos y van aumentando en número a medida que se sopla con mayor fuerza. Para obtener este efecto se conecta a la entrada de control, del sumador (de entrada) ENV, que corresponde al generador de envolvente, un generador que me dé una señal con una forma de onda que tenga un tiempo de ataque largo y un tiempo de decaimiento corto. El VCF debe estar actuando en el modo pasa bajo, El valor de la frecuencia de corte del VCF no debe ser menor que la frecuencia de la nota que se está tocando. A medida que la tensión de control del generador de envolventes aumenta la frecuencia de corte del filtro (VCF) se desplaza hacia las frecuencias altas, añadiéndose progresivamente a la fundamental los armónicos que estaban eliminados en las condiciones de reposo.

Este proceso corresponde a la variación dinámica que en realidad experimenta la estructura armónica del sonido ejecutado por el trombón.

En el caso de una guitarra el proceso es el opuesto al del trombón ya que emite un gran porcentaje de armónicos al ser pellizcada, y el contenido de armónicos disminuye después con una atenuación natural. En este caso el generador de envolvente sería ajustado con un ataque rápido y un decaimiento lento.

Las cajas acústicas de resonancia de los instrumentos musicales son esenciales en la definición del timbre particular de cada instrumento. Por ello hay que representar de alguna manera el efecto de las cajas de resonancia y para ello uso una serie de filtros de resonancia que imitan el efecto de las cajas acústicas.

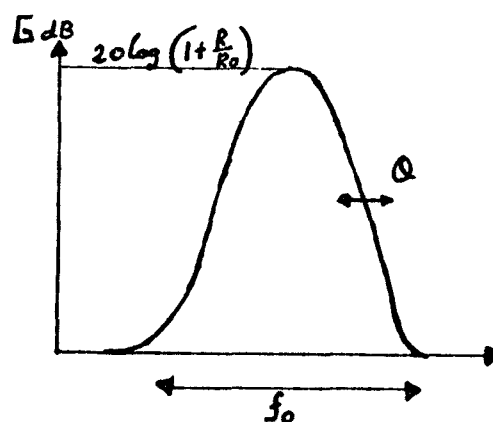
FILTROS DE RESONANCIA:

En cada instrumento de música tiene lugar una serie de fenómenos de resonancia específica que dependen de la estructura de la parte mecánica que interviene en la producción del sonido (por ejemplo los tubos en el órgano de iglesia, las cajas de resonancia de madera de los instrumentos de cuerda...etc). Las propiedades físicas de los materiales de que se componen las cajas acústicas y de la geometría que tienen son factores de vital importancia en el timbre característico del instrumento.

De lo que se trata es de que el sintetizador trate de reproducir las resonancias más importantes de manera que el sonido sintetizado posea un sonido más real y natural y menos electrónico.

Usando una serie de filtros selectivos de paso banda con su ganancia, frecuencia de resonancia y su factor Q ajustables independientemente, puedo obtener este efecto de resonancia que busco para imitar un determinado instrumento musical. Estos filtros no es necesario que sean controlados exponencialmente por tensión ya que solo se usan ajustes constantes en el tiempo de los parámetros del filtro (solo depende del tipo de instrumento musical que se quiera imitar).

La respuesta de uno de los filtros sería:

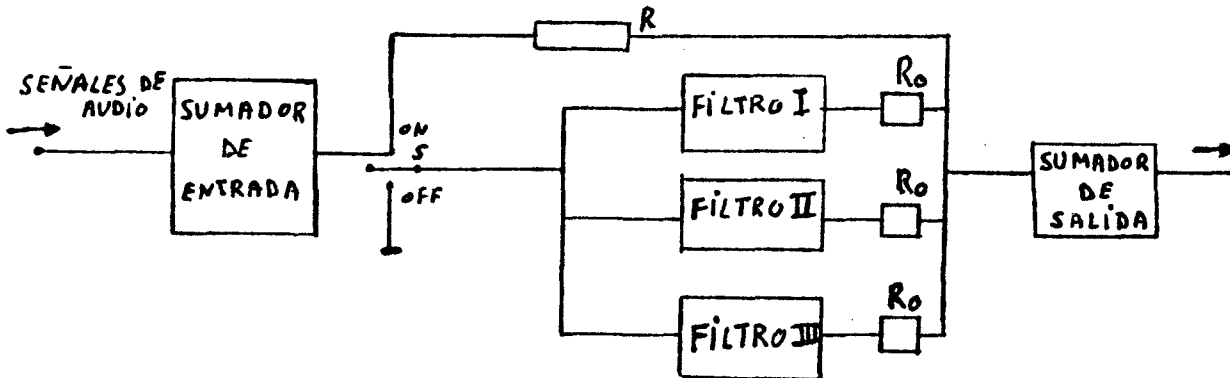


La resonancia por ejemplo del violín está en aproximadamente 400 hz y su forma de onda es el diente espaciado de sierra, (esta sería la señal que vendría del VCO en el caso de querer sintetizar el sonido de un violín). En el caso del oboe la resonancia está en 1,3 Khz - 1,7 Khz y su forma de onda es la rectangular asimétrica(impulsos). En la trompeta a aprox. 1,5 Khz y es el diente de sierra espaciado, en la flauta está aprox. a 800 hz y es la cuadrada, en el contrabajo a aprox. 100 hz y es la rectangular asimétrica.....etc.

Todas las resonancias importantes en el plano musical se encuentran entre 100 y 2000 hz. La posición a la que generalmente se coloca el potenciómetro de ajuste del Q es a la mitad. En estos filtros me basta con que se resalte la amplitud de una determinada gama de frecuencias que corresponda al instrumento a imitar.

Estos filtros me permiten atenuar o exaltar independientemente áreas del espectro audible, mediante el accionamiento o ajuste del potenciómetro correspondiente del filtro en el que deseo corregir la banda de frecuencias.

Un esquema sinóptico de un banco de filtros para la resonancia formado por tres filtros en paralelo (como los que llevará el sintetizador) sería:



El conmutador S en la posición ON, la señal suma de los tres filtros llega al amplificador de salida a través de la resistencia R. La ganancia se sitúa entre 0 dB y un valor en dB dado por la relación R/R_0 . Si el conmutador S está en la posición OFF entonces la entrada a los tres filtros se pone a masa y la ganancia del banco es independiente de la frecuencia e igual a la unidad (0 dB).

La ganancia máxima la sitúo a aprox. + 15 dB. El factor Q lo ajusto entre 0,8 y más de cinco (selectividad máxima). La frecuencia de resonancia puede evolucionar entre aprox. 50 hz y 2300 hz.

Para señales de onda cuadrada o de subidas rápidas es mejor tener un factor Q elevado, lo cual hace vibrar a los filtros en su frecuencia de resonancia produciendo

efectos de percusión (es posible usar varios de estos bancos de filtros de resonancia conectados en " peine ")

El banco de estos filtros de resonancia lo realizo con tres filtros y obtengo con ellos una reproducción razonablemente fiel de los sonidos. Si quiero doblar la capacidad de ajuste , se coloca un segundo banco en serie con este. En la hoja adjunta se muestra el circuito con los tres filtros en paralelo. El amplificador operacional A_1 es un sumador de señales de entrada al banco de filtros y estas entradas son : una es la proveniente de la salida del VCF y la otra es para que el banco pueda ser usado por una señal exterior (por ejemplo una guitarra). Los potenciómetros P_1 , P_2 y P_3 me controlan y ajustan respectivamente el factor Q , la ganancia y la frecuencia de resonancia de cada filtro independientemente. El amplificador operacional A_2 actúa como sumador de salida.

El margen de ajuste del banco de filtros puede evolucionar entre 50 hz (frecuencia de resonancia mínima y aproximadamente 2430 hz (frecuencia de resonancia máxima). Para modificar la frecuencia de resonancia mínima se determina, de la frecuencia de resonancia máxima deseada, el valor de los condensadores:

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = C = 16 / f_o \text{ max en Khz}$$

la f_o es la frecuencia de resonancia.

Una vez hallada el valor de C , hallo el valor de la resistencia R con el valor de la frecuencia de resonancia mínima deseada:

$$R = 16 / C \cdot f_o \text{ min.}$$

La resistencia R_o se halla a partir de la formula $R_o = 10 / R - 2$

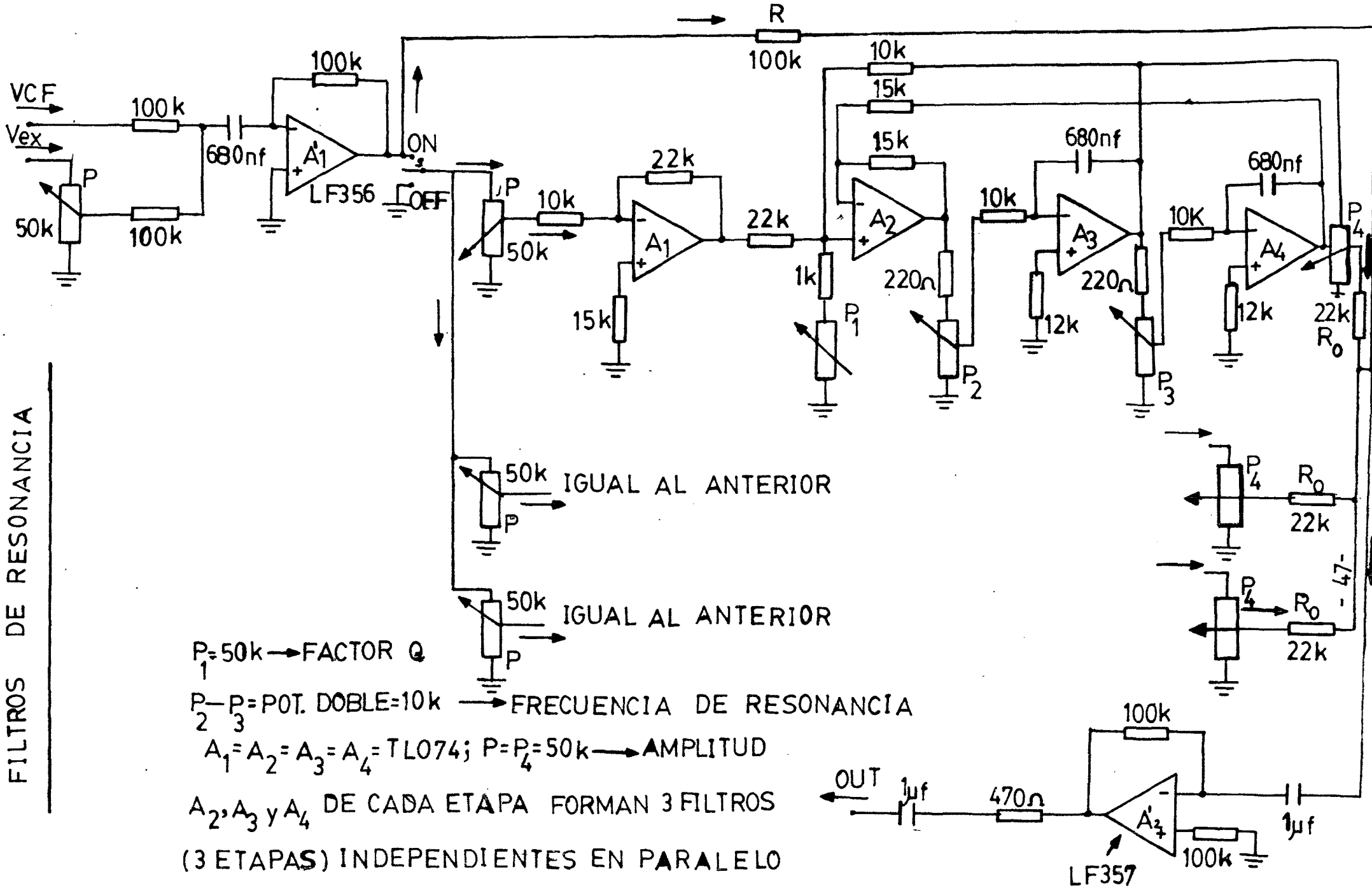
Cada filtro tiene potenciómetros de ajuste independientes que controlan el Q , la frecuencia de resonancia de cada uno y la ganancia según lo que deseemos.

Si: $R_1 = R_2 = R_3 = 470$ ohmios entonces $Q = 11,3$

$$R_1 = R_2 = R_3 = 330 \text{ ohmios entonces } Q = 15,8$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = 220 \text{ ohmios entonces } Q = 23,4$$

FILTROS DE RESONANCIA



$P_1 = 50k \rightarrow$ FACTOR Q
 $P_2 - P_3 = POT. DOBLE = 10k \rightarrow$ FRECUENCIA DE RESONANCIA
 $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = TL074; P = P_4 = 50k \rightarrow$ AMPLITUD
 A_2, A_3 y A_4 DE CADA ETAPA FORMAN 3 FILTROS
 (3 ETAPAS) INDEPENDIENTES EN PARALELO

IGUAL AL ANTERIOR
 IGUAL AL ANTERIOR

- 47 -

Son de una importancia decisiva en el sintetizador y² que permiten controlar por medio de simples mandos (potenciómetros), la dinámica de las notas y variar las características tímbricas del timbre del sonido. La dinámica de las notas es en el caso de actuar sobre un amplificador controlado por tensión (VCA) y las características del timbre cuando actúa sobre un VCF, ya que el timbre varía en función de los ataques y decaimientos del sonido.

Los generadores de envolvente producen una secuencia aperiódica especializada de tensión variable a partir de una orden de inicio que proviene de un circuito detector que está en el teclado y el cual detecta el cierre del contacto de una tecla correspondiente a la nota que estamos tocando en ese momento. Es decir al tocar una nota en el teclado se transmite un pulso de tensión que activa al generador de envolvente y éste por medio de la característica en tensión que se le halla ajustado ó mejor dicho " programado ", me controla la respuesta del VCF ó VCA según sobre quién esté actuando.

La tensión que genera es aperiódica ya que una melodía es una sucesión aperiódica de notas. Según sea el tipo de envolvente que gobierna al VCF y VCA, una señal por ejemplo triangular que pase a través de ellos (VCF y VCA) se me transforma en un sonido de órgano de iglesia o en el sonido de una flauta muy dulce ó en el sonido de un vibráfono,..... etc.

El sonido de un diente de sierra es muy claro y puede adquirir gamas enteras de caracteres instrumentales que va desde los instrumentos de metal a los de cuerda.

Si se controla manualmente a las envolventes se rebasaría con mucho la habilidad y velocidad de cualquier humano y por ello se ha de preestablecer el control automático de las curvas envolventes, y que dichas envolventes entren en acción cada vez que se apriete una tecla en el teclado.

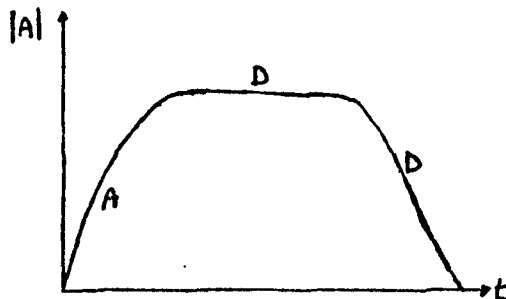
El comportamiento de la envolvente es ajustable por el operador mediante unos potenciómetros. Al pulsar una tecla, la señal que produce a la salida del VCO con una forma de onda determinada, va al VCF y VCA los cuales la modulan según la curva envolvente preestablecida por el operante.

Musicalmente hay cuatro tipos de envolventes útiles:

a) Ataque- duración - Decaimiento (ADD), b) Ataque- Relajamiento (AR), c) Ataque-decaimiento (AD), d) Ataque- Decaimiento- Sostenimiento - Relajación (ADSR).

La envólvente ADD suministra tres estados de tensión de una manera secuencial y estos estados son:

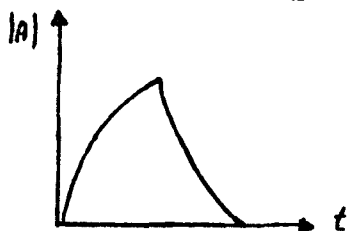
- a) Ataque: De cero a un valor máximo positivo predeterminado y con una constante de tiempo ajustable manualmente.
- b) Duración: La tensión permanece estacionaria durante un cierto tiempo que es ajustable también.
- c) Decaimiento: La tensión desciende de nuevo hasta cero con una pendiente de bajada ajustable de antemano.



Este tipo de envólvente es el caso de una nota tocada en un organo donde el músico deja apretada la tecla el tiempo que quiera. Al apretar la tecla, la resonancia del tubo se manifiesta después de un tiempo relativamente corto y la nota se percibe de manera continua en su máxima amplitud hasta que la tecla deja de presionarse, momento en el que la columna de aire del interior del tubo se derrumba sobre sí misma rápidamente, extinguiéndose de igual manera la nota.

No siempre ocurre lo mismo ya que por ejemplo en un saxo ó en una flauta, el instrumentista modula la nota de forma expresiva durante la etapa del sostenimiento. También el vaivén del arco en la cuerda del violín (u otro instrumento de cuerda) da una dinámica bien distinta.

El segundo tipo de envólvente es la AR (ataque-relajación) y es la más simple forma de envólvente. Está compuesta básicamente de redes RC de carga y descarga que permiten el ajuste de las constantes de ataque (carga) y relajación (descarga):

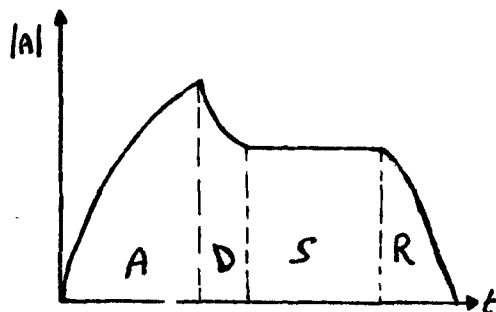


El tercer tipo es la AD (ataque-decaimiento): Su aplicación esencial es la de producir timbres caracterizados por ataque corto y decaimiento variable, tales como el gong, platillos, campanas, cuerdas de guitarra punteadas, de piano.....etc.

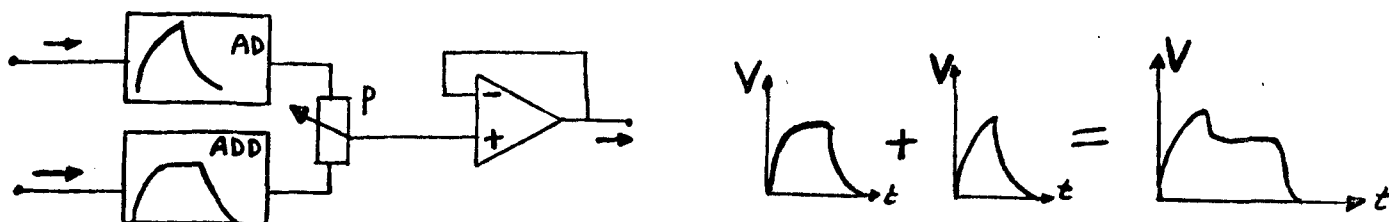
Cuando el ataque es largo y la caída rápida, entonces el efecto recuerda a instru-

mentos de metal (trompetas.) . No tiene sostenimiento, ni duración alguna. Una vez transcurrida la transición de ataque y habiéndolo llegado al valor máximo de tensión entonces decae. Está muy unida a la AR. Según sea el tipo de envolvente que los controle, un VCF ó un VCA generarán un toque parecido al de una nota de piano ó un golpe claro y metálico. Todas estas envolventes tienen un punto en común y es que una vez que se halla alcanzado el valor máximo, decaen.

El cuarto tipo de envolvente es la ADSR (Ataque-Decaimiento-Sostenimiento-Relajación) : Es una combinación de todas las anteriores, osea de la AD y AR. Es el tipo de envolvente más versátil, tiene tres tipos de tiempo ajustable manualmente y con un nivel de sostenimiento. La dinámica de muchos instrumentos musicales está formada por una combinación de los tipos de envolvente ADD, AR , AD. En un piano sería AD pero se puede modificar por el amortiguamiento de la nota que se va extinguiendo lentamente , hasta que el dedo deje de pulsar la tecla. La trompeta da el ejemplo de la combinación AD y ADD, ya que la dinámica del timbre en el ataque hay un contenido en armónicos que aumenta bastante después que la nota una vez que ha sido soplada, luego pasa por un nivel de sostenimiento más suave y se extingue rápidamente :



Se genera una ADSR por combinación de una AD y una ADD con un montaje así:



El potenciómetro P es para ajustar el nivel de sostenimiento.

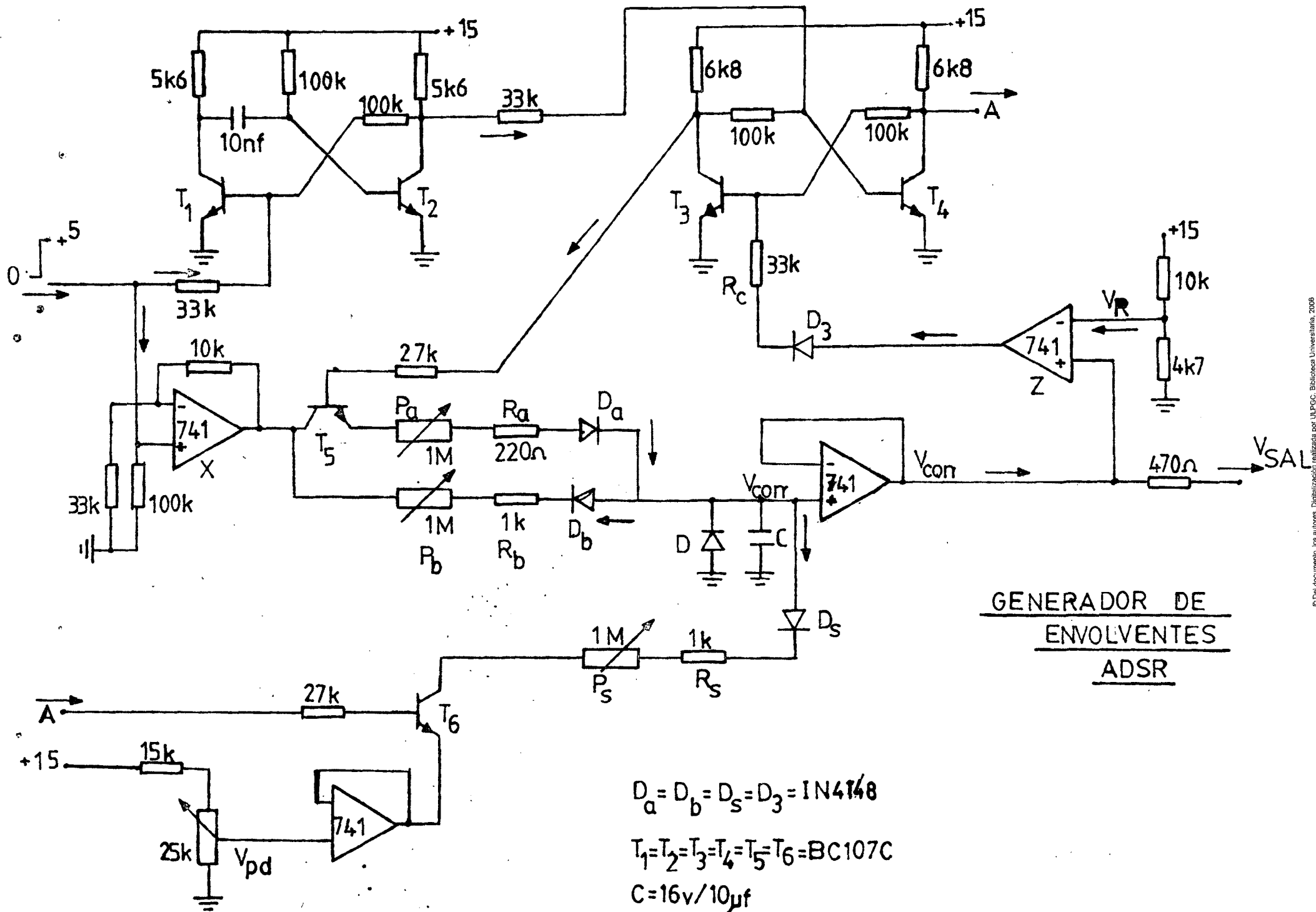
Con un circuito que me genera un tipo de envolvente del tipo ADSR con tiempos de ataque, sostenimiento, relajación y decaimiento ajustables manualmente, puedo obtener los cuatro tipos de envolventes principales musicalmente con solo ajustar estos controles de A-D-S-R.

El crecimiento y decrecimiento exponencial de las envolventes (ADSR) se obtienen mediante la carga y descarga de un condensador. Por medio de los potenciómetros correspondientes determino los tiempos de carga y descarga osea las constantes de

tiempo de subida y bajada de la tensión en el condensador. El circuito se muestra en las hojas adjuntas. Cuando se aprieta una tecla en el teclado, la tensión de salida va desde cero a cinco voltios positivos (esta salida es del circuito del teclado y va dirigida a disparar a los generadores de envolvente a fin de que inicien su ciclo, esta tensión es un impulso de tensión cuya anchura depende del tiempo que se tenga apretada la tecla en el teclado) y se aplica al monoestable formado por los transistores T_1 y T_2 . Este monoestable se dispara con el flanco de subida del escalón de tensión que proviene del circuito del teclado y que se genera al apretar cualquier tecla. Al dispararse el monoestable (al aplicar el flanco de subida del escalón al transistor T_2) obliga a que el biestable formado por T_3 y T_4 cambia de estado. Entonces los transistores T_3 y T_4 quedan respectivamente en OFF y ON. En el colector del T_4 (en ON) habrá un nivel lógico " 0 " y este nivel hace que el transistor T_6 esté cortado (OFF). En cambio en el colector de T_3 (en OFF) habrá una tensión aproximadamente igual a V_{cc} (alimentación) y este voltaje se aplica a la base del transistor T_5 , lo que hace que se ponga a conducir (en ON) y por medio de la red $P_a - R_a - D_a$ se carga el condensador C con una constante de tiempo que depende del ajuste que hayamos puesto en el potenciómetro P_a . Con P_a controlo el tiempo de carga de C y por tanto el tiempo de subida de la envolvente (sección de Ataque). Para fijar el límite de crecimiento de esta tensión fijo una tensión de referencia límite (V_R) por medio de un divisor de tensión, y aplicando esta V_R a la entrada de un operacional montado como comparador de tensión (Z), comparo el valor de la tensión creciente en el condensador C con la tensión de referencia V_R . Cuando la tensión del condensador V_C sea igual a la tensión V_R entonces el comparador (que tiene su salida a $-V_{cc}$) cambia de estado y conmuta al valor $+V_{cc}$.

El diodo D_3 y la resistencia R_c forman el camino de escape que lleva al impulso $+V_{cc}$ a la base del transistor T_3 el cual se hace conductor y su colector pasa a nivel lógico "0" que hace bloquear al transistor T_5 con lo que termina la fase de ataque ó de subida de la envolvente.

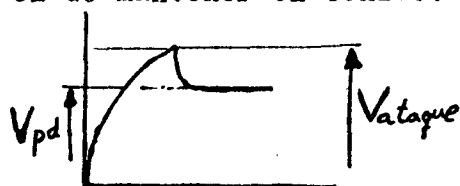
Los "0" voltios que hay en el colector de T_3 que bloquean a T_5 hacen bloquear también al transistor T_4 y por tanto el colector de T_4 pasa a una tensión de V_{cc} y este voltaje al aplicarse a la base de T_6 hace que conduzca, produciéndose la descarga del condensador C a través del camino de descarga formado por P_s, R_s, D_s .



GENERADOR DE ENVOLVENTES ADSR

- $D_a = D_b = D_s = D_3 = \text{IN4148}$
 $T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_5 = T_6 = \text{BC107C}$
 $C = 16\text{v}/10\mu\text{f}$

Esto es debido a que el cátodo de D_s está a $+V_C$ (tensión del condensador) y el colector del transistor T_C está a nivel lógico "0", por lo que el diodo queda polarizado en directo y permite la descarga del condensador hasta un valor de voltaje que viene ajustado por el potenciómetro P_d . El efecto de este voltaje ajustable manualmente por medio del P_d es el de mantener el sonido:



Vpd = nivel de sostenimiento (tensión).

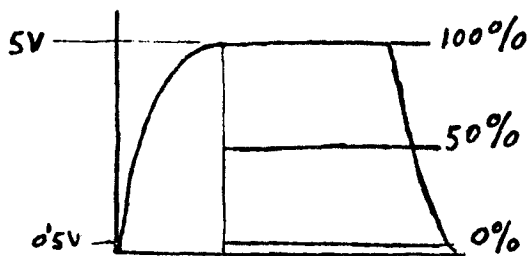
Este potenciómetro P_d es el potenciómetro de nivel de Sostenimiento. Si el nivel de sostenimiento es igual a cero entonces tengo una envolvente tipo ADR.

Con el potenciómetro P_s ajusto el tiempo de caída (decaimiento) hasta el valor fijado por el potenciómetro de sostenimiento (V_{pd}). Cuando la tensión del condensador V_{con} alcanza el valor de la tensión V_{pd} entonces termina la fase de decaimiento y comienza la de sostenimiento.

En el momento que se deja de apretar la tecla en el teclado, el escalón de tensión, que proviene del circuito del teclado, pasa a cero voltios y cuando este impulso de tensión (que aplico simultáneamente al monoestable y al operacional X) cae a cero voltios, la tensión de salida del amplificador operacional X pasa a cero voltios quedando el diodo D_b polarizado en directo y abre el camino de descarga para el condensador C (osea para la tensión que queda en C después de la etapa de sostenimiento y que es V_{pd}). Este camino de descarga está formado por D_b, R_b, P_b .

Con el potenciómetro P_b ajusto el tiempo de descarga de C. Musicalmente este sería el tiempo de extinción del sonido.

La ADSR sólo se genera si se tiene pulsada una tecla un tiempo igual a la suma de los tiempos de ataque y sostenimiento y con un nivel de sostenimiento (V_{pd}) mayor del cero por ciento:



En 0% sería la envolvente tipo AD.

Si el tiempo que se tiene la tecla apretada es menor que dicho tiempo suma entonces la envolvente se termina antes de tiempo, ya que el camino de extinción se activa inmediatamente e independientemente de la parte de envolvente alcanzada.

Dependiendo de la duración de la caída, del ataque y del tiempo que se tenga la tecla apretada se obtendrán envolventes del tipo AR ó ADS.

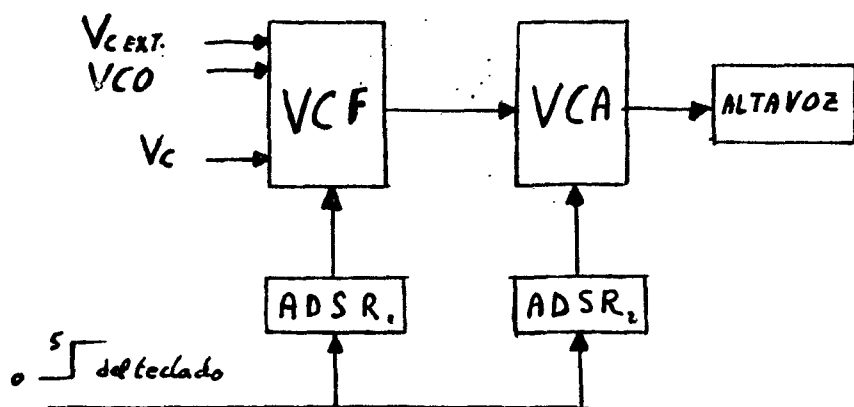
El nivel de sostenimiento (V_{pd}) máximo debe ser igual al valor de la tensión en bornas del condensador C, entonces:

$$V_{pdmax} = V_C$$

Siendo la V_C la tensión del condensador al final de la carga, es decir de la fase de ataque (que es donde se realiza la fase de carga).

Con un nivel de sostenimiento igual al 0% ($V_{pd} = 0$) debe aparecer una envolvente del tipo AD pura. Los cuatro mandos de circuito ADSR salen al exterior para poder ser manipulados por el operador a su gusto.

El esquema siguiente muestra al generador de envolventes como bloque:



Los generadores de envolventes ADSR son distintos ó iguales para el VCF y VCA. Estos ADSR modulan al VCF y VCA según la característica de tensión fijada en ellos por el usuario de sintetizador. Estos ADSR son independientes entre sí con envolventes distintas. El VCA me modifica la característica Amplitud-tiempo y es independiente de la tensión de control procedente del teclado (V_c). El ser independiente de la V_c del teclado quiere decir que es independiente de cual sea la nota que se está tocando en cualquier momento en el teclado. Esto no ocurre en el VCF.

Se obtiene pues, controlando los potenciómetros de A-D-S-R una gama interesantísima de (de) características amplitud-tiempo que pueden ser conferidas al sonido produciendo el efecto de simulación de por ejemplo una flauta o un instrumento de cuerda,

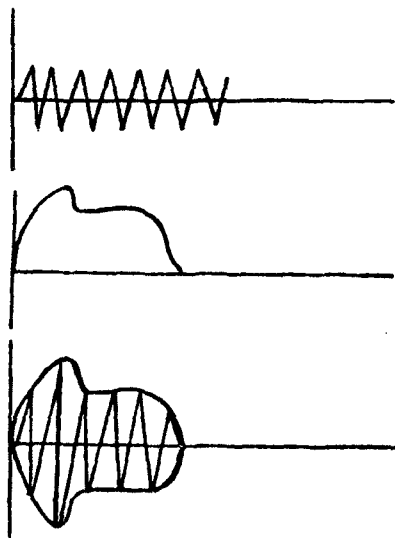
AMPLIFICADOR CONTROLADO POR TENSION (VCA)

Este es el módulo que me va a efectuar la función básica del sintetizador que es la de controlar la amplitud del espectro de frecuencias que ha dejado filtrar el filtro controlado por tensión (VCF).

Al igual que el VCF, el amplificador controlado por tensión (VCA) va a estar gobernado por una envolvente caracterizada a nuestra voluntad y que fijo según sea el sonido del instrumento que quiero sintetizar.

En el sintetizador un VCA (amplificador controlado por tensión) bloquea la señal de audio cuando el valor de la envolvente (procedente de un ADSR al igual que en el VCF) de tensión es cero, pero cuando ésta crece hacia un valor positivo la ganancia del amplificador (VCA) aumenta y a su vez la amplitud de la señal de audio a su salida. Este aumento de la señal es proporcional a la tensión de control que proviene de la envolvente que a su vez ha sido caracterizada a la voluntad del operador.

El VCA sería en un sentido más vulgar el control electrónico del volumen. Un amplificador controlado por tensión es esencialmente un dispositivo de multiplicación analógica de dos cuadrantes, es decir, un multiplicador de conductancia variable serviría como amplificador controlado por tensión.



Señal de audio procedente del VCF.

Señal envolvente del ADSR.

Señal de salida del VCA.

La señal de salida del VCA es el producto de la señal de audio del VCF y la envolvente del ADSR. El **VCA** y el generador de envolvente ADSR se ajustan al mismo tiempo.

La ganancia de un amplificador controlado por tensión es proporcional a la tensión de control que lo gobierna (procedente de un generador de envolvente ADSR).

Esta proporcionalidad es posible tanto linealmente como exponencialmente:

$$G_V = K \cdot V_{CON} \text{ (lineal) por ejemplo: } \begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array}$$

$$G_V = K^{V_{CON}} \text{ (exponencial) por ejemplo: } \begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array}$$

El VCA funciona independientemente de la tensión de control procedente del teclado (V_c), al revés que el filtro que si depende de esta V_c del teclado. Esta independencia de la V_c del teclado se debe a que no hay relación alguna entre la amplitud de la señal y la frecuencia del sonido de esa señal.

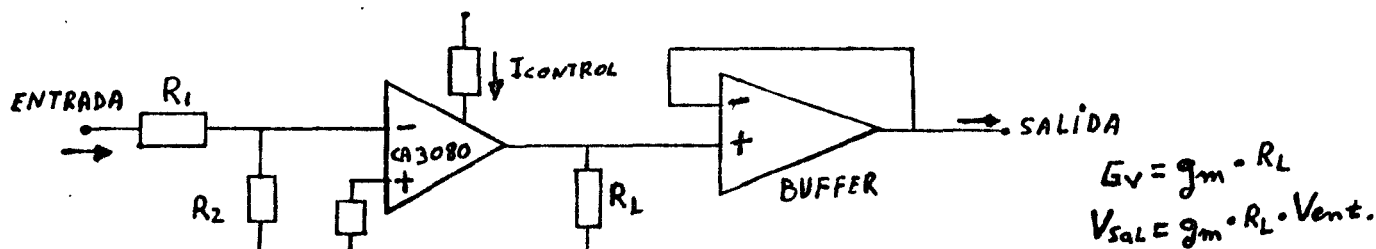
El VCA debe reproducir lo más fiel y mejor posible las características de la dinámica natural del sonido a imitar. Dos cosas importantes en un amplificador controlado por tensión son: sensibilidad logarítmica del oído humano en relación al volumen y la importante extensión de la dinámica en la música ordinaria.

Para tener en cuenta la sensibilidad logarítmica del oído humano el VCA debe tener una característica de control exponencial. Por otro lado el efecto de lo que en música se llama trémolo (el trémolo es una modulación periódica de la amplitud de la señal) debe realizarse con un VCA que sea gobernado por un control de tensión lineal para que resulte suave al oído.

Otra cosa importante en un VCA es la adaptación del margen de control al nivel de la señal de tensión de la envolvente.

El circuito integrado CA 3080 es un amplificador de control lineal por corriente (OTA). Su empleo permite realizar un VCA de extrema simplicidad y de extraordinarias características. Solo es necesario transformar la corriente de salida en tensión por medio de una resistencia de carga que va conectada entre la salida y masa.

El esquema de principio de un VCA (amplificador controlado por tensión) por medio de un circuito OTA (amplificador controlado por corriente) del tipo CA 3080 es:



Las resistencias R_1 y R_2 forman un divisor de tensión que limita a la señal de entrada a ± 10 milivoltios. Esto hace que la relación señal/ruido (S/N) sea insuficiente y además molesta para el control de volumen de los sonidos sordos.

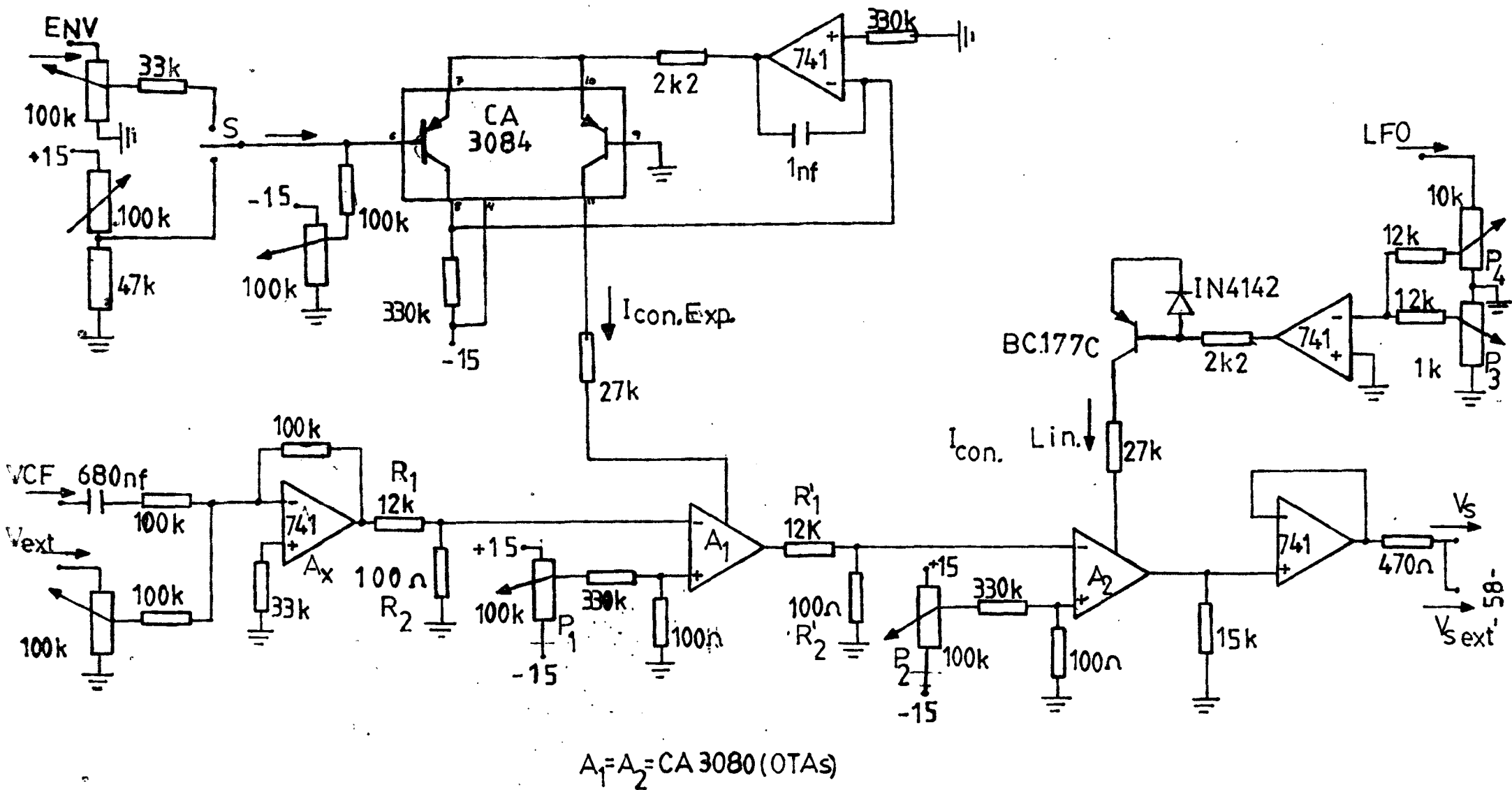
La señal de entrada que se aplica al VCA depende de la característica y de la señal de control (procedente de un generador de envolvente ADSR) del VCF y también de la amplitud y forma de onda de la señal del VCO.

Esta señal varía en grandes proporciones y puede producirse sobremodulaciones debido a amplitudes demasiado débiles y a otras demasiado fuertes.

Hay dos etapas que son independientes dentro del funcionamiento del VCA para un mejor tratamiento de la señal. Una de estas etapas es el control y la otra es el tratamiento de la señal. El control está formado por una fuente de corriente con control por tensión exponencial (el oído humano es sensible exponencialmente a las variaciones de volumen) y otra por control lineal de tensión (ya que para producir la modulación en amplitud, que me es necesario para conseguir el efecto del trémolo). Estas fuentes de corriente exponencial y lineal mandan las corrientes, en sus respectivas salidas, de control que me gobiernan a los amplificadores del tipo OTA (que son amplificadores controlados por corriente). Entonces tengo que el número de OTAs que me hacen falta para conseguir la amplificación por tensión son dos, uno para la parte con control lineal y el otra para la parte de control exponencial.

El exponenciador que uso es igual al utilizado en el oscilador VCO. A la característica de un voltio por octava del VCO y VCF, el VCA corresponde con una característica de 12 dB por variación de ganancia, al variar en un voltio la señal de tensión de entrada procedente de la envolvente de generador ADSR del VCA. El oído humano solo percibe las variaciones de volumen a partir de 3 dB.

Los dos amplificadores OTA forman dos etapas amplificadoras montadas en serie y ambos OTAs llevan atenuadores (divisores de tensión) que me limitan la señal de entrada a ellos a un nivel propicio para que puedan trabajar sin problemas. Los dos OTA va colocados independientemente en el trayecto de la señal. El primero de ellos y el control exponencial forman el bloque de ganancia (exponencial) del VCA. Este bloque y el otro amplificador OTA se controla por una fuente de corriente lineal que permite una modulación de amplitud (AM) para el trémolo y también un ajuste de ganancia . Antes del conversor exponencial que es igual al del VCO hay un sumador de tensiones de entrada, que son la tensión de corrección del offset y la tensión que proviene del generador de envolvente. La señal del VCF junto con una entrada de tensión exterior, que permite utilizar al VCA del sintetizador con otra fuente de señal exterior, van al sumador A_x .



AMPLIFICADOR CONTROLADO POR TENSION(VCA)

Del circuito que se muestra en las hojas adjuntas se ve que los potenciómetros P_1 y P_2 me corrigen el offset de los amplificadores OTA.

Los divisores de tensión R_1-R_2 y $R'_1-R'_2$ son para no sobrepasar el margen de tensión en el que trabajan los OTA linealmente.

El potenciómetro P_3 me ajusta la ganancia y P_4 la tensión moduladora procedente del oscilador de baja frecuencia (LFO) que es el encargado de producir la modulación en amplitud (AM).

Los sonidos producidos por el sintetizador exigen una determinada intensidad mínima para que se extienda plenamente en el plano acústico y para ello la instalación de reproducción debe ser dimensionada adecuadamente.

Los altavoces han de servir para que no sufran los transitorios y las combinaciones espectrales, y para que los reproduzca fielmente. Los altavoces más adecuados son los del tipo trompeta ó de pistón ya que son de rendimiento elevado permitiendo usar potencias de salida inferiores. Entonces un amplificador de 35-40 wattios es más que suficiente.

OSCILADOR DE BAJA FRECUENCIA (LFO)

Este oscilador lo uso para producir efectos especiales como por ejemplo el trémolo (que es una modulación periódica de la señal). Con esta unidad obtengo señales de modulación de baja frecuencia y amplitud que son las que me producen muy interesantes modulaciones de timbre como por ejemplo el vibrato ó el antes mencionado trémolo. El tener una fuente de señal de control que permite hacer todas estas modificaciones de la señal es muy importante e interesante a nivel musical. Las gamas de frecuencia que deben entregar estas fuentes de señal son del orden de 0,01hz hasta 10 hz y además con un número de formas de ondas suficiente para tener una buena versatilidad.

Un buen oscilador de baja frecuencia (LFO) daría señales de forma de onda triangular, senoidal, cuadradas, diente de sierra ascendente y descendente y rectangulares de simetría variable.

Para simular el trémolo marcado de por ejemplo una flauta travesera o los efectos de vibrato de las cuerdas de los instrumentos de cuerda, necesito una modulación en amplitud y no basta con la simple envolvente que genera el generador ADSR.

Esta modulación en amplitud la realizo con estos osciladores de baja frecuencia LFO. Si las salidas del LFO las llevo por ejemplo en la entrada de modulación de frecuencia (FM) del VCO puedo obtener los efectos de vibrato.

Para modular la tonalidad entonces he de llevar la salida del LFO a la entrada TM (para modulación del timbre) del filtro VCF.

El efecto del trémolo se consigue conectando la salida del LFO a la entrada de modulación de amplitud del amplificador VCA.

El LFO es en general un generador de funciones cuyas frecuencias son inferiores a 20 hz . Para la onda triangular coloco un integrador y un Smith Trigger y al realimentar la salida del trigger a la entrada del integrador obtengo la forma de onda triangular. En el esquema del circuito que esta en la hoja adjunta se ve este montaje. El amplificador operacional A_x lleva un potenciómetro entre las patillas 1 y 5 y que su misión es corregir las perdidas por offset del amplificador. El comparador da una salida de +15 voltios cuando la entrada del mismo se hace positiva respecto a la entrada negativa que está conectada a potencial de masa, y pasa a -Vcc (- 15) cuando la entrada positiva se hace más negativa que la entrada negativa.

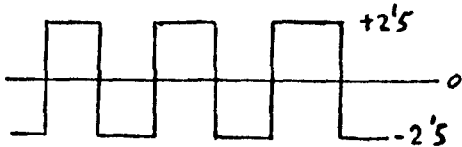
El potenciómetro P₂ atenúa la salida del comparador que es de $\pm V_{cc}$ a un nivel adecuado

ado de $\pm 2,5$ voltios ya que $V_{cc} = 15$ voltios. La tensión de salida del comparador se aplica mediante el divisor $R_I - R_I'$ (que son de igual valor) a la entrada positiva del comparador y es de un valor que es la mitad del de salida del atenuador P_2 . Por medio del potenciómetro P_I realimento la salida del comparador al integrador inversor de manera que el sentido de la variación de tensión a la salida de éste se invierte cada vez que se alcanza alguno de los valores de voltaje límites tomados como umbrales positivo y negativo del conmutador (A_j).

A la salida del integrador se obtiene una oscilación cuya amplitud es idéntica a la histéresis del comparador Smith.

La tensión que es realimentada y controlada por el potenciómetro P_I me da la velocidad de evolución, a la salida, de la tensión ascendente y descendente. Con el seguidor de tensión desacoplo la onda cuadrada del disparador Smith.

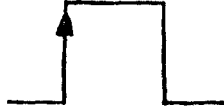
La forma de ondate diente de sierra la puedo obtener de la onda triangular mediante un amplificador de ganancia unidad que me funciona como no inversor ó inversor cuando el transistor esté bloqueado ó en conducción. El transistor está en OFF (bloqueado) o en ON (conducción) si su base a la que el potenciómetro P_2 le da tensión, está a voltaje negativo ó positivo. El voltaje de P_2 es la onda:



Cuando es $+ 2,5$ entonces el transistor está ON.

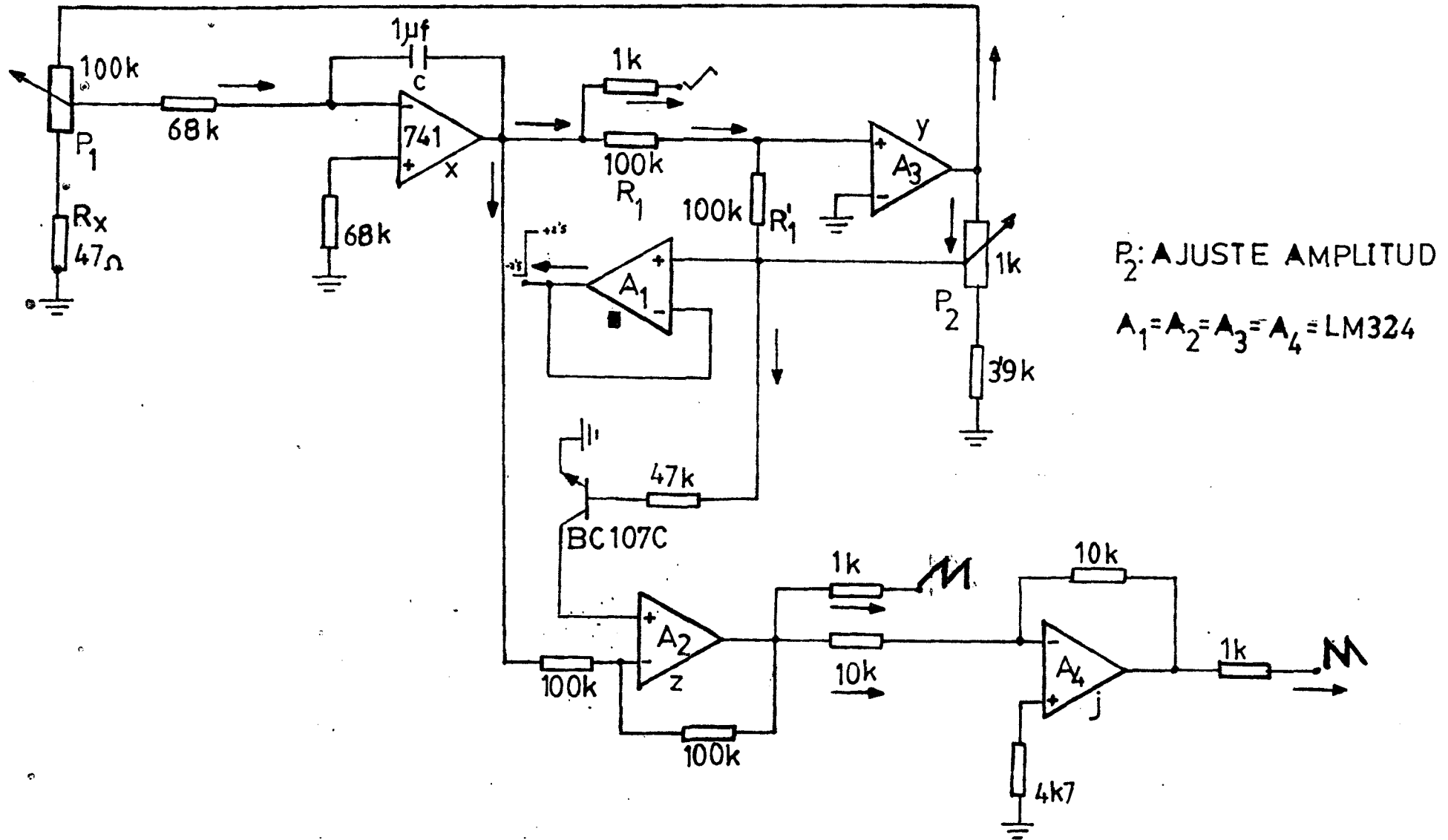
Cuando está a $- 2,5$ entonces está en estado OFF.

Si el transistor está en OFF, el amplificador A_Z es no inversor y si está en ON el amplificador A_Z es inversor.

Con el flanco positivo de la onda cuadrada:  el transistor conduce

(ON). Durante el tiempo en el que el transistor está bloqueado (OFF) y por tanto A funcionando como no inversor, entonces la tensión de salida sigue a la tensión de entrada que es triangular. Con el flanco positivo de la cuadrada el transistor conmuta a estado ON y el amplificador A_Z funciona ahora como amplificador inversor. Cuando el transistor pasa a estado ON el triángulo de la onda triangular llega al umbral positivo del trigger y A_Z funciona como inversor, obteniéndose a la salida el flanco negativo del diente de sierra que tiene una pendiente muy abrupta la cual se consigue con el transistor a masa. El diente de sierra obtenido tiene una frecuencia doble de la triangular y rectangular debido a que he obtenido la diente de sierra de la triangular. A_j sirve para invertir la diente de sierra y así obtener

OSCILADOR DE BAJA FRECUENCIA (LFO)



el diente de sierra de pendiente positiva.

Con el potenciómetro P_2 ajusto la amplitud de la onda. Seleccionando la R_x obtengo el periodo máximo (menor de tres minutos) y con ello la frecuencia más baja.

Un valor de R_x para que funcione bien el circuito debe ser no menor de 10 ohmios, ya que si no la corriente de control del integrador A_x es insuficiente con relación a la entrada del amplificador operacional y entonces cesan las oscilaciones.

Además ajustando el nivel de la onda cuadrada a ± 5 voltios puedo disparar el generador de envolventes simplemente con conectar esta señal de ± 5 voltios a la entrada de disparo exterior de que dispone el generador de envolvente ADSR.

El LFO es controlado por frecuencia y no por tensión mediante el potenciómetro P_1 .

En el esquema se puede ver como se saca la onda rectangular. Con el potenciómetro P_1 ajusto la relación marca-espacio de la onda rectangular.

GENERADOR DE RUIDOS

El ruido aleatorio es una interesante fuente de sonidos que se considera generalmente como buena aproximación al ruido blanco.

Los generadores de ruido blanco se aplican ampliamente como fuentes de señal de audio ó de control. Se usan como fuentes básicas para sintetizar e imitar sonidos de castañuelas, platillos, gongs, percusión, oleaje, viento, reactores, truenos, disparos, etc.

O sea una gama inagotable de sonidos que se caracterizan por no tener una frecuencia característica determinada y definida, ni tampoco un sentido musical propiamente dicho.

La característica que define al ruido es la de una frecuencia definida sino muchas a la vez. Por ejemplo en un radio receptor de FM sintonizado entre dos estaciones se oye un soplido intenso, este soplido es un ejemplo del ruido blanco. En este ejemplo antes visto todas las emisoras desintonizadas producen este tipo de ruido. Si miramos en un osciloscopio la forma de onda que tiene la señal de ruido blanco vemos que presenta constantes variaciones de frecuencia y de amplitud. El ruido blanco está formado por un número indefinido de señales simples cuyos niveles de energía correspondientes a cada una de estas frecuencias son iguales para un ancho de banda determinado.

En la práctica al que se refiere generalmente en la música tiene un ancho de banda determinado y por ello se le denomina ruido aleatorio, en el que las amplitudes parciales *solo* se pueden predecir para un instante determinado.

Cuando la energía de las diferentes frecuencias decae en amplitud a medida que la frecuencia aumenta entonces se le denomina a este ruido con el nombre de ruido rosa. Y si esta variación de nivel se dá solo en alguna zona del ancho de banda, entonces el ruido se denomina ruido gris.

La generación electrónica de ruido se basa casi toda en el ruido térmico que se produce en las resistencias y al que se le denomina ruido Johnson. La cantidad de ruido generado por las resistencias es directamente proporcional a su valor óhmico,

según la ecuación: $V_{n\text{eff}}^2 = 4 \cdot K \cdot T \cdot R_m \cdot B$; $1,374 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K} = K$

Siendo B el ancho de banda en la que se mide el ruido en hercios, Rm el valor óhmico de la resistencia que se está usando para ver el ruido que genera (en voltios),

K es la constante de Boltzman cuyo valor se mostró anteriormente.

Una resistencia de 10 megaohmios da unos 130 microvoltios eficaces de ruido térmico a una temperatura de $T = 300^{\circ}\text{K}$ y un ancho de banda $B = 10 \text{ Khz}$.

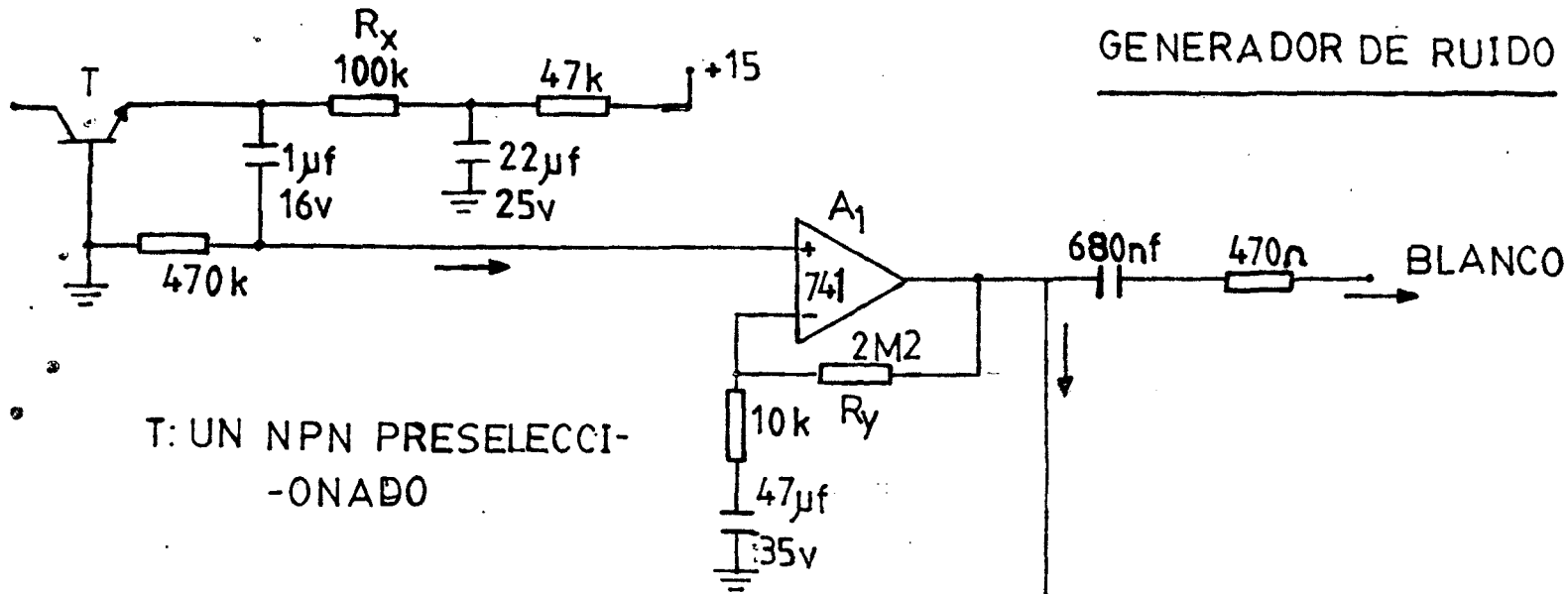
El generador de ruidos representa una fuente abundante y variada de señales y tensiones de control que se usan en la producción de ruido blanco ó no filtrado y ruidos coloreados ó filtrados, así como para realizar una modulación aleatoria de las señales del VCO.

El ruido generado, con ayuda del filtro VCF y del amplificador VCA da sonoridades y efectos sonoros de enorme interés. Las sonoridades sordas necesitan un espectro de ruido con una fuerte proporción de bajos. Mediante un filtrado por el VCF a la señal de salida del generador de ruidos acentúo los bajos fuertemente y del ruido blanco se obtiene el ruido coloreado (filtrado) que tiene una sonoridad sorda.

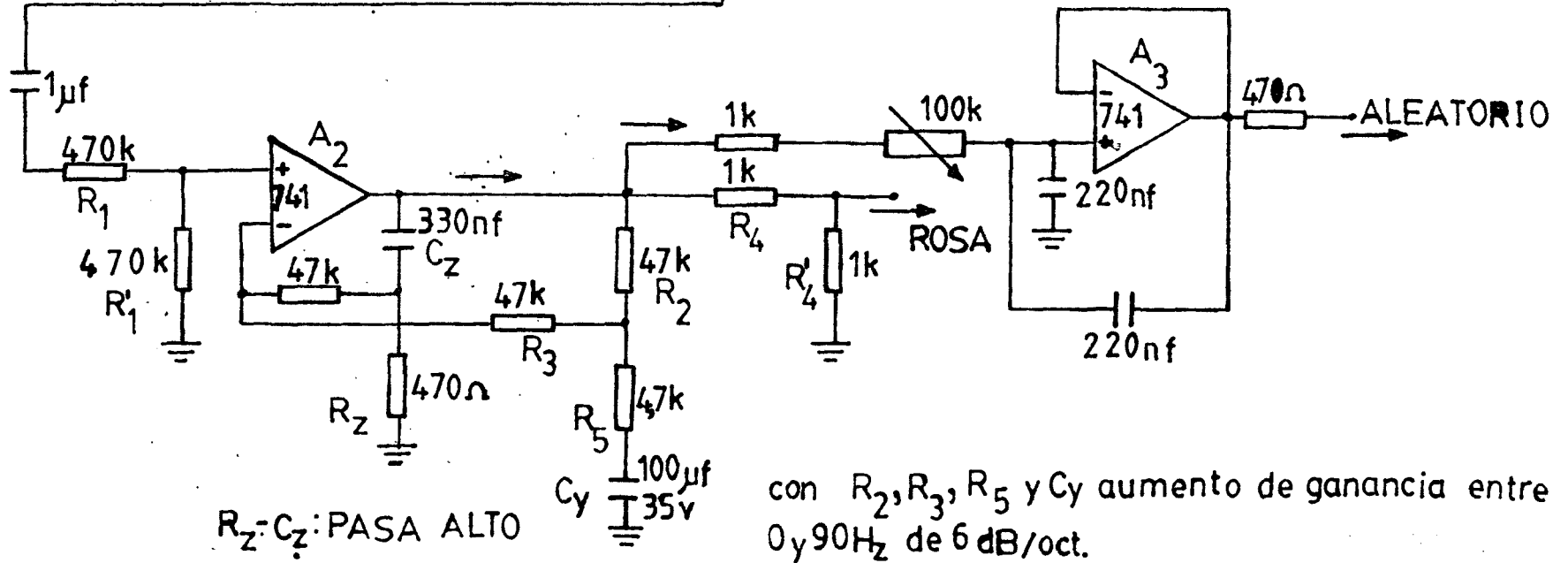
Si superpongo una componente de ruido en las señales del VCO obtengo sonidos que contienen una determinada proporción de ruido, como por ejemplo el silbido humano. En una flauta el aire que pasa por la boquilla tiene un factor de ruido determinado. Si utilizo un transistor NPN con su base polarizada en inverso se construye un generador para todos los tipos de ruido. El transistor genera una tensión de ruido que es amplificada posteriormente por un amplificador el cual eleva el nivel de tensión de ruido, que ha dado el transistor, a un nivel adecuado. Si este ruido lo llevo a un amplificador selectivo y a un filtro que me acentúe los bajos entonces tengo el ruido coloreado ó rosa a partir del ruido blanco. En el esquema de la hoja adjunta se muestra el circuito del generador de ruido blanco usando un transistor NPN. Todos los transistores de silicio con unión base-emisor en polarización inversa, dan una tensión de ruido entre 0,5 y 0,8 voltios. Si el transistor da una tensión mayor de la adecuada entonces cambiando el valor de la resistencia R_y puedo corregir ese valor de tensión de ruido dado por el transistor. En caso de que el transistor dé una tensión de ruido insuficiente, con cambiar (elevando) el valor de la resistencia R_x puedo corregir esta deficiencia.

En la figura de la hoja también se muestra el esquema del circuito para obtener el ruido rosa que es del mismo nivel que el blanco y si no lo es pues varío el valor de la resistencia R_1 y de este modo ambas clases de ruido tienen el mismo nivel de tensión. Los divisores de tensión $R_I - R'_I$ y $R_y - R'_y$ son para que las dos sa-

GENERADOR DE RUIDO



T: UN NPN PRESELECCIONADO



$R_Z = C_Z$: PASA ALTO

con R_2, R_3, R_5 y C_y aumento de ganancia entre 0 y 90Hz de 6 dB/oct.

lidas de ruido (blanco y rosa) sean aproximadamente del mismo nivel. El condensador C_z y la resistencia R_z forman un filtro paso alto en el circuito de realimentación de A_2 , entonces la ganancia disminuye en 6 dB / oct para frecuencias que están entre 0 y 1 KHz. El otro circuito de realimentación formado por el condensador C_y y las resistencias $\begin{cases} R_3 \\ R_2 \\ R_5 \end{cases}$ produce el aumento de ganancia en 6 dB / oct en las frecuencias comprendidas entre 0 y 90 hz . Ambos filtros como se ve se compensan en este intervalo de frecuencias y a partir de él la ganancia disminuye hasta hacerse igual a cero lo cual ocurre en la frecuencia de un kilohertzio y frecuencias superiores. O sea se acentúan los bajos (entre 0 y 90 hz) y las demás componentes se dejan como están.

Las frecuencias bajas acentuadas y las no acentuadas pasan sin atenuar por la entrada B que va hacia un filtro pasa bajo el cual solo deja pasar las más bajas de las frecuencias acentuadas y tenemos por tanto una tensión aleatoria de baja frecuencia y que va actuar sobre la frecuencia de corte del filtro.

ALIMENTACION

Una alimentación bien regulada es imprescindible para el buen funcionamiento de cualquier sintetizador, ya que la tensión de alimentación si tiene derivas puede cambiar el valor de la tensión de referencia en el comparador de tensión del VCO lo que equivale a un cambio de la frecuencia en la sintonía del mismo. También en el VCO (como corazón del sintetizador) los potenciómetros que me ajustan la sintonía fina y gruesa están conectados a ± 15 voltios y si ésta varía entonces también varía la sintonía. Otro factor que también variaría sería la corriente en el conversor exponencial que es un factor primordial en el VCO.

Primero se ha de escoger una configuración no regulada para después añadirle el sistema de estabilización que será en general un circuito integrado. El transformador de alimentación se escoge con el primario adaptado a los valores normalizados de las redes de alimentación de corriente alterna. Es conveniente por tanto trabajar con un transformador provisto de dos primarios ($115 + 115$) que conectados en serie me dan 230 voltios y en paralelo 125 voltios y además en fase. Un transformador así dispuesto da un rendimiento más elevado ya que utiliza casi todo el bobinado del primario. Los transformadores toroidales son más convenientes por que el campo magnético disperso es prácticamente igual a cero y con ello no introducen zumbidos ni vibraciones al carecer de entrehierros y chapas. Son compactos , planos y además presentan muy poca distorsión de onda, lo cual favorece la eficacia del filtrado y la regulación frente al rechazo del filtrado. El secundario del transformador debe entregar 1,5 ó 2 amperios de intensidad y este valor de corriente ha de ser igual como mínimo a la corriente máxima eficaz requerida en la alimentación estabilizada. En la rectificación uso dos diodos en vez de un puente de cuatro diodos y como solo hay caída de tensión en un diodo solo se pierde 1,4 voltios en vez de los 2,8 voltios que se perderían en el caso de usar un puente. Con esto tengo ya la rectificación para la fuente de alimentación bipolar de ± 15 voltios . El transformador tiene toma intermedia.

La tensión inversa de los diodos rectificadores debe ser como mínima el doble del valor de la tensión de pico (V_p). Estos diodos deben ser capaces de soportar la corriente de pico (I_p) que se produce a cada conexión de la fuente de alimentación a la red durante la cual el condensador C del filtro se halla totalmente descargado por lo que entonces circula por los diodos una corriente de pico (I_p) λ que está

limitada por la resistencia equivalente del bobinado del transformador:

$$I_p = V_{\text{eff}} / R_{\text{eq}}, \text{ siendo } R_{\text{eq}} = R \text{ del primario} / n_1^2 + R \text{ del secundario.}$$

la n_r es la relación de transformación y es $= n_1 / n_2$.

n_1 es el número de espiras del primario del transformador y n_2 el número de espiras del secundario. V_{eff} es la tensión eficaz del secundario.

Para calcular la capacidad C_f de filtrado y también para escoger los diodos se requiere conocer la tensión de pico V_p una vez rectificada.

En el peor caso la caída de tensión en los diodos es de 0,7 voltios en un transformador con toma intermedia: $V_p = 1,4 V_{\text{eff}} / 2 = 1,4$ voltios.

La carga en el C_f con una tensión V igual a la de pico V_p es:

$$q = C \cdot V_{C_f} = C \cdot V_p.$$

En 0,01 segundos la carga que debe suministrar el C_f es Δq y ésta es 0,01 veces la corriente máxima (I_{max}) que se precisa en la resistencia de carga R_L .

Esta Δq extraída del C_f no debe llevar la tensión V_{C_f} por debajo del mínimo requerido en la entrada del regulador para que su funcionamiento sea satisfactorio:

$$C \cdot V_p - \Delta q = C \cdot V_L \text{ de donde } C (V_p - V_L) = \Delta q = I_{\text{max}} / 100.$$

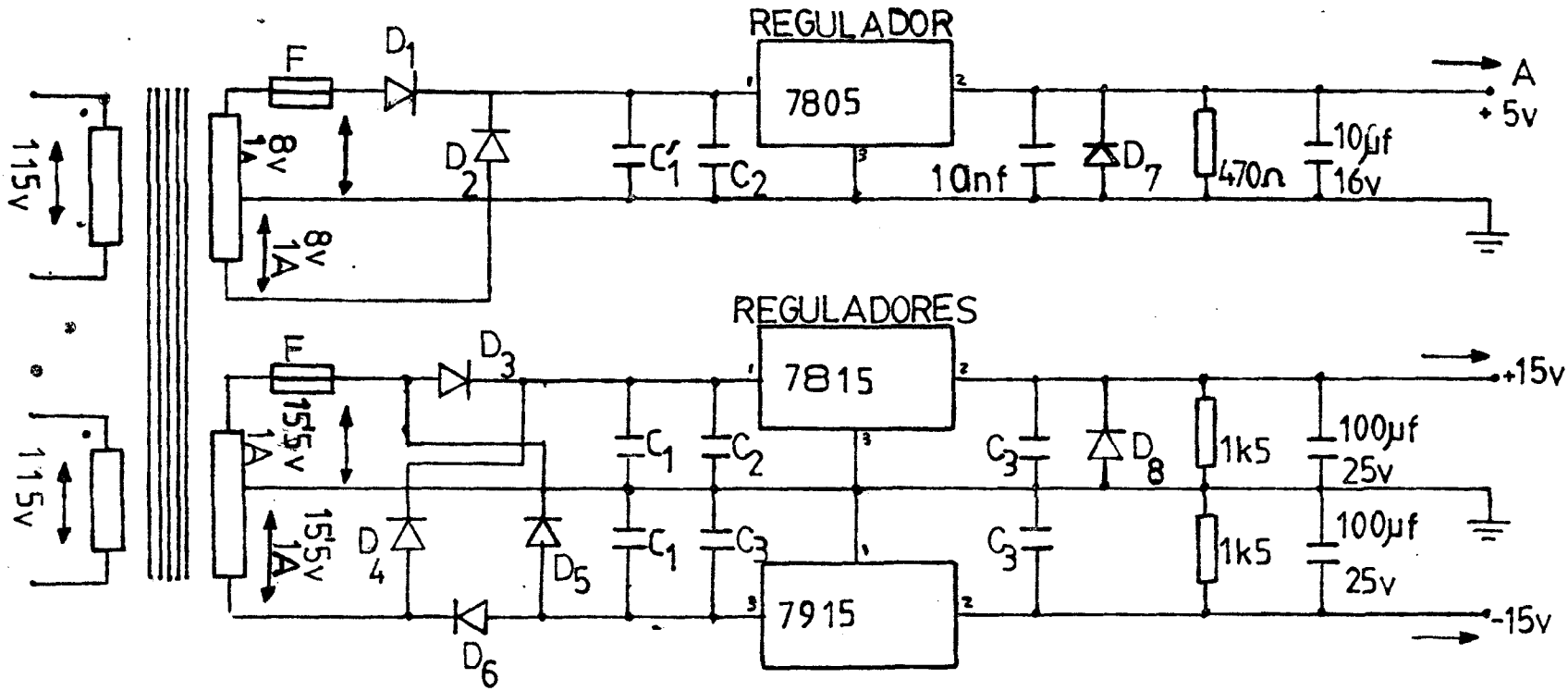
y de aquí : Capacidad mínima = $I_{\text{max}} / 100 \text{ hz} \cdot (V_p - V_L)$ con $V_L = V$ regulada.

Para la estabilización uso tres circuitos integrados reguladores que ofrecen unas características de seguridad de funcionamiento muy buenas. Estos reguladores poseen solo una entrada, una salida y una conexión a masa. Trabajan como elemento serie y la corriente de consumo en reposo es muy baja. La corriente máxima de salida es de un amperio y disponen de una resistencia térmica para la disipación que es de aproximadamente 100 C/W ó menos.

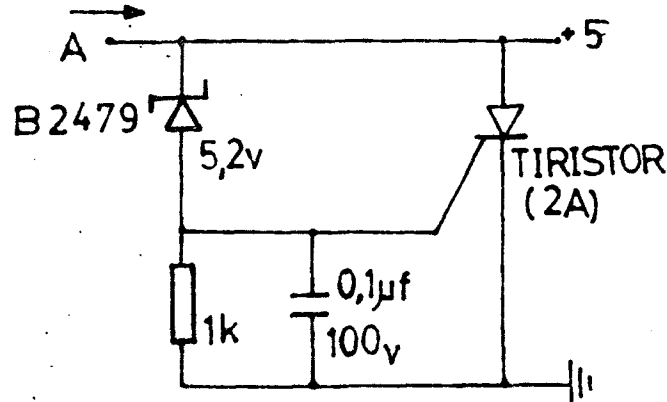
Están protegidos contra cortocircuitos permanentes ó accidentales a la salida y contra excesiva elevación de la temperatura. Se necesita algún pequeño condensador para eliminar los problemas de inestabilidad y deben estar conectados lo más cerca posible a la entrada, a la salida y a masa. Estos condensadores son de tantalio ya que presentan un factor de potencia más favorable para la supresión de inestabilidades de radiofrecuencia. El esquema del circuito de la fuente de alimentación regulada se muestra en la hoja adjunta.

En el regulador de +5 voltios se puede incluir un circuito "crowbar" para pro-

ALIMENTACION



CIRCUITO CROWBAR



$D_1 \dots D_8 = 1N5060$; F = FUSIBLES 2A

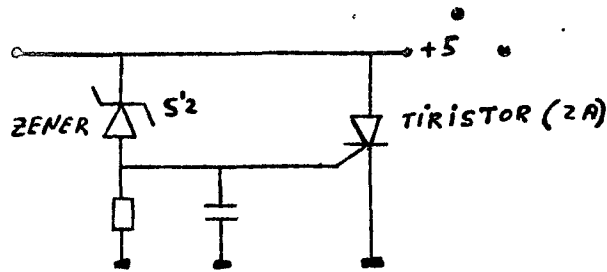
$C_1 = 4000 \mu f / 40v$; $C'_1 = 4000 \mu f / 16v$

$C_2 = 0.3 \mu f$ TANTALO

$C_3 = 1 \mu f$ TANTALO

protege el circuito alimentado a este regulador de una posible sobretensión.

Un circuito " crowbar " es:

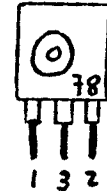


El tiristor es de dos amperios como mínimo y el diodo zener de 5,2 voltios.

Si se llega a tocar los + 15 voltios con los + 5 voltios entonces el diodo zener se hace conductor y se ceba el tiristor, el cual cortocircuita a masa la salida de los + 5 voltios. El regulador no es afectado ya que se bloquea hasta que no se subsane la anomalía.

Los reguladores son de encapsulado de plástico del tipo:

La serie 79 es un regulador negativo.



En las hojas adjuntas se muestra una etapa de control y ajuste de graves, medios y agudos,. También un filtro antiretumbos ó antiflop que es un filtro de 12 dB/oct cuya frecuencia de corte es = a 20hz y suprime los transitorios de baja frecuencia y a la vez modula la respuesta en graves del sistema. En el esquema de este filtro antiflop, si queremos elevar la frecuencia de corte lo que hago es reducir las resistencias R_A . El potenciómetro de ajuste P elimina toda sobrecarga en el operacional X cualquiera que sea el nivel de la señal.

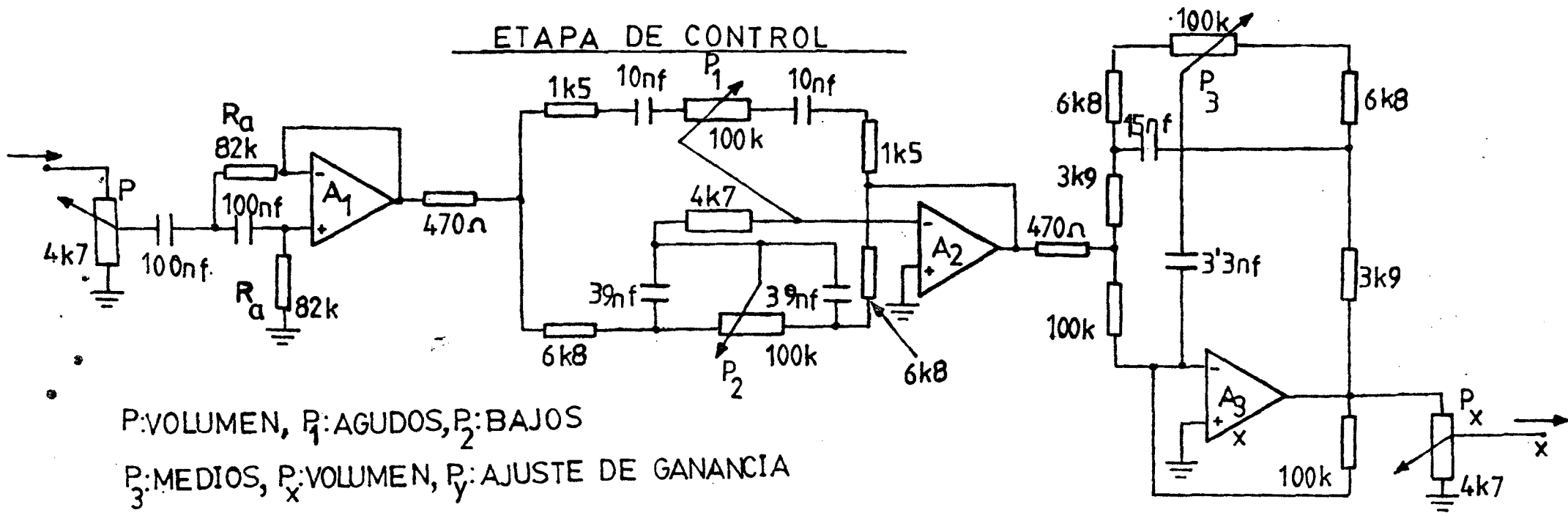
Para el ajuste de graves y agudos se usa un montaje típico de Baxandall. El potenciómetro P_2 ajusta los graves y el P_1 los agudos. El ajuste de medios es por separado y en su circuito correspondiente se ajusta por el potenciómetro P_3 .

Esta etapa de control está formada esencialmente por un preamplificador con ajuste de graves medios y bajos y agudos y hace posible la conexión de etapas finales de potencia.

Los potenciómetros P y P_x son uno doble. P_x al tiempo que eliminá toda sobrecarga A_3 cualquiera que sea el nivel de la señal, permite mantener una mejor relación señal/ruido con débil intensidad de volumen dado que el ruido que produce casi principalmente A_1 se atenúa al tiempo que la señal a medida que se disminuye el nivel del ajuste P_x .

La impedancia de salida de esta etapa es de aprox. 500 oh., lo que permite conectar unos auriculares de impedancia entre 600 y 2.000 oh. El amplificador operacio-

ETAPA DE CONTROL

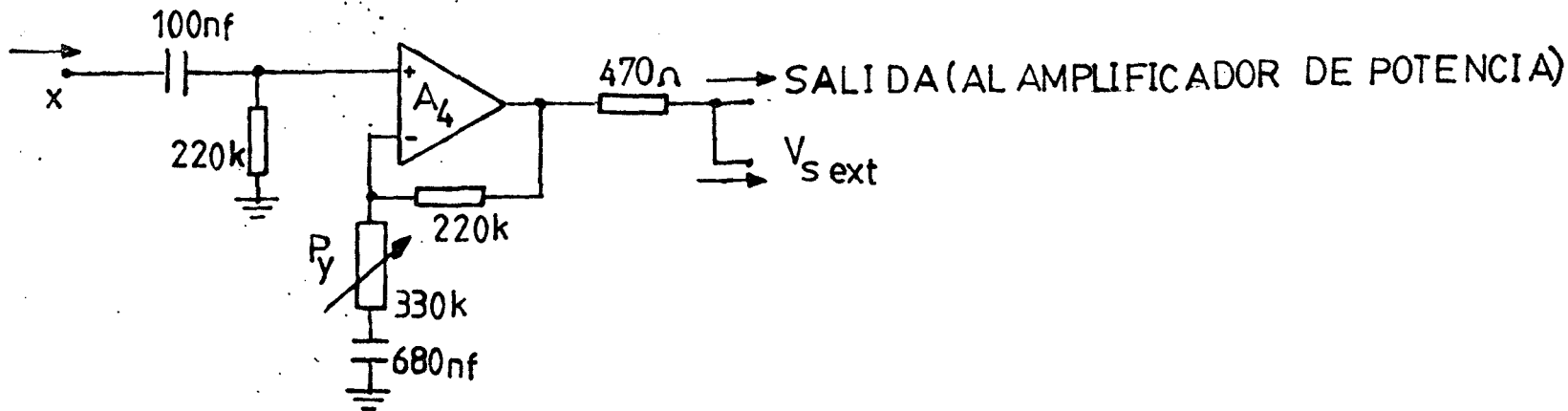


P: VOLUMEN, P₁: AGUDOS, P₂: BAJOS

P₃: MEDIOS, P_x: VOLUMEN, P_y: AJUSTE DE GANANCIA

SI R_a = 39k → F_c = 40Hz

A₁ = A₂ = A₃ = A₄ = 4136 DIL



nal A_I constituye un filtro anti-flop, que es igual en misión a la que hace el filtro anti-retumbos de una instalación Hi-Fi. Es un filtro de 12 dB/oct cuya frecuencia de corte es de 20 hz y suprime los transitorios de baja frecuencia (es un pasa-alto) y modula la respuesta en graves del sistema. Según el tipo de altavoces empleado se puede elevar la frecuencia límite a 40 hz, reduciendo las resistencias R_a a 39K.

REVERBERACION

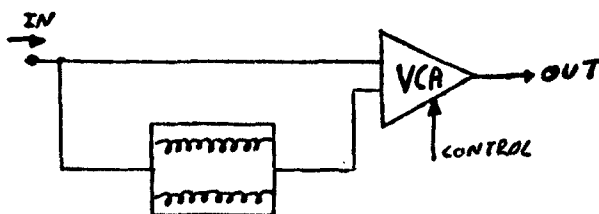
Es un elemento de procesamiento interesante ya que añade brillantez y corrige la falta de vida y realismo que padecen los sonidos sintetizados. Con varias de estas unidades tendremos diferentes grados de profundidad en reverberación. Las líneas más usadas para conseguir este efecto son de muelles, las cuales le dan el origen a reverberaciones largas (7 segundos ó más).

La señal que va a ser retardada se aplica a través de una célula RC que limita deliberadamente la respuesta en frecuencias inferiores con objeto de no inducir efectos desagradables en la reverberación. Las frecuencias bajas no producen buen efecto al ser reverberadas y tienden a producir resonancias en las líneas de muelles.

Las líneas de muelles son excitadas mediante un amplificador de potencia. La ganancia en bucle cerrado es aproximadamente la unidad, que minimiza el efecto de la distorsión de cruce provocada por la caída V_{be} del par de transistores de salida.

La señal retardada se escoge y mezcla junto con la señal directa en un operacional del tipo SN76131.

El circuito de este reverberador se muestra en las hojas adjuntas. El conmutador S anula el efecto reverberador. El potenciómetro P_2 me gradúa el efecto de reverberación ajustando su nivel. El potenciómetro P_1 me ajusta el nivel de señal directa. El amplificador operacional A y sus complementos asociados forman un amplificador controlado por tensión (VCA) que me permite controlar la salida de señal reverberada. La gama dinámica de este VCA es de 40 dB aproximadamente para una tensión de control de cero a cinco voltios:



La reverberación acústica es la presencia de una serie de ecos seguidos unos de otros, producidos cuando la fuente sonora cesa súbitamente su emisión en una estancia o salón grande. Es la suma de todas las reflexiones a las que se ve sometido un sonido y llegan al elemento receptor en distintos tiempos, es decir, con diferentes retardos.

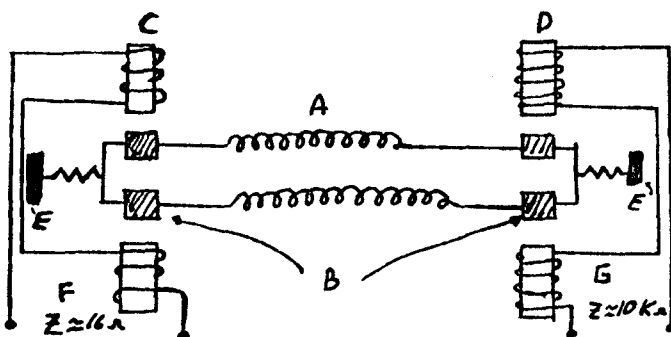
El tiempo de reverberación depende de la frecuencia, de las dimensiones de la habitación y de la amortiguación acústica de los distintos componentes de la habitación.

La reverberación artificial tiene como principal misión conseguir la falta de realismo.

mo que carecen los sonidos electrónicos. A este sonido lo paso por un unidad de reverberación que simula las características acústicas de la producción sonora de las grandes salas cerradas.

Las líneas de muelles y la lámina metálica son los dispositivos que más se usan. Las vibraciones en la línea de muelles están sometidas a una serie de reflexiones alternativas hasta que su total extinción, lo cual simula perfectamente el efecto natural de atenuación del efecto reverante.

La señal reverberada se aplica mediante un amplificador electromagnético (parecido a la bobina móvil de un altavoz) que es un imán cerámico con libertad de movimiento perpendicularmente a la bobina de excitación. Este imán está fijado a dos muelles de distinta longitud que están sometidos a una vibración rotacional cuando se energiza el transductor de excitación. Otro transductor similar se halla en el otro extremo opusto de los muelles y su misión es la de convertir de nuevo las vibraciones mecánicas, transportadas mediante las líneas de muelles, en fuerza electromotriz inducida. A continuación muestro un esquema de esto:



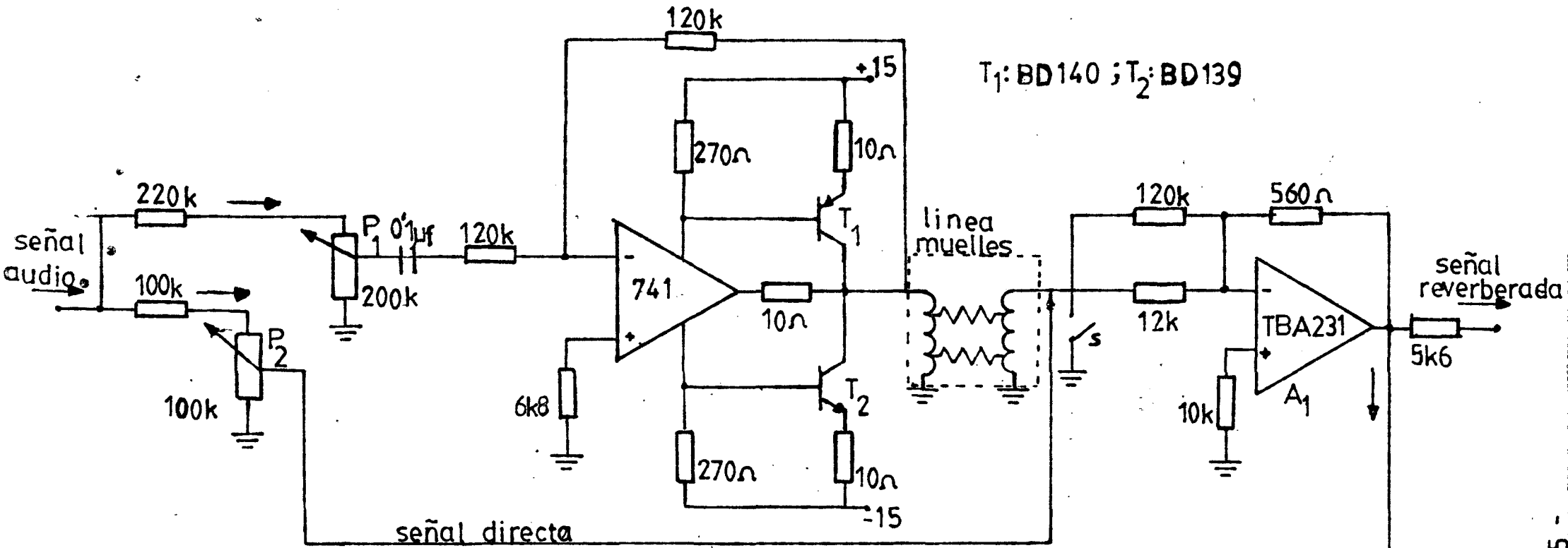
Donde A es la línea de muelles, B el imán cerámico, C el transductor de excitación, D es el transductor de captación, E es el anclaje mecánico y F es junto con G los bobinados de excitación (impedancia aproximadamente = 16 ohmios) y captación (impedancia aproximada de 10 kilo ohmios).

Debido a la mala respuesta de frecuencia, los reverberadores de muelles añaden porcentajes apreciables de coloración al sonido que se procesa a través de ellos.

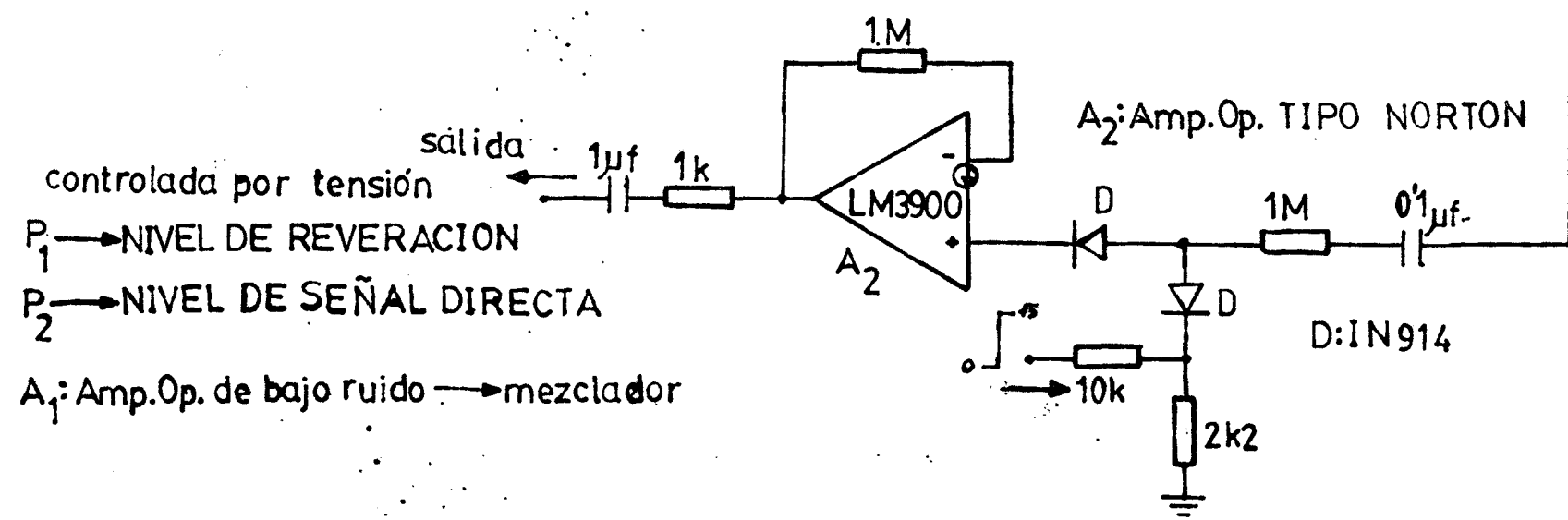
Las frecuencias muy bajas producen efectos desagradables al ser reverberadas. Las pérdidas en la transducción suelen hacerse importantes a lo 2-4 khz y por ello conviene limitar la banda pasante del amplificador de excitación del muelle.

Para minorar las resonancias se suelen conectar diferentes líneas de retardo conectadas en paralelo y de tiempos de retardo distintos, cada una con su excitación independiente y sus salidas mezcladas a partes iguales, obteniéndose bellas ondula-

REVERBERACION



T₁: BD140 ; T₂: BD139



controlada por tensión
 P₁ → NIVEL DE REVERACION
 P₂ → NIVEL DE SEÑAL DIRECTA
 A₁: Amp.Op. de bajo ruido → mezclador

A₂: Amp.Op. TIPO NORTON

D: IN914

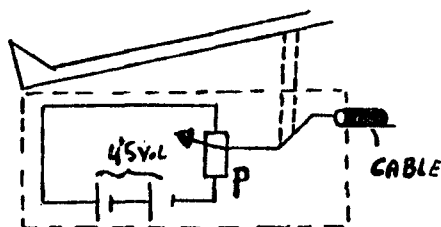
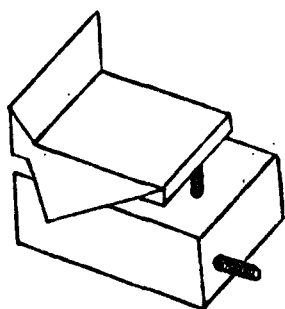
ciones en el sonido al ser mezcladas señales cuya relación de fase cambian constantemente entre sí debido a las múltiples reflexiones que se producen hasta su extinción final y total.

EFEECTO DE UAUU CONTROLADO POR PEDAL

El filtro controlado por tensión VCF puede generar el efecto UAUU por medio de controlar su frecuencia de corte con una tensión proveniente de un pedal que se se conecta a la entrada de tensión exterior que posee el VCF.

Con un generador de envolvente ADSR no se puede conseguir este efecto con una claridad suficiente y por ello se usa el pedal de tensión que se toca con el pie por medio del usuario y además permite controlar la frecuencia de corte del VCF de una forma rápida y ágil.

El pedal se muestra en la figura y es capaz de generar una tensión de control variable que va desde cero voltios a cinco voltios positivos:



La pila E es de 4,5 voltios y el potenciómetro P es de 10 khs. El cable que sale de la caja va conectado mediante un jack a la entrada TM del filtro VCF. Para que el VCF responda a este control por pedal el conmutador de entrada que se encuentra en el sumador de tensiones de entrada del VCF, ha de estar en la posición de control por tensión exterior y no en la posición de control por Vc (tensión proveniente del teclado).

Ajustando el potenciómetro que me ajusta las octavas en el sumador de entrada del VCF hasta conseguir un sonido oscuro parecido a la U. Durante esta operación de sintonía del VCF a la frecuencia de la U del efecto UAUU, el pedal se mantiene en reposo y luego apretando el pedal hasta el fondo y ajustando el potenciómetro de la entrada TM del VCF, ajusto el grado de apertura para conseguir el A del UAUU. El filtro VCF ha de estar actuando en el modo de pasa banda.

El punto de partida se ajusta con potenciómetros de octavas del VCF y el campo de oscilación lo ajusto por el potenciómetro de la entrada TM (el Q del VCF ha de estar entre el 50 y 100%).

La característica del UAUU se puede modificar si se modifica el factor Q y se selecciona en el VCF el modo pasa bajo.

MODULADORES DE FASE

Este circuito es el que me produce el efecto de "phasing" u orquesta (sonoridad orquestal). Es el producto de la mezcla hecha a iguales amplitudes de una señal y una versión de la misma pero retardada. Esto lleva consigo que se produzca una serie de cancelaciones en determinadas zonas de la respuesta en frecuencia de dicho producto de señales, dependiendo estas cancelaciones de las relaciones de fase entre las distintas componentes de frecuencia que adoptan ambas señales (la directa y la desfasada).

La atenuación de frecuencia en los que el desfasaje es cero es nula y se consideran zonas de refuerzo. En las que existe cierto desfasaje o desfasaje total (180°) lo que ocurre es que se atenúan ó anulan totalmente.

Este desfasaje de la señal se obtiene generalmente con una serie de filtros pasa todo conectados en cascada. Estos filtros pasa todo tienen una característica de frecuencia plana, pero la característica de desplazamiento de fase es dependiente de la frecuencia que se les aplica, así como de las componentes R y C de que se compone el filtro. En la hoja adjunta se muestra el esquema del circuito de esta unidad que da el efecto de "phasing".

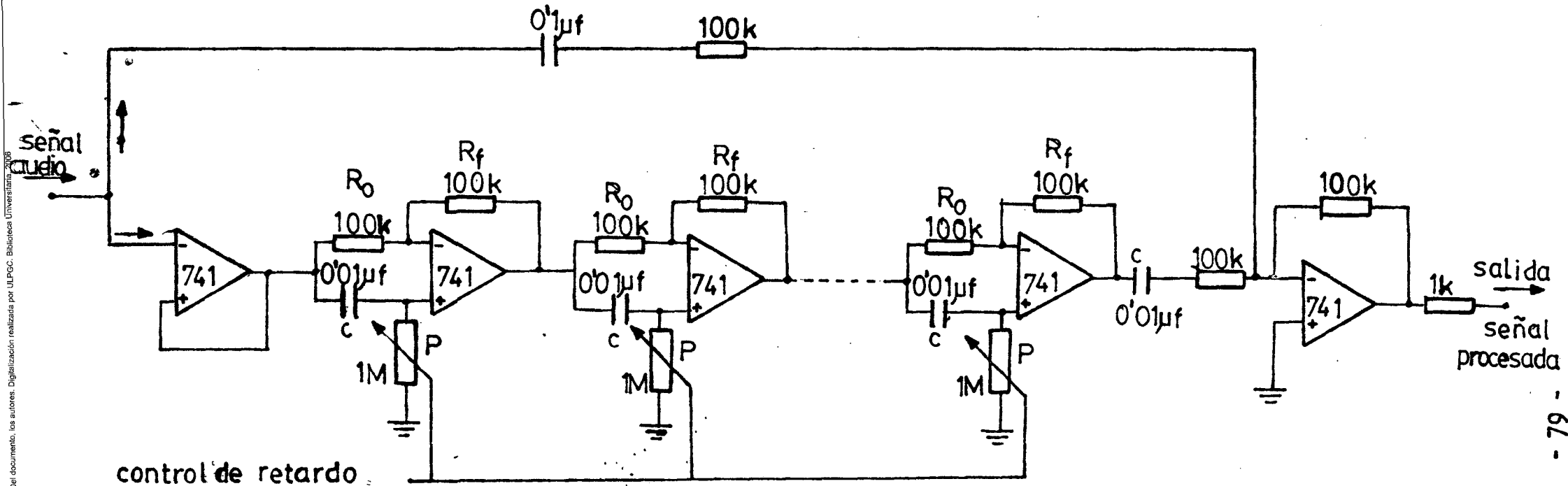
Los potenciómetros P son los que gradúan el control del retardo. La señal que entra al circuito es una señal de audio. Si el potenciómetro P está en su posición mínima (cero ohmios) entonces la entrada no inversora (+) del operacional correspondiente se halla conectada a masa y el operacional actúa como un inversor y si la relación de resistencias R_f / R_o es igual a la unidad entonces la inversión es de 180° .

Si P está en su posición máxima (1 megaohmio) entonces la señal alterna a la salida del buffer separador es la misma que existe a la entrada positiva del operacional puesto que está acoplada solo por el condensador C.

Como no hay tensión sobre la resistencia R_o entonces no hay corriente por la resistencia R_f y por lo tanto la señal de salida se realimenta totalmente a la entrada inversora (+) del buffer de entrada. La relación de fase entre la señal de salida y la entrada es de cero grados.

Variando la resistencia de los potenciómetros P, la variación total de fase obtenible con una sola célula de este tipo va desde 0° a 180° . La amplitud de salida es constante ya que la respuesta de frecuencia es plana y además la amplitud es

MODULADORES DE FASE (EFECTO ORQUESTAL)

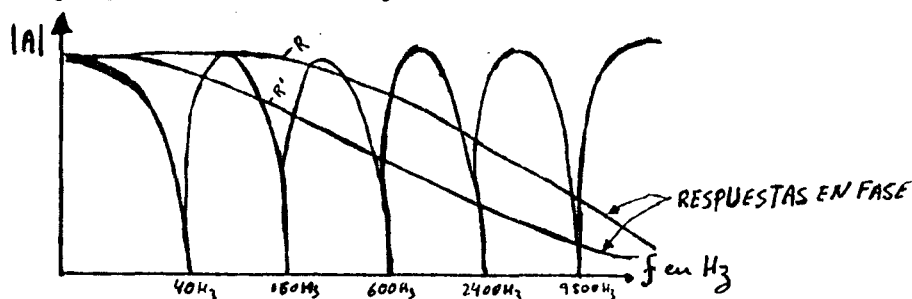


independiente del desfase introducido. El desfase sí depende de la frecuencia y es distinto para todas las frecuencias ya que interviene la red RC la cual determina el desplazamiento de fase.

Para un valor del Potenciómetro P elevado las altas frecuencias sufren un desfase de 180° .

La señal de entrada como se ve en el esquema se divide en dos caminos. Uno va al mezclador de señal directa y desfasada y el otro ataca a un adaptador de impedancias ó buffer que a su vez introduce la señal en la red de filtros pasa todo.

El desfase total con varias células en cascada de este tipo es acumulativo y el número de hendiduras ó cancelaciones en la respuesta del "phasing" está directamente relacionado con el número de filtros pasa todo el cual deberá ser siempre un número par. Si hay 10 filtros pasa todo entonces habrá un total de cinco hendiduras que dependerán del valor de los potenciómetros. En el dibujo de abajo se muestra este ejemplo en el que hayan 10 filtros:



$R=10 \text{ Khs}$ y $C= 0,01 \text{ microF}$.

$R'=100 \text{ Khs}$ y $C= 0,01 \text{ microF}$.

En una señal retardada por un intervalo T el ángulo de fase con respecto a la original es: $\theta = 2\pi f.T$, siendo T el retardo en segundos, f la frecuencia de la señal y θ el ángulo de fase. Si el retardo es de 1 milisegundo entonces la frecuencia a la que se produce es: $F = 1 / 2T = 1 / 2 \cdot 10^{-3} = 500\text{hz}$.

Si el retardo es constante en función de la frecuencia entonces este efecto se denomina "flanger".

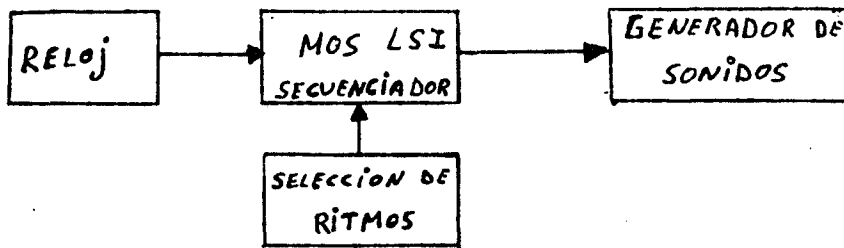
CAJA DE RITMOS (BATERIA ELECTRONICA)

Es el equivalente en la música electrónica del músico batería en un grupo musical. Es un sistema electrónico mitad analógico y mitad digital, que produce secuencias de sonidos de instrumentos de percusión tales como el bombo, la caja, el clave, la conga, las escobillas,...etc. Estos instrumentos de percusión son los correspondientes a una serie de ritmos previamente establecidos.

La estructura básica general de una caja de ritmos es:

- a) Un generador de secuencias de impulsos
- b) Un generador de sonidos con el que se imitan los instrumentos de percusión.

El generador de sonidos está constituido por un grupo de osciladores que solo oscilan cuando reciben un impulso. El generador de secuencias no es más que un secuenciador digital que es atacado por un oscilador de reloj, al variar la frecuencia del reloj entonces regulo la velocidad del ritmo. En la figura de abajo muestro el sistema de bloques:



En la actualidad las cajas de ritmo se diseñan con generadores de ritmo en circuitos integrados a larga escala (LSI).

El circuito integrado CI LSI 252 es un generador de ritmos. La selección del ritmo la hace por medio de puertas lógicas del tipo NAND y NOR. El secuenciador de impulsos está formado por el circuito integrado LSI M252. En la hoja adjunta se muestra un Seleccionador de ritmos del circuito M252 realizado con una matriz formada por puertas Nand y Nor.

La secuencia o mejor dicho las combinaciones binarias de los ritmos sería:

Ritmos	Patillas de M252: 2	I	I5	I6
Vals	I	I	I	0
Jazz Vals	I	I	0	I
Tango	I	I	0	0
Marcha	I	0	I	I
Swing	I	0	I	0
Foxtrot	I	0	0	I
Slow Rock	I	0	0	0
Pop Rock	0	I	I	I

Ritmos	patillas de M252 : 2 I I5 I6			
Shuffle	0	I	I	0
Mambo	0	I	0	I
Beguine	0	I	0	0
Cha-cha-cha	0	0	I	I
Bajon	0	0	I	0
Samba	0	0	0	I
Bossa Nova	0	0	0	0

Los terminales A, B y C que se muestran en el esquema del circuito, los llevo a un circuito lógico que me detecta las combinaciones binarias del 0000 al 0101 de la entrada de selección del M252. En estas combinaciones (0,0,0,0) y (0,1,0,1) que pertenecen a los ritmos de Mambo y Bossa Nova debe anularse el sonido del oscilador de clave. Ambos osciladores (caja y clave) son atacados por la misma salida del M252. Este circuito detector también se muestra en la hoja adjunta. Los transistores T_1 y T_2 hacen que sólo lleguen los impulsos del secuenciador al oscilador correspondiente en función del ritmo seleccionado.

También se muestra el circuito de reloj variable y está realizado por puertas del tipo COS/MOS. La salida del circuito de reloj va a la entrada número 8 del M252. Con el potenciómetro P se gradúa el tiempo de oscilación del reloj y con el conmutador S se pone en stop el reloj.

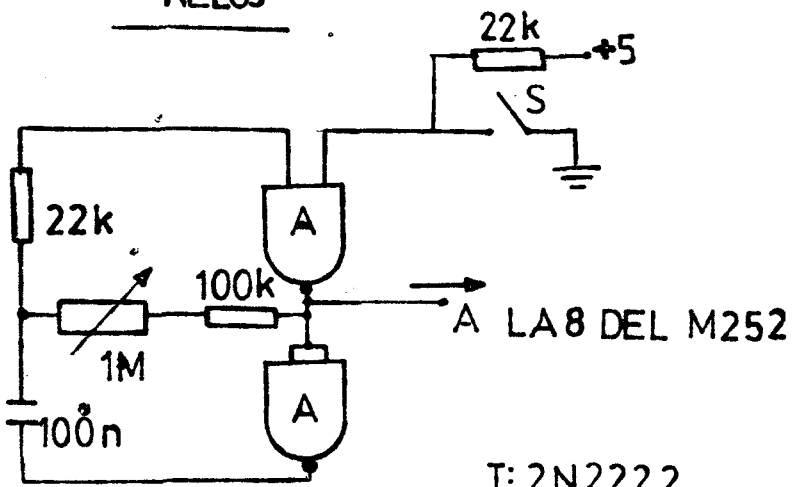
El M252 posee un reset externo que se activa con un "1" lógico que permite la puesta en marcha del ritmo partiendo del primer compás. Esta entrada es a la vez salida del impulso indicador de compás. Para aislar la entrada del reset respecto a la salida del impulso indicador, utilizo un monoestable. El led indicador solo se activa con los impulsos y no le afectará la tensión continua del reset. El circuito del monoestable también se indica en la hoja. Su salida va a la entrada 7 del M252.

Las salidas 6, 15, 4, 3, 14, 13, 12, 11 son respectivamente los sonidos de Conga, escobilla 1, escobilla 2, maracas, bongo 2, Bongo 1, clave/caja, Bombo. Estas salidas se activan a los correspondientes osciladores del Generador de sonidos según sea el ritmo sea el ritmo seleccionado.

El generador de sonidos de una caja de ritmos completa con osciladores COS/MOS sería: Un oscilador en doble T usado como oscilador cuya figura del esquema se muestra en la hoja adjunta.

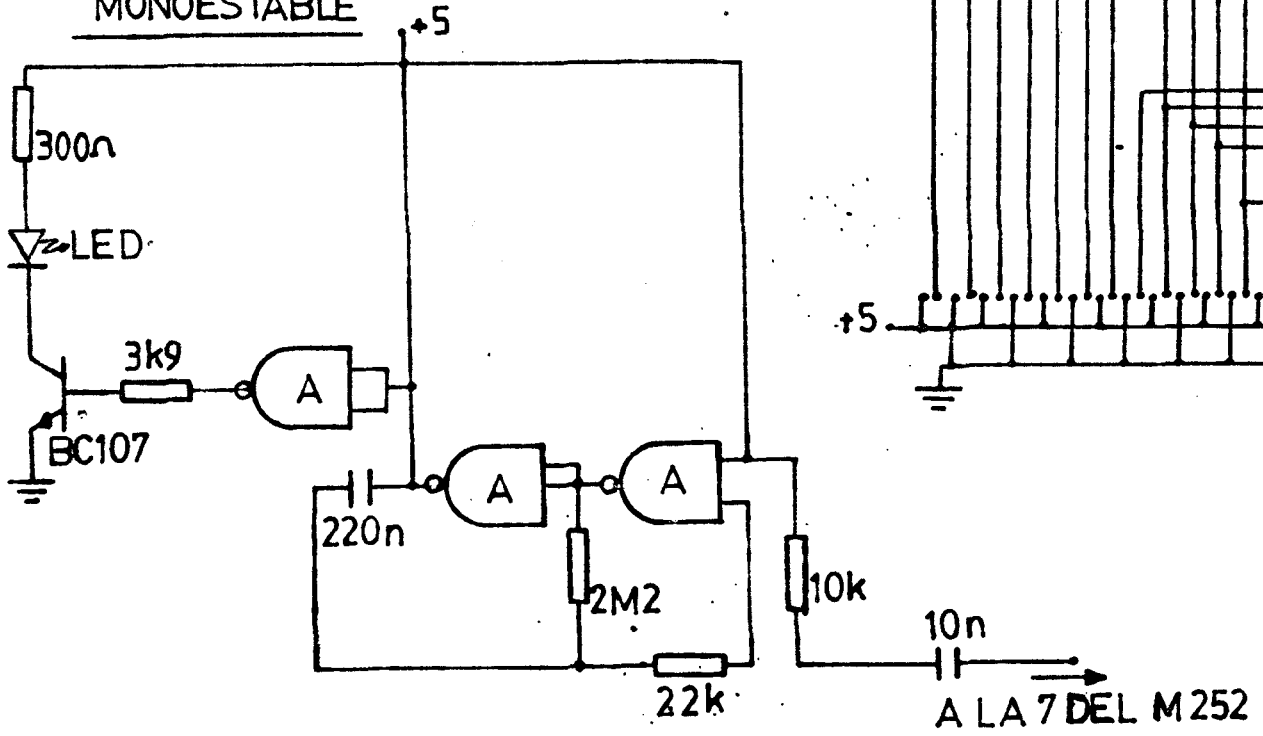
El generador de sonidos está formado por un grupo de osciladores de este tipo.

RELOJ

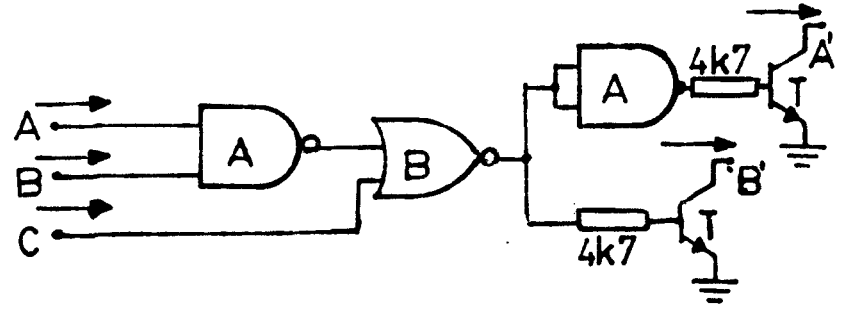
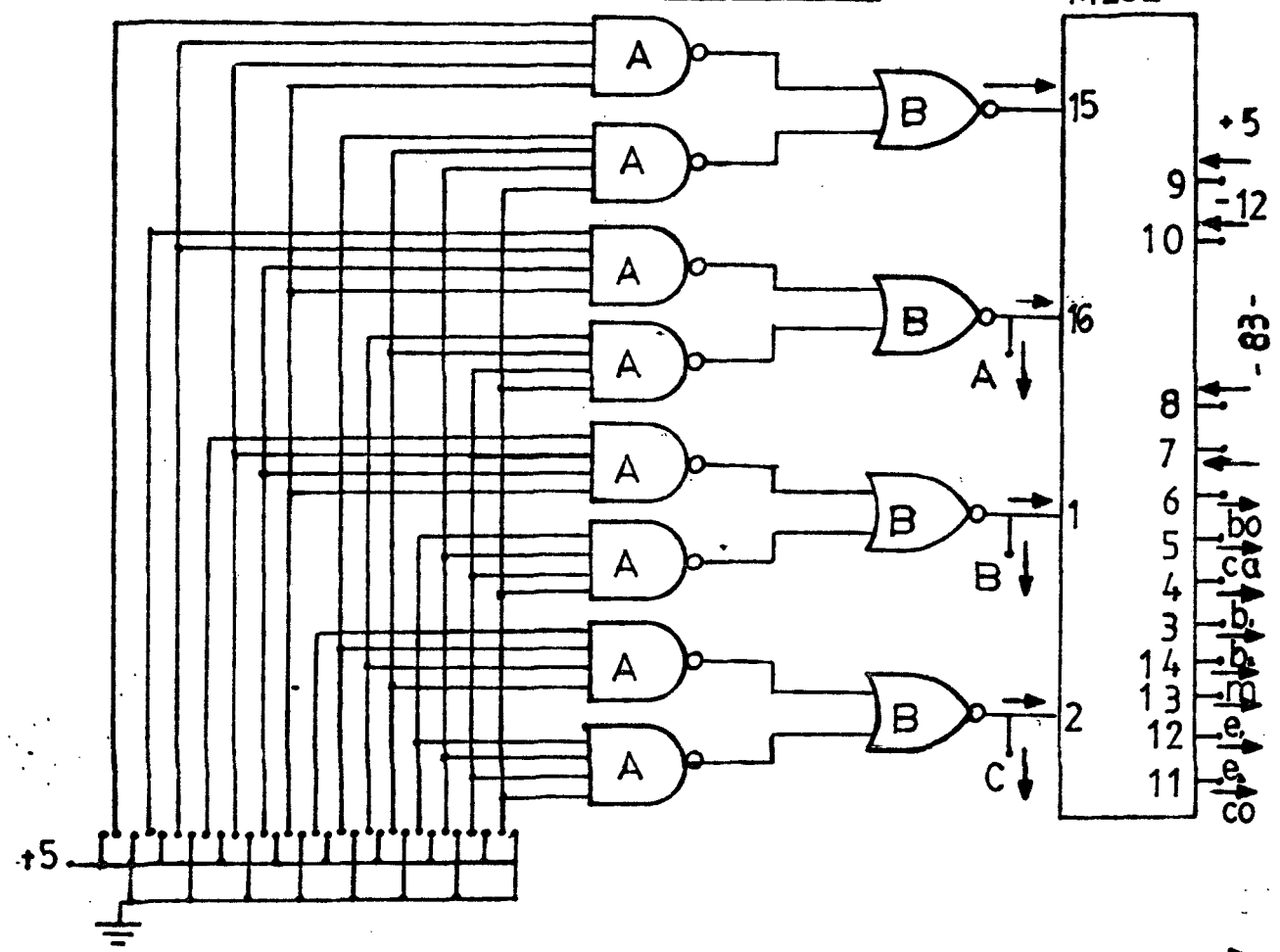


T: 2N2222
 A: SN7400(4)
 B: SN7402(2)

MONOESTABLE



SECUENCIADOR



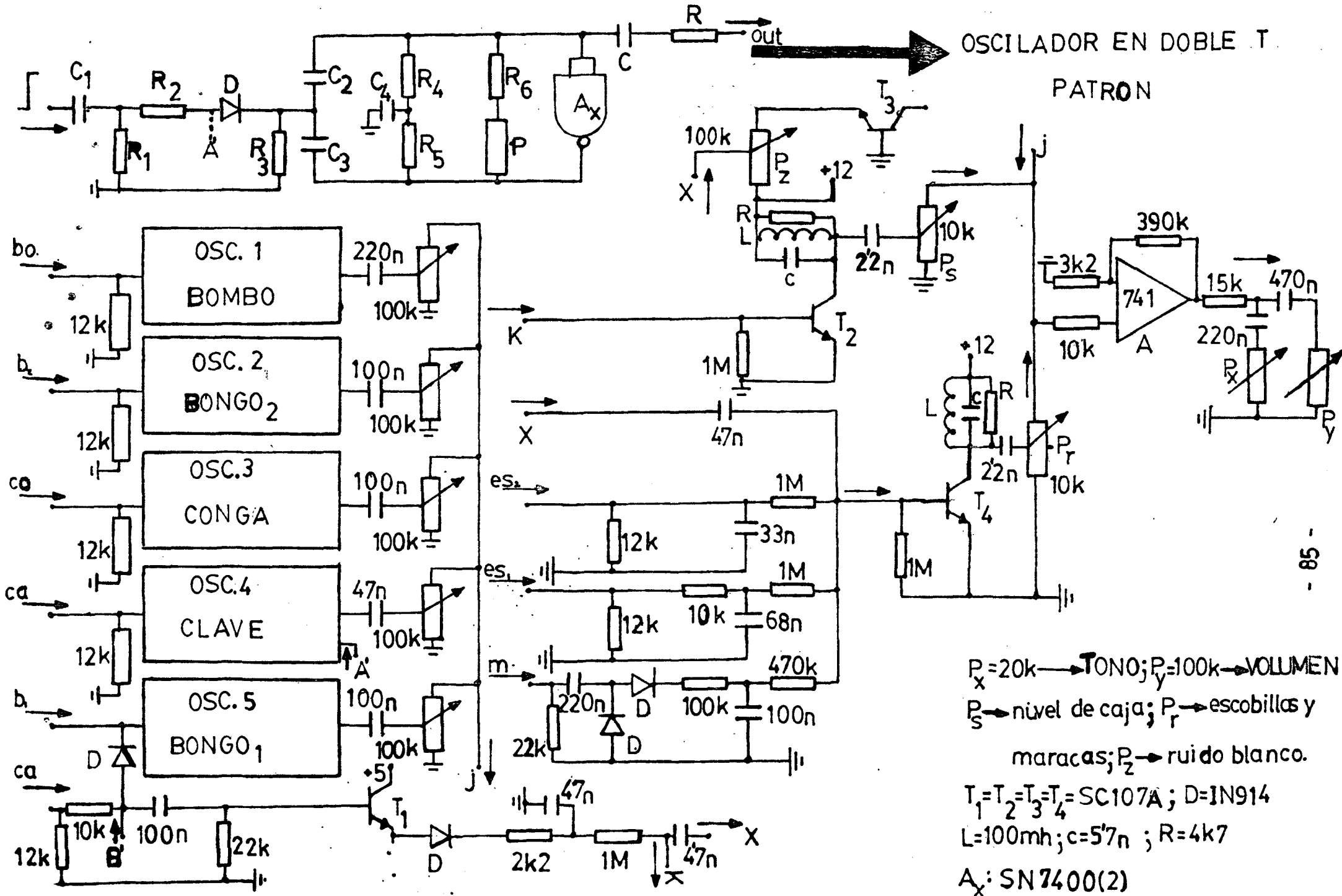
Este grupo de osciladores en doble T (que usan una puerta COS/MOS como elemento activo) oscilan cuando les llega un impulso . Este impulso les llega procedente del secuenciador de la caja de ritmos, el cual da a su salida el tipo de ritmo que se quiere obtener. Las distintas salidas del secuenciador actúan sobre sus correspondientes osciladores (del tipo doble T) los cuales le dan al sonido el ritmo seleccionado.

El **esquema** del circuito del banco de osciladores del generador de sonidos se halla en las hojas adjuntas. En el esquema, los potenciómetros del P_I al P_{IO} se ajustan los niveles de los ritmos del Bombo, Bongo 2, Conga, Clave, Bongo I, Caja, Escobillas y Maracas, Ruido blanco, Tono y volumen en general. El generador de ruidos está constituido por un transistor polarizado en inverso y con este generador de ruidos imita el sonido de las escobillas, maracas, platillos,..etc, según sea la frecuencia del filtro.

El grupo de osciladores (5 en total) están formados por distintos valores de R y C cada uno de los cuales tiene los valores específicos de los sonidos que van a imitar. Igualmente ocurre con los osciladores de escobillas y maracas.

Las salidas A y B de los osciladores de clave y caja están conectados a la misma patilla de salida del secuenciador. De esta manera se logra que suene la caja ó la clave en función del ritmo seleccionado.

El amplificador operacional A actúa como amplificador sumador (mezclador de señales) para los potenciómetros de nivel. La señal de salida entonces tendrá un nivel suficientemente alto como para atacar a un amplificador de potencia. El amplificador y los altavoces que se usen deben de tener una buena respuesta para las altas frecuencias, ya que los sonidos de maracas, escobillas... están compuestos por tonos agudos fundamentalmente.



El esquema del oscilador en doble T patrón que se usa para los distintos bloques osciladores, correspondientes a cada uno de los sonidos que deseo obtener, posee unos valores de resistencias y condensadores determinados para cada tipo de oscilador:

A continuación doy una relación de valores de las resistencias y condensadores para cada bloque oscilador en doble T para obtener dicho sonido:

Oscilador 1 (Bombo): $R_1=47K$; $R_2=27K$; $R_3=10K$; $R_4=R_5=68K$;
 $R_6=150K$; $P=500K$; $C_1=150n$; $C_2=47n$;
 $C_3=10n$; $C_5=55n$

Oscilador 2 (BONGO 2); Igual al 1 excepto $C_1=56n$; $C_2=12n$;
 $C_3=12n$; $C_4=59n$

Oscilador 3 (CONGA); Igual al 1 excepto $C_1=56n$; $C_2=18n$; $C_3=18n$
 $C_4=56n$

Oscilador 4 (Clave); Igual al 1 excepto $C_1=22n$; $C_2=1,5n$; $C_3=1,5n$
 $C_4=4,7n$

Oscilador 5 (BONGO I); Igual al 1 excepto $C_1=33n$; $C_2=10n$; $C_3=10n$
 $C_4=33n$

BIBLIOGRAFIA

G. JUNG ,WALTER : IC OP-AMP COOKBOOK. COPYRIGHT 1980 BY HOWARD
W. SAMS AND Co., Inc.

GARCIA LOPEZ, W. y GUTIERREZ IGLESIAS, J.L. : AMPLIFICADORES OPE-
RACIONALES/ 1981 PARANINFO.

OWNER'S MANUAL, ODISSEY. ARP INSTRUMENTS, Inc. 1979.

DATA ACQUISITION HANDBOOK. NATIONAL SEMICONDUCTOR/ 1979.

SPECIALS FUNCTIONS. NATIONAL SEMICONDUCTOR. 1979.

CHAPMAN, C. : FORMANT SINTETIZADOR MUSICAL. 1980 INGELEX, S.A.

CIRCUITOS ELECTRONICOS DIGITALES I, TOMO III. E.T.S. INGENIEROS
SUP. TELECOMUNICACION . MADRID. 1979.

BERMUDEZ COSTA, JUAN : NUEVA GENERACION DE INSTRUMENTOS MUSICALES
ELECTRONICOS/ 1977 MARCOMBO BOIXAREU.

VOLTAGE REGULATOR. NATIONAL SEMICONDUCTOR. 1979.

CMOS DATA BOOK. FAIRCHILD, Inc. 1977.

HERMOSA DONATO, ANTONIO : ESTRUCTURA Y CIRCUITERIA DEL ORGANO ELEC-
TRONICO. MUNDO ELECTRONICO Nº85. 1979.

DISCRETE DATA BOOK. NATIONAL SEMINCONDUCTOR. 1979.

ORR, TIM : MUSIC SINTETIZER. EMS (ELECTRIC MUSIC STUDIOS).