



#### ABSTRACT

*This report describes electronic circuits to be used in FM SCPC earth stations in order to limit the audio signal frequency band, limit the maximum carrier frequency deviation, control activation and deactivation of the carrier, suppress echoes and improve the signal-to-noise ratio obtained at the receiving end. The circuits were designed and are being developed in the laboratory for prototypes of small, low-capacity earth stations.*



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	v
1 - <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2 - <u>DESCRIÇÃO DOS CIRCUITOS</u> .....	2
2.1 - Circuito para processamento do sinal de voz .....	2
2.1.1 - Transmissão .....	2
2.1.2 - Recepção .....	9
2.2 - Circuito para ativação de portadora e supressão de eco ....	12
2.2.1 - Comparador de níveis .....	13
2.2.2 - Detetor de voz .....	17
2.2.3 - Blocos de "hangover" .....	19
2.2.4 - Bloco de inserção de perda .....	21
3 - <u>COMENTÁRIOS</u> .....	22
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	27



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Diagrama de blocos para processamento do sinal de voz .....	2
2 - Característica de transferência do compressor .....	3
3 - Circuito compressor .....	3
4 - Rede de pré-ênfase .....	5
5 - Limitador .....	7
6 - Filtro passa-faixa .....	8
7 - Amplificador .....	9
8 - Rede de deênfase .....	10
9 - Compressor .....	11
10 - Diagrama de blocos para ativação de portadora e supressão de eco .....	12
11 - Diagrama de blocos do comparador de níveis .....	13
12 - Amplificador diferencial do comparador de níveis .....	14
13 - Filtro passa-faixa do comparador de níveis .....	15
14 - Retificador de onda completa .....	16
15 - Filtro passa-baixas do comparador de níveis .....	17
16 - Comparador .....	17
17 - Diagrama de blocos do detetor de voz .....	18
18 - Amplificador de ganho selecionável .....	18
19 - Comparador .....	19
20 - Circuito dos blocos de "hangover" .....	20
21 - Esquema do circuito de inserção de perda .....	21
22 - Circuito de inserção de perda .....	22
23 - Circuito completo para processamento do nível de voz .....	23
24 - Circuito completo para ativação de portadora e supressão de eco .....	24



## 1 - INTRODUÇÃO

Em sistemas de comunicação de voz por satélites um dos principais objetivos é obter uma alta relação sinal/ruído final com o mínimo consumo de potência. Com esta finalidade, foi desenvolvido um conjunnto de circuitos para processamento analógico de sinal de áudio dentro de um sistema FM SCPC (canal único por portadora), do qual fazem parte: compressor, rede de pré-ênfase, limitador e filtro, na transmissão; e filtro, amplificador, rede de deênfase e expensor, na recepção. A taxa de compressão empregada é 2:1 em dB, atenuando sinais acima de 0 dBm e amplificando sinais abaixo deste valor, do que resulta melhora da relação sinal/ruído para níveis muito baixos de sinal e melhora do problema de diafonia nos circuitos (Campanella et alii, 1977). A rede de pré-ênfase é um filtro passa-altas simples, com 6 dB por oitava, e também tem a finalidade de melhorar a relação sinal/ruído final. O limitador evita que o desvio de frequência da portadora FM ultrapasse o máximo permitido. O filtro passa-faixa restringe o sinal de áudio ao intervalo 300 - - 3400 Hz e reduz a distorção causada pelo limitador. A rede de deênfase e o expensor restauram o sinal de voz modificado na transmissão.

No sistema SCPC é interessante introduzir também um circuito detetor de voz, que permite desativar a transmissão da portadora quando a modulação não está presente, com significativa economia de potência. O uso desta técnica (conhecida por VOX) requer um circuito atrasador para o sinal de áudio, a fim de evitar que este atinja o modulador antes que a portadora esteja devidamente reativada, após um intervalo de silêncio. Devem ser ainda incluídos circuitos supressores de ecos, que aparecem devido a reflexões em pontos do sistema telefônico com descasasamento de impedâncias. Os circuitos de ativação e desativação da portadora e supressão de ecos foram também objeto de desenvolvimento em laboratório.

Este relatório descreve os circuitos desenvolvidos para o sistema.

## 2 - DESCRIÇÃO DOS CIRCUITOS

### 2.1 - CIRCUITO PARA PROCESSAMENTO DO SINAL DE VOZ

No diagrama de blocos da Figura 1 é descrita a parte de processamento do sinal de voz, tanto na transmissão (a) como na recepção (b). As interfaces são necessárias para converter o sinal balanceado em desbalanceado e vice-versa.

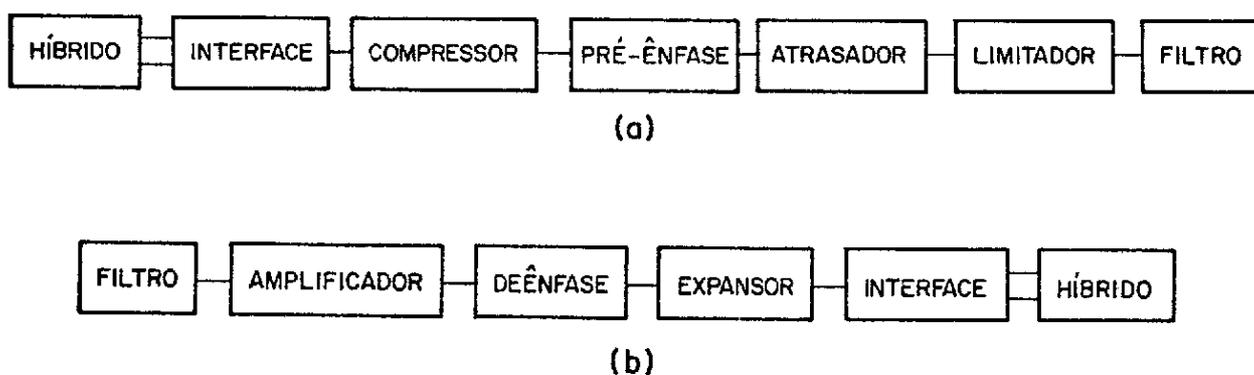


Fig. 1 - Diagrama de blocos para processamento do sinal de voz.

a) transmissão;

b) recepção.

A descrição de blocos é feita a seguir.

#### 2.1.1 - TRANSMISSÃO

##### 1) Compressor

Foi escolhido para realizar a compressão e a expansão o circuito integrado NE 570 da Signetics (1977). Este compressor atua com a taxa de compressão de 2:1 em dB (Figura 2), sendo que atenua sinais acima de 0 dBm e amplifica sinais abaixo deste valor. Com isto há melhora na relação sinal/ruído e no problema de diafonia.

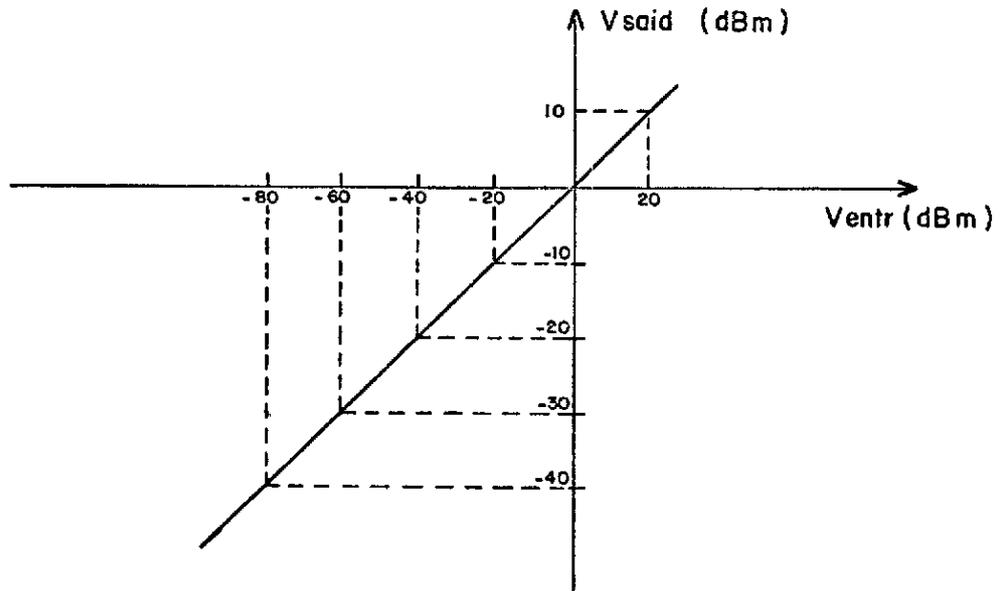


Fig. 2 - Característica de transferência do compressor.

A montagem completa do compressor é apresentada na Figura 3.

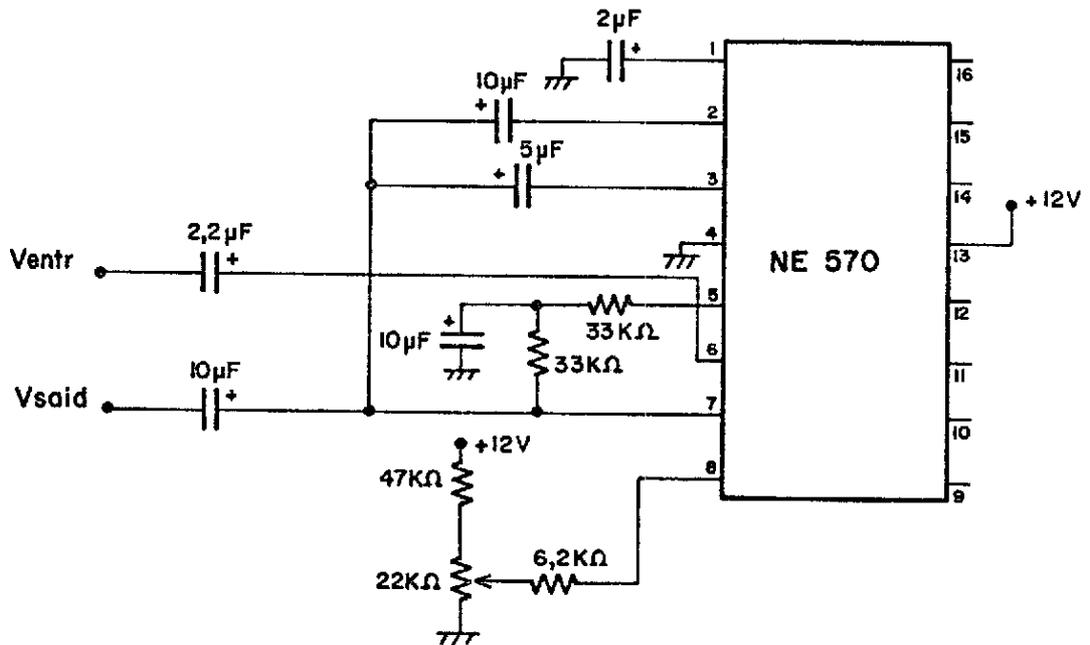


Fig. 3 - Circuito compressor.

O NE 570 é um circuito integrado duplo onde cada parte se compõe de um retificador de onda completa e um amplificador de ganho controlado pela corrente fornecida pelo retificador de onda completa. Dependendo de como são efetuadas as ligações externas, o NE 570 pode funcionar como compressor ou expensor.

A rede de resistências ligada ao pino 8 (ver Figura 3) serve para eliminar a distorção de segunda harmônica, que aparece devido à impossibilidade de se fazerem transistores perfeitamente casados dentro do NE 570.

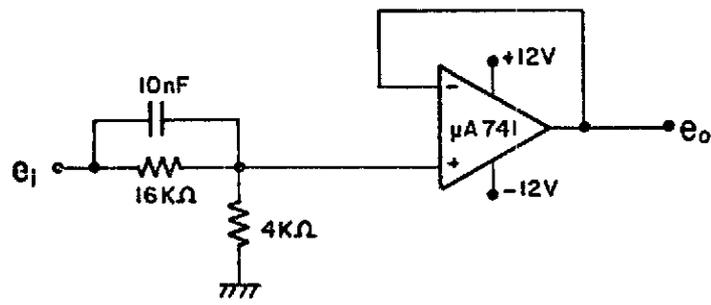
A rede de resistências e capacitor entre os pinos 5 e 7 fornece a realimentação DC para o amplificador de ganho controlado.

O capacitor de  $2\mu\text{F}$  ligado ao pino 1 determina o tempo de ataque e decaimento do ganho variável do compressor, através da constante de tempo do filtro do retificador ( $\tau = 10\text{ k}\Omega \times C_{\text{ret}}$ ). A constante de tempo usada foi de 20 ms, segundo recomendação do CCITT para tempos de ataque e decaimento.

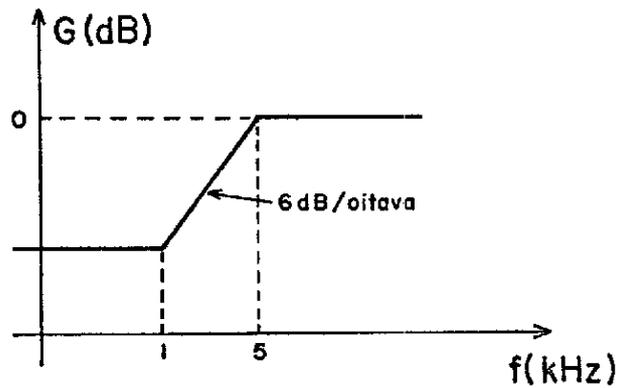
Deve haver capacitores na entrada e saída do NE 570, pois o pino 6 (entrada) e o pino 7 (saída) apresentam níveis DC.

## 2) Rede de pré-ênfase

Como rede de pré-ênfase, foi usado um filtro passa - altas, constituído de componentes discretos, com rampa de 6 dB por oitava, para melhorar a relação sinal/ruído, principalmente nas frequências mais altas do espectro de áudio. O circuito do filtro e sua função de transferência são apresentados na Figura 4. Depois da rede de pré-ênfase propriamente dita, foi montado o amplificador operacional  $\mu\text{A} 741$  como seguidor de tensão, para evitar que o bloco seguinte carregasse a saída da rede, uma vez que esta é feita com componentes discretos e não apresenta impedância de saída suficientemente baixa.



(a)



(b)

Fig. 4 - Rede de prē-ênfase.

a) circuito;

b) função de transferência (amplitude).

### 3) Atrasador

A função do atrasador é evitar que o sinal de áudio chegue ao modulador antes da portadora estar ativada, para que não haja perda de informação no início da fala. Esta parte do sistema ainda não foi desenvolvida e testada; no entanto, aguarda-se a entrega de componentes importados.

#### 4) Limitador

Este limitador de amplitude serve para impedir que o desvio de frequência na modulação FM ultrapasse o máximo permitido. Suas tensões de limitação dependem, portanto, da característica do modulador e do máximo desvio de frequência permitido.

Usou-se um limitador paralelo em ponte, com diodos e resistências, com dupla limitação e compensação parcial das características de sensibilidade à temperatura dos diodos. Este circuito apresenta a vantagem de permitir fácil ajuste das tensões de limitação, variando-se as resistências  $R_1$  e  $R_2$  - Figura 5a - (Tobey, 1971). Aqui também se usou um seguidor de tensão para evitar que a impedância de entrada do circuito seguinte carregasse a saída do limitador, afetando as tensões de limitação. O circuito do limitador e sua característica de transferência são mostrados na Figura 5.

As tensões de limitação são:  $V_{CC} R_L / (R_L + R_1)$  superior e  $-V_{CC} R_L / (R_L + R_2)$  inferior. Na parte linear da característica, tem-se  $e_0 = e_i$ .

#### 5) Filtro

A função do filtro é limitar a faixa de frequência no intervalo de 300 a 3400 Hz. Escolheu-se um filtro Butterworth com rampas de 18 dB por oitava e frequência de corte (3 dB) inferior de 300 Hz e superior de 3400 Hz. O circuito e sua função de transferência estão representados na Figura 6 (Williams, 1975).

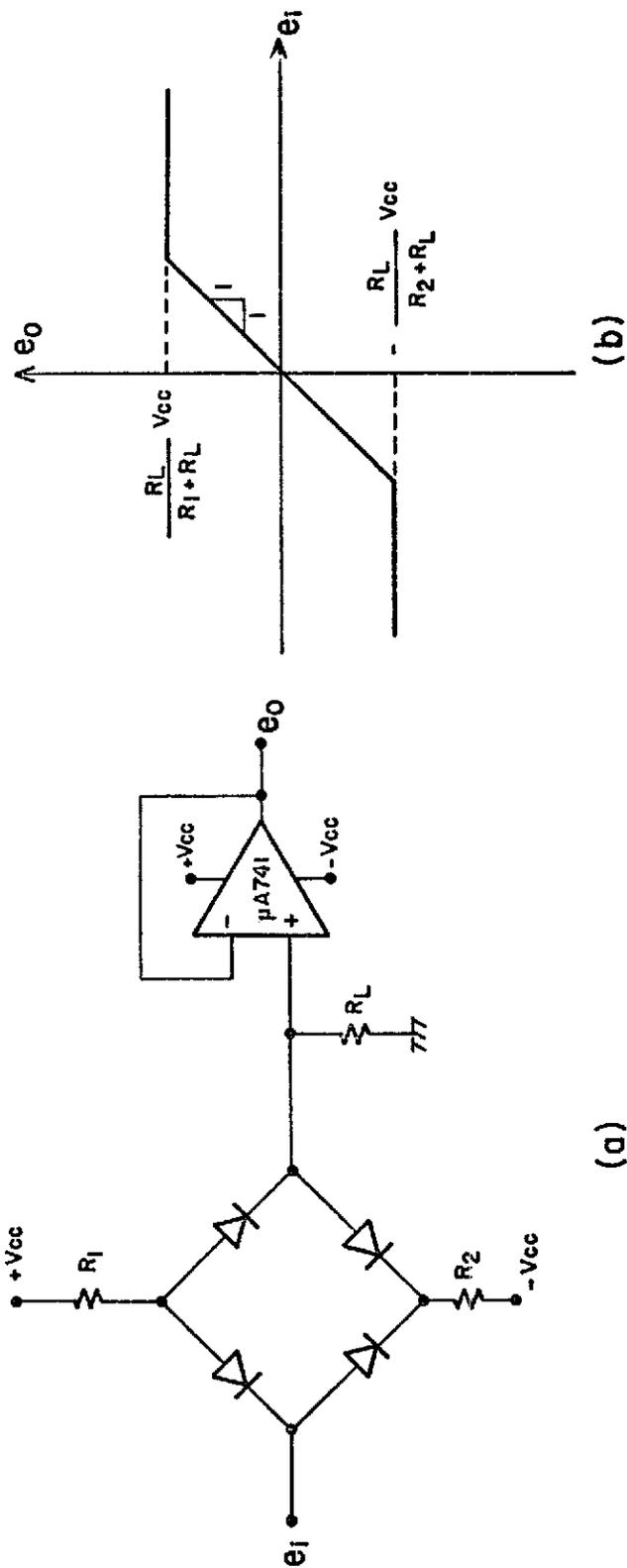
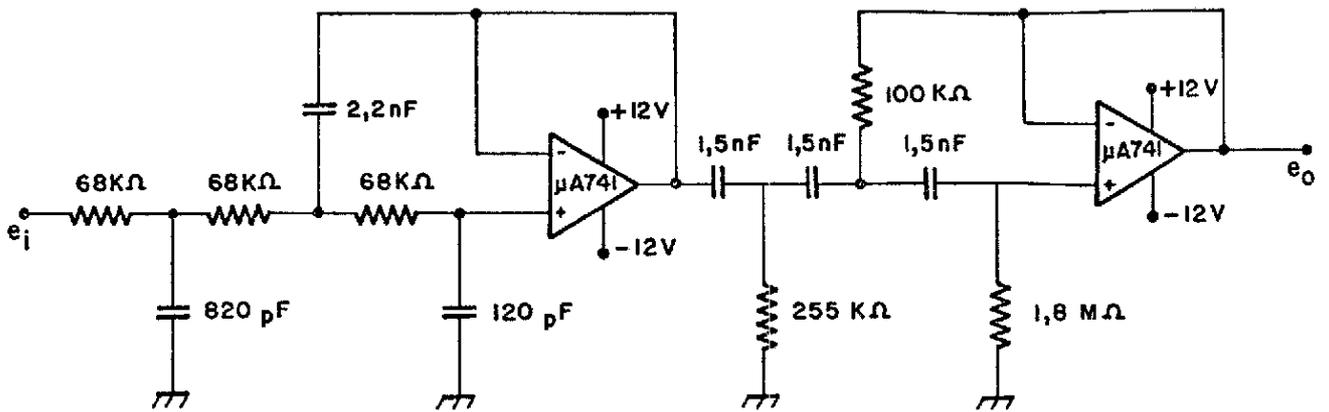
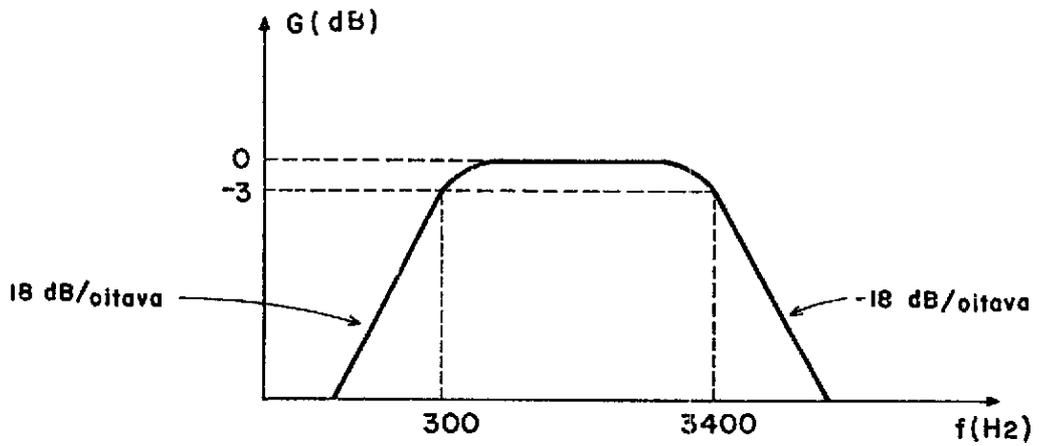


Fig. 5 - Limitador  
 a) circuito;  
 b) característica de transferência.



(a)



(b)

Fig. 6 - Filtro passa-faixa.

a) circuito;

b) função de transferência.

## 2.1.2 - RECEPÇÃO

### 1) Filtro

Para recepção, usou-se o mesmo filtro montado na transmissão (Figura 6). Sua função, na recepção, é eliminar o ruído de 60 Hz e filtrar as frequências superiores a 3400 Hz, restaurando a faixa do sinal de áudio de 300 Hz a 3400 Hz.

### 2) Amplificador

Para amplificar o sinal de áudio até um nível adequado, empregou-se o amplificador operacional  $\mu A 741$  na configuração não-inversora (Figura 7), que dá alta impedância de entrada e baixa impedância de saída. O ganho em tensão (ajustável) é  $1 + R_F/R_1$ , sendo  $R_1 = 1 \text{ K}\Omega$  e  $R_F = 100 \text{ k}\Omega$  (máximo).

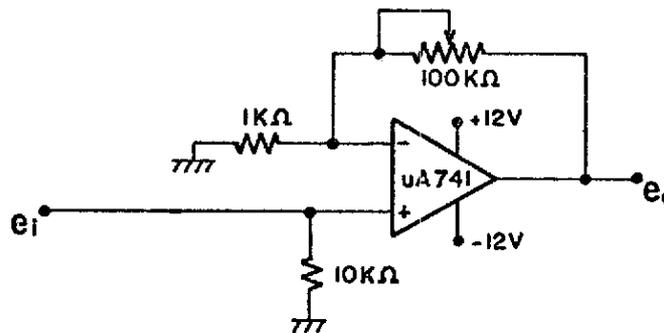


Fig. 7 - Amplificador.

### 3) Rede de deênfase

A função da rede de deênfase é restaurar o sinal transformado pela pré-ênfase, feita na transmissão, atenuando o ruído presente na parte alta do espectro. Para isso foi usado um filtro passa-baixas, com 6 dB por oitava, montado com componentes discretos. O circuito uti

lizado e sua função de transferência inversa à da prê-ênfase estão re-  
presentados na Figura 8.

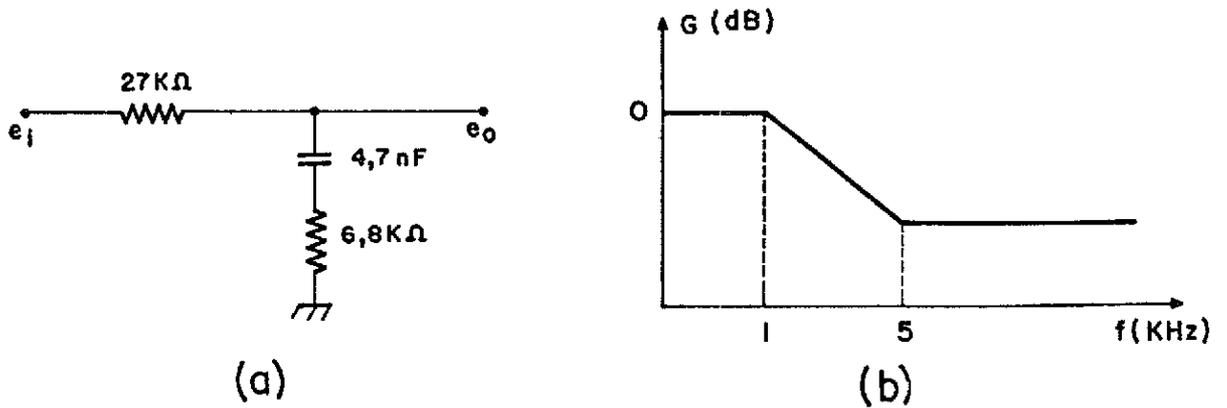


Fig. 8 - Rede de deênfase.

- a) circuito;
- b) função de transferência (amplitude).

#### 4) Expansor

O expansor restaura o sinal do efeito da compressão efetuada na transmissão. Usou-se para o expansor o mesmo circuito integrado do Signetics NE 560, utilizado na compressão. Desta forma, o NE 570 funciona como compressor no canal transmitido e expansor no canal recebido de um circuito telefônico da estação terrena. A montagem do expansor e sua característica de transferência (inversa daquela do compressor) são apresentadas na Figura 9.

A rede de resistências ligada ao pino 9, no expansor, tem a mesma função que a rede ligada ao pino 8 no compressor. O capacitor de  $2 \mu\text{F}$  ligado ao pino 16 controla o tempo de ataque e decaimento, como o capacitor de  $2 \mu\text{F}$  ligado ao pino 1 no compressor. A resistência de  $12\text{k}\Omega$  ligada ao pino 12 serve para polarizar o nível DC de saída em  $1/2 V_{CC}$ .

Analogamente ao compressor, são necessários capacitores de entrada e saída para bloquear as tensões DC fornecidas pelo expansor.

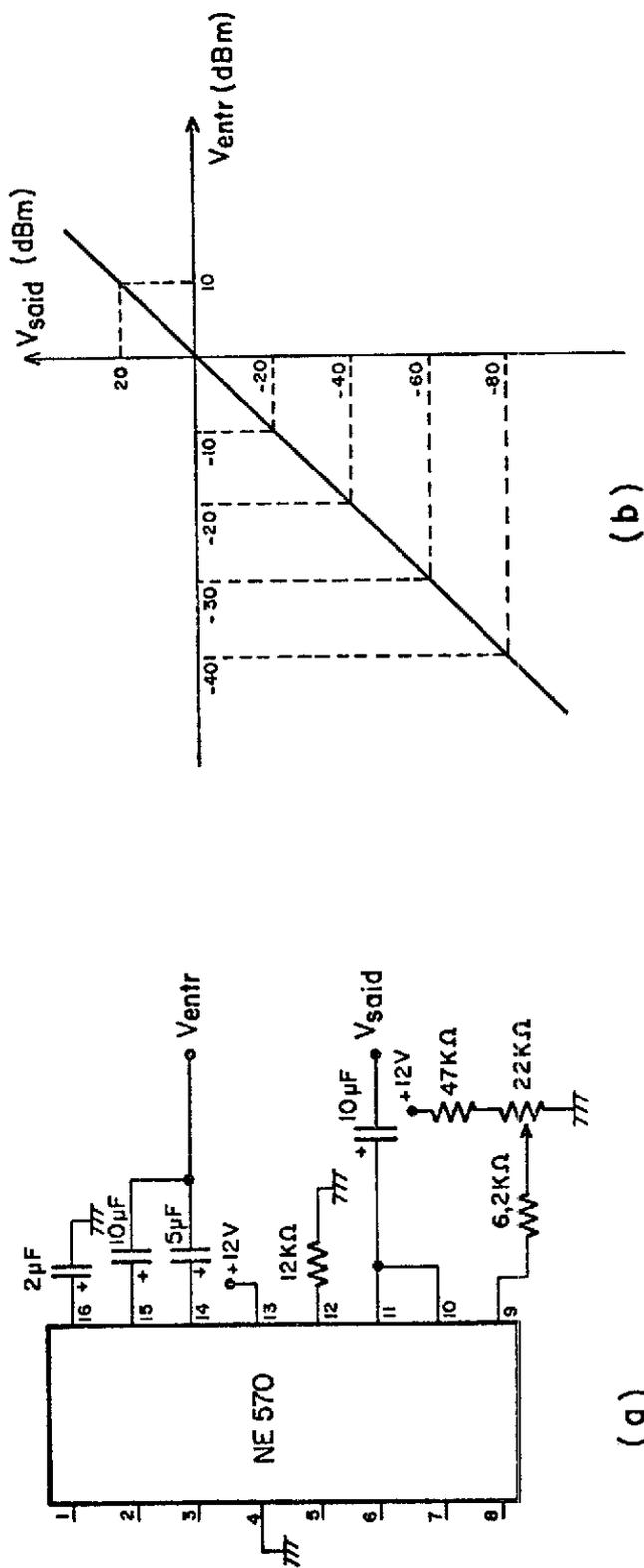


Fig. 9 - Compressor.  
 a) circuito;  
 b) características de transferência.

## 2.2 - CIRCUITO PARA ATIVAÇÃO DE PORTADORA E SUPRESSÃO DE ECO

Em sistemas SCPC é interessante utilizar um circuito detector de voz para ativar a portadora, apenas quando existe modulação, de modo a obter economia de potência, além de circuitos supressores de ecos, que aparecem devido a reflexões em pontos do sistema com descasamento de impedância. Essas reflexões são percebidas pelo locutor, devido ao grande tempo de propagação entre as duas estações terrenas de um enlace por satélite, e são capazes de prejudicar a conversação.

O diagrama de blocos dos circuitos que controlam a ativação da portadora e suprimem os ecos é apresentado na Figura 10. O detector de voz fornece nível lógico alto quando o locutor A fala. O comparador de níveis compara o sinal em A e em B e dá, como saída, nível lógico alto quando o sinal em A é maior que o sinal em B.

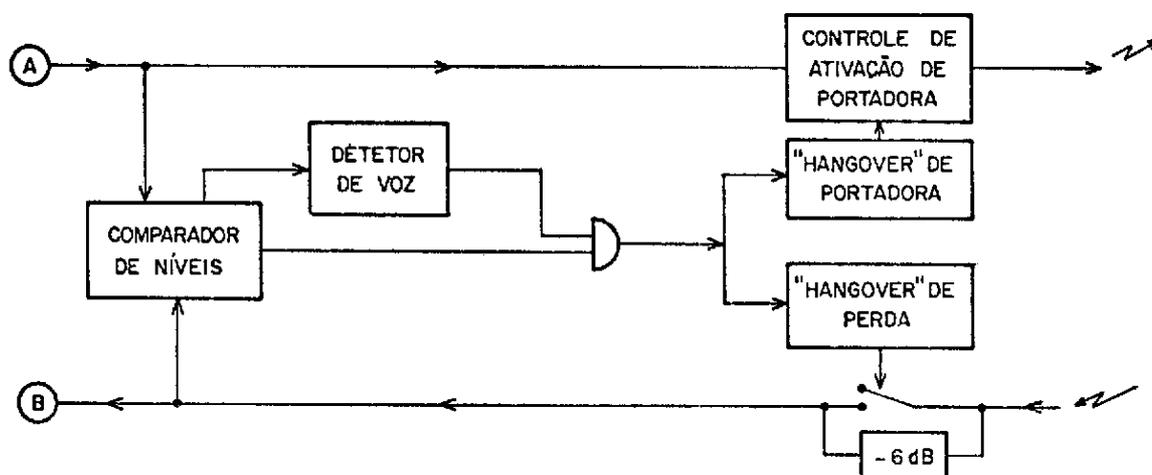


Fig. 10 - Diagrama de blocos para ativação de portadora e supressão de eco.

Os blocos de "hangover" dão nível lógico alto na saída, quando a entrada é alta. Quando a entrada cai do nível alto para o baixo, a saída é mantida em nível alto por um tempo  $t_H$  (tempo de "hangover"), para depois cair para um nível baixo. Para controle da portadora,  $t_H$  é ajustável de 50 ms a 300 ms (valor nominal: 210 ms). Para controle do

circuito de perda,  $t_H$  é ajustável de 600 ms a 1200 ms (valor nominal: 600 ms). O bloco de perdas introduz perda de 6 dB no sinal recebido, sempre que o sinal em A é maior que o sinal em B.

A seguir, descrevem-se os blocos detalhadamente.

### 2.2.1 - COMPARADOR DE NÍVEIS

O comparador compara o nível do sinal que será transmitido com o do sinal recebido, fornecendo saída 1 (nível lógico alto), se a tensão em A for maior que a tensão em B. A Figura 11 apresenta o diagrama de blocos.

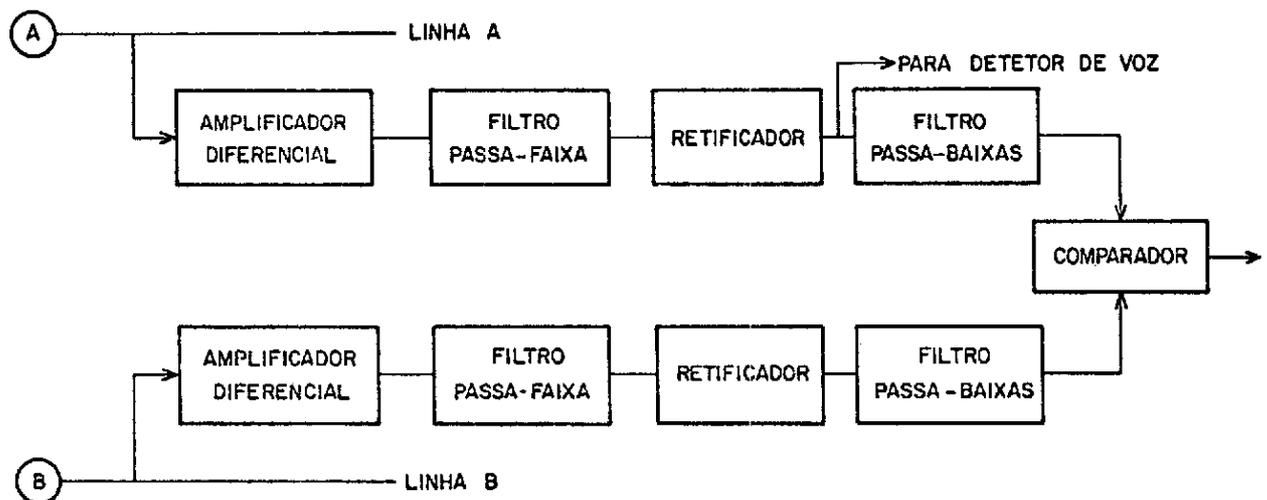


Fig. 11 - Diagrama de blocos do comparador de níveis.

#### 1) Amplificadores diferenciais

Há necessidade dos amplificadores diferenciais no comparador de níveis porque não há terra comum entre o sinal recebido e o enviado. Utilizou-se uma configuração com alta impedância de entrada, para não carregar as linhas (Figura 12). A tensão de saída é, aproximadamente,  $v_0 = 10 (e_1 - e_2)$ .

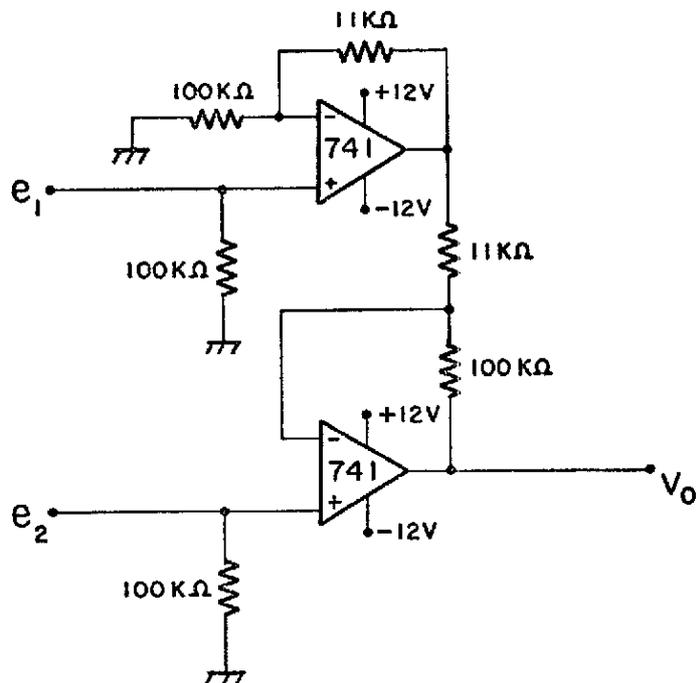
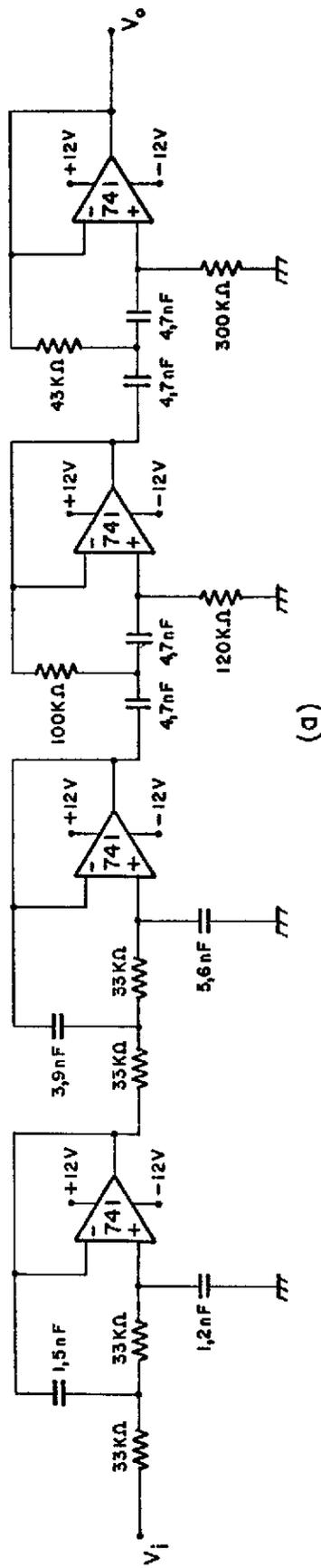


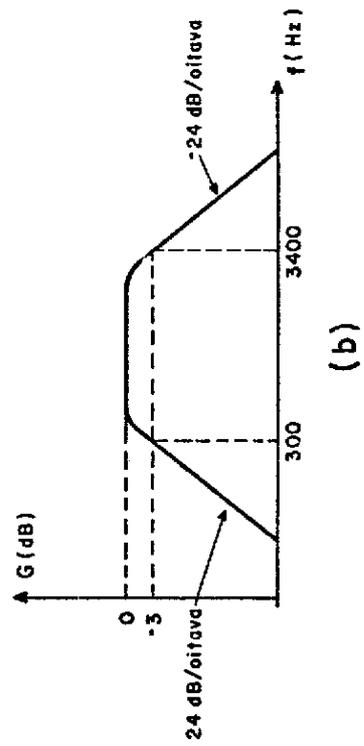
Fig. 12 - Amplificador diferencial do comparador de níveis.

## 2) Filtros passa-faixa

Os filtros são utilizados para restringir o sinal à faixa de 300 a 3400 Hz, limitando também o ruído a essa faixa e evitando que a portadora seja ativada por ele. Utilizaram-se filtros Butterworth com rampas de 24 dB por oitava e com frequências de 3 dB inferior de 300 Hz e superior de 3400 Hz. O circuito e a curva de transferência dos filtros são apresentados na Figura 13 (Williams, 1975).



(d)



(b)

Fig. 13 - Filtro passa-faixa do comparador de níveis.

a) circuito;

b) função de transferência.

### 3) Retificadores de onda completa

Os retificadores (Figura 14) são de precisão, dado o fato de os níveis poderem ser extremamente baixos, com alta impedância de entrada. A saída  $V_0 = 2|V_1|$  do retificador da linha A é utilizada como entrada para o bloco detetor de voz.

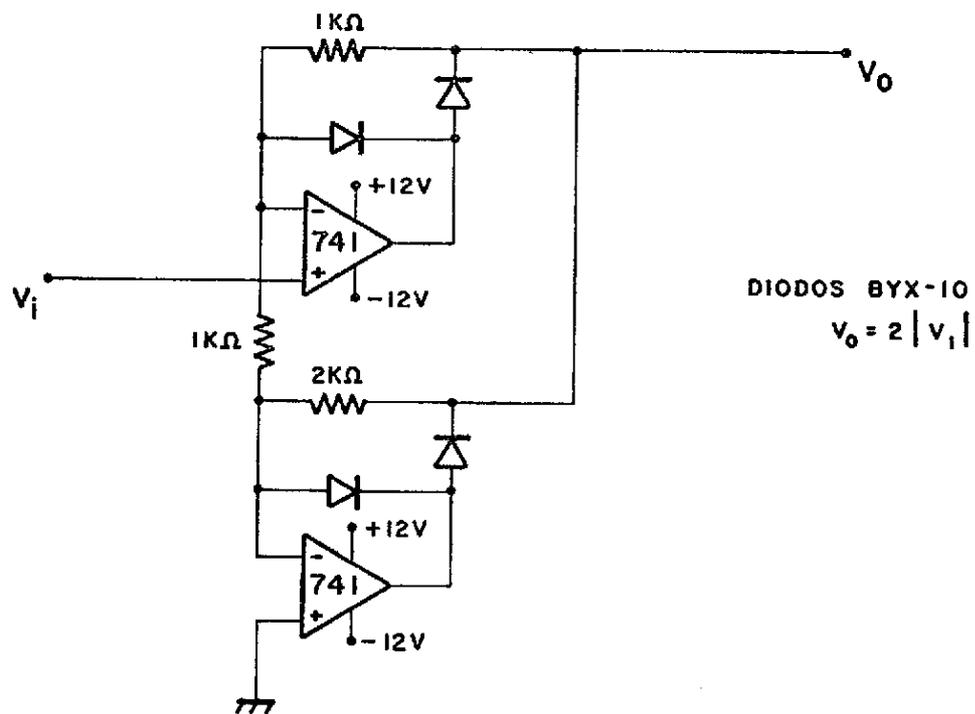


Fig. 14 - Retificador de onda completa.

### 4) Filtros passa-baixas

Os filtros passa-baixas do comparador de níveis são filtros RC simples (Figura 15) que fornecem, na saída, um nível DC para a comparação.

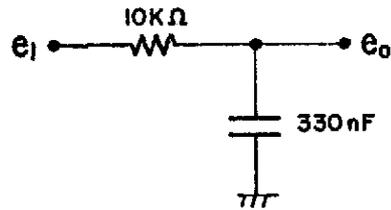


Fig. 15 - Filtro passa-baixas do comparador de níveis.

### 5) Comparador

Como o circuito de perdas é uma chave analógica alimentada por  $\pm 5V$ , o comparador deve fornecer  $\pm 5V$  de saída para acioná-la. Define-se  $+5V$  como nível 1 e  $-5V$  como nível 0. O circuito do comparador é mostrado na Figura 16. Seu primeiro estágio é um amplificador diferencial onde  $V_{01} = 10(e_B - e_A)$ . O segundo estágio fornece o nível lógico 1 ou 0, respectivamente, conforme  $e_A > e_B$  ou  $e_A < e_B$ .

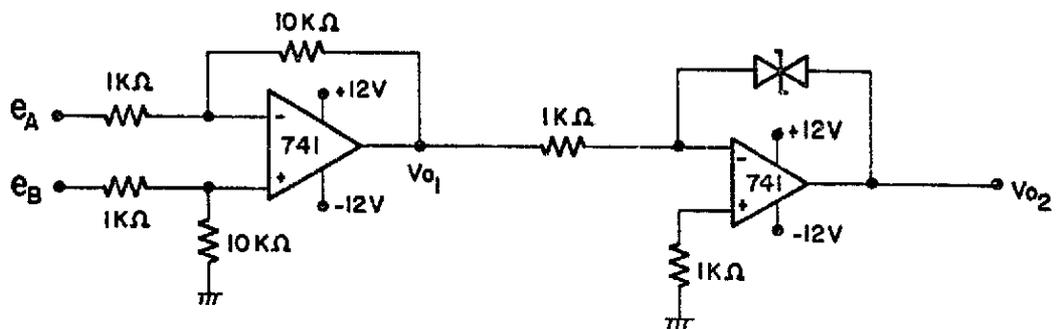


Fig. 16 - Comparador.

### 2.2.2 - DETETOR DE VOZ

A Figura 17 apresenta o detetor de voz. Como foi visto, o seu sinal de entrada é proveniente do retificador da linha A do comparador de níveis.

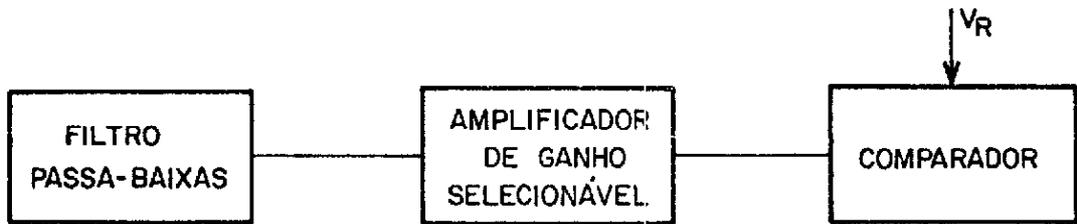


Fig. 17 - Diagrama de blocos do detetor de voz.

1) Filtro passa-baixas

Este filtro é igual ao do comparador de níveis (Figura 15) e fornece um nível DC ao amplificador de ganho selecionável.

2) Amplificador de ganho selecionável

O ganho deste amplificador é escolhido pelo operador de um conjunto discreto de valores possíveis, através de uma chave seletora, a fim de se obterem os diferentes limites de detecção que podem ser especificados (de -33 a -23 dBm0) (Kono et alii, 1981). Usou-se o amplificador não-inversor mostrado na Figura 18 para se obter alta impedância de entrada, evitando-se carregar o filtro passa-baixas anterior. O ganho de tensão é, aproximadamente,  $1 + R_{Fi}/10 \text{ k}\Omega$ . A função do diodo zener BZY-88 é proteger a entrada do comparador.

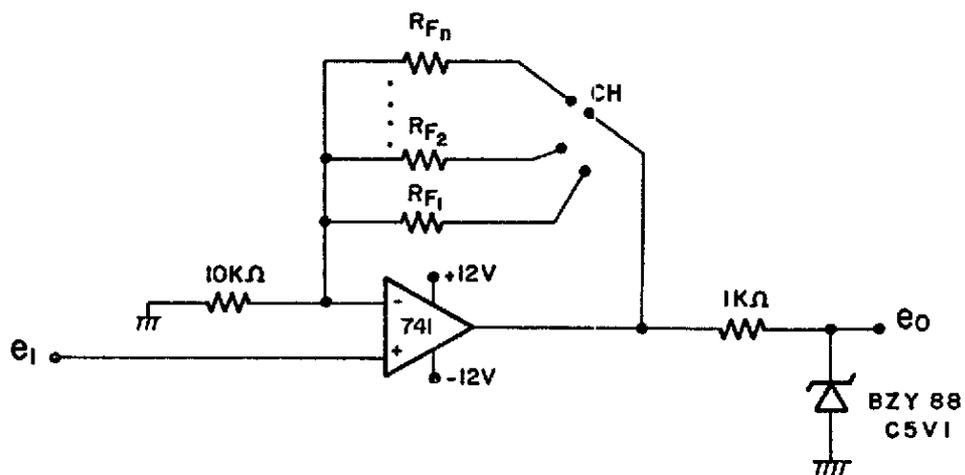


Fig. 18 - Amplificador de ganho selecionável.

### 3) Comparador

Este circuito compara o nível do sinal de áudio com um nível de referência, para verificar se o nível de detecção selecionado pelo operador é atingido, fornecendo +5 V na saída quando o sinal excede a tensão de referência e -5 V no caso contrário. O primeiro estágio é o comparador propriamente dito, montado com o circuito integrado LM 710; o segundo estágio fornece os níveis  $\pm 5$  V, como mostrado na Figura 19.

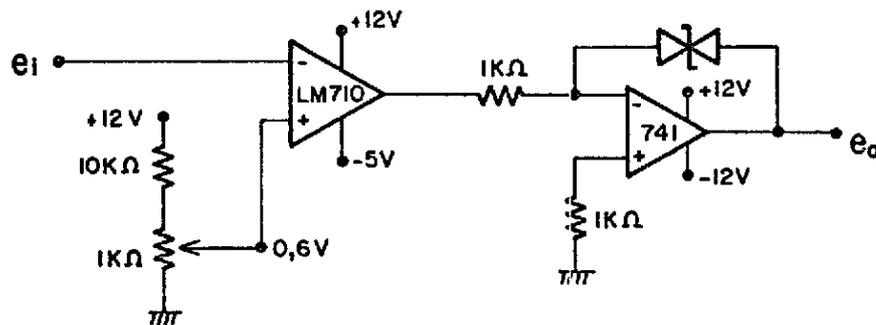


Fig. 19 - Comparador.

#### 2.2.3 - BLOCOS DE "HANGOVER"

Quando a entrada  $e_1$  do circuito de "hangover" (Figura 20) está no nível lógico alto,  $V_1$  e  $V_2$  também assumem esse nível. Quando  $e_1$  cai para o nível baixo, gatilha os monoestáveis 4047 que geram pulsos e mantêm  $V_1$  e  $V_2$  no nível alto durante os tempos  $t_{H1}$  e  $t_{H2}$  (tempos de "hangover"). A tensão  $V_3$ , complemento lógico de  $V_2$ , é usada no bloco de inserção de perda, e a tensão  $V_1$  controla a ativação da portadora. A alimentação dos circuitos é  $\pm 5$  V.

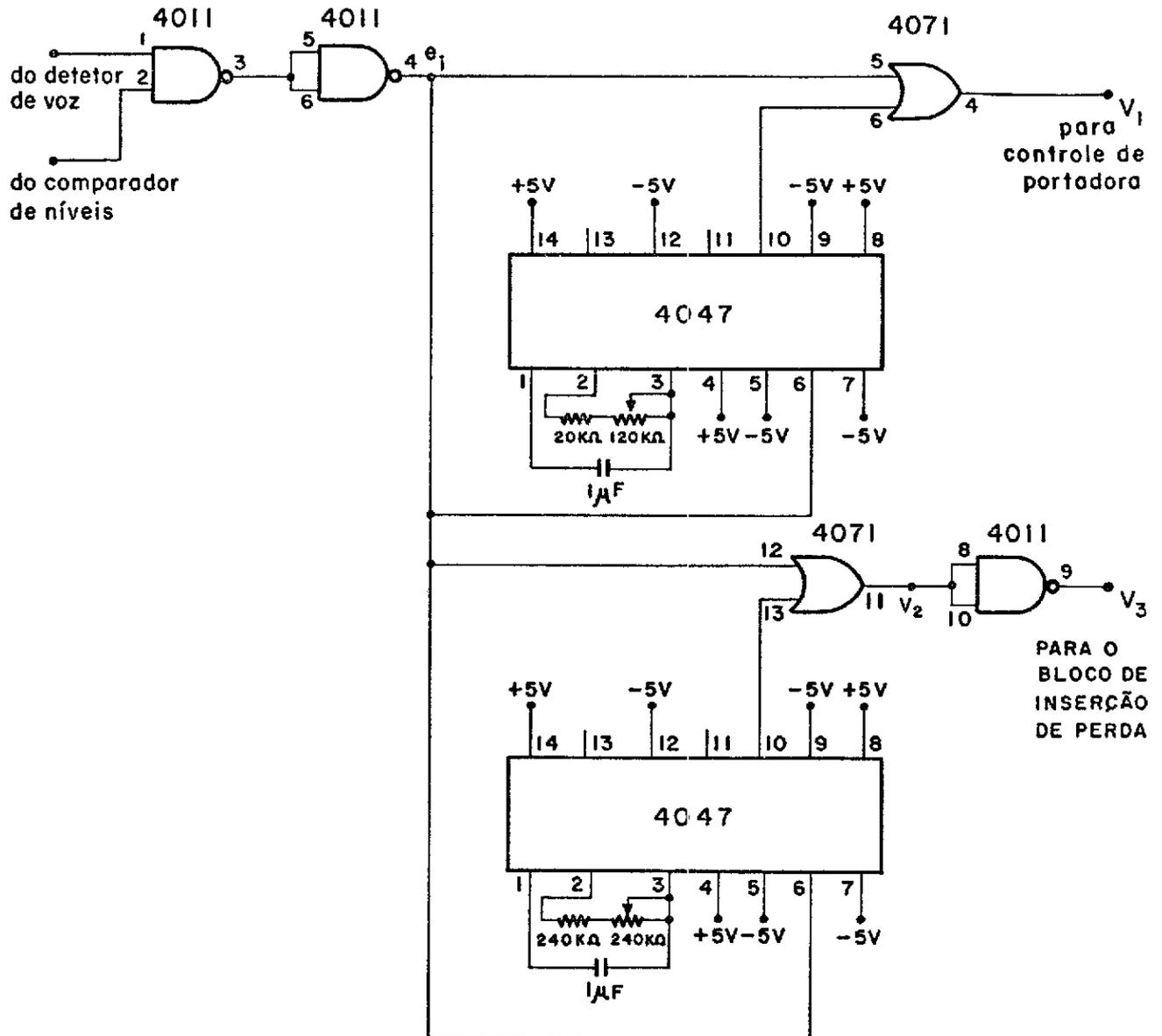


Fig. 20 - Circuito dos blocos de "hangover".

#### 2.2.4 - BLOCO DE INSERÇÃO DE PERDA

Para introduzir uma perda de 6 dB controlada por chave, conforme mostra a Figura 10, usou-se a rede resistiva da Figura 21, onde se observa que a impedância da linha é  $600\Omega$ . Quando CH1 está aberta, CH2 está fechada, e vice-versa. Quando CH1 está fechada, a impedância  $Z'$  é a própria impedância de linha, ou seja  $600\Omega$ . Quando CH1 está aberta, tem-se um divisor resistivo, que introduz uma perda de 6 dB no sinal (a tensão à esquerda cai para a metade da tensão à direita). Devido à necessidade de um rápido chaveamento e sendo baixa a potência do sinal, escolheu-se a chave eletrônica CMOS 4066, alimentada com  $\pm 5V$ , implementando-se o circuito mostrado na Figura 22.

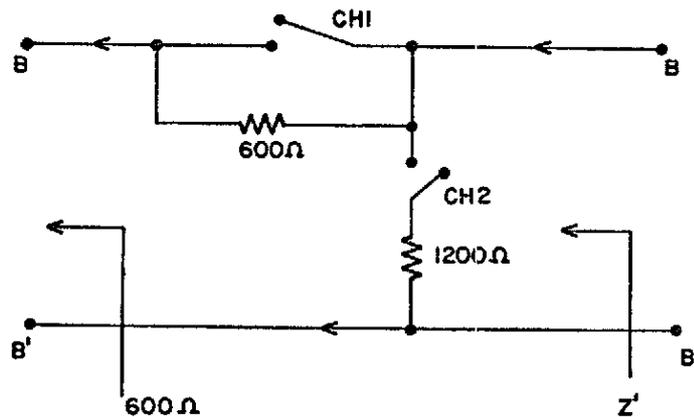


Fig. 21 - Esquema do circuito de inserção de perda.

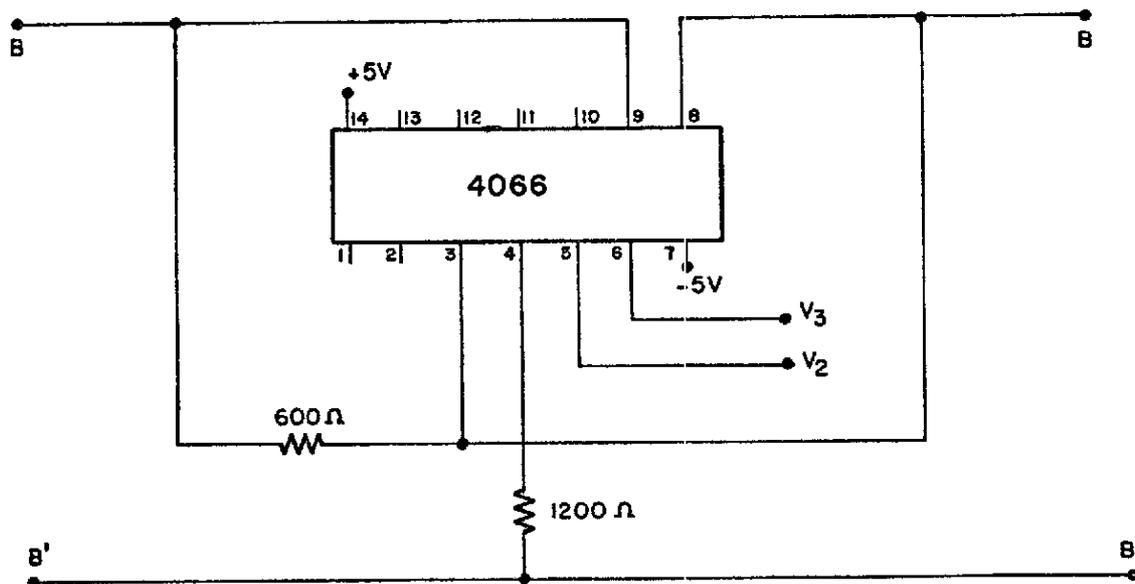


Fig. 22 - Circuito de inserção de perda.

### 3 - COMENTÁRIOS

A Figura 23 mostra os circuitos do processador de voz para transmissão e recepção, e a Figura 24 mostra os circuitos para ativação de portadora e supressão de ecos.

Um sinal lógico de nível 1 é enviado para ativação da portadora, sempre que o sinal de áudio for maior ou igual ao limiar de de teção, que pode variar de -33 dBm0 a -23 dBm0, de 1 em 1 dBm0.

Quando o sinal de áudio em A for maior ou igual ao sinal de áudio em B, sinais lógicos são enviados à chave analógica, o que faz com que o sinal de áudio em B tenha uma atenuação de 6 dB em tensão.

Os tempos de "hangover" medidos estão de acordo com o pro jetado: o "hangover" para controle de portadora é ajustável, de 50 ms a 300 ms (valor nominal: 210 ms), e o "hangover" do circuito de perda po de variar de 600 a 1200 ms (valor nominal: 600 ms).

A alimentação dos circuitos é  $\pm 12\text{ V}$  e  $\pm 5\text{ V}$ , conforme especificado nas figuras.

Os circuitos estão em fase final de desenvolvimento, podendo ser alterados, se necessário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPANELLA, S.J.; SUYDERHOUD, H.G.; WACHS, M. Frequency modulation and variable-slope delta modulation in SCPC satellite transmission. *Proceedings of the IEEE*, 65(3):419-434, Mar. 1977.
- KONO, J.; COLLA, N.H.; ARAKAKI, Y. *Especificação de uma estação terrestre na SCPC FM de baixa capacidade para 6/4 GHz*. São José dos Campos, INPE, out. 1981. (INPE-2254-NTE/176)
- SIGNETICS. *Signetics analog data manual*. Sunnyvale, CA, 1977.
- TOBEY, G.E. Application. In: TOBEY, G.E.; GRAEME, J.G.; HUELSMAN, L.P., ed. *Operational amplifiers; design and applications*. Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha, c 1971. part 2, p. 201-426.
- WILLIAMS, A.B. Design of active filters using tables. In: \_\_\_\_\_ *Active filter design*. Dedham, MA, Artech House, c 1975. Cap. 2, p. 43-73.