

“TÉCNICA DE DETECÇÃO DE SINAIS DE GIROSCÓPIO A FIBRA ÓPTICA USANDO ‘ZERO CROSSING’ COM CLOCK SÍNCRONO”.

Os Giroscópios a Fibra Óptica (GFO) têm sido, nos últimos anos, uma promissora solução em aplicações que necessitam de alta resolução de medidas, principalmente por apresentarem características de alta sensibilidade, capacidade e imunidade às interferências eletromagnéticas. Uma das principais aplicações dos giroscópios são os sistemas de navegação inercial para a medição de velocidade de rotação. Estes sistemas devem atender a requisitos de alta resolução e precisão em suas medidas.

As aplicações industriais e de consumo dos GFO abrangem desde sistemas subterrâneos a sistemas terrestres, marítimos e aéreos. Existem basicamente três tipos de usos dos giroscópios: medição de posição, controle de atitude e medição de direção absoluta.

O GFO utiliza o interferômetro de *Sagnac*, como sensor de taxa de rotação, e baseia seu funcionamento no efeito de *Sagnac*, que estabelece que dois feixes de luz propagando-se em direções opostas a partir de um mesmo ponto, num circuito fechado, experimentarão uma diferença de comprimento do caminho óptico se o meio de propagação estiver submetido a uma rotação.

Neste relatório apresenta-se uma nova técnica de demodulação do sinal do Giroscópio a Fibra Óptica, baseada na teoria de “*Zero Crossing*” para a obtenção da intensidade e sentido da velocidade de rotação, caracterizada por uma faixa dinâmica de medidas amplas e elevada resolução.

Existem basicamente duas técnicas de demodulação em malha aberta do sinal do GFO usando a teoria de *Zero Crossing* - a técnica de demodulação analógica e a técnica de demodulação digital. Ambas utilizam-se da propriedade da diferença dos intervalos de tempo determinados pelos pontos de cruzamentos de zero da componente *AC* do sinal de saída, pelo fato de esta diferença apresentar proporcionalidade com a velocidade de rotação a qual está submetido o GFO. Apesar das vantagens ou limitações que as técnicas apresentam, todas necessitam de circuitos complexos, o que dificulta a implementação e impõe elevados custos. Elas também apresentam limitações quanto à linearidade na medida da intensidade de rotação e na obtenção do valor da profundidade de modulação de fase dos feixes de luz utilizada para a estabilização da polarização dinâmica, além de apresentarem problemas de erro *drift* e RMS no caso de medidas digitais.

Tendo em vista essas dificuldades e com o propósito de superá-las, foi desenvolvida uma técnica de processamento do sinal do GFO, objeto do presente pedido de patente. Esta técnica utiliza a característica de proporcionalidade entre os intervalos de tempo, determinados pelos pontos de cruzamentos de zero da componente *AC* do sinal detectado e a velocidade de rotação à qual está submetido um Giroscópio.

A técnica de demodulação digital proposta permite calcular diretamente $\Delta\phi_s$ da diferença de tempo entre os cruzamentos de zero do sinal interferométrico ΔT e o intervalo T_0' , ou seja, $\frac{\Delta\phi_s}{\phi_m} = \cos\frac{\omega_m T_0'}{2} \text{sen}\frac{\omega_m \Delta T}{4}$. Cabe ressaltar

que o problema não é tão simples quanto parece pois para obter sistemas de alto desempenho necessita-se de técnicas capazes de aumentar a resolução da medição e de circuitos processadores capazes de detectar pequenos valores de $\Delta\phi_s$.

No caso de sistemas digitais a resolução está limitada pela razão de repetição dos pulsos de *clock* usados para contar os intervalos de tempos de ΔT e T_0' . Na técnica de demodulação digital proposta, utiliza-se um *clock* cuja frequência é uma proporção não inteira da frequência de modulação ($f_c = (M/N)Kf_m$), o que possibilita que, após N períodos de integração, o mesmo se comporte como um *clock* síncrono, conseguindo-se melhorar a resolução da medição, sem aumentar a frequência do *clock*.

Essa forma de se processar o sinal, além de melhorar a resolução da medição (dado pelo valor de M), aumenta a faixa dinâmica de trabalho, na medida que se aumenta o número N de períodos de integração, comportando-se como um filtro passa baixas, com frequência de corte que diminui com o aumento do tempo de integração e elimina os problemas de erro *drift* e RMS do sistema com *clock* assíncrono.

Analisando-se o esquema de demodulação com *clock* quase síncrono (síncrono durante N período de integração) e considerando-se a diferença dos intervalos de tempo ΔT , positivos e negativos, como mostrado na Fig. 1, pode-se determinar o número de pulsos de *clock* acumulados durante N período de integração ($\Delta N = (\Delta T / 2T_m) * M * K$).

Os diagramas e figuras anexos ilustram as partes que compõem o sistema eletrônico e o seu funcionamento. A Fig. 2 apresenta um diagrama em blocos apenas das partes funcionais necessárias à técnica de processamento do sinal do GFO. A Fig. 3 ilustra um gráfico da parte *AC* da tensão de saída do amplificador de transimpedância.

A idéia básica para se realizar esta medida é contar de forma crescente os pulsos provenientes de um *clock* durante o intervalo de tempo T_1 e de forma

decrecente durante o intervalo de tempo T_2 , de modo que o número de pulsos remanescentes no contador após N ciclos seja proporcional a ΔT e, por sua vez, proporcional à rotação. Para implementar a mesma, sugere-se um circuito com a topologia mostrada na Fig. 2, onde são identificados os seguintes blocos:

5

a. Na fase inicial do processamento do sinal encontra-se o estágio de conversão de corrente do fotodiodo, em tensão, na saída de um amplificador operacional, configurado no modo de transimpedância.

10

- O fotodiodo (201) acoplado à saída da fibra óptica do sensor possui parâmetros compatíveis com a aplicação desejada e fornece uma corrente de saída com as informações que foram coletadas pelo sensor que serão medidas com precisão pelo processamento proposto.

15

- O amplificador de transimpedância (202) é utilizado para converter em tensão a corrente detectada pelo fotodiodo e caracteriza-se por não introduzir distorções de fase e amplitude acima dos limites aceitáveis em toda a banda de frequências necessárias ao processamento do sinal.

20

b. Detetor de cruzamentos de zero (203): Consiste em um comparador rápido com saída TTL, que compara o sinal com zero (para o caso sem histerese) e entrega para o próximo bloco um sinal TTL com duração dos mesmos intervalos de tempo do sinal de entrada.

25

c. Lógica de seleção (204): Este circuito é formado por dois sub-circuitos digitais: um circuito divisor por 2, encarregado de gerar o sinal de *UP/DOWN* necessário para determinar o valor de ΔT , e o circuito de seleção do sinal de T_0 encarregado de gerar um sinal utilizado na contagem do número de pulsos de *clock* durante o intervalo de tempo T_0 .

30

d. Sintetizador de frequência (205): Este circuito pode ser construído em torno de um PLL. O sintetizador contém uma fonte de referência com frequência f_r e um VCO com frequência f_o . A frequência de referência é dividida por um N inteiro e a frequência do VCO é dividida por M ; as duas ondas divididas são comparadas num detetor de fase. O travamento de fase é a condição de $f_r / N = f_o / M$, deste modo a frequência de saída é amarrada a uma fração racional da referência. Ou seja, a saída é um múltiplo da frequência de entrada enquanto a malha está amarrada.

e. Circuitos de medida de ΔT (206) e T_0 (207): Este bloco está constituído por quatro blocos fundamentais:

- Circuito de captura: Utilizado para capturar e manter o dado do *clock* que vai ser utilizado no circuito de chaveamento do *clock*, para efetuar as contagens de *UP* e *DOWN*.
- Circuito de chaveamento de *clock*: Este circuito é o responsável pela separação dos pulsos de *clock* que serão utilizados para as contagens dos tempos T_1 e T_2 .
- Circuito de integração: O circuito de controle é basicamente um circuito divisor de frequência utilizado para contar os N ciclos do sinal de U/D, conforme a sensibilidade necessária para a medida de ΔT . Depois de contados os N ciclos do sinal, é gerado um pulso estreito que permite ter, na saída, o resultado das contagens de ΔT e T_0 e inicializar os contadores para uma nova contagem.
- Circuitos contadores: Estes circuitos consistem essencialmente de um banco de contadores, com circuitos *Latch* na saída, para amostrar e manter o número de pulsos acumulados nas contagens de ΔT e T_0 . Para a medição do ΔT é necessário um contador de 16 bit's, sendo os 15 primeiros utilizados para efetuar a contagem e o 16º indicador do valor positivo ou negativo do sinal. Na medição de T_0 , é necessário um contador de 15 bit's para o valor máximo da faixa de medida.

Na técnica proposta obtém-se a diferença de contagem dos pulsos de *clock*, $N_2 - N_1$, para obter ΔT , e consegue-se um aumento da resolução de até 60dB, para as condições de desenho especificadas, com relação a um sistema que utilize *clock* síncrono em um período de integração. Além disso, eliminam-se os problemas de erro *drift* e RMS do sistema com *clock* assíncrono. O valor de resolução pode ser aumentado diminuindo o valor do coeficiente de modulação ϕ_m , mas limitaria o máximo valor de $\Delta\phi_s$ (fundo de escala) ou aumentando a frequência do clock para um valor fixo de ϕ_m .

Destaca-se na técnica que, além de melhorar a resolução da medição, aumenta a faixa dinâmica de trabalho na medida que se aumenta o número N de períodos de integração, comportando-se como um filtro passa baixas, com frequência de corte que diminui com o aumento do tempo de integração.

Além disso, cabe destacar as vantagens enquanto implementação da técnica num esquema de demodulação de baixo custo e grande compacidade, pois com poucos circuitos integrados é possível realizar a tarefa de equipamentos grandes e caros, aumentando a confiabilidade do sistema e a facilidade de reprodução do mesmo.

REIVINDICAÇÕES

1 – “TÉCNICA DE DETECÇÃO DE SINAIS DE GIROSCÓPIO A FIBRA ÓPTICA USANDO ‘ZERO CROSSING’ COM CLOCK SÍNCRONO”, caracterizada por utilizar um esquema de demodulação constituído por: fotodiodo (201) acoplado à saída da fibra óptica do sensor; amplificador de transimpedância (202); circuito detetor de cruzamentos de zero (203); lógica de seleção (204); circuito de sínteses de frequência (205); circuitos de medida de ΔT (206); circuitos de Medida de T_0 (207).

2 – “TÉCNICA DE DETECÇÃO DE SINAIS DE GIROSCÓPIO A FIBRA ÓPTICA USANDO ‘ZERO CROSSING’ COM CLOCK SÍNCRONO”, caracterizada pela utilização dos valores dos intervalos de tempo T_1 (formado por $T_0' + T_1'$) e T_2 (formado por $T_2' + T_3'$) ao se fazer uma divisão da frequência da componente alternada da tensão de saída do amplificador de transimpedância (101), para a demodulação da intensidade e do sentido de rotação medida pelo Giroscópio a Fibra Óptica.

3 – “TÉCNICA DE DETECÇÃO DE SINAIS DE GIROSCÓPIO A FIBRA ÓPTICA USANDO ‘ZERO CROSSING’ COM CLOCK SÍNCRONO”, caracterizada pela utilização de um *clock* (102) cuja frequência é uma proporção não inteira da frequência de modulação ($f_c = (M/N) \cdot K \cdot f_m$), o que possibilita que após N períodos de integração, o mesmo se comporte como um *clock* síncrono. Tal fator permite que, ao se realizar a medida durante N períodos (103), exista um aumento na resolução da medida com relação ao *clock* síncrono dado pelo valor de M .

4 – “TÉCNICA DE DETECÇÃO DE SINAIS DE GIROSCÓPIO A FIBRA ÓPTICA USANDO ‘ZERO CROSSING’ COM CLOCK SÍNCRONO”, caracterizada pela implementação da expressão matemática
$$\frac{\Delta\phi_s}{\phi_m} = \cos \frac{\omega_m T_0'}{2} \operatorname{sen} \frac{\omega_m \Delta T}{4}$$
 na obtenção da diferença de fase de Sagnac $\Delta\phi_s$ que depende dos intervalos de tempo ΔT e T_0' e do coeficiente de modulação ϕ_m .

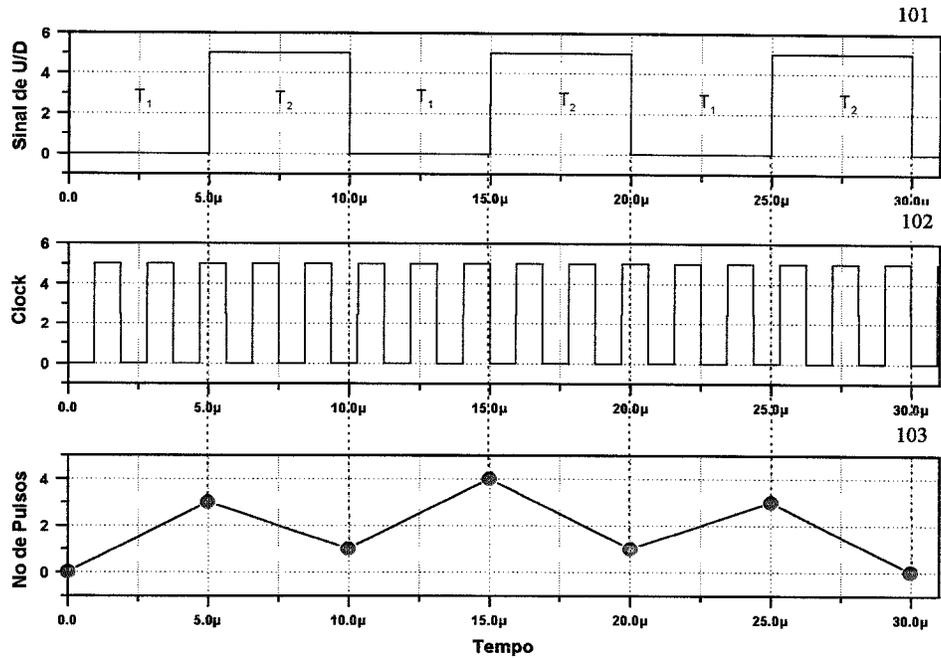


Fig. 1: Medida do ΔT com *Clock* quase-Síncrono.

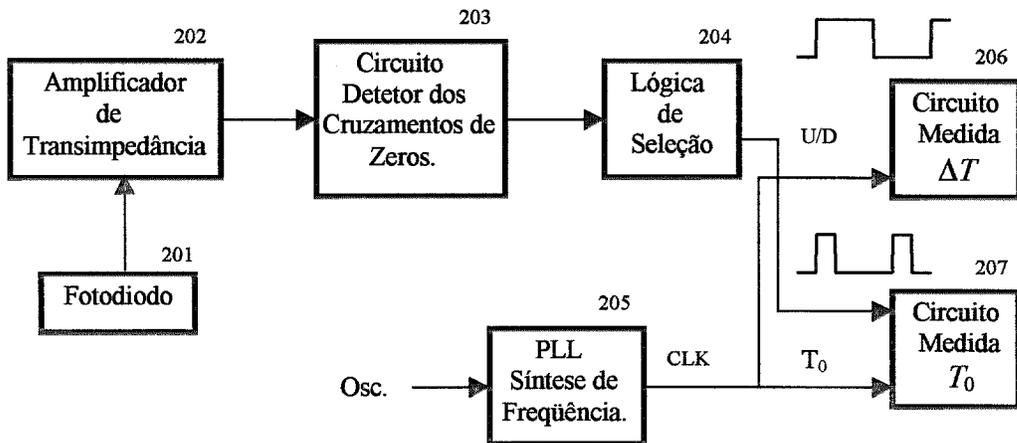
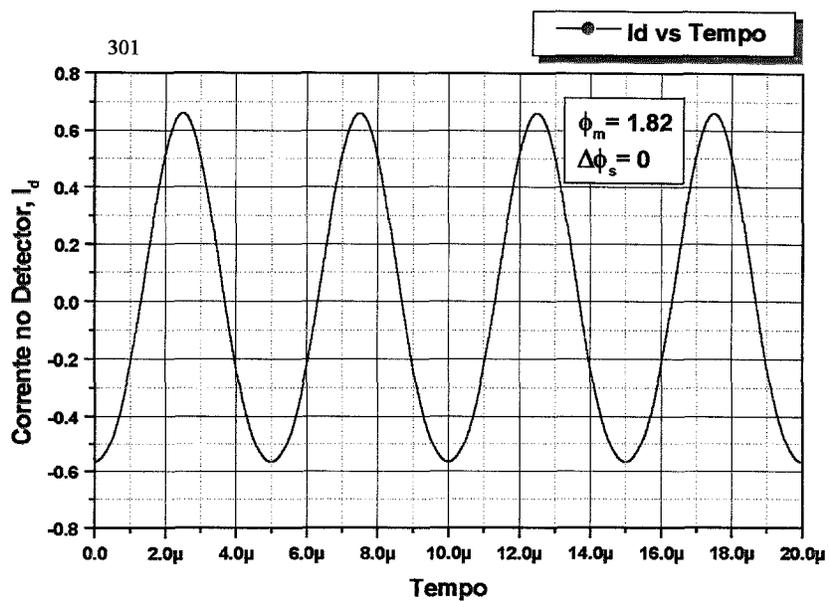
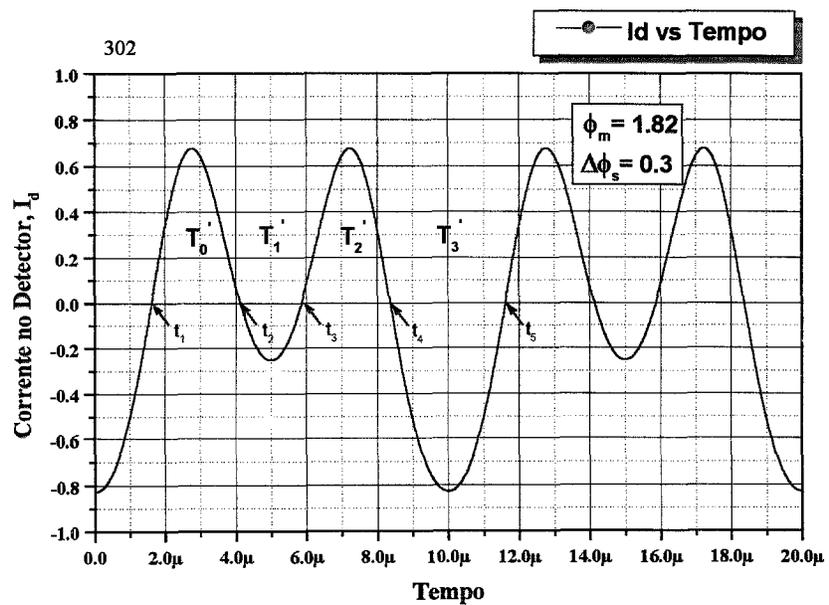


Fig. 2: Diagrama de Blocos do Circuito.



(a) Sem Sinal Aplicado.



(b) Com Sinal Aplicado

Fig. 3: Sinal Interferométrico com um Sinal Constante $\Delta\phi_s$.

RESUMO

“TÉCNICA DE DETECÇÃO DE SINAIS DE GIROSCÓPIO A FIBRA ÓPTICA USANDO ‘ZERO CROSSING’ COM CLOCK SÍNCRONO”.

5 Refere-se o presente relatório a uma nova técnica digital de detecção de sinais que pode ser utilizada em sistemas ópto-eletrônicos, que demodula a intensidade e o sentido de rotação experimentada por um Giroscópio a Fibra Óptica.

Propõe-se a utilização da técnica de cruzamentos de zero do sinal interferométrico, que utiliza a característica de proporcionalidade entre os
10 intervalos de tempo, determinados pelos pontos de cruzamentos de zero da componente AC do sinal detectado e a velocidade de rotação à qual está submetido o Giroscópio a Fibra Óptica.

Um método de demodulação digital foi desenvolvido utilizando a técnica de cruzamento de zero do sinal, que permite detectar a diferença de fase de
15 Sagnac, proporcional à taxa de rotação do sistema, na medida da diferença de intervalos de tempo determinados pelos pontos de cruzamentos de zero.

Propõe-se uma arquitetura de demodulação para a obtenção da intensidade e sentido da velocidade de rotação, que além de melhorar a resolução da
medição, aumenta a faixa dinâmica de trabalho, na medida em que se aumenta o número
20 de períodos de integração, comportando-se como um filtro passa baixas, com frequência de corte que diminui com o aumento do tempo de integração.