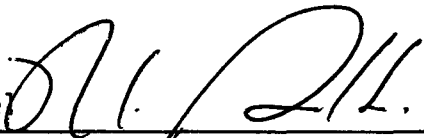



1. Publicação nº <i>INPE-3004-RTR/041</i>	2. Versão	3. Data <i>Fev., 1984</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input type="checkbox"/> Externa <input checked="" type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DTL/DST</i>	Programa <i>ETCOMS</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>OSCILADOR TELECOMUNICAÇÕES SINTETIZADOR</i>			
7. C.D.U.:			
8. Título <i>PRIMEIRO OSCILADOR LOCAL DO TRANSMISSOR DA ESTAÇÃO TERRENA SCPC-FM</i>		10. Páginas: 38	
		11. Última página: 29	
9. Autoria <i>Paulo Adabo Mário de Souza Barretti Rubens Missao Kogake Luiz Antônio F. Giglio Maria Virgínia Cellet</i>		12. Revisada por <i>Colla</i> <i>Naila H. Colla</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada Diretor Geral</i>	
14. Resumo/Notas <i>Este trabalho apresenta a descrição, as características e a realização prática do primeiro oscilador local do transmissor de uma estação terrena SCPC-FM ("single channel per carrier" - canal único por portadora).</i>			
15. Observações			

ABSTRACT

This report presents the description, the characteristics and the practical realization of the first local oscillator of a transmitter of the SCPC-FM ("single channel per carrier") earth station.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>v</i>
LISTA DE TABELAS	<i>vii</i>
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2. <u>ESPECIFICAÇÕES DO OSCILADOR LOCAL</u>	2
3. <u>DESCRIÇÃO DOS CIRCUITOS</u>	3
3.1 - Oscilador a cristal controlado por tensão (VCXO)	3
3.1.1 - Ajustes do VCXO	10
3.2 - Divisores, comparador de fase e filtro passa-baixas	11
3.2.1 - Divisor por 113	11
3.2.2 - Divisor por 12	13
3.2.3 - Comparador de fase e filtro de malha	13
3.3 - Multiplicador por 4 e amplificador	18
3.4 - Multiplicador por 3 e filtro de saída	25
4. <u>RESULTADOS</u>	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Diagrama de blocos simplificado da conversão de frequências utilizado no transmissor da Estação Terrena SCPC-FM	1
2 - Diagrama de blocos do oscilador local em 1,13 GHz	2
3 - Esquema elétrico do VCXO	4
4 - Disposição dos componentes do VCXO na placa de circuito impresso	8
5 - Máscaras para a confecção do circuito impresso do VCXO	9
6 - Circuito elétrico do divisor por 113, do divisor por 12, do comparador de fase e do filtro passa-baixas	12
7 - Disposição dos componentes dos divisores, do comparador de fase e do filtro passa-baixas na placa de circuito impresso ..	16
8 - Máscaras para a confecção do circuito impresso dos divisores, do comparador de fase e do filtro passa-baixas	17
9 - Circuito elétrico do multiplicador por 4 e amplificador	19
10 - Disposição dos componentes do multiplicador por 4 e do amplificador na placa de circuito impresso	23
11 - Máscaras para a confecção do circuito impresso do multiplicador por 4 e do amplificador	24
12 - Esquema elétrico do multiplicador	25
13 - Máscara para o circuito do multiplicador por 3 e do filtro de saída e disposição dos componentes	27
14 - Esquema para medida do desempenho do oscilador local	27

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Lista de componentes do VCX0	5
2 - Lista de componentes dos divisores, do comparador de fase e do filtro passa-baixas	14
3 - Lista de componentes do multiplicador por 4 e do amplificador	21
4 - Lista de componentes do multiplicador por 3 e do filtro de saída	26

1. INTRODUÇÃO

No transmissor da Estação Terrena SCPC-FM o sinal de frequência intermediária (FI) centrado em 70 MHz é convertido através de dois batimentos para a faixa de frequências de microondas entre 5925 MHz e 6425 MHz. (Kono et alii, 1981). O diagrama de blocos simplificado é mostrado na Figura 1.

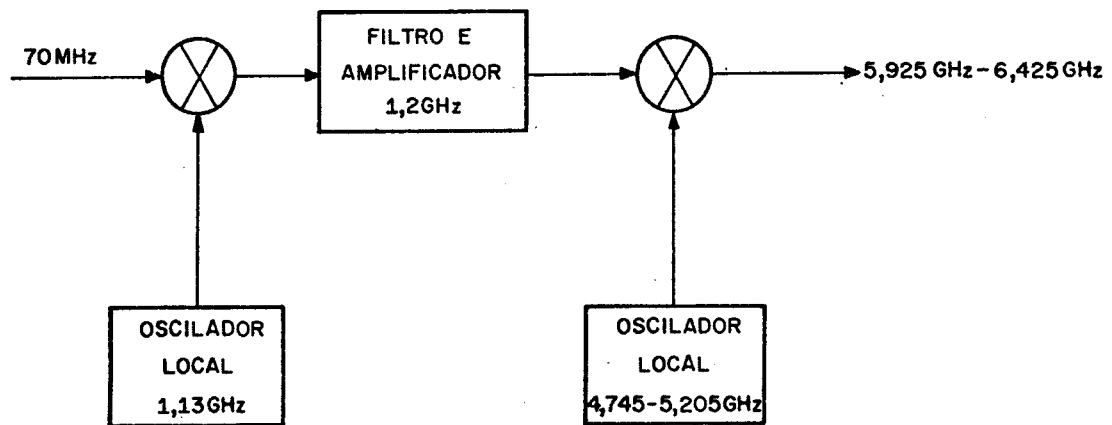


Fig. 1 - Diagrama de blocos simplificado da conversão de frequências utilizado no transmissor da Estação Terrena SCPC-FM.

Este trabalho descreve a montagem e os ajustes necessários do primeiro oscilador local do transmissor da Estação Terrena SCPC-FM. Este oscilador é fixo na frequência de 1,13 GHz e também sincronizado com um sinal de referência em 10 MHz existente na estação. O diagrama de blocos do oscilador local é mostrado na Figura 2.

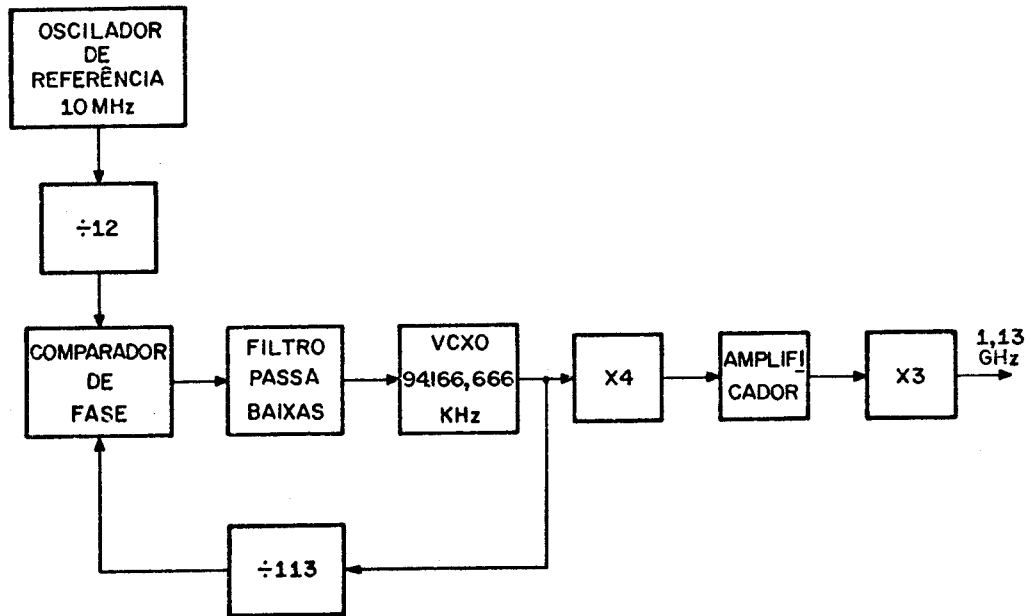


Fig. 2 - Diagrama de blocos do oscilador local em 1,13 GHz.

A saída de um VCXO (oscilador a cristal controlado por tensão) centrado em 94.166,666 kHz é dividido por 113 e em seguida comparada, através de um comparador de fase, com um sinal de referência em 833,333 kHz. O sinal na saída do comparador de fase é filtrado, gerando um sinal de erro que corrige a frequência do VCXO sempre que houver variação na sua frequência de saída.

O sinal na frequência de 1,13 GHz é obtido da saída do VCXO, após uma multiplicação por 12. Assim é possível obter um sinal bastante estável em frequência e baixo ruído de fase.

2 - ESPECIFICAÇÕES DO OSCILADOR LOCAL

- Tensões de alimentação: + 12 v;
+ 5 v.
- Frequência central do VCXO: 94166,666 kHz.

- Tensão de controle do VCXO: 0 - 5 V.
- Nível de saída do VCXO: 0 dBm.
- Variação de frequência do VCXO: ± 2 KHz.
- Frequência de saída: 1,13 GHz.
- Nível de saída: 10 dBm.
- Rejeição de espúrios: 60 dB.
- Rejeição de harmônicas: 40 dB.

3. DESCRIÇÃO DOS CIRCUITOS

3.1 - OSCILADOR A CRISTAL CONTROLADO POR TENSÃO (VCXO)

O esquema elétrico do VCXO é mostrado na Figura 3.

O VCXO é basicamente um oscilador Colpitts a cristal onde a frequência de sintonia é determinada por um ressoador colocado em série com o cristal. A oscilação ocorre quando a base do transistor Q_1 é aterrada, ou seja, quando o circuito formado pelos indutor L_2 , os "varactores" CV_1 e CV_2 , o capacitor C_4 e o cristal estão em ressonância. O circuito formado por L_1 , C_1 , C_2 e C_3 realimenta o transistor Q_1 de maneira que a realimentação seja positiva (ganho de malha maior que 1 e defasagem nula).

Para uma certa tensão de controle ($V_c = V_o = 2,5V$) o ressoador formado por L_2 , os "varactores" e os capacitores C_3 e C_4 estão em ressonância, de maneira que o cristal não é carregado e o circuito oscila na frequência de ressonância série do cristal. Conforme a tensão de controle for variada acima ou abaixo de V_o , o cristal é carregado capacitivamente ou indutivamente. Quando o cristal é carregado capacitivamente, o conjunto (cristal+ressoador) ressoa numa frequência acima da ressonância série do cristal. Quando o cristal é carregado indutivamente, o conjunto ressoa numa frequência abaixo da ressonância série do cristal.

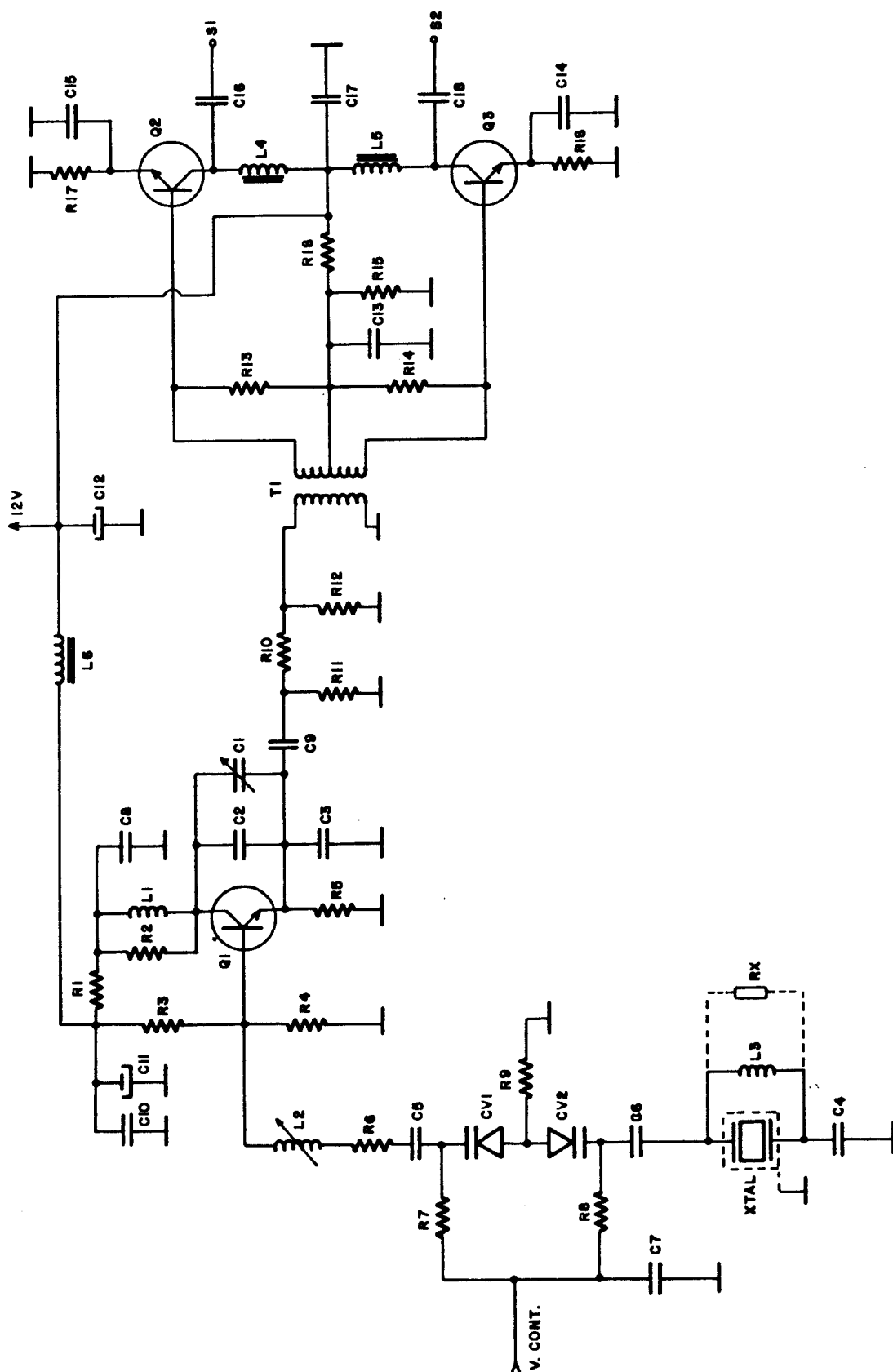


Fig. 3 - Esquema elétrico do VCXO.

O sinal \bar{e} é retirado do oscilador através de um divisor capacitivo formado por C_1 , C_2 e C_3 , num ponto de baixa impedância.

O oscilador \bar{e} isolado da carga através de um atenuador em π formado por R_{10} , R_{11} e R_{12} e de dois amplificadores construídos com os transistores Q_2 e Q_3 .

A lista de componentes do VCXO \bar{e} apresentada na Tabela 1. A disposição dos componentes na placa de circuito impresso \bar{e} mostrada na Figura 4, e as duas faces da máscara do circuito impresso são mostradas na Figura 5.

TABELA 1

LISTA DE COMPONENTES DO VCXO

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	VALOR OU MODELO	FABRICANTE
R_1	Resistor de carvão	1,5 K Ω /(1/8 ω)	Constanta
R_2	Resistor de carvão	1,0 K Ω /(1/8 ω)	Constanta
R_3	Resistor de carvão	33,0 K Ω /(1/8 ω)	Constanta
R_4	Resistor de carvão	24 K Ω /(1/8 ω)	Constanta
R_5	Resistor de carvão	2,0 K Ω /(1/8 ω)	Constanta
R_6	Resistor de carvão	130 Ω /(1/8 ω)	Constanta
R_7	Resistor de carvão	91 K Ω /(1/8 ω)	Constanta
R_8	Resistor de carvão	91 k Ω /(1/8 ω)	Constanta
R_9	Resistor de carvão	91 k Ω /(1/8 ω)	Constanta
R_{10}	Resistor de carvão	68 Ω /(1/8 ω)	Constanta
R_{11}	Resistor de carvão	100 Ω /(1/8 ω)	Constanta

(continua)

Tabela 1 - Continuação

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	VALOR OU MODELO	FABRICANTE
R ₁₂	Resistor de carvão	100 Ω/(1/8 ω)	Constanta
R ₁₃	Resistor de carvão	1,0 KΩ/(1/8 ω)	Constanta
R ₁₄	Resistor de carvão	1,0 KΩ/(1/8 ω)	Constanta
R ₁₅	Resistor de carvão	1,0 KΩ/(1/8 ω)	Constanta
R ₁₆	Resistor de carvão	1,0 KΩ/(1/8 ω)	Constanta
R ₁₇	Resistor de carvão	300 Ω/(1/3 ω)	R. OHM
R ₁₈	Resistor de carvão	300 Ω/(1/3 ω)	R. OHM
R _X	Resistor de carvão	33 kΩ/(1/8 ω)	Constanta
C ₁	Capacitor variável (trimmer)	(0,8 - 8,0)pF	Johanson
C ₂	Capacitor cerâmico disco	12 pF/100 V	Thomson
C ₃	Capacitor cerâmico disco	47 pF/100 V	Thomson
C ₄	Capacitor cerâmico disco	6,8 pF/100 V	Thomson
C ₅	Capacitor cerâmico disco	1,0 kpF/100 V	Thomson
C ₆	Capacitor cerâmico disco	1,0 kpF/100 V	Thomson
C ₇	Capacitor cerâmico disco	1,0 kpF/100 V	Thomson
C ₈	Capacitor cerâmico disco	1,0 kpF/100 V	Thomson
C ₉	Capacitor cerâmico disco	1,0 kpF/100 V	Thomson
C ₁₀	Capacitor cerâmico disco	1,0 kpF/100 V	Thomson
C ₁₁	Capacitor de tântalo	1,0 μF/35 V	Siemens
C ₁₂	Capacitor de tântalo	1,0 μF/35 V	Siemens
C ₁₃	Capacitor cerâmico disco	10 KpF/100 V	Thomson
C ₁₄	Capacitor cerâmico disco	10 KpF/100 V	Thomson

(continua)

Tabela 1 - Conclusão

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	VALOR OU MODELO	FABRICANTE
C ₁₅	Capacitor cerâmico disco	10 KpF/100 V	Thomson
C ₁₆	Capacitor cerâmico disco	1,0 KpF/100 V	Thomson
C ₁₇	Capacitor cerâmico disco	1,0 KpF/100 V	Thomson
C ₁₈	Capacitor cerâmico disco	1,0 KpF/100 V	Thomson
L ₁	Bobina - 6,5 espiras fio 21 AWG, $\phi = 5$ mm		INPE
L ₂	Bobina - 8 espiras fio 21 AWG, $\phi = 6,3$ mm, com núcleo ferrite N3F 6309 R28RS		INPE, SONTAG
L ₃	Bobina - 8 espiras fio 21 AWG, $\phi = 6$ mm		INPE
L ₄	Choque de RF	2,2 μ H	SONTAG
L ₅	Choque de RF	2,2 μ H	SONTAG
L ₆	Choque de RF	4,7 μ H	SONTAG
CV ₁	Varactor	BB 105 A	Ibrape
CV ₂	Varactor	BB 105 A	Ibrape
Q ₁	Transistor NPN	2 N 918	Texas Inst.
Q ₂	Transistor NPN	BFY - 90	Ibrape
Q ₃	Transistor NPN	BFY - 90	Ibrape
XTAL	Cristal - Ressonância série	94166,666 KHz	RCB
T ₁	Transformador de RF	TMO 5-1T	Mini Circuits

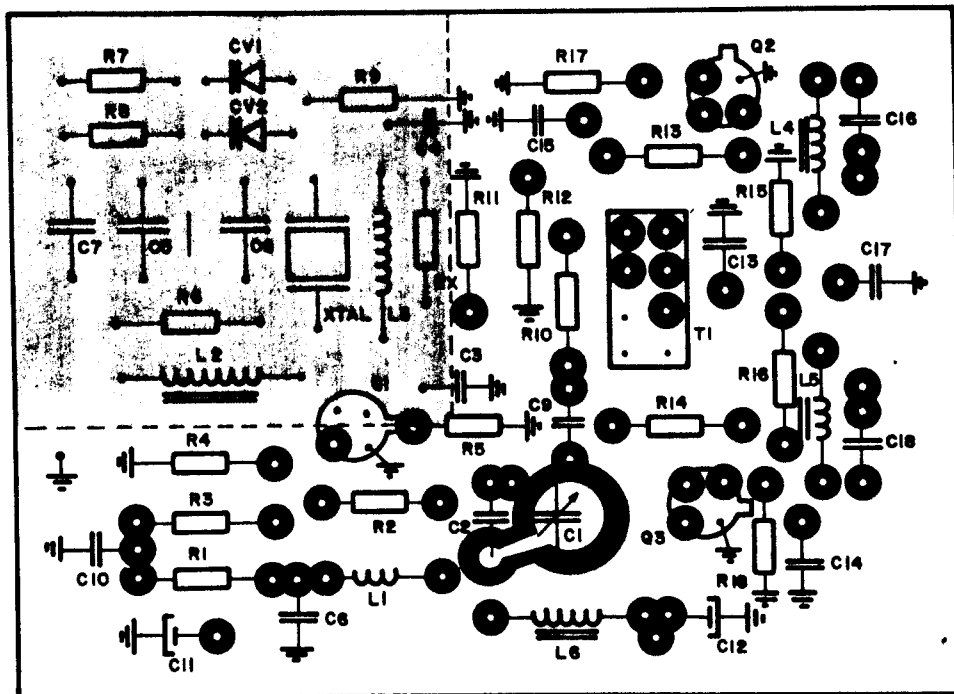


Fig. 4 - Disposiçãõ dos componentes do VCXO na placa de circuito im presso.

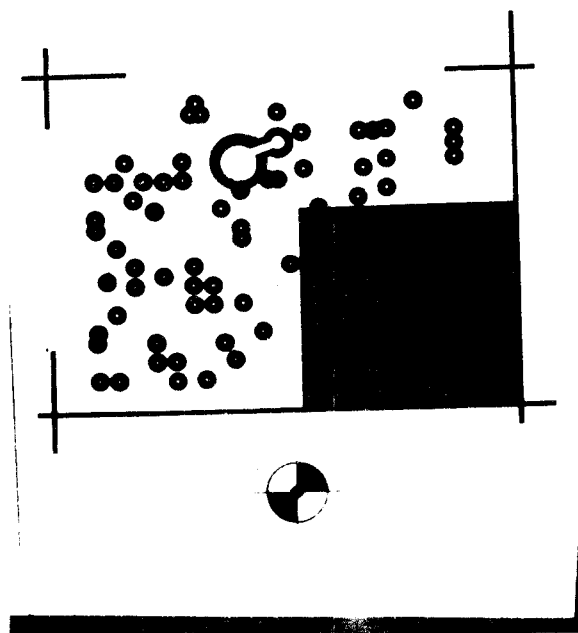
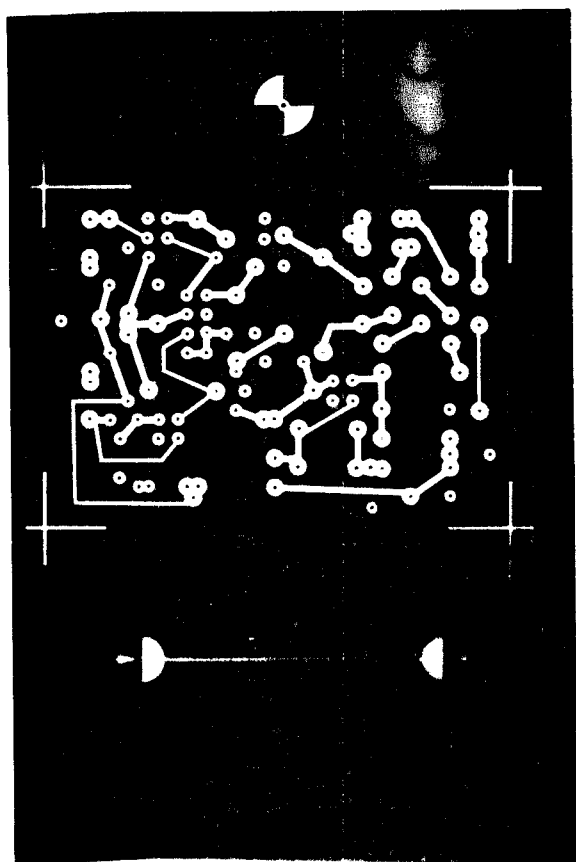


Fig. 5 - Máscaras para a confecção do circuito impresso do VCX0.

3.1.1 - AJUSTES DO VCXO

- 1) Liga-se o circuito com uma tensão de controle (V_C) de 2,5 V.
- 2) Sintoniza-se o oscilador na frequência central do cristal ($f_0 = 94166,666$ kHz) através do capacitor variável C_1 .
- 3) Variando a tensão de controle de 0V a 5V verifica-se a excursão do VCXO; caso a excursão não esteja correta ($\Delta f = \pm 2$ kHz), o seu ajuste deve ser feito através de L_2 e L_3 .
- 4) O ajuste do nível do sinal é feito através do atenuador em π , composto pelos resistores R_{10} , R_{11} e R_{12} , que melhora o casamento entre o oscilador e os estágios amplificadores, não saturando estes, tendo por conseguinte uma boa rejeição de harmônicos (>30 dB).

Este tipo de oscilador apresenta, geralmente, dois tipos de oscilações espúrias. Uma delas é causada quando há uma realimentação significativa devida ao transistor ($y_{rb} \neq 0$). Esta oscilação pode ser detectada através da observação de saltos na frequência do oscilador quando se está ajustando a sua sintonia. Ela pode ser eliminada através do ajuste do resistor R_6 colocado em série com o circuito de controle de frequência.

O outro tipo de oscilação é devido às ressonâncias espúrias inerentes do circuito ressoador formado pelos indutores L_2 e L_3 , pelos "varactores" CV_1 e CV_2 e pelo cristal. Geralmente ela se manifesta pela aparição de raias abaixo da frequência central (f_0) do oscilador. Isto pode ser corrigido introduzindo um resistor R_x (aproximadamente 33 k Ω) em paralelo com o cristal. Neste oscilador, em particular, não houve necessidade de colocação deste resistor.

3.2 - DIVISORES, COMPARADOR DE FASE E FILTRO PASSA-BAIXAS

3.2.1 - DIVISOR POR 113

Como a frequência de saída do VCXO é superior à utilizada em circuitos TTL, há necessidade da utilização de um pré-divisor de alta velocidade entre a saída do VCXO e os divisores TTL. Sendo o valor da divisão igual a 113, recorre-se à utilização de um circuito pré-divisor com dois módulos de divisão, 10 e 11 (Adabo, 1983), antes dos divisores TTL. O circuito elétrico do divisor por 113 é mostrado na Figura 6.

O pré-divisor utilizado é o circuito integrado 95H90 (CI-1), que possui dois módulos de divisão, 10 e 11. Seu sinal de entrada deve estar em nível lógico ECL e em sua saída há um conversor de nível lógico ECL para TTL, que é dado pelos resistores R_3 e R_4 e pelo transistor T_1 . Quando o sinal de controle do módulo de divisão, que é fornecido pelo circuito integrado CI-2, é igual a "0", ele divide por 11; quando é igual a "1", ele divide por 10. Os resistores R_5 e R_6 transformam um sinal em nível lógico TTL para ECL.

Portanto, para que a divisão por 113 seja efetuada, o CI-4, que é um contador programável (National, 1981), deve estar programado para dividir por 3 e o contador CI-3 deve estar programado para dividir por 11. Para cada conjunto de 11 pulsos na entrada do pré-divisor CI-1, ambos os contadores CI-3 e CI-4 são decrementados de 1. O pré-divisor fica dividindo por 11 até que o contador CI-4 chegue ao estado "zero". Quando isto acontecer, o pré-divisor recebeu 33 pulsos e o estado do contador CI-3 será igual a $11 - 3 = 8$. Neste instante o pré-divisor muda então para o módulo de divisão 10 e permanece neste módulo até que o contador CI-4 receba 8 pulsos. Finalmente, quando isto é completado, o circuito recebeu 113 pulsos do VCXO e os contadores CI-3 e CI-4 são carregados com os valores programados e o ciclo se repete. O controle do modo de divisão do pré-divisor é feito pelo "flip-flop" CI-2.

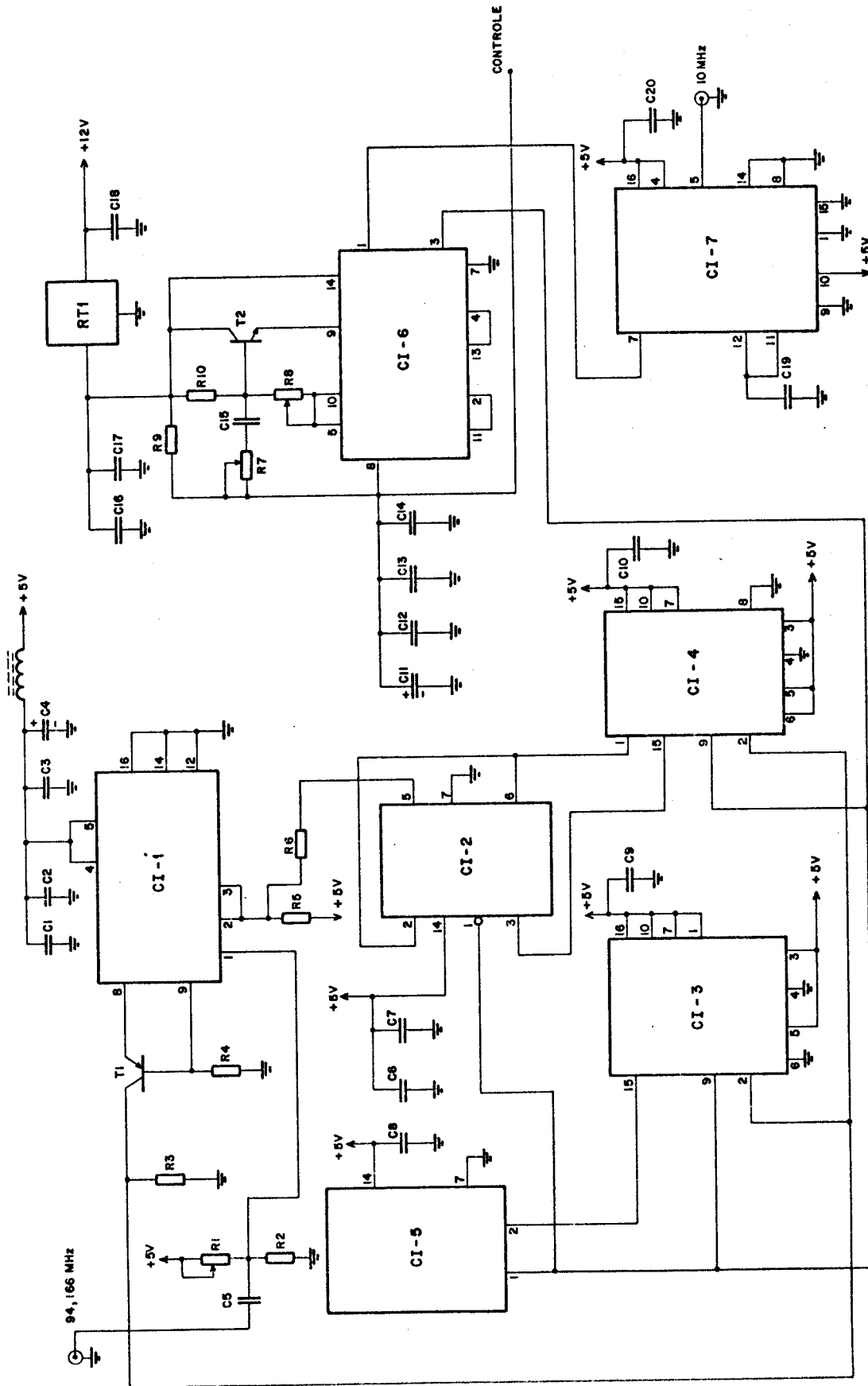


Fig. 6 - Circuito eletrônico do divisor por 113, do divisor por 12, do comparador de fase e do filtro passa-baixas.

O único ajuste deste divisor é feito através do potenciômetro R_1 . Este potenciômetro faz com que o sinal do VCXO se torne compatível com o nível lógico ECL que o pré-divisor exige em sua entrada. Portanto, para que o divisor entre em funcionamento deve-se variar o potenciômetro R_1 até que um sinal em nível lógico TTL apareça no coletor do transistor T_1 .

3.2.2 - DIVISOR POR 12

O circuito elétrico do divisor por 12 é mostrado na Figura 6 e é constituído pelo circuito integrado CI-7. Este circuito é um contador binário TTL programável, cujas entradas de programação foram fixadas para que divida por 12.

Ele é utilizado para obter o sinal de referência de 833,333 kHz para o contador de fase a partir de um oscilador de 10 MHz.

3.2.3 - COMPARADOR DE FASE E FILTRO DE MALHA

O comparador de fase utilizado é o circuito integrado MC 4044 (Motorola, 1973), que possui internamente, além do comparador de fase, um discriminador de frequências e um amplificador que foi utilizado na realização do filtro de malha do PLL (Gardner, 1979).

O circuito do comparador de fase e do filtro de malha são mostrados na Figura 6. O comparador de fase é o circuito integrado CI-6 e o filtro de malha utilizado é ativo e é formado pelos potenciômetros R_7 e R_8 , pelo capacitor C_{15} e pelo transistor T_2 .

O ajuste do ruído de fase e da modulação do VCXO causada pelo sinal de referência em 833,333 kHz é feito através dos potenciômetros R_7 e R_8 .

A lista de componentes é apresentada na Tabela 2. Na Figura 7 apresenta-se a disposição dos componentes na placa de circuito impresso e na Figura 8 apresentam-se as duas faces da máscara do circuito impresso.

TABELA 2

LISTA DE COMPONENTES DOS DIVISORES, DO COMPARADOR DE FASE
E DO FILTRO PASSA-BAIXAS

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	VALOR OU MODELO	FABRICANTE
R ₁	Potenciômetro de precisão	100 Ω	Bourns
R ₂	Resistor de carvão	100 Ω/(1/8 ω)	Constanta
R ₃	Resistor de carvão	220 Ω/(1/8 ω)	Constanta
R ₄	Resistor de carvão	120 Ω/(1/8 ω)	Constanta
R ₅	Resistor de carvão	270 Ω/(1/8 ω)	Constanta
R ₆	Resistor de carvão	240 Ω/(1/8 ω)	Constanta
R ₇	Potenciômetro de precisão	500 KΩ	Bourns
R ₈	Potenciômetro de precisão	500 Ω	Bourns
R ₉	Resistor de carvão	1 KΩ/(1/8 ω)	Constanta
R ₁₀	Resistor de carvão	1 MΩ/(1/8 ω)	Constanta
C ₁ , C ₅	Capacitor disco de cerâmica	1 KpF/100 V	Thomson
C ₂ , C ₇ C ₈	Capacitor disco de cerâmica	10 KpF/100 V	Thomson
C ₉ , C ₁₀ C ₁₄	Capacitor disco de cerâmica	10 KpF/100 V	Thomson
C ₁₅ , C ₁₇ C ₂₀	Capacitor disco de cerâmica	10 KpF/100 V	Thomson

(continua)

Tabela 2 - Conclusão

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	VALOR OU MODELO	FABRICANTE
C ₃ , C ₁₂ C ₁₆	Capacitor disco de cerâmica	100 KpF/100 V	Thomson
C ₄	Capacitor eletrolítico de tântalo	10 µF/25 V	Siemens
C ₆	Capacitor eletrolítico	100 µF/25 V	Siemens
C ₁₁	Capacitor eletrolítico de tântalo	1 µF/35 V	Siemens
C ₁₃	Capacitor de poliéster	100 KpF/250 V	Ibrape
C ₁₈	Capacitor de poliéster	330 KpF/250 V	Ibrape
C ₁₉	Capacitor disco de cerâmica	68 pF/100 V	Thomson
T ₁	Transistor PNP	2 N 5771	Motorola
T ₂	Transistor NPN	BF 180	Ibrape
RT ₁	Regulador de tensão	LM 7805	National
CI ₁	Circuito integrado	95 H 90	Fairchild
CI ₂	Circuito integrado	74 LS 74	Texas
CI ₃ , CI ₄	Circuito integrado	74 S 163	Texas
CI ₅	Circuito integrado	74 LS 04	Texas
CI ₆	Circuito integrado	MC 4044	Motorola
CI ₇	Circuito integrado	74 LS 193	Texas
CH ₁	Choque de RF	10 µH	INPE
	Forma para choque de RF		Thornton

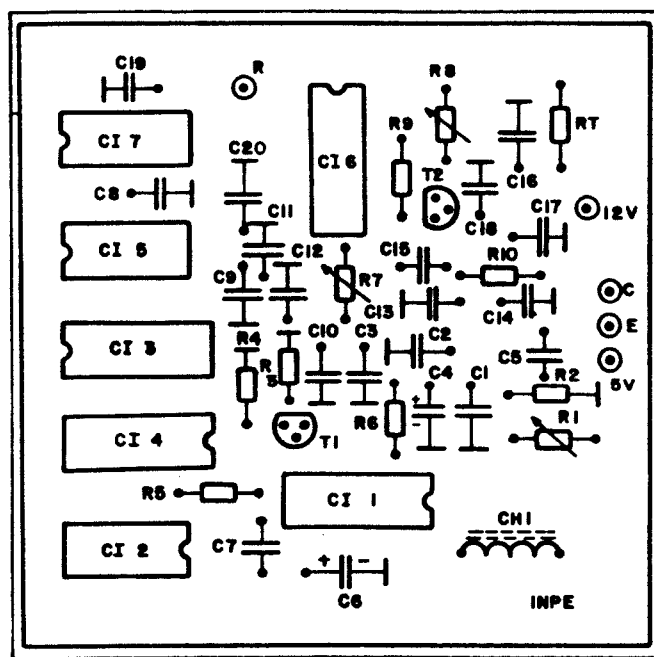


Fig. 7 - Disposiç~o dos componentes dos divisores, do comparador de fase e do filtro passa-baixas na placa de circuito impresso.

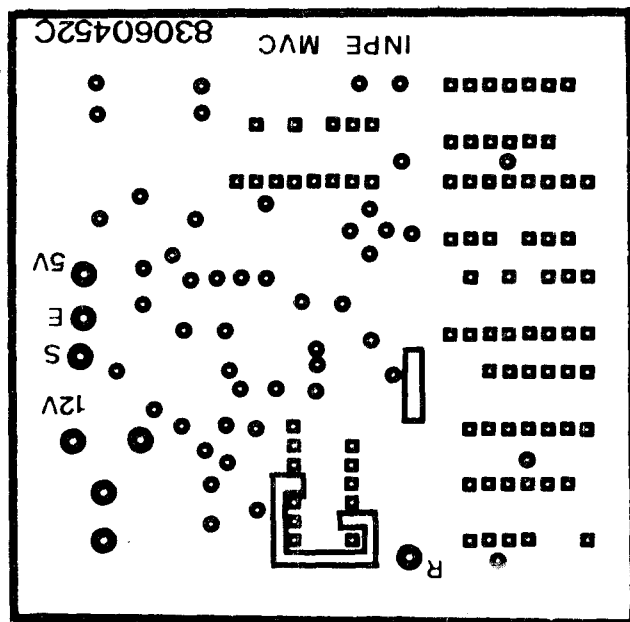
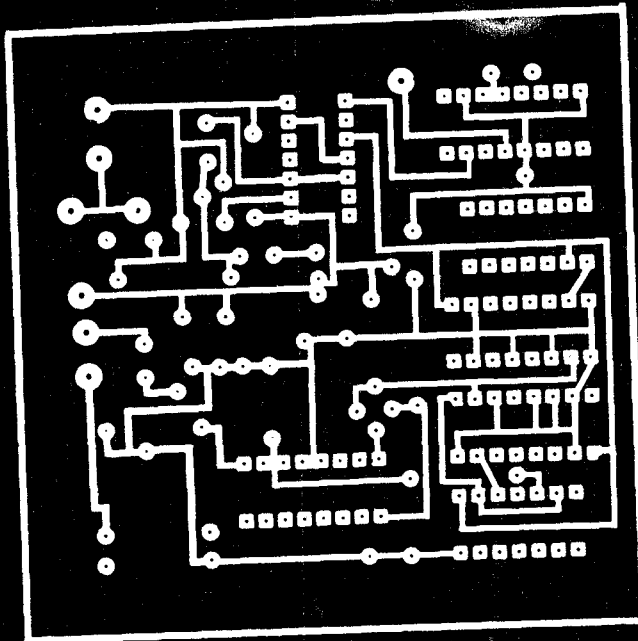


Fig. 8 - Máscaras para a confecção do circuito impresso do comparador de fase do filtro passa-baixas.

3.3 - MULTIPLICADOR POR 4 E AMPLIFICADOR

O circuito elétrico do multiplicador e amplificador é mostrado na Figura 9.

O multiplicador por 4 é formado por dois dobradores de frequência; o primeiro dobrador é formado pelos transistores TR_1 e TR_2 e o segundo, pelos transistores TR_3 e TR_4 .

O sinal vindo do VCXO é acoplado ao primeiro dobrador através do capacitor C_1 , indo excitar a base do transistor TR_1 e também a base do transistor TR_2 . A base de TR_2 é excitada através de um transformador com inversão de fase.

Como os transistores estão polarizados no corte, somente um deles conduzirá a cada semiciclo do sinal de entrada, o que permite que o sinal no coletor seja retificado em onda completa. Este sinal deve ser simétrico para permitir uma boa rejeição nas harmônicas ímpares. Este ajuste deve ser efetuado no potenciômetro R_3 . O sinal de coletor é filtrado pelo circuito formado por L_2 , L_3 , C_6 e C_8 , o que faz com que aumente a rejeição das harmônicas pares.

O segundo dobrador é idêntico ao primeiro, com exceção dos capacitores C_4 e C_5 que foram utilizados para melhorar a sua estabilidade, e do capacitor C_{15} que é colocado após C_{14} para melhorar a filtragem desse estágio.

Um atenuador formado por R_{14} , R_{15} e R_{16} é colocado na saída do segundo dobrador para melhorar o casamento de impedância com o amplificador. O ajuste do multiplicador deve ser efetuado juntamente com o amplificador.

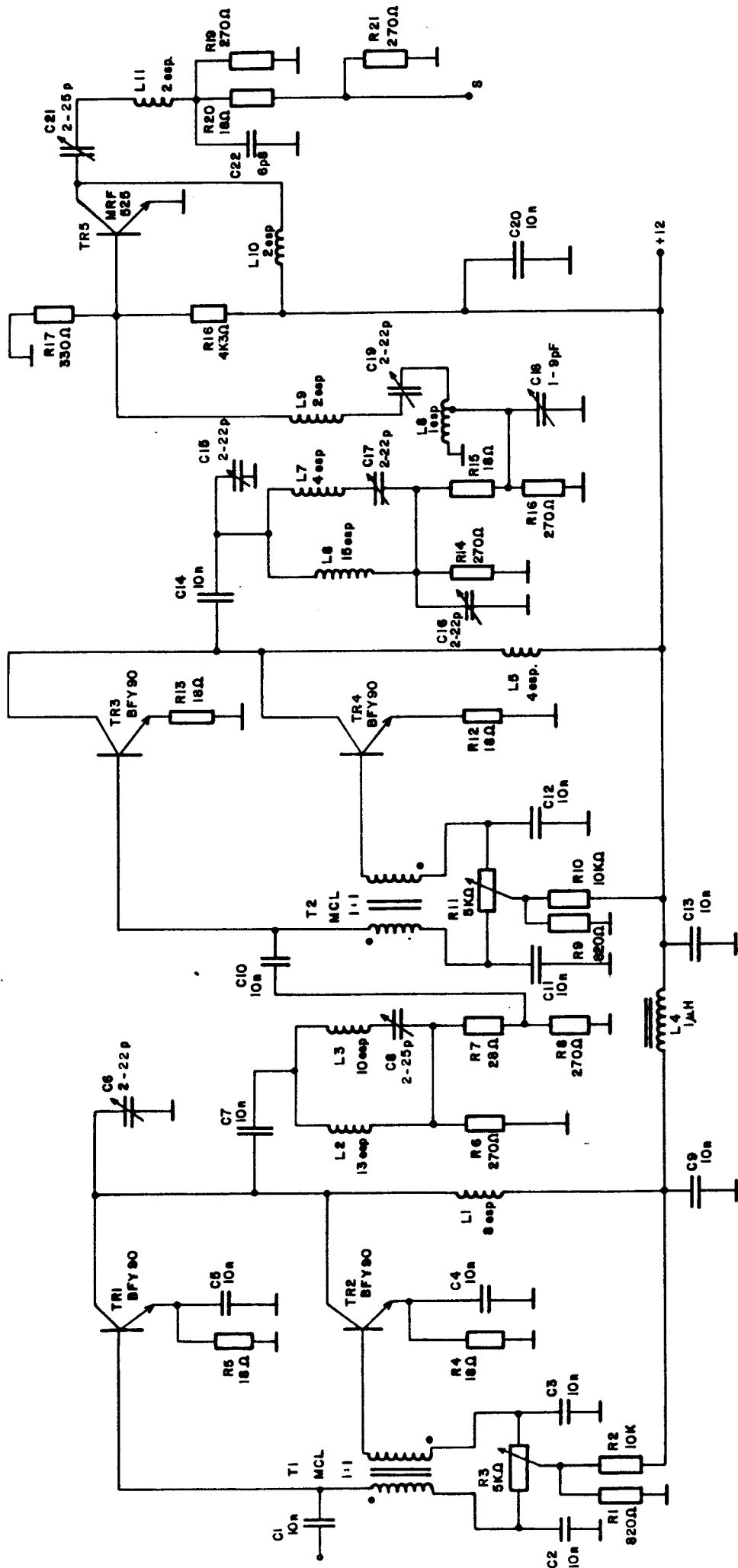


Fig. 9 - Circuito eletrônico do multiplicador por 4 e amplificador.

O amplificador é constituído pelo transistor TR₅ na montagem emissor comum e tem um ganho de 20 dB.

O sinal de saída do multiplicador é acoplado ao amplificador através da bobina L₈ com derivação e do "trimmer" C₁₉, que conjuntamente com L₉ e C₁₈ permitem a sintonia e o casamento de impedância neste ponto.

Na saída do amplificador existem a bobina L₁₁ e os capacitores C₂₁ e C₂₂ que permitem a sintonia e a filtragem do sinal de saída. O atenuador formado por R₁₉, R₂₀ e R₂₁ melhora o casamento de impedância na saída.

Os ajustes do multiplicador e amplificador devem ser primeiramente efetuados nos potenciômetros R₃ e R₁₁ ajustando o ponto de polarização de TR₁, TR₂, TR₃ e TR₄ para o corte. Com isso consegue-se que a rejeição de harmônicas ímpares seja a maior possível.

Os ajustes restantes devem ser efetuados interativamente da saída para a entrada, iniciando-se pelos "trimmers" C₂₀ e C₂₂ até se conseguir a especificação desejada. Para um refinamento nos ajustes, às vezes se faz necessário ajustar as bobinas L₂, L₃, L₆, L₇, L₉ e L₁₀.

Os componentes utilizados na montagem do multiplicador por 4 e do amplificador são apresentados na Tabela 3. Na Figura 10 apresenta-se a disposição dos componentes na placa de circuito impresso e na Figura 11 apresentam-se as duas faces da máscara do circuito impresso.

TABELA 3

LISTA DE COMPONENTES DO MULTIPLICADOR POR 4 E DO AMPLIFICADOR

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	VALOR OU MODELO	FABRICANTE
C ₁ , C ₂ , C ₃	Capacitor disco de cerâmica	10 KpF/100 V	Thomson
C ₄ , C ₅ , C ₇	Capacitor disco de cerâmica	10 KpF/100 V	Thomson
C ₆	Trimmer	2-22 pF	DAU
C ₈	Trimmer	2-25 pF	DAU
C ₉ , C ₁₀ , C ₁₁	Capacitor disco de cerâmica	10 KpF/100 V	Thomson
C ₁₂ , C ₁₃ , C ₁₄	Capacitor disco de cerâmica	10 KpF/100 V	Thomson
C ₁₅ , C ₁₆ , C ₁₇	Trimmer	2-22 pF	DAU
C ₁₈ , C ₁₉	Trimmer	2-22 pF	DAU
C ₂₀	Capacitor disco de cerâmica	10 KpF/100 V	Thomson
C ₂₁	Trimmer	2-25 pF	DAU
C ₂₂	Capacitor disco de cerâmica	6,8 pF/100 V	Thomson
R ₁	Resistor de carvão	820 Ω/(1/8 ω)	Constanta
R ₂	Resistor de carvão	10 KΩ/(1/8 ω)	Constanta
R ₃ , R ₁₁	Potenciômetro de precisão	5 KΩ	Spectro1
R ₄ , R ₅ , R ₇	Resistor de carvão	18 Ω/(1/8 ω)	Constanta

(continua)

Tabela 3 - Conclusão

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	VALOR OU MODELO	FABRICANTE
R ₆ , R ₈	Resistor de carvão	270 Ω/(1/8 ω)	Constanta
R ₉	Resistor de carvão	820 Ω/(1/8 ω)	Constanta
R ₁₀	Resistor de carvão	10 KΩ/(1/8 ω)	Constanta
R ₁₂ , R ₁₃ R ₁₅	Resistor de carvão	18 Ω/(1/8 ω)	Constanta
R ₁₄ , R ₁₆ R ₁₉	Resistor de carvão	270 Ω/(1/8 ω)	Constanta
R ₁₇	Resistor de carvão	330 Ω/(1/8 ω)	Constanta
R ₁₈	Resistor de carvão	4,3 KΩ/(1/8 ω)	Constanta
R ₂₀	Resistor de carvão	18 Ω/(1/8 ω)	Constanta
R ₂₁	Resistor de carvão	270 Ω/(1/8 ω)	Constanta
L ₁	Bobina - 8 espiras fio 22 AWG, φ = 3,5 mm		INPE
L ₂ , L ₄ L ₆	Bobina - 13 espiras fio 22 AWG, φ = 3,5 mm		INPE
L ₃	Bobina - 10 espiras fio 22 AWG, φ = 3,5 mm		INPE
L ₅ , L ₇	Bobina - 4 espiras fio 22 AWG, φ = 3,5 mm		INPE
L ₈	Bobina - 1 espira fio 18 AWG, φ = 8 mm		INPE
L ₉ , L ₁₀	Bobina - 1 espira fio 22 AWG, φ = 3,5 mm		INPE
L ₁₁	Bobina - 13 espiras fio 22 AWG, φ = 3,5mm		INPE
TR ₁ , TR ₂	Transistor NPN	BFY-90	Ibrape
TR ₃ , TR ₄	Transistor NPN	BFY-90	Ibrape
TR ₅	Transistor NPN	MRF 525	Motorola
T ₁ , T ₂	Transformador de RF	T1-1	Minicircuits

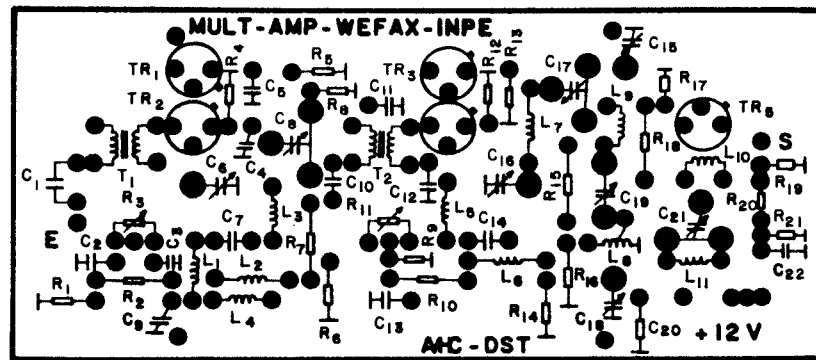


Fig. 10 - Disposiçãõ dos componentes do multiplicador por 4 e do ampli_ ficador na placa de circuito impresso.

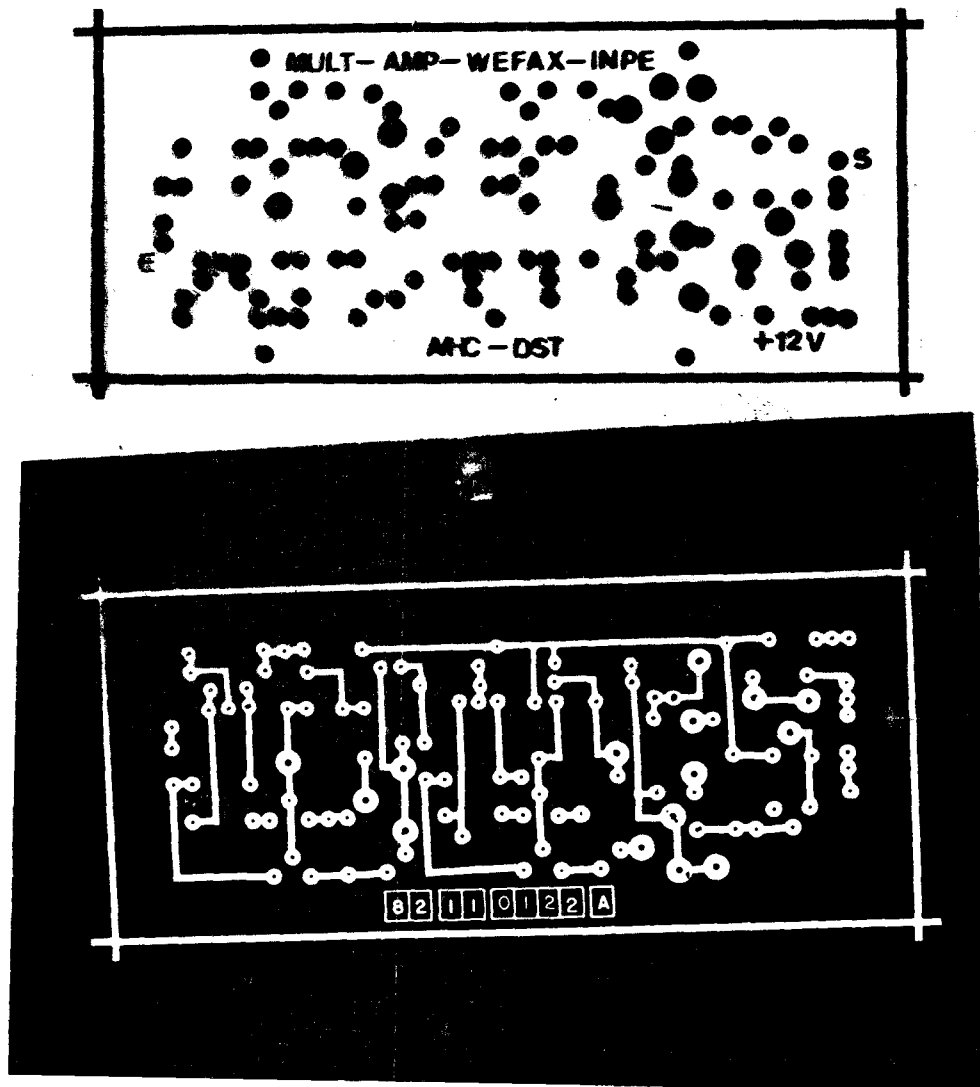


Fig. 11 - Máscaras para a confecção do circuito impresso do multiplicador por 4 e do amplificador.

3.4 - MULTIPLICADOR POR 3 E FILTRO DE SAÍDA

O esquema elétrico do multiplicador é mostrado na Figura 12. Ele foi construído com um diodo de recuperação em degrau ("step recovery diode") e circuitos de casamento na entrada e saída.

O circuito de casamento na entrada é do tipo passa-baixas e transforma a impedância de entrada de 50Ω para 10Ω , que é adequada ao funcionamento do diodo. É constituído de capacitores distribuídos e concentrados. O diodo é autopolarizado através do resistor R_1 .

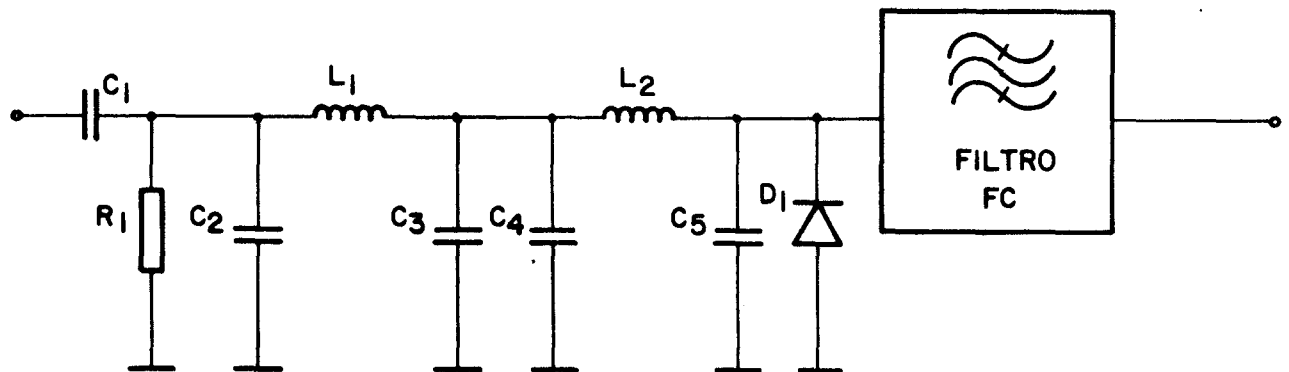


Fig. 12 - Esquema elétrico do multiplicador.

Para ter acesso ao plano de terra na face superior da placa de circuito impresso, utiliza-se o artifício de manter uma linha impressa na borda da face superior soldada através de uma fita de cobre com a face inferior. Isso se faz necessário pelo fato de ter de soldar os capacitores concentrados. O mesmo artifício é utilizado no filtro para curtcircuitar as extremidades dos ressoadores interdigitais.

O casamento de impedância entre a saída do multiplicador e o filtro é realizado através de um ressoador "hairpin" colocado na entrada do filtro. Este tipo de ressoador tem a vantagem adicional de não utilizar um capacitor de desacoplamento entre o diodo e o filtro.

O filtro é do tipo passa-faixa. É constituído de 8 ressoadores de meia onda interdigitais e dois ressoadores "hairpin" para permitir casamento de impedâncias na entrada e saída. A montagem é feita em microlinha através de impressão fotolitográfica.

Os ajustes devem ser efetuados com o multiplicador e o filtro ligados em cascata. O casamento de impedância pode ser realizado através de ajustes no comprimento dos ressoadores "hairpin" e também através da colocação de "pads" capacitivos no circuito impresso.

Os componentes utilizados na montagem do multiplicador por 3 e do filtro de saída são apresentados na Tabela 4. A Figura 13 mostra a máscara utilizada para a confecção do circuito de microlinhas e a disposição dos componentes.

TABELA 4

LISTA DE COMPONENTES DO MULTIPLICADOR POR 3 E DO FILTRO DE SAÍDA

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	VALOR OU MODELO	FABRICANTE
C ₁	Capacitor de cerâmica	360 pF	ATC
C ₂ , C ₄ C ₅	Capacitor distribuído impresso		
C ₃	Capacitor de cerâmica	3,3 pF	Vitramon
L ₁ , L ₂	Bobina distribuída impressa		
R ₁	Resistor de carvão	47 K Ω /(1/8 ω)	Constanta
D ₁	Diodo SRD	0180	HP
Fc	Filtro impresso		
	Placa dielétrica RT DUROID 6010, $\epsilon_R = 10,5$ (1,27 mm x 25 mm x 87 mm)		Rogers

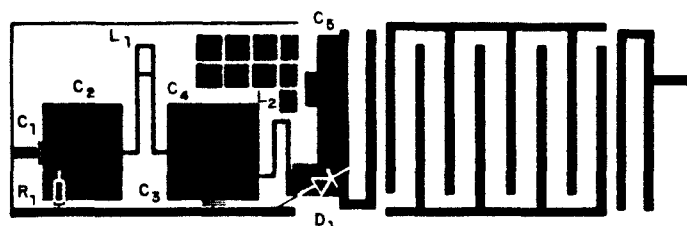


Fig. 13 - Máscara para o circuito do multiplicador por 3 e do filtro de saída e disposição dos componentes.

4. RESULTADOS

O esquema de medidas de desempenho do oscilador local é mostrado na Figura 14.

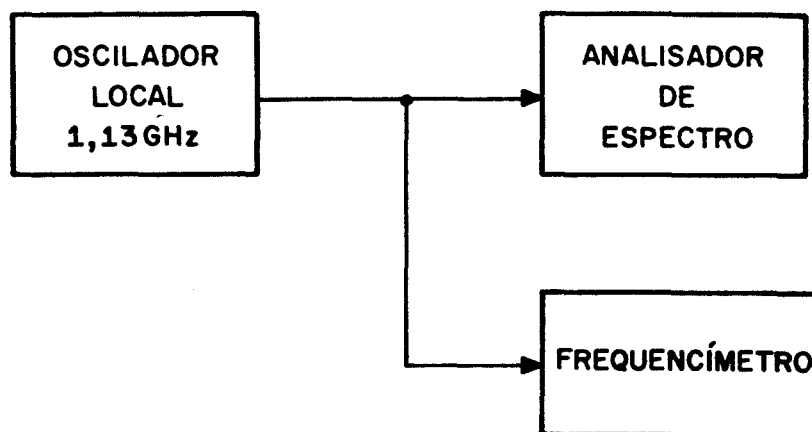


Fig. 14 - Esquema para medida do desempenho do oscilador local.

Os resultados obtidos são listados abaixo:

- Frequência de saída: 1.130.000,000 KHz
- Potência de saída: + 10 dBm
- Rejeição de espúrios > 60 dB
- Rejeição de harmônicas > 40 dB.

•
• •

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADABO, P. *Divisores programáveis de frequências de alta velocidade do tipo "pulse swallowing"*. São José dos Campos, INPE, abr. 1983. (INPE-2695-PRE/292).
- GARDNER, F.M. *Phaselock techniques*. 2. ed. New York, John Wiley, 1979.
- KONO, J.; COLLA, N.H.; ARAKAKI, Y. *Especificação de uma estação terre na SCPC FM de baixa capacidade para 6/4 GHz*. São José dos Campos, INPE, out. 1981. (INPE-2254-NTE/176).
- MOTOROLA. *Phase locked loop systems; data book*. s.l., 1973.
- NATIONAL. *Logic databook*. California, 1981.