

ANÁLISE DE CIRCUITOS DE FOTODETEÇÃO PARA APLICAÇÃO EM MEDIDAS DE POTÊNCIA ÓPTICA

Tiago M. do Amaral e Alexandre A. P. Pohl

Resumo — este trabalho apresenta uma análise comparativa da operação de circuitos de fotodeteção para medição de potência óptica nos modos fotovoltaico e fotocondutivo. Neste último caso, com o emprego de amplificador de transimpedância linear e logarítmico.

Palavras-chave — circuitos de fotodeteção, potência óptica, amplificadores de transimpedância.

I. INTRODUÇÃO

A medida de potência óptica é um importante parâmetro usado na avaliação de desempenho de um sinal que se propaga em um sistema de comunicação óptica. Tipicamente, um medidor de potência óptica possui baixa velocidade de resposta e deve operar em uma ampla faixa dinâmica. Fotodiodos de junção são geralmente empregados nessa tarefa. Seu princípio de operação baseia-se no deslocamento de sua curva característica tensão *versus* corrente, provocado por incidência de radiação luminosa. Quando operado no modo fotovoltaico (Fig. 1a), com tensão positiva baixa ou nula aplicada a seus terminais, a tensão gerada na junção, V_D , é proporcional ao logaritmo da potência luminosa incidente [1],

$$\exp\left(\frac{qV_D}{kT}\right) = 1 + \frac{\eta q \lambda P_0}{hc i_0} + \frac{V_D}{i_0 R_{sh}} \quad (1)$$

onde k é a constante de Boltzmann, q é a carga elementar, T é a temperatura absoluta, c é a velocidade da luz, η é a eficiência quântica do fotodetector, h é a constante de Planck, i_0 é a corrente reversa de saturação, R_{sh} é a resistência ôhmica da junção, λ é o comprimento de onda da radiação incidente e P_0 é a potência óptica da radiação incidente.

Ao ser polarizado com tensão reversa (Fig. 1b e 1c), o fotodiodo opera no modo fotocondutivo e sua corrente reversa é diretamente proporcional à potência luminosa incidente [1]

$$i_{PD} \cong \frac{\eta q \lambda P_0}{hc} \quad (2)$$

Ao ser processada a medição, a corrente é geralmente convertida em tensão, usando-se para isso um resistor ou amplificador de transimpedância (Fig. 1c).

Este trabalho teve como objetivos avaliar a resposta de circuitos de fotodeteção usando um fotodiodo de InGaAs [2] e verificar seu desempenho com o emprego de diferentes tipos de amplificadores operacionais. Para os ensaios foram utilizadas duas fontes ópticas CW, uma operando no comprimento de onda de 1310 nm e a outra em 1550 nm.

Tiago M. do Amaral e Alexandre A. P. Pohl estão com o Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET-PR), Paraná, Curitiba, Brasil.
E-mail: pohl@cpgei.cefetpr.br

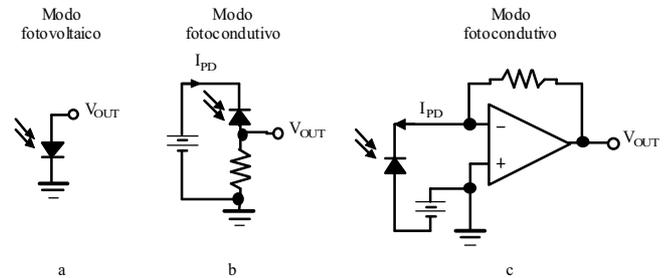


Fig. 1. Circuitos comuns de fotodeteção

A faixa de trabalho dinâmica do fotodiodo foi levantada variando-se a potência óptica na entrada do fotodetector com o auxílio de um atenuador óptico, modelo VA6B da JDS-Fitel. Como sinal de calibração e referência para as medidas realizadas com o fotodiodo, a potência óptica incidente também foi mensurada utilizando-se um medidor de potência óptica, modelo MA9723A da Anritsu. Para as medidas de tensão foram usados os multímetros modelo ET-2041 da Minipa e modelo 34401A da HP.

II. OPERAÇÃO EM MODO FOTOVOLTAICO

Utilizando-se a configuração da Fig. 1a, mediu-se a tensão diretamente sobre o fotodiodo. A Fig. 2 apresenta os resultados do teste juntamente com as curvas teóricas, obtidas a partir da equação (1), com $T = 293$ K, $\eta = 0,92$, $i_0 = 0,12$ nA e $R_{sh} = 100$ M Ω .

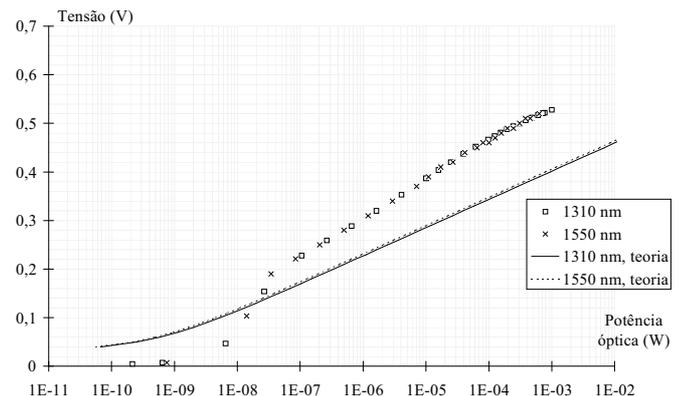


Fig. 2. Resposta em modo fotovoltaico

Da figura 2 observa-se, em escala logarítmica, que a resposta do circuito é linear para potências ópticas incidentes acima de $0,1 \mu\text{W}$. A discrepância entre as curvas teórica e experimental é atribuída ao desconhecimento de alguns parâmetros do fotodiodo que foram presumidos a partir de sua especificação técnica e utilizados na equação 1 para levantamento da curva.

III. OPERAÇÃO EM MODO FOTOCONDUATIVO

Utilizando-se a configuração da Fig. 1c, foram realizados testes empregando-se um amplificador operacional linear da Texas Instruments TLC2202 com diferentes ganhos de transimpedância. A Fig. 3 mostra as curvas para os ganhos de 2,2 kΩ, 6,8 MΩ e a curva teórica obtida a partir da equação (2). No regime linear, observou-se que a maior faixa de detecção para o mesmo ganho de transimpedância é de 4,5 décadas, que é limitada pela influência da corrente reversa do fotodiodo nas potências ópticas mais baixas.

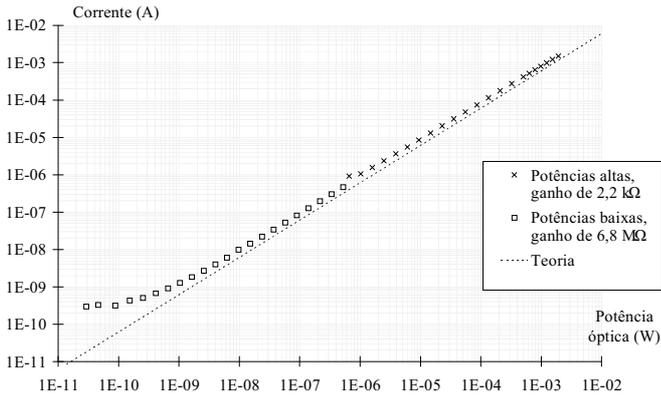


Fig. 3. Resposta do circuito que usa amplificador linear de transimpedância

Para ampliar a faixa dinâmica de fotodetecção foi usado um amplificador logarítmico Texas Instruments LOG104 na configuração mostrada na Fig 4. A equação que determina o funcionamento ideal desse componente é expressa como

$$V_{LOGOUT} = (0,5V) \log_{10} \frac{I_1}{I_2} \quad (3)$$

onde I_1 é a corrente de fotodetecção e I_2 uma corrente de referência que entra no dispositivo. V_{LOGOUT} é a tensão de saída. Nos ensaios I_2 foi mantida fixa em $5 \mu A$; para gerar I_1 , usou-se a fonte óptica em 1550 nm e o atenuador óptico para variar a potência óptica na entrada do fotodiodo.

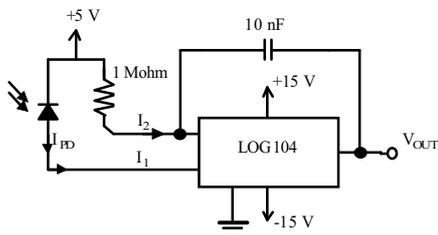


Fig. 4. Fotodetecção usando amplificador logarítmico

A Fig. 5 mostra que a faixa dinâmica estendeu-se para cerca de 7 décadas, valor que foi limitado pelas faixas de operação do atenuador e da fonte óptica disponível. O emprego do amplificador logarítmico exige cuidados extras quando se deseja obter tensões de saída na faixa de 0 V a 5 V. Para evitar tensões negativas, uma solução possível é manter a relação I_1 / I_2 sempre maior que 1, seja fixando I_1 no valor

máximo de I_{PD} , ou I_2 no valor mínimo de I_{PD} . Como a corrente mínima detectável pode ser muito baixa e, portanto, mais sujeita a ruídos, a primeira tentativa foi fixar a corrente máxima. Isto resolveu o problema da tensão de saída, mas tornou o amplificador instável e operando fora da especificação quando a corrente do fotodiodo ultrapassou $500 \mu A$.

A solução definitiva adotada foi manter a corrente de referência em um valor intermediário, de $100 \mu A$, e usar um amplificador somador não inversor para somar uma tensão constante à tensão de saída e fazer as mudanças de escala necessárias. O circuito final é mais complexo, mas pode ser simplificado caso se use um componente semelhante ao LOG104, o LOG2112, que possui integrados em um encapsulamento, além do amplificador logarítmico, um amplificador operacional e um padrão de tensão constante.

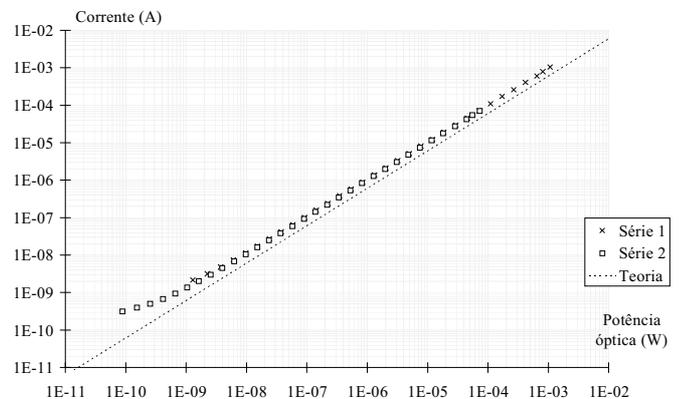


Fig. 5. Resposta medida usando amplificador logarítmico

IV. CONCLUSÃO

Dos resultados obtidos conclui-se que a configuração em modo fotocondutivo responde com maior conformidade em relação à característica ideal (linear) do fotodiodo. A faixa dinâmica do amplificador linear de transimpedância varia de acordo com o ganho aplicado, podendo ser ajustada na faixa de miliwatts a microwatts (para ganho de $2,3 K\Omega$) ou de microwatts a nanowatts (para ganho de $6,8 M\Omega$). O instrumento para medição de tensão também influenciou no levantamentos das curvas, sendo empregado o modelo 34401A da HP para medir valores de potência óptica mais baixa. Os amplificadores logarítmicos apresentam maior faixa dinâmica de potência, permitindo medir potências que variam de nanowatts a miliwatts com menores exigências de precisão em relação ao instrumento de medição de tensão empregado. Contudo, cuidados maiores são exigidos em relação a sua estabilidade de operação e também em relação a sua operação em uma faixa de tensão de saída adequada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] J. Wilson and J.F.B. Hawkes, Optoelectronics, an Introduction, Prentice Hall, chapter 7, 1989.
 [2] FGA04 InGaAs HighSpeed Photodiode, www.ThorLabs.com