

INCORPORAÇÃO DE RESISTORES DE FILME FINO À TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE REGULADOR DE TENSÃO MONOLÍTICO

Jean Albert Bodinaud, Francisco Javier Ramirez Fernandez e Vera Lúcia M. Nakata Mirage

Laboratório de Microeletrônica - E.P.U.S.P.

É analisado o projeto elétrico de um regulador de tensão monolítico, dando a configuração do circuito elétrico usado.

Após apresentar os resultados de uma versão totalmente difundida é apresentada uma proposta de fabricação com resistores de Nitreto de Tântalo obtido por "Sputtering".

Regulador de Tensão, Resistores de Filme Fino e Circuitos Integrados.

A realização de Circuitos Integrados reguladores de tensão necessita esforços tanto na área de projeto de circuitos quanto na área de processos de fabricação de circuitos integrados.

O nosso principal objetivo é de obter um regulador de tensão que suporte até 40 volts, tenha regulação de linha da ordem de 1 mV em toda a faixa de tensão. Além disto, tenha regulação de carga também da ordem de 1 mV até 100 mA de corrente de saída. Quanto a regulação de temperatura o nosso objetivo foi conseguir valores melhores do que 100 ppm/°C. Para rejeição à ondulação o valor tomado como base foi de 60dB.

1 - PROJETO ELÉTRICO DO REGULADOR

Para efeito de sistematização do projeto, dividimos o circuito em blocos básicos, representados na Figura 1 e que

serão analisados separadamente.

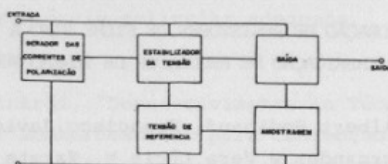


Figura 1 - Diagrama em blocos do circuito regulador de tensão

1.1 Circuito Gerador da Tensão de Referência

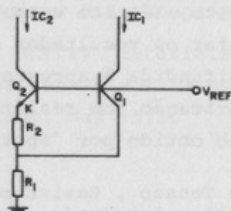


Figura 2 - Esquema fundamental do Circuito Gerador da Tensão de Referência

O estudo do circuito representado na Figura 2, mostra [1] que as correntes I_{C1} e I_{C2} dependem da tensão aplicada V_{REF} e que existe um valor particular desta pela qual as duas correntes são iguais.

$$V_{REF} = \frac{2R_1}{R_2} U_T \ln K + U_T \ln \left(\frac{U_T \ln K}{R_2 I_S} \right)$$

onde: I_S - corrente de saturação de Q_1

K - relação de área de emissor entre Q_1 e Q_2 , permitindo escrever $I_{S2} = K I_{S1}$

Analisando esta relação podemos observar que a tensão de referência é composta de 2 termos, sendo um proporcional à temperatura e outro inversamente proporcional à temperatura, o que é fundamental para a estabilidade térmica da referência.

O primeiro termo depende da relação entre os resistores R_1 e R_2 , o que se consegue com ótima precisão na tecnol

logia planar comum.

O segundo termo depende, apenas através de logaritmo dos valores absolutos do resistor e da corrente de saturação, onde a precisão que se atinge é apenas sofrível.

De um modo geral, a tensão de referência é completamente independente da tensão de fonte e da corrente de saída, sugerindo excepcionais regulações de linha e de carga.

Chamando de α e β os coeficientes de temperatura dos resistores e da tensão de referência respectivamente temos para uma dada temperatura:

$$\beta = \alpha \frac{U_{T1}}{V_{REF0}}$$

onde: $U_{T1} = \frac{KT_1}{q}$

V_{REF0} é a tensão de referência em T_0 quando o seu coeficiente de temperatura é nulo

$$V_{REF0} = V_{go} + \frac{2kT_0}{q}$$

V_{go} é a tensão de bandgap do silício.

O estudo do circuito mostra que:

- a tensão de referência é bastante sensível à relação R_1/R_2 ;
- a influência do coeficiente de temperatura de R_1 e R_2 é dividida por um fator entre 38 a 76 dependendo da temperatura;
- não há muita sensibilidade quanto ao valor absoluto dos resistores R_1 e R_2 e das correntes de saturação de Q_1 e Q_2 ;
- o valor ótimo da tensão de referência, para $\delta R/\delta T = 0$ é de 1294 mV à 300°K.

1.2 Análise do Circuito Estabilizador da Tensão de Referência

Foi utilizado o circuito da Figura 3 para fornecer cor

ximação a tensão V_{BE} dividida pelo valor do resistor R_{11} . O transistor Q_{11} tem a função de isolar a tensão de fonte do resto do circuito, aumentando a impedância de saída da fonte.

Desta maneira obtemos uma corrente fracamente dependente de V_{CC} e com comportamento inversamente proporcional à temperatura. O valor absoluto desta corrente é diretamente dependente do valor de R_{11} .

1.4 Análise do Estágio de saída e Estágio amostra de saída

Na saída do regulador temos o seguinte circuito, mostrado na Figura 5.

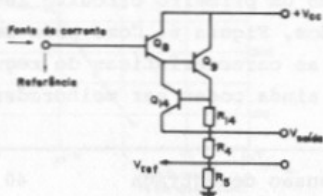


Figura 5 - Estágios de saída e Amostra de Saída

Os transistores Q_8 e Q_9 formam uma configuração tipo Darlington. Desta maneira, graças aos elevados ganhos em corrente dos transistores NPN, é muito pequena a corrente drenada pela base de Q_8 , sendo uma parcela quase desprezível frente à corrente fornecida pela fonte.

A amostra da tensão de saída é dada pelo divisor formado pelos resistores R_4 e R_5 . Desta maneira a tensão de saída é fixada por este divisor, admitindo-se tensão de referência fixa.

O par $R_{14} - Q_{14}$ serve para limitar a corrente máxima fornecida pelo regulador, evitando danos devido a um curto circuito na saída.

2. REALIZAÇÃO DO CIRCUITO

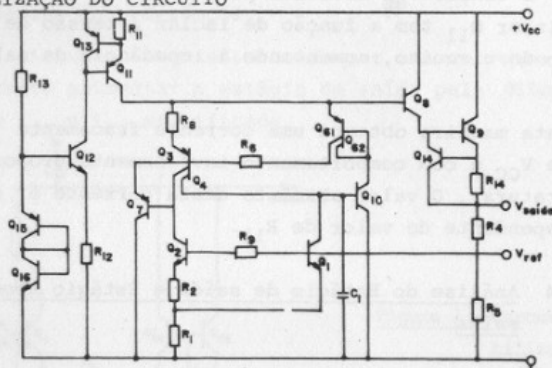


Figura 6 - Circuito Realizado

Foi realizado um primeiro circuito integrado usando resistores difundidos, Figura 6. Como pode ser verificado na Tabela 1, embora as características do regulador fabricado sejam boas, elas ainda podem ser melhoradas.

- máxima tensão de entrada	40 volts
- regulação de linha (entrada de 8V a 30V)	2 mV
- regulação de carga até 30 mA	< 10 mV
- regulação de temperatura	150 ppm/°C
- rejeição a "Ripple"	> 80 db

Tabela 1 - Principais características do regulador

A regulação de linha e a regulação de temperatura podem ser melhoradas por ligeiras alterações nas máscaras. Como visto no parágrafo 1.1, uma melhora da regulação da temperatura só poderá ser obtida usando resistores de filme fino.

3. INCORPORAÇÃO DE RESISTORES DE FILME FINO

Esses resistores são introduzidos na fabricação de circuitos integrados não só pelos seus baixos valores do coefi

ciente de temperatura^[2], mas também pela facilidade que eles apresentam de ser ajustados após o ciclo completo de fabricação.

Os filmes de Nitreto de Tântalo já obtidos no laboratório sobre substrato de alumina^[3] apresentam uma resistividade e um coeficiente de temperatura dependente da composição do filme, como pode ser visto na Figura 7.

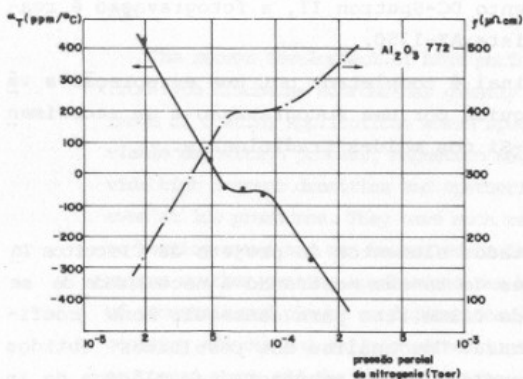


Figura 7 - Coeficiente de temperatura e resistividade do nitreto de tântalo em função da pressão parcial de nitrogênio

A composição do filme é função da pressão parcial do nitrogênio na câmara do equipamento de Sputtering DC automático de tipo tetrodo de descarga independente da Balzers.

Apresentaremos agora um processo de obtenção destes resistores de filme fino, compatíveis com a tecnologia bipolar linear de 35V de fabricação de CI's Monolíticos.

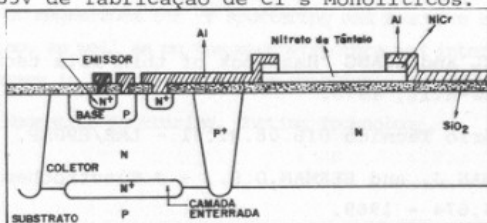


Figura 8 - Estrutura desejada

Como pode ser visto na Figura 8, o corpo do resistor de filme fino é constituído de nitreto de tântalo, sendo que o alumínio é mantido como metal de interligação dos elementos

do C.I. Isso permite o aproveitamento da tecnologia do contato Al-Si tanto do tipo P como do tipo N e torna necessária uma fina camada de níquel-cromo (80/20), usada como barreira de interdifusão entre os filmes de alumínio e de nitreto de tântalo.

Partindo de uma lâmina de Si com 6000 Å de SiO₂, Figura 8, é depositado o filme de Ta₂N a seguir e evaporada uma liga de Ni-Cr(80/20), utilizando um equipamento de deposição por bombardeamento DC-Sputron II, a fotogração é realizada com fotoresiste AZ-1350.

A estrutura final é completada por uma evaporação a vácuo do alumínio seguida por uma fotogração e um recozimento dos contatos Al-Si nos moldes tradicionais.

CONCLUSÃO

Foram apresentados elementos de projeto de Circuitos Integrados reguladores de tensão mostrando a necessidade de se usar a tecnologia de filme fino para conseguir bons coeficientes de temperatura. Uma análise dos resultados obtidos com resistores difundidos e uma sequência tecnológica de incorporações foram apresentados e comentados.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BROKAW, A.P., "A Simple Three-Terminal IC Bandgap References" - Journal of Solid State Circuits - pp.167-172 12/74.
- [2] MAISSEL and GUANG "Handbook of thin film technology", Mc Graw-Hill, 1970.
- [3] Relatório Técnico HIB.08.RT.01 - LME/EPUSP.
- [4] GROSSMAN, J. and HERMAN, D.S., - J. Electrochemical Soc., pp.116,674 - 1969.