

XI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 27, 28 e 29 de maio de 2025

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Campus Itapetininga

SENSOR DE INCLINAÇÃO A BASE DE FLUIDO MAGNÉTICO E OSCILADOR DE FREQUÊNCIA VARIÁVEL

Lucas Gumiero Feth Araujo – PIVICT/IFSP¹

Prof. Dr. Rodrigo Andreoli de Marchi - IFSP²

Introdução

Conforme demonstrado pela história, desde a primeira revolução industrial o setor industrial está sempre buscando novos meios para o desenvolvimento de melhores instrumentos de medição, que por consequência são fundamentais para otimizar processos produtivos e reduzir custos (Shaw, 1982). Os sensores de inclinação utilizados atualmente e que equipam linhas de produção, fornecem feedback para processos e participam ativamente em sistemas de veículos e equipamentos modernos, microprocessados e compensativos (Hoang & Pietrosanto, 2020; Qinglei et al., 2007). Sensores de inclinação desenvolvidos com base em fluidos magnéticos e na variação da indutância como principal atuante na obstrução de corrente alternada possuem certas características vantajosas como, por exemplo, uma grande sensibilidade devido ao uso de fluidos como agentes passivos, a fácil compactação e uma boa robustez tendo em vista a escolha dos materiais e geometria do sensor (Olaru & Dragoi, 2005). Os sensores que se baseiam em fluidos magnéticos geralmente necessitam de um circuito excitador em corrente alternada e do efeito da variação da indutância (Hayward et al, 2003), por fim, ao adicionar um circuito de condicionamento de sinal obtém-se um oscilador controlado por inclinação.

Objetivo

Projetar um sensor de inclinação, a partir da combinação entre circuito excitador e variação de indutância pelo deslocamento de ferro fluido, com tal combinação se dando através de um circuito oscilador, capaz de transformar a inclinação física em variação de tensão com utilização de componentes eletrônicos discretos e de fácil aquisição no mercado nacional.

Metodologia

Os projetos dos circuitos aplicados neste trabalho são elaborados a partir de referências bibliográficas com ênfase no dimensionamento de osciladores, amplificadores,

¹Estudante do curso de Engenharia Elétrica, IFSP – Piracicaba/SP. E-mail e ORCID do autor: lucas.feth@aluno.ifsp.edu.br; <https://orcid.org/0009-0008-2865-1004>.

²Doutor. Atua em: IFSP – Piracicaba/SP. E-mail e ORCID do orientador: ramarchi@ifsp.edu.br; <https://orcid.org/0009-0002-2742-5335>.

XI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 27, 28 e 29 de maio de 2025

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

classes de amplificação, filtros e retificadores com prioridade na confecção de circuitos que sejam capazes de operar com sensibilidade e robustez para a explicitação da influência do fluido ferromagnético utilizado. Ademais, em relação ao condicionamento do sinal gerado pelo sistema, são investigados circuitos sem a dobra de frequência do sinal e com a dobra da frequência do sinal, com intuito de verificar se há melhora na sensibilidade do sensor. Os circuitos osciladores escolhidos para o projeto são da topologia Franklin realimentado por transformador, pois fornece um ganho satisfatório e estabilidade em uma ampla faixa de frequências, os transistores são JFETs de canal n e com modelo BF245C, o buffer é constituído por transistor bipolar NPN 2N3904 e conectado a um retificador de meia onda que, enfim, fornece um sinal em corrente contínua passível de análise. A modificação realizada no segundo circuito para a dobra de frequência do sinal é a adição de um amplificador classe C e um filtro LC. As frequências de funcionamento são de 7 Mhz e 14 Mhz, respectivamente, a tensão de alimentação para ambos é de 12V e para a simulação é utilizado o software LTspice XVII. No que diz respeito a escolha do ferrofluido, são analisadas diversas propriedades físico-químicas e magnéticas, tais como viscosidade, densidade, saturação magnética, estabilidade térmica, e compatibilidade com materiais do sensor, além da disponibilidade no mercado nacional e o custo-benefício, deste modo, o ferrofluido escolhido é o APG 1132. Adicionalmente, foram realizados testes substituindo o ferrofluido por água afim de investigar se essa seria uma alternativa viável como líquido para o projeto do sensor. Destaca-se alguns fatos, tais como a água que se encontra a disposição nas torneiras não ser pura, os indutores e outros componentes eletrônicos possuem elementos parasitas (Cuellar et al, 2016) e a capacidade da água de gerar respostas diamagnéticas fracas. Isso pode acarretar a necessidade de instrumentos de alta sensibilidade para as medições (Philo & Fairbank 1980). Posto isso, uma abordagem empírica é escolhida como ponto de partida para esta investigação.

Resultados

Os testes são realizados com os circuitos ajustados para a máxima tensão de saída e a inclinação do sensor sendo sequencialmente variada de forma a gerar uma tabela com as informações de ângulo versus tensão, a frequência observada na saída do oscilador sempre se manteve no entorno de 7 Mhz durante todos os procedimentos. Os dados gerados pelos circuitos com e sem dobrador de frequência foram compilados e apresentados no formato de gráficos com as informações de *tensão gerada x inclinação*. O diagrama em blocos que ilustra o funcionamento dos dois circuitos elaborados está apresentado na Figura 01 e os resultados obtidos para o circuito sem dobra de frequência e para o circuito com dobra de frequência estão apresentados na Figura 02 e na Figura 03, respectivamente. Destaca-se o resultado do circuito sem a dobra de frequência por apresentar melhor sensibilidade às variações de inclinação do sensor.

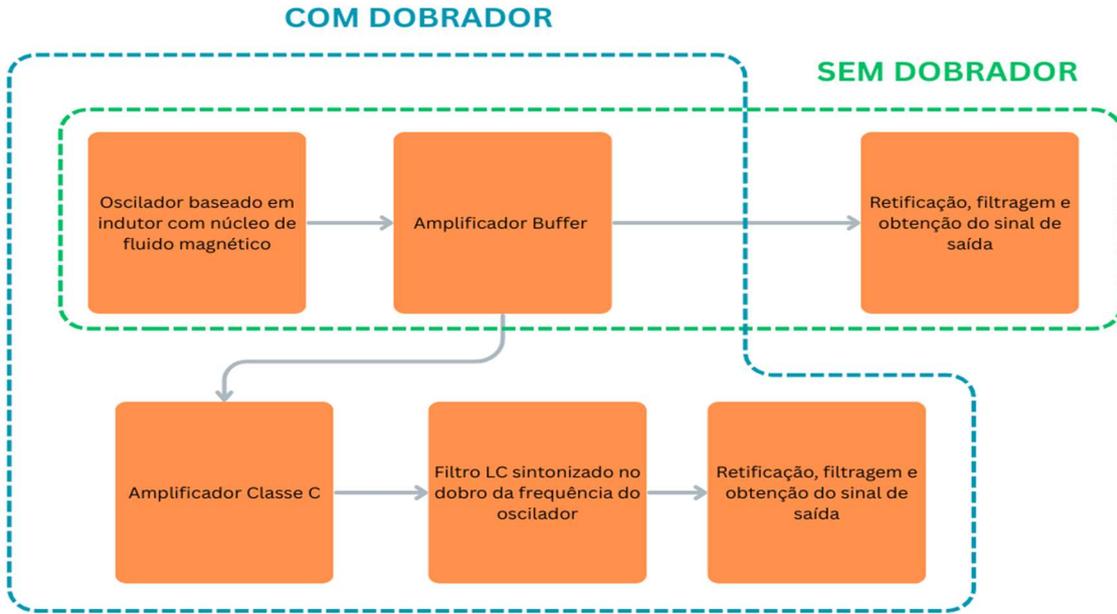
XI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 27, 28 e 29 de maio de 2025

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

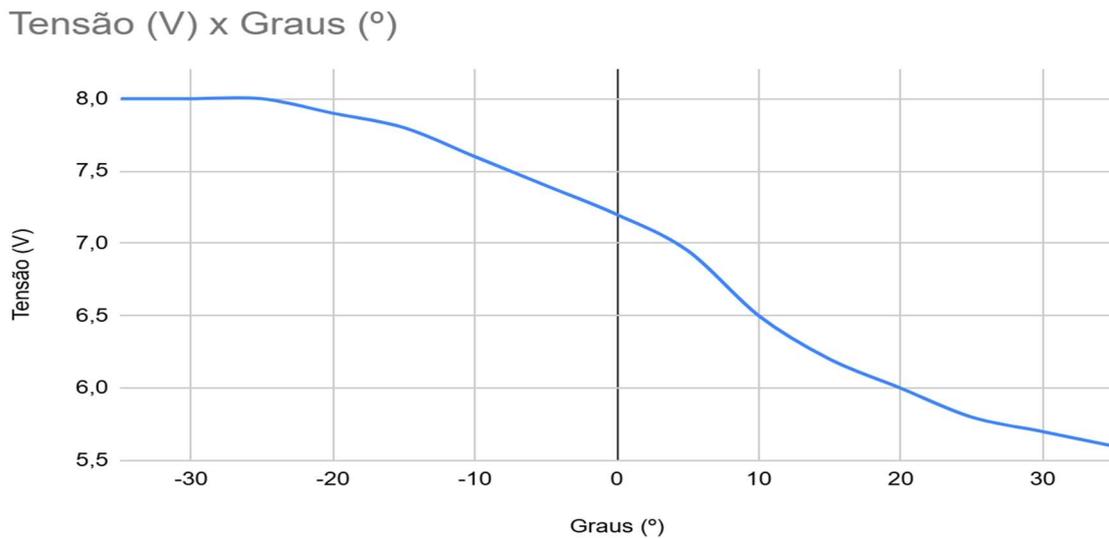
Câmpus Itapetininga

Figura 01 – Diagrama em blocos dos circuitos sem e com dobrador de frequência



Fonte: Autor

FIGURA 2 - Gráfico gerado a partir do circuito sem dobrador.



Fonte: Autor

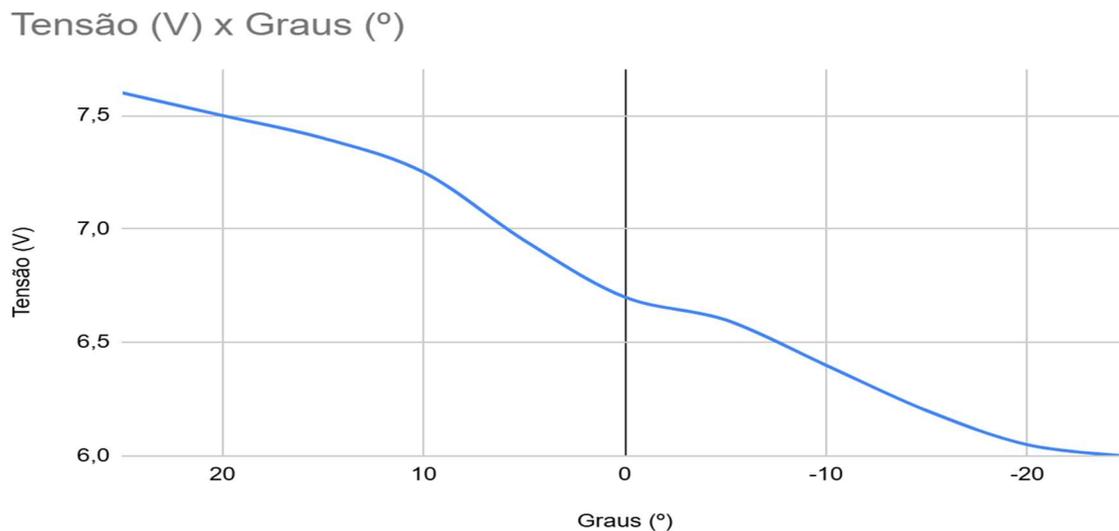
XI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 27, 28 e 29 de maio de 2025

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

FIGURA 3 - Gráfico gerado a partir do circuito com dobrador.



Fonte: Autor

Conclusão

O objetivo inicial da aplicação de um circuito oscilador como forma de unir excitação e variação de indutância foi um sucesso. Dentre os dois circuitos testados, aquele que trabalhou sem a dobra de frequência exibiu resultados melhores no que tange a sensibilidade. Os circuitos testados atuaram muito bem como prova de princípio, dotados de um funcionamento estável e sensíveis às mudanças de inclinação. A diminuição dos componentes pelo aumento da frequência de oscilação e o aumento na sensibilidade através da dobra de frequência revelam-se como bons temas para futuros trabalhos e pesquisas. É importante ressaltar que os resultados obtidos são provenientes de uma iniciação científica sem bolsa e que os instrumentos e materiais utilizados foram comprados ou construídos pelo autor, de modo que, resultados melhores e mais precisos talvez possam ser obtidos em ambientes mais preparados, como laboratórios com instrumentos específicos, e aparato especialmente construído para a medição precisa dos dados do sensor.

Referências

SHAW, R. **Future instrumentation: its effect on production and research.** Journal of physics E: Scientific instruments, v. 15, n. 5, p. 492–498, 1982.

HOANG, M. L.; PIETROSANTO, A. **A robust orientation system for inclinometer with full-redundancy in heavy industry.** IEEE sensors journal, v. 21, n. 5, p. 5853–5860, 2021.

XI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 27, 28 e 29 de maio de 2025

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Campus Itapetininga

QINGLEI, G. et al. **Design of a Plane Inclinator Based on MEMS Accelerometer**. 2007 International Conference on Information Acquisition. Anais...IEEE, 2007.

OLARU, R.; DRAGOI, D. D. **Inductive tilt sensor with magnets and magnetic fluid**. Sensors and actuators. A, Physical, v. 120, n. 2, p. 424–428, 2005.

HAYWARD, Wes; CAMPBELL, Rick; LARKIN, Bob. **Experimental Methods in RF Design: Filters and impedance matching, Oscillators and Frequency Synthesis, Mixers and Frequency Multipliers**. 1ª edição. Newington - USA: ARRL (American Radio Relay League), 2003.

CUELLAR, C.; NADIR IDIR; ABDELKADER BENABOU. **High-Frequency Behavioral Ring Core Inductor Model**. IEEE transactions on power electronics, v. 31, n. 5, p. 3763–3772, 1 maio 2016.

PHILO, J. S.; FAIRBANK, W. M. **Temperature dependence of the diamagnetism of water**. The Journal of Chemical Physics, v. 72, n. 8, p. 4429–4433, 15 abr. 1980.

HAYWARD, W. H.; **HAYWARD, W. Introduction to radio frequency design**. [s.l.] American Radio Relay League, 1994.