

CONTROLE AUTOMÁTICO DE POLARIZAÇÃO DE MODULADORES ELETROÓPTICOS TIPO MACH-ZEHNDER

¹ Camila Silvestri Ribeiro, ¹ José Ricardo Moreira, ¹ Liliane Ap. Lopes de Melo,

^{1,2} Olympio L. Coutinho

¹ Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia - Universidade Paulista – UNIP

Rod. Presidente Dutra, km 157,5 - Pista Sul, CEP 12240-420, São José dos Campos, SP – Brasil.

² Div. de Engenharia Eletrônica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

Pça. Mal. Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias, CEP 12.228.900, São José dos Campos, SP – Brasil.

Resumo --- O emprego de enlaces analógicos a fibra óptica como técnica alternativa de transmissão de sinais de RF tem se demonstrado bastante vantajoso principalmente em situações em que as distâncias e a faixa de frequência limitam o emprego de linhas de transmissão convencionais, assim como em sistemas nos quais o espaço físico é reduzido, com restrições de peso e alta imunidade a interferências eletromagnéticas são fatores determinantes. Com a finalidade de obter um sinal com o mínimo de distorção de segunda ordem na recepção de um enlace analógico de RF a fibra óptica, este trabalho apresenta um controlador automático da tensão de polarização de um modulador Mach-Zehnder.

Palavras-chaves --- Modulação óptica, enlace analógico a fibra óptica, moduladores eletroópticos, fibras ópticas.

I. INTRODUÇÃO

A transmissão de sinais de RF é geralmente efetuada de forma convencional utilizando cabos coaxiais e guias de ondas. Mas quando falamos em frequências na faixa de microondas, essas linhas de transmissão mostram limitações de atenuação acentuada, tornando impraticável a transmissão de sinais a partir de médias distâncias, da ordem de centenas de metros. Pensando nestas limitações, surgem os enlaces analógicos a fibra óptica para substituir essas linhas convencionais, tendo em vista suas vantagens, tais como, baixa atenuação, largura de banda, imunidade a interferência eletromagnética, dimensões reduzidas, entre outras [1].

Trabalhando-se com elevadas frequências em transmissão de sinais analógicos de RF sobre fibra óptica, em geral é aplicada a técnica de modulação de intensidade da portadora óptica com o sinal de RF a ser transmitido [1]. A modulação de intensidade pode ser direta ou externa. No caso de modulação direta, a variação da intensidade óptica é feita no próprio laser por meio da variação da corrente de bombeio, limitando-se a frequência de modulação em valores de até alguns GHz. Na modulação externa, um modulador é utilizado para variar a intensidade de luz, podendo neste caso chegar a frequências de até várias dezenas de GHz. O sinal óptico modulado é transmitido por fibra óptica e incide diretamente sobre o fotodetector, onde é recuperado o sinal de RF na outra extremidade do enlace.

Moduladores de Mach-Zehnder são largamente empregados em enlaces com modulação externa [2]. Neste

caso, o controle da tensão de polarização do modulador de Mach-Zehnder em torno do ponto de quadratura é fundamental para a minimização da distorção harmônica de segunda ordem do sinal transmitido.

Este trabalho apresenta um controlador automático de polarização para moduladores tipo Mach-Zehnder que faz com que seja mínima a distorção harmônica de segunda ordem produzida. A fig. 1 mostra o diagrama esquemático do enlace óptico analógico a fibra óptica utilizando este controlador. Na entrada do modulador é retirada uma amostra de 10% da potência óptica que, após detectada, passa por um filtro passa baixa e produz uma tensão V_e proporcional à potência óptica média de entrada do modulador. Na saída do modulador é também retirada uma amostrada de 10% do sinal óptico, que após detectada e filtrada irá produzir uma tensão V_s proporcional ao valor médio da potência óptica de saída do modulador.

O controlador atuará quando a tensão V_s for diferente da metade da tensão V_e vezes um fator que leva em consideração as perdas ópticas ocorridas no modulador, produzindo uma tensão de correção V_b que mantém o modulador polarizado no ponto de quadratura, situação em que a potência óptica média de saída é metade da potência máxima.

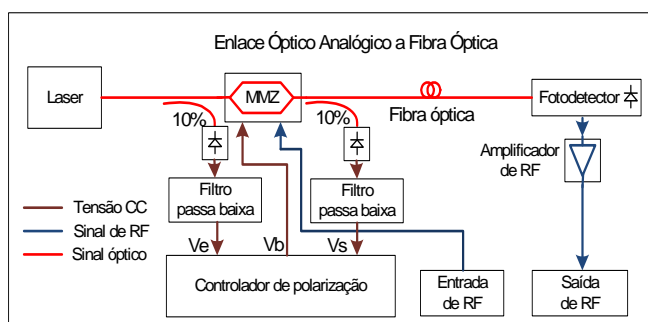


Fig. 1: Enlace analógico a fibra óptica com controle automático de tensão de polarização.

Na seção II são abordados alguns fundamentos teóricos relativos aos enlaces analógicos a fibra óptica com modulação externa utilizando um modulador eletroóptico do tipo Mach-Zehnder, onde será mostrado como ocorre a distorção harmônica, tema este de vital importância para o desenvolvimento do controlador descrito na seção III, o qual apresenta o funcionamento e a composição do sistema de

controle automático. Na seção IV é feita a conclusão com base nos estudos mostrados ao longo do texto.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em enlaces analógicos a fibra óptica com modulação externa, um dispositivo largamente utilizado para modular um sinal óptico em amplitude é o modulador interferométrico tipo Mach-Zehnder [2].

Na técnica de modulação externa, a portadora óptica gerada pelo laser é aplicada ao modulador, produzindo na saída um sinal óptico cuja potência varia em função do sinal de tensão de RF a ele aplicado, V_{rf} , e também em função da tensão de polarização V_b [1], conforme ilustrado na fig. 2.

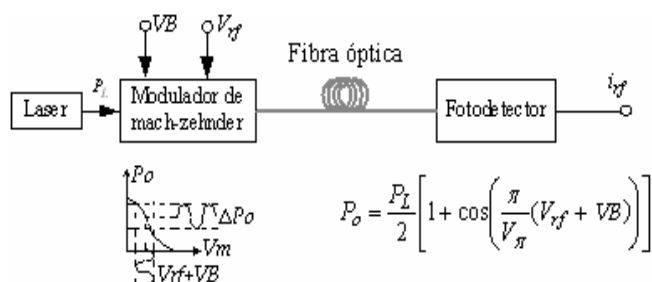


Fig. 2: Representação esquemática do enlace analógico a fibra óptica com modulação externa - Modulador Mach-Zehnder [1].

A potência óptica de saída do modulador P_m é caracterizada pela expressão abaixo [1]:

$$P_m \propto \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \left[\frac{\pi}{V_\pi} (V_b + V_{rf} \cdot \text{sen}(\omega_{rf} t)) \right] \right\}, \quad (1)$$

onde V_π é a tensão elétrica aplicada ao modulador que causa uma defasagem de π entre os sinais ópticos de cada braço do modulador de Mach-Zehnder [2] e ω_{rf} é a frequência angular do sinal de RF modulante.

De acordo com a propriedade trigonométrica

$$\text{Cos}(a+b) = \text{cosa} \cdot \text{cosb} - \text{senas} \cdot \text{senb}, \quad (2)$$

podemos reescrever (1) da seguinte forma:

$$P_m \propto \frac{1}{2} \cos \left(\frac{\pi V_b}{V_\pi} \right) \cdot \cos \left(\frac{\pi V_{rf}}{V_\pi} \cdot \text{sen}(\omega_{rf} t) \right) - \frac{1}{2} \cdot \text{sen} \left(\frac{\pi V_b}{V_\pi} \right) \cdot \text{sen} \left(\frac{\pi V_{rf}}{V_\pi} \cdot \text{sen}(\omega_{rf} t) \right). \quad (3)$$

Chamaremos o índice de modulação como m , sendo ele definido pela expressão

$$m = \frac{\pi V_{rf}}{V_\pi}. \quad (4)$$

Reescrevendo a expressão de potência em função de m , obteremos:

$$P_m \propto \frac{1}{2} \cdot \cos \left(\frac{\pi V_b}{V_\pi} \right) \cdot \cos(m \text{sen}(\omega_{rf} t)) - \frac{1}{2} \cdot \text{sen} \left(\frac{\pi V_b}{V_\pi} \right) \cdot \text{sen}(m \text{sen}(\omega_{rf} t)) \quad (5)$$

A distorção harmônica foi analisada por meio das funções de Bessel de primeira espécie e ordem n , $J_n(m)$. Usando a propriedade matemática [3]:

$$\cos[m \cdot \text{sen}(\omega_{rf} t)] = J_0(m) + J_2(m) \cdot \text{sen}(2\omega_{rf} t) + J_4(m) \cdot \text{sen}(4\omega_{rf} t) + \dots \quad (6)$$

$$\text{sen}[m \cdot \text{sen}(\omega_{rf} t)] = J_1(m) \cdot \text{sen}(\omega_{rf} t) + J_3(m) \cdot \text{sen}(3\omega_{rf} t) + J_5(m) \cdot \text{sen}(5\omega_{rf} t) + \dots \quad (7)$$

podemos observar que (6) é responsável pelo surgimento de harmônicos pares e que (7) é responsável pelo surgimento de harmônicos ímpares.

Como objetivo é minimizar a distorção harmônica par, o ideal é que a parcela em (3) referente ao $\cos[m \cdot \text{sen}(\omega_{rf} t)]$ seja anulada. Para isso ocorrer, a tensão V_b dever ser tal que faça o valor de $\pi V_b / V_\pi$ ser igual a $\pi/2$, sendo este o ponto de quadratura de polarização do modulador. Desta forma, fazendo a tensão V_b igual a

$$V_b = \frac{V_\pi}{2}, \quad (8)$$

teremos uma potência óptica de saída livre das componentes espectrais de segunda ordem, tal que:

$$P_m \propto \frac{1}{2} \cdot J_1(m) \cdot \text{sen}(\omega_{rf} t) + J_3(m) \cdot \text{sen}(3\omega_{rf} t) + J_5(m) \cdot \text{sen}(5\omega_{rf} t) + \dots \quad (9)$$

Observe que $J_1(m)$ define a amplitude da componente espectral com a frequência fundamental.

Na fig. 3 é possível observar a curva de transferência do modulador com o valor de tensão de polarização considerado ideal para anulação da distorção harmônica de segunda ordem.

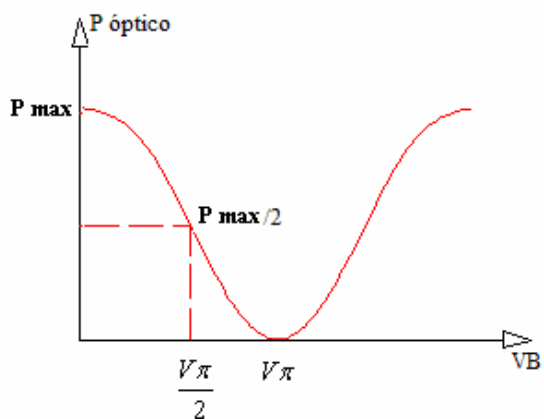


Fig. 3: Gráfico Modulador Mach-Zehnder.

III. SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROLE

O controlador automático de polarização do modulador de Mach-Zehnder baseia-se na leitura da potência óptica da entrada aplicada ao modulador e na leitura da potência média de saída. A partir destas medições o controlador automaticamente produz uma tensão de polarização com objetivo de manter a potência média de saída igual à metade da potência óptica de entrada do enlace, considerando também as perdas ópticas de inserção do modulador, sendo esta a situação que ocorre exatamente no ponto de quadratura.

A fig. 4 mostra o diagrama de blocos do controlador automático de polarização proposto.

As tensões V_e e V_s proporcionais à potência óptica de entrada e de saída, respectivamente, são inicialmente amplificadas pelos fatores β e α de tal forma que, após serem aplicadas ao bloco subtrator, este produza uma tensão VE de erro que seja zero quando o valor da potência óptica de saída do modulador seja igual à metade do valor da potência óptica de entrada multiplicada pelo fator de perdas do modulador.

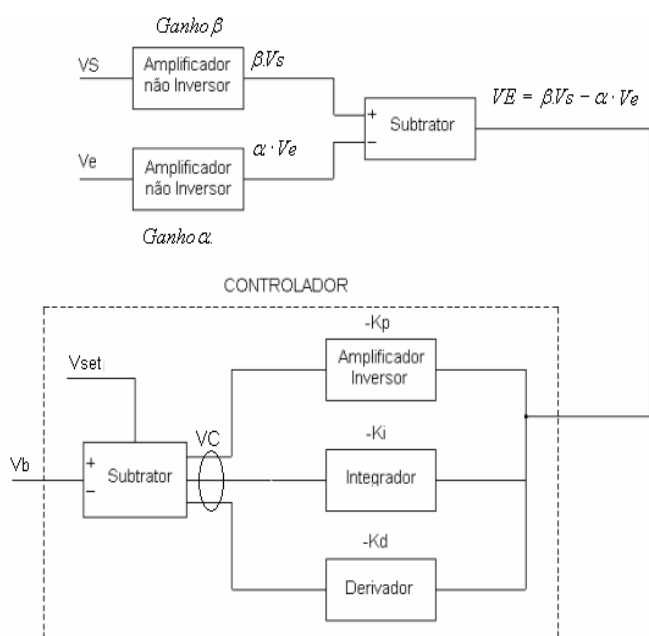


Fig. 4: Diagrama de bloco do Controlador.

O valor da tensão VE é expresso por:

$$VE = \beta.V_s - \alpha.V_e . \tag{10}$$

A tensão de erro é aplicada aos blocos seguintes que produzirão as ações de controle proporcional, integral e derivada, caracterizando um controle PID. Caso VE seja diferente de zero, o amplificador inversor diminuirá o valor deste erro proporcionalmente.

O integrador terá a finalidade de fazer o valor da tensão de erro tender para zero.

O derivador acelera a ação de controle quando ocorrem variações bruscas na tensão de erro [4].

A tensão V_b é resultado da diferença entre a tensão V_{set} , que é ajustada para o valor desejado definido em (8), e a tensão de saída VC do controlador PID, cujo valor é expresso como:

$$VC(t) = - \left(K_p.VE(t) + K_i \int VE(t)dt + K_d. \frac{\partial VE(t)}{\partial t} \right) . \tag{11}$$

onde K_p é a constante proporcional, K_i é a constante de integração e K_d é a constante de derivação.

A tensão de polarização aplicada ao modulador será então expressa como:

$$V_b(t) = V_{set} + VC(t) . \tag{12}$$

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma técnica para o controle automático de polarização de um modulador eletroóptico do tipo Mach-Zehnder. Verificou-se que, mantendo a tensão V_b no ponto de quadratura, o sinal de RF será transmitido com a menor distorção harmônica de segunda ordem possível. A arquitetura proposta tem como principal característica a redução da complexidade do controlador, bem como a diminuição de custos do sistema.

REFERÊNCIAS

[1] Coutinho, L.O., Oliveira, J.E.B, “Enlace Analógico a Fibra Óptica para Transmissão de Sinais de RF”, *In.: VI Simpósio de Guerra Eletrônica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, S.J. dos Campos, 2004. Anais ... S.J.dos Campos, ITA..*

[2] Coutinho, L.O., “Aplicação de Moduladores Eletroópticos em Enlaces analógicos à Fibra Óptica”, 2005, Tese de pós-graduação - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos-SP.

[3] Bronstein, I Semendiaev, K. “Manual de Matemática para Engenheiros e Estudantes”, 2ª ed., URSS, Ed. Mir Moscovo, 1984.

[4] Pertence, A. J. “Amplificadores operacionais e filtros ativos”, 3º ed, Ed. McGraw-Hill LTDA, 1988.