

SINTETIZADOR/MODULADOR FM DE 1200 CANAIS PARA  
TRANSMISSÃO SCPC DE SINAIS DE VOZ POR SATÉLITE

Paulo Adabo

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
12200 - São José dos Campos, SP - Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo, o projeto e a implementação prática de um sintetizador de frequências de 52,020 MHz a 87,990 MHz, com incremento de frequência igual a 30 kHz. Utiliza-se a técnica de síntese através de um PLL ("phase-locked loop"), também conhecida como síntese coerente indireta. Esta técnica consiste basicamente na utilização de um PLL com divisor programável de frequências na malha de realimentação. A frequência de saída é função do valor deste divisor. Este sintetizador tem também a função de modulador FM e está sendo utilizado para gerar 1200 canais diferentes em uma estação terrestre na SCPC ("single channel per carrier" - canal único por portadora).

1. INTRODUÇÃO

A síntese de frequências é a geração de uma ou de várias frequências a partir de um ou de vários osciladores de referência, dependendo do tipo de aplicação (Manassewitsch, 1976). Existem várias técnicas de projeto de sintetizadores, mas a técnica mais utilizada, que será o assunto deste trabalho, é a síntese de frequências através de um PLL ("phase-locked loop"), também conhecido como síntese coerente indireta (Adabo, 1983).

Este trabalho apresenta o estudo, o projeto, e a implementação de um sintetizador de frequências na faixa de 52,020 MHz a 87,990 MHz, com espaçamento uniforme de 30 kHz entre frequências adjacentes, totalizando assim

1200 canais. Este sintetizador foi especificado para atender aos requisitos da unidade de canal de uma estação terrena para telecomunicações por satélite (Kono et alii, 1981), desenvolvida pelo INPE (parcialmente financiado pela FINEP - convênio 540CT-FINEP/CNPq). Este sintetizador gera qualquer uma das 1200 portadoras SCPC ("single channel per carrier" - canal único por portadora), moduladas em FM por um sinal de voz. Portanto, este sintetizador também tem a função de modulador FM.

## 2. ASPECTOS TEÓRICOS

Na Figura 1 é apresentado o diagrama de blocos do sintetizador no domínio da frequência, onde a constante  $K_\phi$  é o ganho do comparador de fase e  $K_{VCO}$  é o ganho do VCO. O sinal de saída do VCO é dividido e comparado com uma frequência de referência de alta estabilidade. O comparador de fase gera um sinal de erro que, depois de convenientemente filtrado, é utilizado para controlar a saída do VCO, mantendo-o na frequência  $f_s = N.f_R$ . Quando se altera o valor de  $N$ , ocorre no circuito um transitório de curta duração, voltando a vigorar logo em seguida a relação acima. Com isso, pode-se obter na saída do sintetizador um certo número de frequências múltiplas de  $f_R$ , dependendo dos parâmetros do circuito.

Utilizando um filtro ativo como filtro de malha e com a função de transferência igual a  $F(s) = (1/\tau_1) \cdot [(1 + \tau_2 s)/s]$ , a função de transferência da malha fica igual a (Gardner, 1979):

$$\frac{\phi_{VCO}(s)}{\phi_R(s)} = \frac{N(2\xi\omega_n s + \omega_n^2)}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}, \quad (2.1)$$

$$\text{onde } \omega_n = \left( \frac{K_\phi K_{VCO}}{N\tau_1} \right)^{1/2} \quad \text{e} \quad \xi = \frac{1}{2} \left( \frac{K_\phi K_{VCO} \tau_2^2}{N\tau_1} \right)^{1/2}.$$

### 2.1 - MODULADOR FM

Se um sinal modulante for introduzido após o filtro de malha, as frequências geradas na saída do sintetizador estarão moduladas em FM.

A função de transferência do erro de tensão gerado na entrada do VCO ( $e_{VCO}(s)$ ) pelo sinal modulante ( $e_m(s)$ ) é dado por:

$$\frac{e_{VCO}(s)}{e_m(s)} = \frac{s^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}, \quad (2.2)$$

que tem a característica de um filtro passa-altas. Assim, para que o sinal modulante não sofra o efeito da malha, suas frequências devem ser superiores à frequência de corte deste filtro.

### 3. PROJETO

Nesta seção é apresentado por blocos o projeto do sintetizador, iniciando-se pelo divisor de frequências programável.

#### 3.1 - DIVISOR DE FREQUÊNCIAS PROGRAMÁVEL

Como a frequência de saída do sintetizador varia de 52,020 MHz a 87,990 MHz em passos de 30 kHz, o divisor deverá ser programado de  $N_{\min}=1734$  a  $N_{\max}=2933$ .

Sendo a frequência de saída do VCO superior à utilizada em circuito TTL, há necessidade de um pré-divisor de alta velocidade entre a saída do VCO e os divisores TTL. Mas, como o valor do divisor N deve variar apenas uma unidade por ocasião da mudança de um canal para outro adjacente, recorre-se à utilização de um circuito pré-divisor com dois módulos de divisão, P e P+1 (Motorola, 1973). O diagrama deste divisor é mostrado na Figura 2. O valor do divisor N é dado por  $N = (B-A)P + A(P+1)$ . Utilizando um pré-divisor com dois módulos de divisão (10 e 11), tem-se  $N = 10B + A$ , e com isso os contadores A e B podem ser implementados com décadas contadoras.

#### 3.2 - OSCILADOR CONTROLADO A TENSÃO

A saída do VCO deve variar de 52,020 MHz a 87,990 MHz, dependendo da tensão na saída do filtro de malha. Esta variação deve ser bastante linear dentro desta faixa, para que o índice de modulação não varie significativamente em função do canal selecionado. O VCO utilizado neste trabalho é o circuito integrado MC1648.

### 3.3 - COMPARADOR DE FASE E FILTRO DE MALHA

O comparador de fase utilizado para o sintetizador é o circuito integrado MC4044. Para a construção do filtro de malha, é utilizado o próprio amplificador que o circuito MC4044 possui internamente.

Como este detector de fase é digital, a sua saída fornece componentes de frequências  $f_R$  e suas harmônicas. As harmônicas são eliminadas pelo filtro de malha, mas a componente fundamental na frequência de referência, que possui a maior amplitude, não é suficientemente atenuada, fazendo com que apareçam raias laterais de modulação FM na frequência de saída. Para que isso não aconteça, foi colocado um filtro "notch" logo após o filtro de malha, sintonizado na frequência de referência.

### 3.4 - SUPRESSOR DE PORTADORA

Como este sintetizador vai ser utilizado em uma estação terrena que transmite portadoras ativadas por voz, a portadora estará presente no transmissor somente quando houver sinal no processador de voz. Como supressor de portadora é utilizado um circuito MOS-FET de porta dupla.

### 3.5 - EQUALIZAÇÃO DO ÍNDICE DE MODULAÇÃO

Com o VCO utilizado não foi possível obter a variação do índice de modulação especificado ( $\pm 0,5$  dB), uma vez que a faixa de variação é muito grande (36 MHz). Para que o índice de modulação ficasse dentro do especificado, foi necessária a construção de um circuito que controlasse a não-linearidade do VCO.

O método utilizado consiste no controle do ganho de um amplificador fora da malha de realimentação, onde o sinal de áudio é atenuado ou amplificado antes de entrar no modulador.

### 3.6 - ALIMENTAÇÃO

A alimentação e as malhas de terra do sintetizador são problemas críticos. Embora a maior parte do sinal da fonte de referência que provoca modulação na saída do VCO venha através do filtro de malha, uma certa contribuição pode vir também através da alimentação e da malha de terra. Portanto, deve-se tomar cuidado especial com a alimentação e a malha de terra do VCO e do

comparador de fase, que são os circuitos mais sensíveis, principalmente na confecção do circuito impresso.

Problemas desta natureza podem ser minimizados utilizando reguladores de tensão separados para cada parte do circuito do sintetizador, com bom desacoplamento para a frequência de referência. A malha de terra de cada circuito deve estar separada fisicamente das demais, de maneira que a corrente de retorno de um determinado circuito não percorra por inteiro a malha de um outro circuito mais sensível e, sim, passe por um único ponto da malha deste circuito.

#### 4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

O sintetizador construído cobre a faixa de 52,020 MHz a 87,990 MHz, com certa margem de segurança em ambas as extremidades. Esta margem é necessária para que o sintetizador não venha a deixar de reter a fase, se porventura houver variação em alguns dos parâmetros da malha. O incremento de frequência é de 30 kHz, totalizando assim 1200 canais disponíveis. A precisão da frequência de cada canal sintetizado está dentro das especificações (Kono et alii, 1981).

A flutuação do nível de potência na saída e o nível de espúrios gerados na síntese estão dentro dos valores especificados. Alguns destes valores são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1

#### NÍVEIS DE SAÍDA, ESPÚRIOS E DESVIOS DE FREQUÊNCIA DO SINTETIZADOR

| NÚMERO DO CANAL | NÍVEL DE SAÍDA (dBm) | NÍVEL DE ESPÚRIOS (dBc) | DESVIO MÉDIO DE FREQUÊNCIA (kHz) |
|-----------------|----------------------|-------------------------|----------------------------------|
| 1               | -10,02               | 52                      | 5,75                             |
| 200             | -9,77                | 52                      | 5,69                             |
| 400             | -9,61                | 52                      | 5,81                             |
| 600             | -9,85                | 52                      | 5,80                             |
| 800             | -10,20               | 52                      | 5,74                             |
| 1000            | -10,43               | 53                      | 5,80                             |
| 1200            | -10,00               | 53                      | 5,61                             |

Um ótimo resultado foi obtido quanto à variação do índice de modulação em função do canal sintetizado. A variação máxima do desvio de frequência devido à modulação FM é de 0,33 dB. Este resultado só foi possível com a utilização do circuito de equalização do índice de modulação. Na Tabela 1 são apresentados, para alguns canais sintetizados, os desvios de frequência causados por um tom de 1 kHz.

Um problema bastante crítico, que foi superado neste tipo de sintetizador, é a modulação causada na saída do VCO pelo sinal de referência. Neste caso, o resultado conseguido foi bastante satisfatório, uma vez que os espúrios devidos à fonte de referência estão, no pior caso, mais de 74 dB abaixo do sinal sintetizado, como pode ser observado pela Figura 3. Isto foi conseguido pela utilização de um filtro "notch" na malha, pela isolamento do VCO e pelos cuidados tomados na confecção do "lay-out" com relação às malhas de terra de cada circuito.

O supressor de portadora utilizado também teve um bom desempenho, atenuando a portadora em cerca de 40 dB na ausência do sinal de voz.

Este sintetizador possui tamanho físico bastante reduzido e baixo consumo (cerca de 5W), podendo ser utilizado em receptores e transmissores em geral, além de ser utilizado na estação terrena a que se destina.

##### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADABO, P. *Sintetizadores de frequências em VHF*. São José dos Campos, INPE, abril 1983. (INPE-2691-TDL/127)
- GARDNER, F.M. *Phase lock techniques*. 2nd ed.; New York, John Wiley, 1979.
- KONO, J.; COLLA, N.H.; ARAKAKI, Y. *Especificação de uma estação terrena SCPC FM de baixa capacidade para 6/4 GHz*. São José dos Campos, INPE, out. 1981.
- MANASSEWITSCH, V. *Frequency synthesizers theory and design*. New York, John Wiley, 1976.
- MOTOROLA. *Phase locked loop systems; data book*, s.l. 1973.

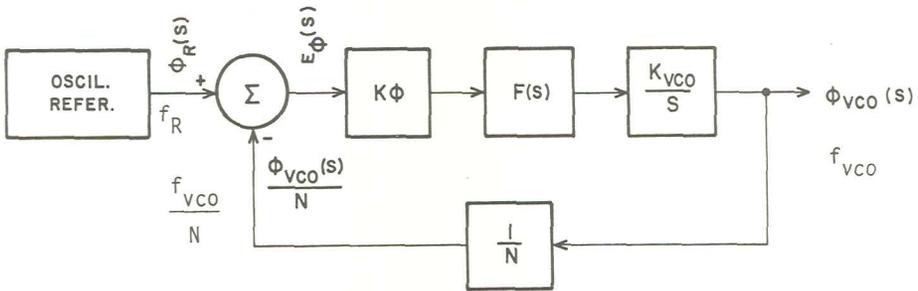


Fig. 1 - Representação do sintetizador no domínio da frequência.

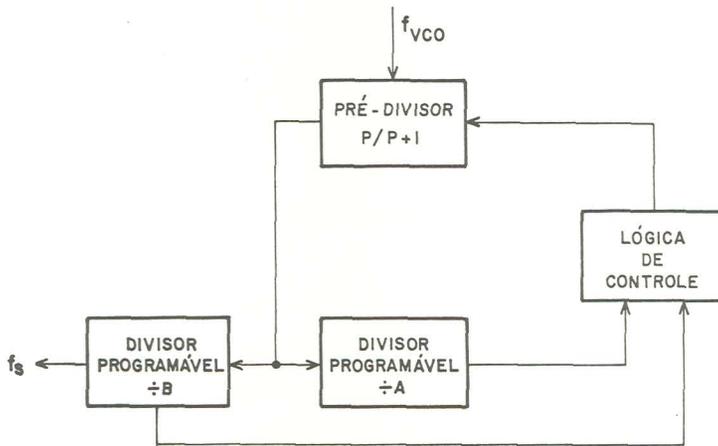
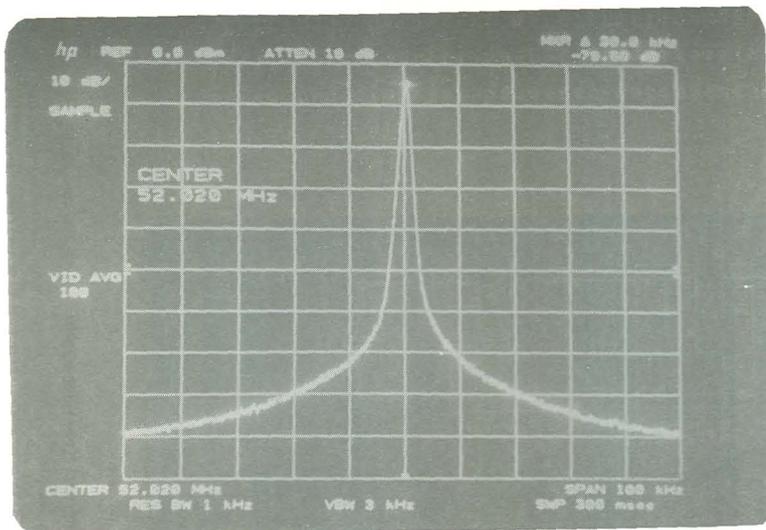
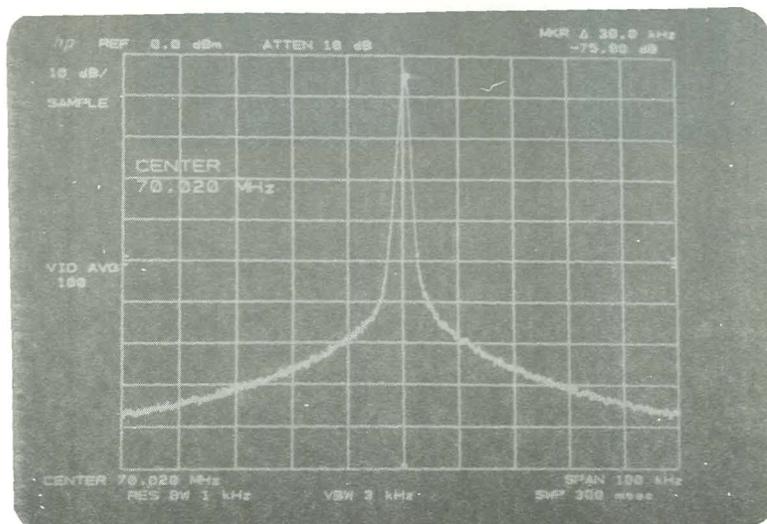


Fig. 2 - Diagrama do divisor de frequências programável.



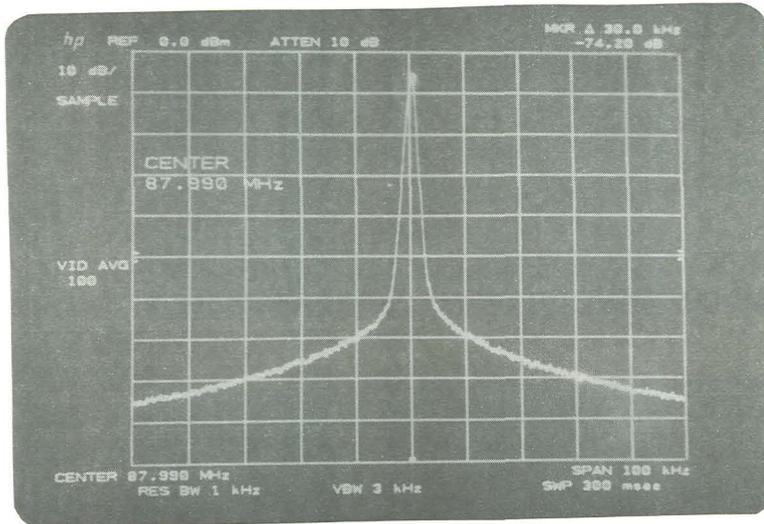
CANAL 1.200



CANAL 600

Fig. 3 - Espectro de saída do sintetizador.

(continua)



CANAL 1

Fig. 3 - Conclusão.