



Circuito para calibração e medição de sinais de células de carga

Diego Luiz de Oliveira Batista ¹, diego.lui236@gmail.com

Ricardo Gouveia Teodoro ¹, ricardo.teodoro@ifpr.edu.br

Aurasil Ferreira Garcia Júnior ¹, aurasil.junior@ifpr.edu.br

Resumo: Em medições de grandezas físicas é comum se utilizar transdutores e sensores, onde os sinais elétricos são direcionados para sistemas de aquisição de dados e posterior análise computacional. Mas para que o sinal analógico proveniente do transdutor seja corretamente enviado ao sistema de aquisição de dados, é necessário o desenvolvimento de um circuito para realizar a conexão entre o transdutor e o sistema em questão. Tal procedimento é conhecido como condicionamento de sinais. O presente trabalho apresenta um circuito para calibração e obtenção dos sinais de células de carga, sendo tais sinais direcionados para o sistema de aquisição de dados USB-6001 da *National Instruments Corporation*. O circuito que se construiu foi utilizado no processo de calibração e medição de força em dois modelos diferentes de células de carga.

Palavras-chave: Condicionamento de Sinais. Calibração de Células de Carga. USB-6001. Instrumentação Eletrônica.

1 Introdução

Com o avanço tecnológico, pode-se medir diversas grandezas físicas por meio de transdutores. Transdutores são dispositivos que podem alterar uma forma de energia em outra (DUNN, 2006). Para um transdutor

funcionar adequadamente, é necessário dimensionar um circuito de condicionamento de sinais. O condicionamento de sinais refere-se a modificações ou alterações necessárias para corrigir variações nas características de entrada/saída de um transdutor (DUNN, 2006) como, por exemplo, amplificação e filtragem do sinal.

As células de carga são componentes que empregam extensômetros fixado na superfície de uma peça (DOEBELIN; TERRY, 1976). A mudança de resistência em um elemento de célula de carga é proporcional ao grau de deformação elástica do componente estrutural do material no qual o extensômetro está fixado (DUNN, 2006). A variação da tensão elétrica obtida na saída de uma célula de carga é muito baixa, sendo importante o uso de amplificadores operacionais para elevar o nível de tensão e, assim, garantir o maior uso possível da faixa de operação do conversor ADC (*Analog to Digital Converter*) (VIEIRA, 2016; DOEBELIN; TERRY, 1976). Por se tratar de um sinal DC (*Direct Current*) de baixa intensidade, tipicamente se utiliza amplificadores de instrumentação para aumentar sua amplitude (DUNN, 2006). Um amplificador de instrumentação pode fornecer um alto ganho de tensão, uma alta razão de rejeição em modo comum (CMRR - *Common Mode Rejection Ratio*), *offsets* de entrada baixos e uma impedância de en-

¹Instituto Federal do Paraná - IFPR Paranavaí

trada alta (MALVINO; BATES, 2016). No presente trabalho, optou-se por utilizar o amplificador de instrumentação AD620.

O AD620 é um amplificador de instrumentação de baixo custo e alta precisão que requer apenas um resistor externo, denominado R_G , para definir ganhos entre 1 e 10000 (DEVICES, 2011). Além disso, com sua alta precisão de 40ppm de não-linearidade máxima, baixa tensão de *offset* de entrada de 50μV e CMRR mínimo de 100 dB, é ideal para uso em sistemas de aquisição de dados precisos, como balanças e interfaces de transdutores (DEVICES, 2011).

Sendo o ruído um sinal puramente aleatório, o valor instantâneo e/ou a fase da forma de onda não podem ser previstos em qualquer momento (MANCINI, 2003). Para minimizar seus efeitos no circuito, utilizou-se de filtros passa baixas. Os filtros são componentes que possuem diversas aplicações dependendo da sua localização no circuito (PADMANABHAN, 2012). Podem ser empregados em conversores ADC como *anti-aliasing* (MANCINI, 2003), na área de telecomunicações com o objetivo de minimizar frequências indesejáveis (JR, 2015) e na instrumentação eletrônica atenuando ruídos (PADMANABHAN, 2012).

2 Objetivo

O objetivo do presente trabalho é desenvolver um arranjo eletrônico que promova a calibração de células de carga que irão posteriormente formar um conjunto eletroeletrônico com aplicação em testes de precisão, onde os dados serão adquiridos pelo sistema de aquisição de dados USB-6001 da *National Instruments Corporation*. O circuito contará com um estágio formado por uma fonte simétrica responsável pela alimentação dos componentes eletrônicos do circuito e da célula de carga, um amplificador de instrumentação encarregado de aumentar a intensidade do sinal elétrico, filtros para eliminar possíveis sinais de ruídos e um regulador de *offset*.

3 Material e métodos

Para o desenvolvimento do circuito montou-se uma fonte simétrica com duas baterias de 12V e reguladores de tensão para obtenção de +5V e -5V na saída. Dois modelos diferentes de células de carga foram testados. O primeiro modelo será aplicado para forças de tração, sendo seu fundo de escala (valor máximo ao qual o sensor/transdutor pode ser submetido) de aproximadamente 100 N e sensibilidade de saída de 2mV/V. O segundo modelo de célula de carga atuará com forças de compressão e possui um fundo de escala de 500 N, sendo que no presente trabalho utilizou-se de duas células para aumentar seu fundo de escala para 1000 N. A sensibilidade de saída do segundo modelo que foi submetido à forças de compressão é de 1mV/V.

A baixa amplitude do sinal, devido aos esforços propositalmente inseridos nas células de carga, requer a sua amplificação. No presente trabalho utilizou-se o amplificador de instrumentação AD620 alimentado com +5V e -5V com o objetivo de se obter uma elevada precisão para sinais DC (*Direct Current*) (ZUMBAHLEN et al., 2011). Como os dois modelos de células foram alimentados com +5V e sabendo-se da sensibilidade de saída de cada célula, calculou-se dois valores diferentes para o resistor de ganho R_G para que quando cada célula for submetida à sua capacidade máxima de atuação, o sinal de saída não sature o AD620.

Na entrada do amplificador AD620 montou-se um filtro passivo passa baixas com frequência de corte de 14 kHz especificamente para interferência eletromagnética (IEM). O sinal amplificado na saída do AD620 é direcionado para a entrada de outro filtro ativo passa baixas com frequência de corte de 40 Hz.

O sinal filtrado é conduzido ao sistema de aquisição de dados USB-6001 da NI, onde será convertido de analógico para digital por um conversor ADC com 14 bits de resolução. Os dados provenientes do USB-6001 foram interpretados e apresentados compu-

tacionalmente.

Para o primeiro modelo de célula de carga, inicialmente realizou-se o processo de calibração por meio de carga e descarga, foi adotado aceleração da gravidade de $9,81 \text{ m/s}^2$, até atingir a força de $38,184 \text{ N}$ e logo em seguida retirou-se progressivamente os pesos, voltando a condição de força nula, ou seja, 0 N . O ajuste de *offset* foi realizado somente no processo de calibração do primeiro modelo de célula de carga para se obter 0 V quando a célula se encontrava com 0 N .

Para a calibração do segundo modelo de célula de carga, seguiu-se os mesmos procedimentos anteriormente descritos para o primeiro modelo, com uma força mínima de $4,276 \text{ N}$ e máxima de $137,226 \text{ N}$. No entanto, não foi realizado o ajuste de *offset*.

Para a realização dos cálculos da acurácia relativa (erro relativo), tanto em relação ao fundo de escala quanto em relação ao valor de referência, primeiramente calculou-se os erros relativos de cada média e cada valor de referência e, posteriormente, tirou-se a média dos erros.

4 Resultados e discussão

Após a calibração do primeiro modelo de célula de carga, obteve-se a equação $F = 21,127 \cdot V + 0,009$ com coeficiente de correlação $0,9999893$. A equação foi utilizada para medições de forças em Newton, onde submeteu-se a célula de carga as mesmas forças utilizadas anteriormente, seguindo a sequência de carga e descarga três vezes. Os dados podem ser vistos na Tabela 1, onde C refere-se a carga, D, descarga e DP, desvio padrão.

Para o primeiro modelo, o maior desvio padrão observado foi para a média de $6,817 \text{ N}$ devido ao efeito acumulativo de histerese da célula de carga ao longo das medições. A acurácia relativa em relação ao fundo de escala é de $0,800\%$. No entanto, a acurácia relativa em relação aos valores de referência é de aproximadamente $5,2\%$. Pode-se observar, na linha referente a força de 0 N , que houve um acréscimo máximo

de força de $1,058 \text{ N}$, e depois houve uma diminuição. A maior histerese observada foi de $0,948 \text{ N}$ entre a força de $6,177 \text{ N}$ da coluna C1 e a força de $7,125 \text{ N}$ da coluna D1, sendo a menor de $0,002 \text{ N}$ entre as forças de $38,718 \text{ N}$ e $38,716 \text{ N}$ da coluna C1 e D1, respectivamente.

Já para o segundo modelo, obteve-se a equação $F = 87,897 \cdot V - 0,445$ com coeficiente de correlação de $0,9999856$. Como no primeiro modelo, a equação foi utilizada para o mesmo processo já descrito. Os dados são mostrados na Tabela 2. O maior desvio padrão foi de $0,849$ para a força média de $115,958 \text{ N}$. A acurácia relativa em relação ao fundo de escala é de $0,036\%$, já em relação à força de referência, é de $4,100\%$. A maior histerese foi de $1,310 \text{ N}$ entre a força de $116,248 \text{ N}$ na coluna C2 e a força de $117,558 \text{ N}$ na coluna D2.

O filtro ativo foi testado em diversas frequências e como esperado, com base em seu gráfico de resposta em frequência, pode-se confirmar seu correto funcionamento. A implementação do filtro passivo para diminuição de IEM se mostrou funcional durante o uso do circuito.

5 Conclusão

O circuito atingiu razoavelmente bem o objetivo, pois obteve-se na calibração excelentes coeficientes de correlação, mas observando-se os dados nas Tabelas 1 e 2 pode-se notar variações nas medidas, algo não aceitável em aplicações de precisão. Portanto, como possível melhoria, pretende-se transferir o circuito para uma placa de circuito impresso protegida por uma case revestida com material capaz de refletir e/ou absorver ondas eletromagnéticas. Os resistores utilizados possuíam uma variação de fabricação em torno de 5% , sendo recomendado o uso de resistores de precisão com variação de 1% . Os cabos que foram utilizados serão trocados por cabos flexíveis e com blindagem contra IEM.

O ganho do amplificador de instrumentação AD620 pode ser aumentado sem o

Tabela 1 – Resultados da célula de carga para tração

Força [N]-Referência	C1 [N]	D1 [N]	C2 [N]	D2 [N]	C3 [N]	D3 [N]	Média	DP
0	0,12	1,058	1,038	0,827	0,797	0,734	0,762	0,341
6,047	6,177	7,125	7,082	6,904	6,831	6,784	6,817	0,342
12,189	12,353	13,273	13,213	13,084	13,004	12,942	12,978	0,330
19,528	19,702	20,638	20,535	20,438	20,374	20,315	20,334	0,330
26,064	26,455	26,722	27,052	26,996	27,095	26,942	26,877	0,244
31,987	32,553	32,825	32,952	32,927	33,098	32,942	32,883	0,184
38,184	38,718	38,716	39,144	39,118	39,272	39,192	39,027	0,246

Fonte: Próprios autores

Tabela 2 – Resultados da célula de carga para compressão

Força [N]-Referência	C1 [N]	D1 [N]	C2 [N]	D2 [N]	C3 [N]	D3 [N]	Média	DP
4,276	4,286	4,728	4,553	5,834	5,715	4,658	4,962	0,648
60,020	59,415	60,128	59,747	60,854	60,023	59,058	59,871	0,623
115,716	115,493	115,547	116,248	117,558	115,623	115,277	115,958	0,849
137,226	136,876	136,793	137,584	138,482	136,978	136,977	137,282	0,651

Fonte: Próprios autores

risco de saturação aumentado-se as tensões simétricas de alimentação, sendo possível detectar forças menores aplicadas às células de carga.

Referências

- DEVICES, A. *AD620, Analog Devices Data Sheet*. [S.l.], 2011. Citado na página 2.
- DOEBELIN, E. O.; TERRY, T. A. *Measurement systems, application and design*. [S.l.]: American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, 1976. Citado na página 1.
- DUNN, W. C. *Introduction to instrumentation, sensors and process control*. [S.l.]: Artech House, 2006. Citado na página 1.
- JR, A. P. *Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos-8*. [S.l.]: Bookman Editora, 2015. Citado na página 2.
- MALVINO, A. P.; BATES, D. J. *Eletrônica-Vol. 2: 8ª Edição*. [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2016. Citado na página 2.
- MANCINI, R. *Op amps for everyone: design reference*. [S.l.]: Newnes, 2003. Citado na página 2.
- PADMANABHAN, T. R. *Industrial instrumentation: principles and design*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012. Citado na página 2.
- VIEIRA, M. *Sensor inteligente para medição de cargas mecânicas*. Tese (Doutorado), 2016. Citado na página 1.
- ZUMBAHLEN, H. et al. *Linear circuit design handbook*. [S.l.]: Newnes, 2011. Citado na página 2.