1. Publicação nº	2. Versão	3. Data	5. Distribuição
INPE-3177-PRE/544		*Julho, 1984*	☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem *DTL/DST*	Programa *NOVTEC/ETCOMS*		

6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es)
MODULADOR
PLL
COMUNICAÇÕES

7. C.D.U.: *621.376.4*

8. Título *INPE-3177-PRE/544*

MODULADOR DE FASE EM 401,650 MHz

10. Páginas: *16*

11. Última página: *11*

12. Revisada por

Janio Kono

9. Autoria *Paulo Adabo*
José Antonio Rodrigues

13. Autorizada por

Nelson de Jesus Parada
Diretor Geral

Assinatura responsável

14. Resumo/Notas

Este trabalho apresenta o projeto e a implementação de um modulador de fase em 401,650 MHz, desenvolvido como alternativa para o modulador do transmissor de um sistema de coleta de dados meteorológicos e hidrológicos por satélite. Este sistema tem por finalidade a coleta e a transmissão de dados ambientais (a 400 bits/seg.) a partir de plataformas de coleta de dados (PCDs), através de um satélite, até um centro de recepção, assim como o processamento e a disseminação destes dados. A portadora modulada tem um desvio de fase de +60° ou de -60° correspondente aos dois níveis lógicos do sinal de dados. O modulador é essencialmente um PLL ("phase-locked loop") com um oscilador controlado a tensão (VCO) em 401,650 MHz. A frequência do VCO é dividida por 64 e então amarrada a uma fonte de frequência de alta estabilidade (6,27576125 MHz). A modulação é feita diretamente em 401,650 MHz com o sinal modulante sendo introduzido após o comparador de fase do PLL.

15. Observações *Submetido para apresentação na 36ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência - SBPC, de 4 a 11 de julho de 1984, em São Paulo, SP.*

ABSTRACT

This report presents the design and implementation of a phase modulator in 401.650 MHz, developed as an alternative for the transmitter modulator of a meteorological and hydrological data collection system by satellite. This system performs the collection and the transmission of environmental data to a reception center by data collection plataforms, through a satellite. The modulated carrier has an angle deviation of +60° or -60°, corresponding to the digital data levels. The modulator consists basically of a phase-locked loop (PLL) with a voltage-controlled oscillator (VCO) in 401.650 MHz. The VCO frequency is divided by 64 and phase-locked to a high stability reference (6.27576125 MHz). The modulation is made at 401.650 MHz with the modulation signal introduced after the phase comparator.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS v

1. INTRODUÇÃO 1

2. ASPECTOS TEÓRICOS 2

3. CONSIDERAÇÕES DE PROJETO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 11

LISTA DE FIGURAS

Pág.

1 - Diagrama de blocos da PCD 1
2 - Diagrama de blocos do modulador de fase 2
3 - Representação do modulador de fase no domínio da frequência .. 3
4 - Filtro de malha ativo 5
5 - Diagrama de blocos detalhado do modulador de fase 6
6 - Modulador de fase em 401,650 MHz 9

1. INTRODUÇÃO

A Plataforma de Coleta de Dados é uma estação para aquisição de parâmetros ambientais, particularmente nas áreas de Ecologia, Recursos Hídricos, Geologia, Meteorologia, Agricultura e Oceanografia. O sistema envolve as plataformas para aquisição de dados, um centro de recepção e disseminação desses dados e um satélite como elo de ligação das plataformas com o centro de recepção (Oliveira, 1980).

As informações ambientais tais como intensidade de chuva, temperatura, nível de rios e lagos, velocidade de vento etc., são adquiridas por sensores a uma taxa de 400 bits/seg. que depois de convenientemente tratados modulam a portadora de RF da plataforma cuja frequência é de 401,650 MHz. O diagrama de blocos de uma plataforma de coleta de dados é apresentado na Figura 1.

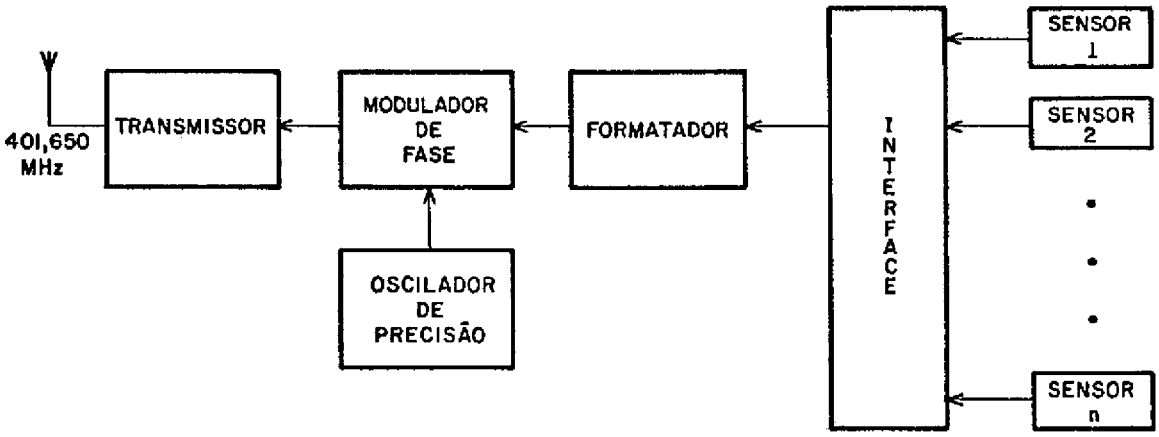


Fig. 1 - Diagrama de blocos da PCD.

A portadora do transmissor da PCD é modulada em fase por um sinal digital bifásico (código Manchester) (Lindsey and Simon, 1973) com um desvio de fase de $+60^{o}$ ou de -60° correspondente aos dois níveis lógicos do sinal de dados. O modulador de fase, o qual é motivo deste trabalho, é essencialmente um PLL com um VCO em 401,650 MHz. A frequência do VCO é dividida por 64 e então amarrada a uma fonte de referência

de alta estabilidade de 6,27576125 MHz. O sinal modulante é introduzido após o comparador de fase do PLL.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

O modulador de fase é essencialmente um PLL com um divisor por N na malha de realimentação, onde o sinal modulante é introduzido após o comparador de fase como pode se observar pela Figura 2.

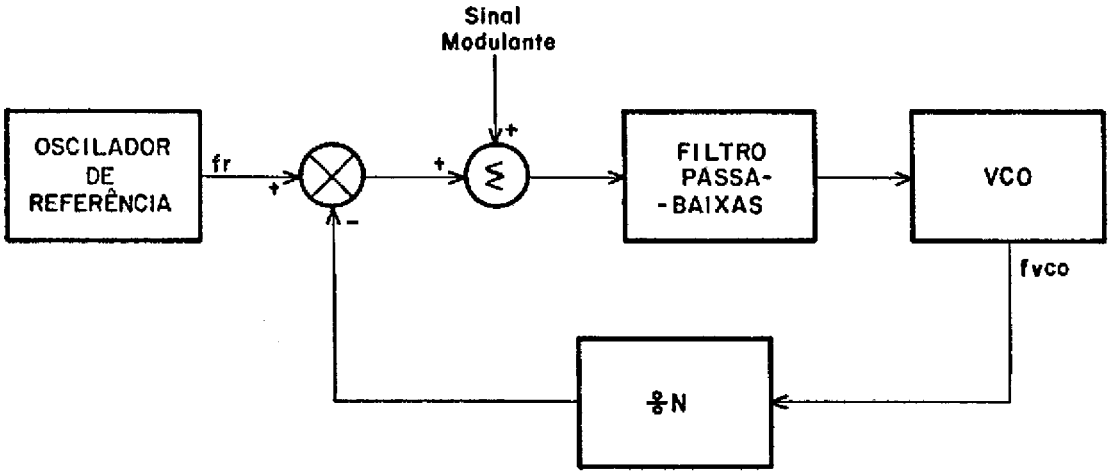


Fig. 2 - Diagrama de blocos do modulador de fase.

O sinal de saída do VCO (f_{VCO}) é dividido e comparado com uma frequência de referência bastante estável. O comparador de fase gera um sinal de erro que, depois de convenientemente filtrado, é utilizado para controlar o VCO, mantendo-o na frequência: $f_{VCO} = N.f_R$. Quando isto ocorre, diz-se que o modulador está amarrado em fase (em "lock") e a estabilidade da frequência de saída é fortemente dependente da estabilidade da frequência do sinal de referência. Como o modulador é de fase, o sinal modulante é injetado logo após o comparador de fase (Gardner, 1979).

Utilizando a transformada de Laplace, a representação do modulador no domínio da frequência é mostrado na Figura 3.

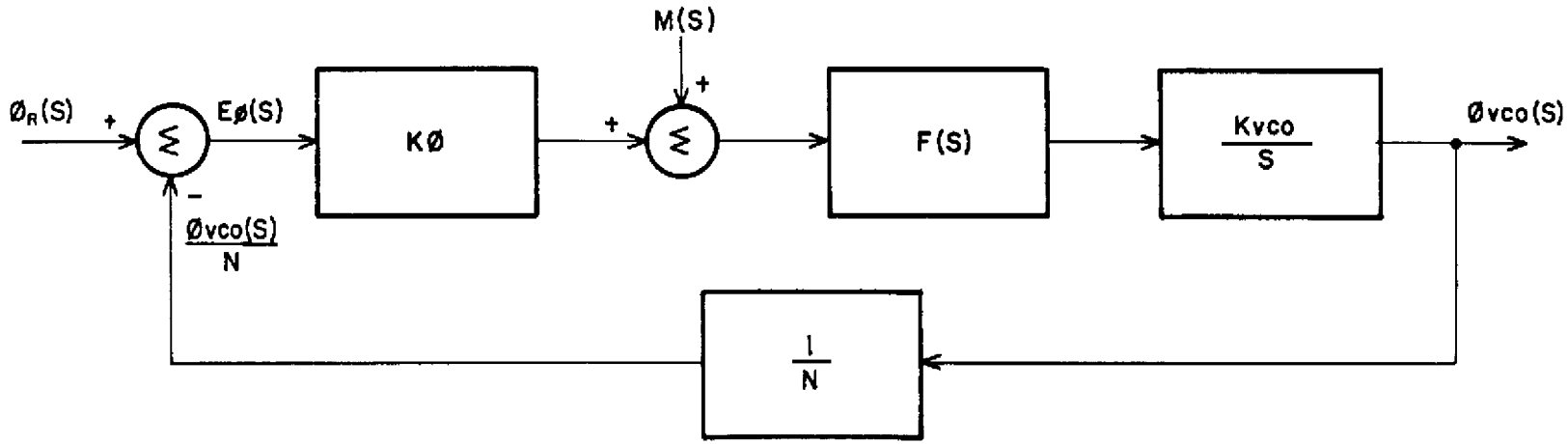


Fig. 3 - Representação do modulador de fase no domínio da frequência.

A constante $K\phi$ representada na Figura 3 é o ganho do comparador de fase, enquanto K_{VCO} é o ganho do VCO e F(s) é a função de transferência do filtro passa-baixas da malha. O sinal modulante está representado por M(s).

Pela análise da Figura 3, considerando que M(s)=0, tem-se:

$$\phi_{VCO}(s) = K\phi \cdot F(s) \cdot \frac{K_{VCO}}{s} \cdot E\phi(s) \ , \tag{2.1}$$

$$E\phi(s) = \phi_R(s) - \frac{\phi_{VCO}(s)}{N} \ . \tag{2.2}$$

Combinando a Equação 2.1 com a 2.2 obtém-se a função de transferência do modulador:

$$\frac{\phi_{VCO}(s)}{\phi_R(s)} = \frac{K\phi \cdot K_{VCO}\ F(s)}{S + \frac{K\phi\ K_{VCO}}{N} \cdot F(s)} = H(s) \tag{2.3}$$

A função de transferência do modulador H(s) comporta-se como um filtro passa-baixas para o sinal de referência (ϕ_R).

Dependendo da função de transferência do filtro passa-baixas da malha, têm-se moduladores com várias características dinâmicas. Utilizando o filtro ativo mostrado na Figura 4 como filtro passa-baixas e sabendo que a função de transferência F(s) deste filtro é:

$$F(s) \cong \frac{1}{\tau_1} \left(\frac{1 + T_2 s}{s}\right)$$

onde $\tau_1 = R_1C$ e $\tau_2 = R_2C$, tem-se que a função de transferência do modulador se torna:

$$\frac{\phi_{VCO}(s)}{\phi_R(s)} = \frac{N(2\xi\,\omega_n\,s + \omega_n^{\,2})}{s^2 + 2\xi\,\omega_n\,s + \omega_n^{\,2}}\,, \tag{2.4}$$

onde ω_n, frequência natural da malha, é igual a:

$$\omega_n = \left(\frac{K\phi \cdot K_{VCO}}{N\tau_1}\right)^{1/2} .$$

e ξ, fator de amortecimento, é igual a:

$$\xi = \frac{1}{2}\left(\frac{K\phi \cdot K_{VCO}\ \tau_2^{\,2}}{N\tau_1}\right)^{1/2} .$$

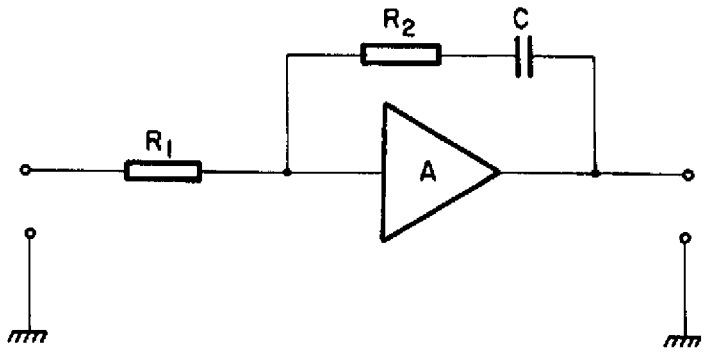


Fig. 4 - Filtro de malha ativo.

Considerando agora o sinal modulante M(s), a modulação de fase causada por este sinal na saída do VCO é encontrada como:

$$\phi_{VCO}(s) = \frac{F(s) \cdot K_{VCO}}{s + \dfrac{K\phi \cdot K_{VCO}}{N} \cdot F(s)} \cdot M(s) \ . \tag{2.5}$$

Substituindo a Equação 2.3 na Equação 2.5 obtém-se:

$$\phi_{VCO}(s) = \frac{M(s)}{K\phi} \cdot H(s) \quad .$$

Como H(s) é uma função passa-baixas, a largura de faixa da malha deve ser maior que a mais alta frequência do sinal modulante M(s) para evitar distorção na modulação.

3. CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

O diagrama de blocos mais detalhado do modulador de fase é apresentado na Figura 5.

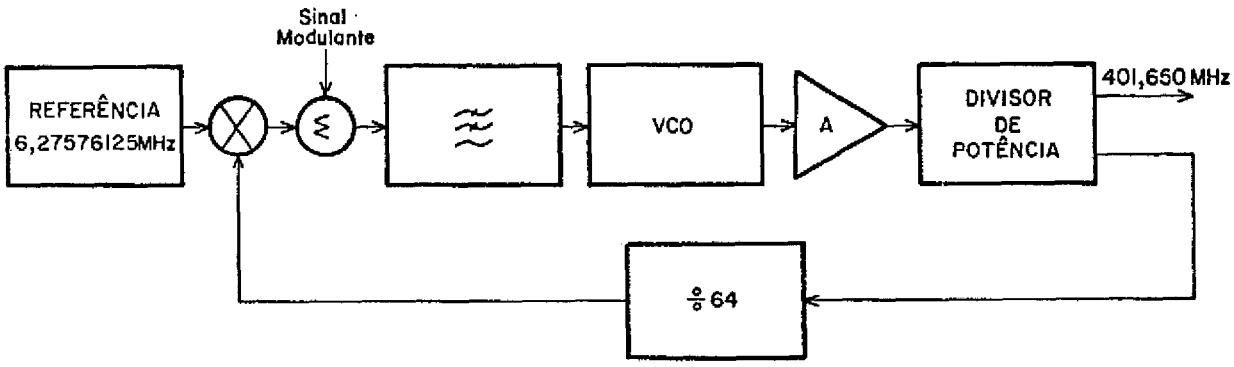


Fig. 5 - Diagrama de blocos detalhado do modulador de fase.

Como a frequência de saída é igual a 401,650 MHz e a frequência de referência igual a 6,27576125 MHz, o valor do divisor por N na malha de realimentação é igual a:

$$N = \frac{401{,}650 \text{ MHz}}{6{,}27576125 \text{ MHz}} = 64.$$

Visto que a frequência de saída do VCO é elevada, optou-se pela utilização de um divisor ECL. O divisor utilizado é um circuito integrado da Plessey (SP4020) utilizado em circuitos de VHF e UHF (Plessey, 1981). Ele divide diretamente por 64 e em sua saída há um conversor de ECL para TTL, sendo que ela pode ser ligada diretamente ao comparador de fase.

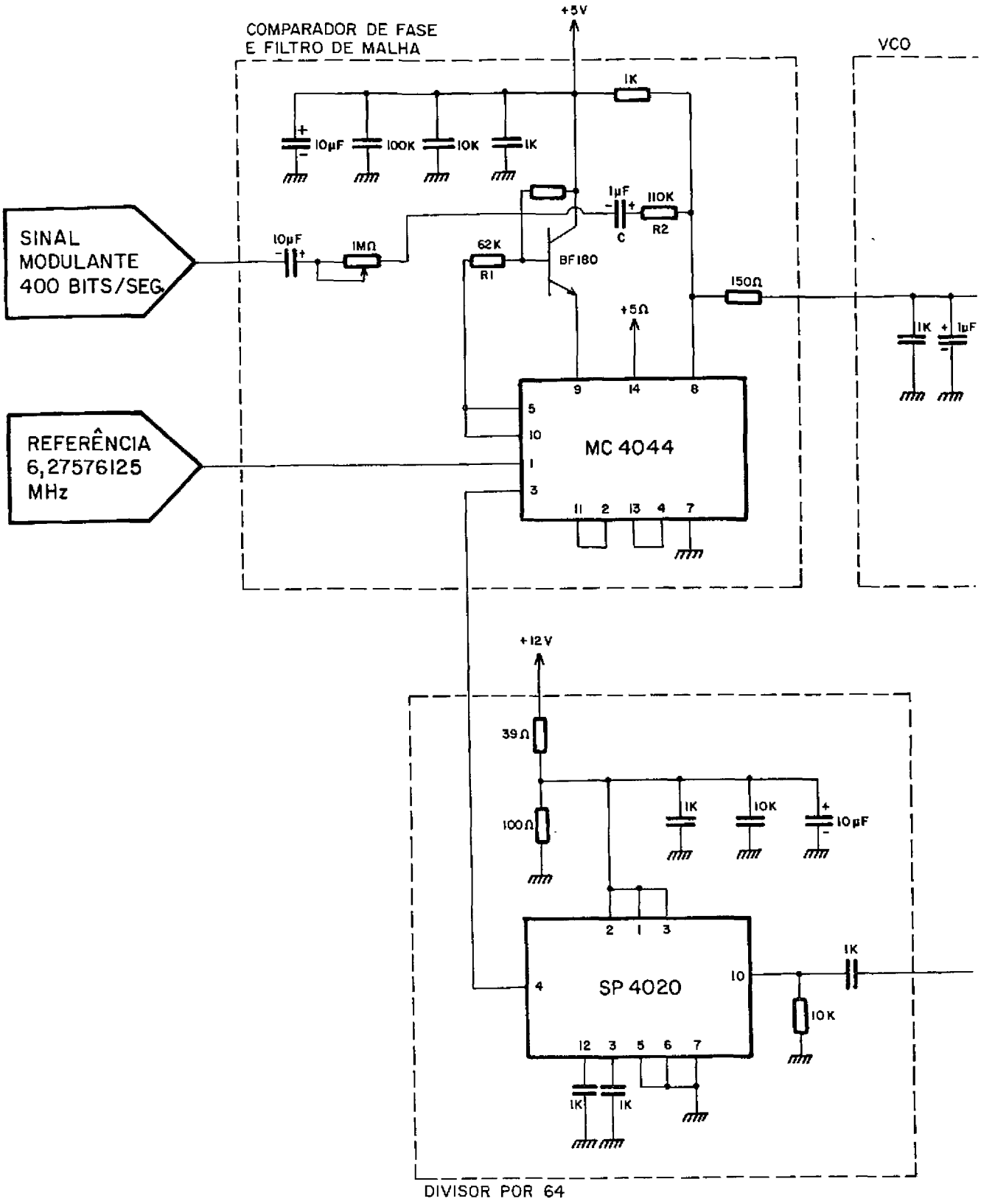
O comparador de fase utilizado é o circuito integrado da Motorola MC4044. Este comparador possui algumas vantagens adicionais com relação a outros comparadores (Motorola, 1973), tais como: um discriminador de frequências e um amplificador que é utilizado na construção do filtro de malha ativo. Este filtro tem a configuração mostrada na Figura 4.

Os componentes deste filtro são calculados levando em consideração a máxima frequência do sinal modulante, uma vez que a frequência natural da malha ω_n deve ser maior que a mais alta frequência do sinal modulante.

O VCO é o elemento da malha do PLL cuja frequência varia com a tensão de controle. O princípio de funcionamento é o mesmo dos osciladores convencionais, com a diferença que, neste caso, possui uma sintonia variável. O circuito do VCO é constituído basicamente de um circuito ressonante, realimentações e um circuito de casamento, como mostrado na Figura 6. O circuito ressonante é formado pelo "varactor", capacitores e uma bobina em série e pela impedância de entrada do transistor realimentado. As realimentações são feitas através dos capacitores (1,5 pF e 0,8 a 8 pF), além da realimentação interna do próprio transistor. O circuito de casamento é implementado por meio de bobinas L_2 e L_3, capacitor variável de saída e através da impedância de saída do transistor realimentado.

Após o VCO faz-se necessária a colocação de um amplificador (MWA 130) seguido de um divisor de potência, para que o sinal tenha nível suficiente para excitar o divisor e também para a monitoração de saída.

O circuito completo do modulador de fase em 401,650 MHz é mostrado na Figura 6.


COMPARADOR DE FASE
E FILTRO DE MALHA
+5V
VCO
1K
10µF
100K
10K
1K
1µF
110K
C
R2
SINAL
MODULANTE
400 BITS/SEG.
10µF
1MΩ
62K
R1
BF180
150Ω
+5Ω
1K
1µF
REFERÊNCIA
6,27576125
MHz
MC 4044
+12V
39Ω
100Ω
1K
10K
10µF
SP 4020
1K
10K
1K
1K
DIVISOR POR 64

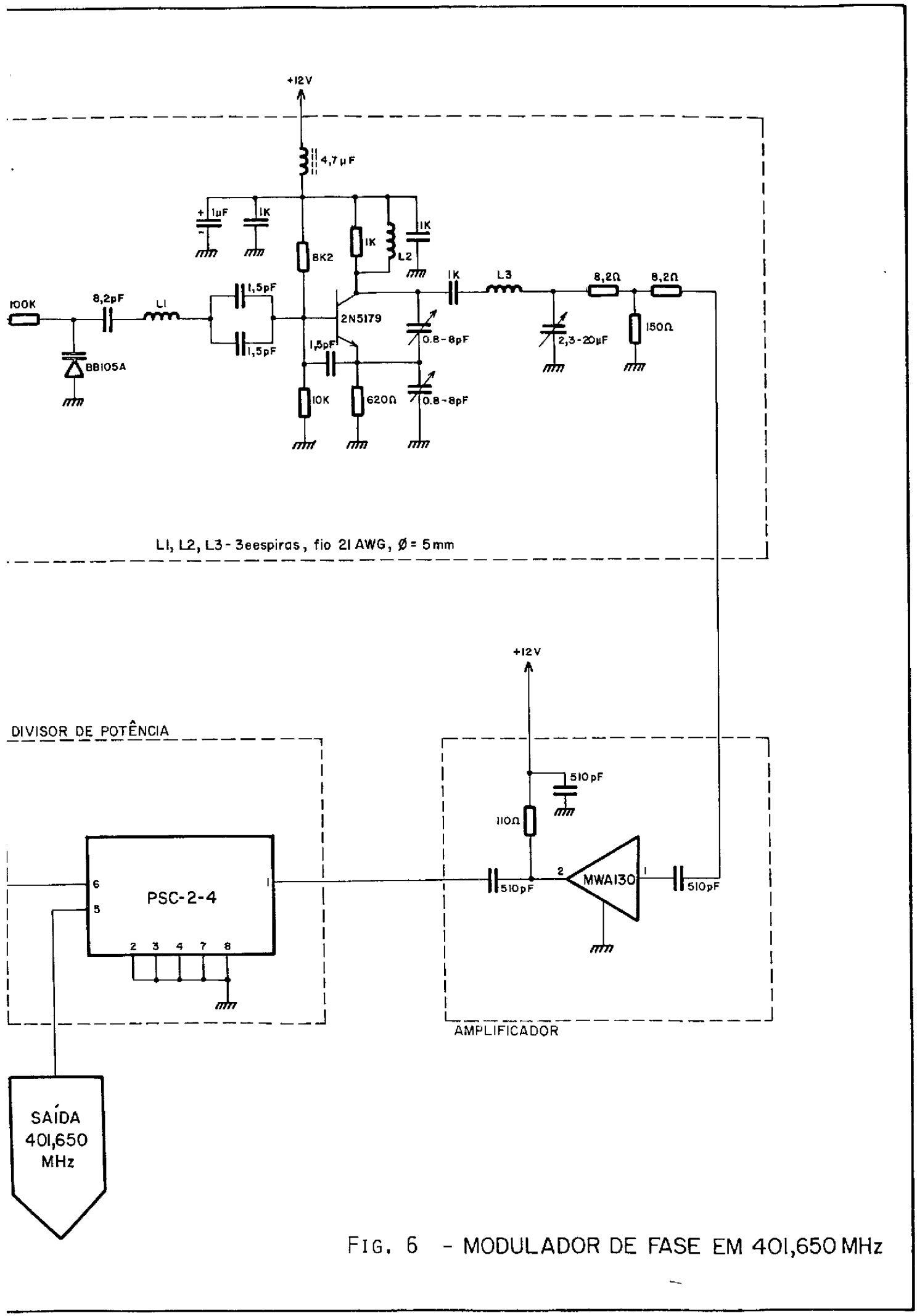


FIG. 6 - MODULADOR DE FASE EM 401,650 MHz

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GARDNER, F.M. *Phaselock techniques.* 2 ed., New York, NY, John Wiley, 1979.

LINDSEY, W.C.; SIMON, M.K. *Telecommunication system engineering.* New Jersey, Prentice-Hall, 1973.

MOTOROLA. *Phase-locked loop systems*; data book. s.l., 1973.

OLIVEIRA, J.R. *Plataforma de coleta de dados.* São José dos Campos, INPE, maio 1980. (INPE-1743-RPE/139).

PLESSEY SEMICONDUCTORS. *Television IC handbook.* Irvine, CA, 1981.