

Extensómetro – célula de carga de 5kg

Relatório de Eletrónica Aplicada

Anaísa Cristina Pereira Carvalho

Departamento de Engenharia Eletrotécnica
ISEP-Instituto Superior de Engenharia do Porto
Porto, Portugal
1150389@isep.ipp.pt

Rodolfo Ricardo Pinto Almeida

Departamento de Engenharia Eletrotécnica
ISEP-Instituto Superior de Engenharia do Porto
Porto, Portugal
1131158@isep.ipp.pt

Abstract—No âmbito da unidade curricular de Eletrónica Aplicada foi desenvolvido um projeto de forma poder ser aplicada uma ponte de Wheatstone e um amplificador de instrumentação. O objetivo da disciplina possuir este tipo de projeto é a obtenção de dados a partir de um sensor analógico, neste caso uma célula de carga de 5kg, e realizar uma análise mensurável do sinal. Com este sinal obtido é pretendido a construção de um circuito que o amplifique de forma a poder posteriormente ser utilizado para a criação de uma balança.

Palavras chave—Célula de carga; Sensor resistivo; Análise sensor; Balança; Amplificador instrumentação; Ponte de Wheatstone;

I. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é a utilização de uma célula de carga para criação de uma balança. A célula de carga que será descrita e trabalhada ao longo deste relatório foi-nos fornecida pelo docente das aulas práticas, e não possuímos uma referência à mesma nem o adequado datasheet. Tendo em conta esta situação tivemos de analisar experimentalmente todos os parâmetros da referida célula de forma a perceber quais as suas características. Para além da análise experimental, foram realizadas também simulações do circuito de forma a perceber o seu comportamento.

II. CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DO SENSOR

A. Contextualização teórica do sensor

As células de carga encontram-se inseridas em diversas aplicações por toda a indústria como em funis de carga, balanças de veículos, niveladores, controlo de colocação de peças em processos de fabrico e simples balanças de utilização básica. São catalogadas segundo o tipo de força aplicada no sensor (torção, cisalhamento, compressão, extensão) ou à sua saída do sensor (pneumática, hidráulica ou elétrica). A célula de carga tratada neste trabalho destaca-se pela conversão de uma força de extensão em corrente elétrica, apresentando um corpo de alumínio na forma de um paralelepípedo, onde a aplicação de força numa das postas faz dobrar o extensómetro no seu interior – composto por uma grelha resistiva, que conforme a extensão da mesma apresenta diferentes valores resistivos. O dito extensómetro encontra-se enquadrado numa ponte de Wheatstone incorporada na célula.

B. Caracterização do sensor e do projeto desenvolvido

Tal como já foi referido, a célula de carga utilizada não possui qualquer identificação de modelo ou fabricante, pelo que a segunda caracterização por um datasheet não será possível. Foram, portanto, assumidos padrões de mercado e realizados ensaios práticos experimentais para os confirmar, de forma a obter as características em falta. A sensibilidade do sensor foi assumida como 1mV/V.

De forma a serem realizadas leituras desta tensão com maior facilidade, o sinal proveniente da célula de carga (sensor + ponte de Wheatstone) terá de ser amplificado. Com este sinal faremos uma separação em dois condicionamentos de sinal distintos, de forma a obtermos resoluções de leitura diferente para valores entre o 0Kg e os 2Kg e entre os 2Kg e os 5Kg.

Estes sinais serão então convertidos em impulsos digitais e mostrados no computador.

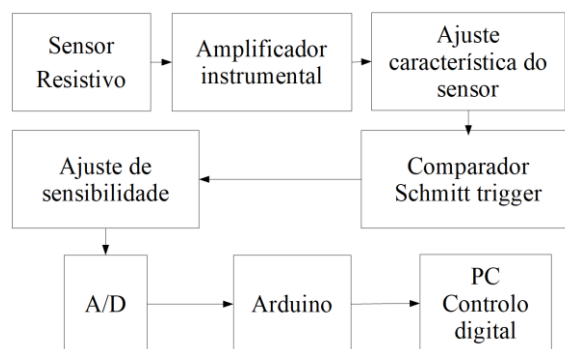


Figura 1: Ideia geral do projeto

C. Análise das características do sensor

Pelo facto de não possuímos datasheet, e tal como já foi explicado no ponto anterior, esta célula de carga possui uma variação linear. Esta saída linear aos terminais da célula de carga ocorre porque o próprio sensor está integrado numa ponte de Wheatstone. Para determinar as características do sensor partimos do pressuposto que teria a mesmas de uma outra célula de carga genérica e testamos a nossa célula de carga para perceber se realmente correspondia ao pressuposto. Realizamos

então as simulações assumindo valores genéricos para o tipo de célula e após já ter colocado o amplificador de instrumentação fizemos a montagem do circuito. Com a montagem do circuito feita pudemos realizar diversas experiências a fim de determinar quais as características reais da célula que estamos a utilizar e perceber se estas correspondiam às características genéricas utilizadas na simulação. Para os testes, utilizamos 5 pesos, cada um com uma massa igual a 1Kg porque a célula em uso pode realizar medições máximas de 5Kg. Os dados Excel experimentais encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Tensão aos terminais do AI

Massa (Kg)	Output saída do Amplificador de Instrumentação (V)		
	Incremento da massa	Decremento da massa	Média
0	-0,42	-0,31	-0,37
1	0,78	0,77	0,78
2	1,87	1,86	1,86
3	2,96	2,94	2,95
4	4,05	4,03	4,04
5	5,11	5,11	5,11

De forma a perceber qual a sensibilidade da célula aplicou-se a seguinte fórmula:

$$\Delta V_{célula} = \frac{\left(\frac{V_{outAI}}{Ganho AI} \right)}{m} \quad [1]$$

da qual retiramos a informação que esta variação é de aproximadamente 1mV/Kg. Ao realizar experimentalmente este tipo de medições, percebeu-se que a célula que estamos a utilizar possui um desequilíbrio. Estando a ponte de Wheatstone equilibrada, quando em repouso (os seus quatro ramos têm a mesma resistência) a diferença entre os seus terminais de saída deverá de ser de 0V. No entanto, o trabalho pratico realizado levou-nos a descobrir que este valor é na verdade de 0,4mV, apontando que a célula se encontra desequilibrada. O que significa que este valor terá de ser corrigido através de um amplificador somador à posteriori. De forma a medir e testar a sensibilidade do sensor, foram recolhidos os valores apresentados na Tabela 2.

Como a célula de carga que estamos a utilizar já é linear, iremos definir um ponto de comutação (ex. para 2kg) de forma mudar a sensibilidade da medição da balança. Para essa mudança de sensibilidade iremos recorrer a um *Schmitt Trigger*. Isso irá proporcionar que possamos ter duas sensibilidades diferentes e que no ponto de comutação possua um intervalo um pouco superior para não se encontrar constantemente a comutar entre ambas as sensibilidades.

Tabela 2: Sensibilidade do sensor

Massa (Kg)	Razão entre tensão aos terminais da célula e a massa (V/Kg)		
	Incremento da massa	Decremento da massa	Média
0	-0,0004	-0,0003	-0,0004
1	0,0008	0,0008	0,0008
2	0,0009	0,0009	0,0009
3	0,0010	0,0010	0,0010
4	0,0010	0,0010	0,0010
5	0,0010	0,0010	0,0010

III. IMPLEMENTAÇÃO DO CIRCUITO

A. A simulação

Todas as simulações descritas neste trabalho foram realizadas recorrendo ao software Capture CIS da empresa ORCAD. Efetuou-se a montagem do circuito, recorrendo a este programa, (simulamos o comportamento da célula de carga utilizado a ponte de Wheatstone) e realizamos a sua análise em regime transiente, - para verificar todas as tensões existentes no circuito -, em regime DC sweep - fazendo variar a resistência do sensor, dentro da sua gama de variação de forma a analisar o seu output à saída da ponte de Wheatstone e o output à saída do amplificador de instrumentação – e realizamos também a simulação Monte Carlo de forma a definir quais as tensões mais prováveis de ocorrer neste circuito.

B. Condicionamento do sinal

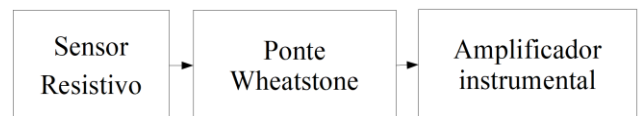


Figura 2: Estágios de pré-condicionamento do sinal

À saída da ponte de Wheatstone, no nosso caso implementada na célula de carga é obtida uma tensão diferencial, onde a grandeza física é proporcional à diferença de tensão entre os terminais de saída da ponte, na ordem dos mV. No processo de amplificação deste sinal para valores compreendidos entre os 0V e os 5V (será tomada esta diferença por estar projetada a utilização de um conversor analógico-digital com os mesmos limites) surge a possibilidade de se for utilizado um amplificador operacional diferencial, dito normal, estarmos também a amplificar a tensão em modo comum. Se num dado circuito a diferença de tensão à entrada, inversora e não inversora do amplificador for de 0.10V (4.10V num terminal e 4.20V no outro, respetivamente) se consideradas as não idealidades do amplificador, este amplificará também parte da tensão aos seus terminais e não apenas a diferença. Para resolver esta questão deverá ser utilizado um amplificador que possua um elevado grau de rejeição em modo comum CMRR (do inglês Common Mode Rejection Ratio, Relação de Rejeição

em Modo Comum) sendo o Amplificador Instrumental bastante conhecido para essa mesma aplicação, foi construído para a finalidade do projeto um amplificador instrumental com três amplificadores operacionais integrados no IC (integrated circuit – circuito integrado) TL084, configurado tal como descrito na figura x, com um ganho de amplificação de tensão de 1001 obtido pela análise do circuito tal como descrito pela seguinte expressão.

$$V_{out} = (V_1 - V_2) \left(1 + \frac{2R_1}{R_{gain}}\right) \frac{R_3}{R_2} \quad [2]$$

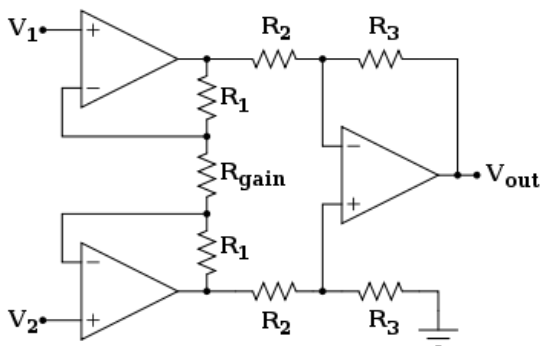


Figura 3: Modelo teórico do AI

C. Análise teórica do circuito

Apresentamos nas próximas figuras o esquema elétrico do circuito projeto e implementado em hardware para experimentação laboratorial. Alimentando o circuito com 5 V DC na célula de carga a $\pm 15V$ DC os amplificadores operacionais que compõem o nosso AI (amplificador instrumental).

A ponte utilizada na simulação tem um dos ramos desequilibrados de forma a simular o desvio verificado em laboratório (na ordem dos 0,4mV).

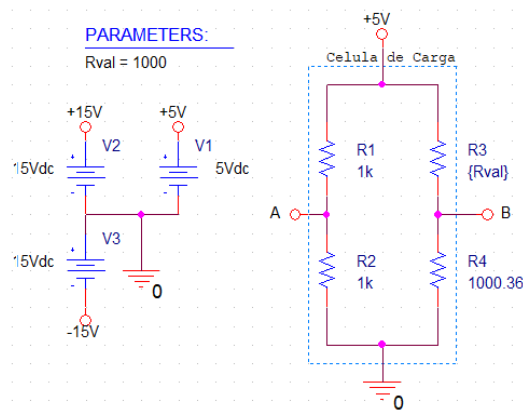


Figura 4: Esquema de alimentação e da célula de carga

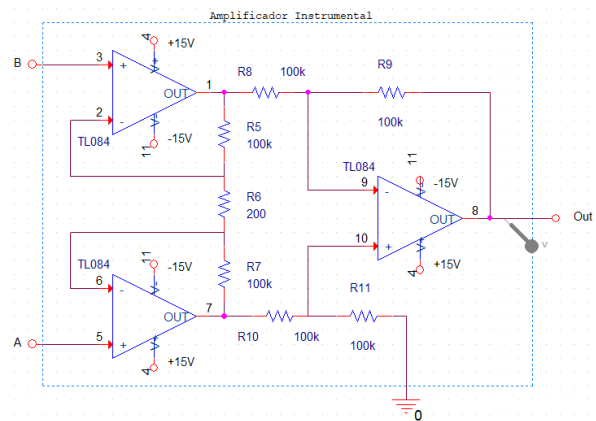


Figura 5: Esquema do AI implementado

Os terminais da célula de carga foram conectados ao amplificador instrumental de forma estratégica, visto a sua saída ser invertida pelo último ramo amplificador, onde obtemos uma amplificação com um ganho de 1001V/V do sinal original, ou seja, que varia entre 0V e 5V, aproximadamente.

Para avaliação teórica do circuito foram realizadas várias simulações

- Simulação transiente, onde podemos verificar os potenciais nas diversas malhas e nós do circuito;

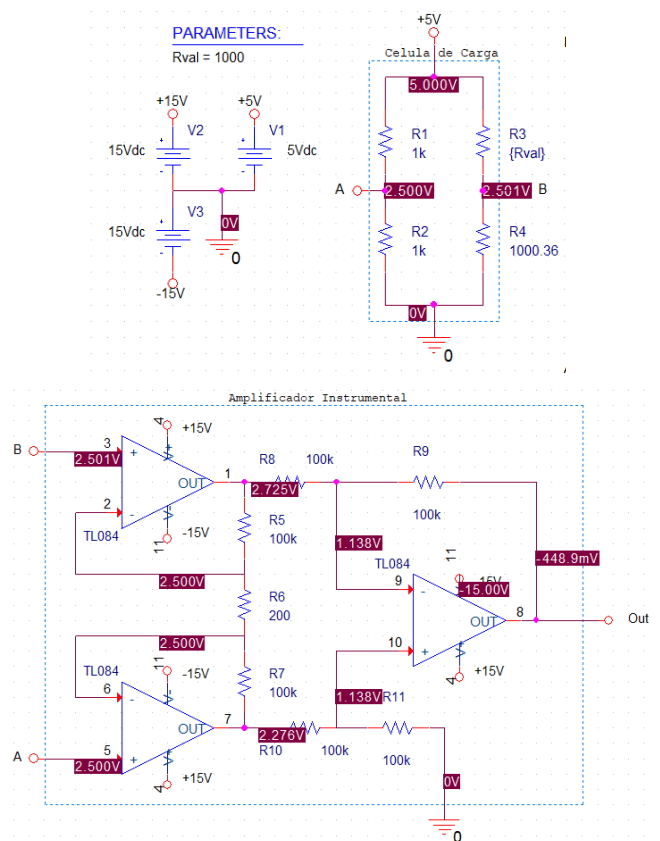


Figura 6: Simulação transiente do circuito

- Simulação DC Sweep, que nos permite avaliar o comportamento do circuito à medida que o valor resistivo do sensor se vai alterando, entre os valores previamente definidos – podemos verificar na figura 7 a variação da célula de carga estar compreendida dentro os 0 e 5mV e a na figura 8 a saída do AI já com o ganho correspondente, variar dentro dos valores pretendidos.

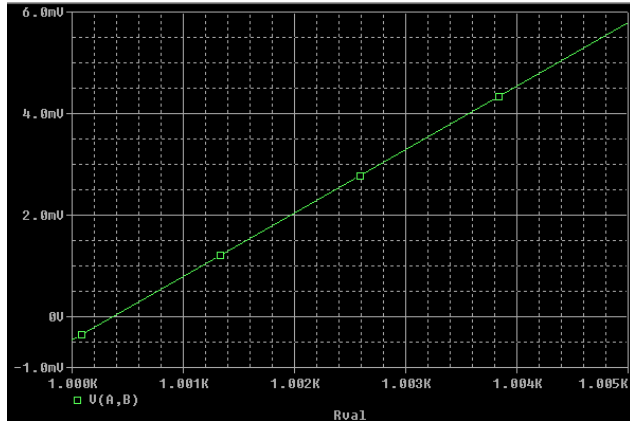


Figura 7: Valores de tensão à saída da célula em função da resistividade do sensor

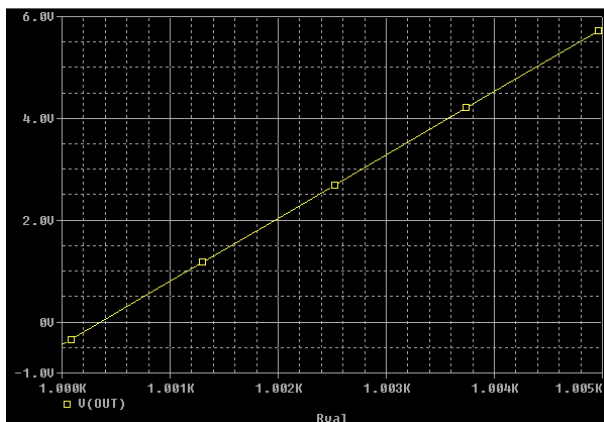


Figura 8: Valores de tensão à saída do AI em função da resistividade do sensor

- A análise de Monte Carlo, tem como objetivo prever a probabilidade de um evento ocorrer dado um parâmetro variável de forma aleatória. Numa primeira análise realizamos a simulação de Monte Carlo para visualizar as probabilidades de para um dado valor de resistência qual seria a tensão naquele ponto e visualizamos de forma gráfica. Como segunda análise, fomos verificar qual era a tensão

máxima mais provável de ocorrer e qual a sua percentagem. No caso do nosso circuito a tensão máxima mais provável é de 5V (valor mais espetável) com uma probabilidade de o acontecimento ocorrer em 27% das vezes. A última análise é a do valor mínimo de tensão mais provável de ocorrer e foi de 0V com probabilidade de 29%, valor também de acordo com as experiências realizadas. Os gráficos provenientes desta simulação podem ser visualizados no anexo A.

D. Comparações entre a simulação e a experiência

Pelo facto de necessitarmos de perceber quais os parâmetros reais da célula de carga realizaram-se diversas experiências e fomos ajustando os parâmetros da simulação de forma a conseguir uma simulação o mais próxima possível do real tal como já explicado ao longo do ponto C.

Apresentamos na Tabela 3 a diferença entre os valores que obtemos experimentalmente (colocando os pesos na célula de carga e medindo a tensão à saída do amplificador instrumental com os valores que obtemos da simulação ajustada aos parâmetros reais. Apesar de termos aproximado a simulação ao desvio real da célula de carga, comprova-se que para valores mais elevados de peso ainda existe alguma diferença entre o valor experimental e o valor espetável da simulação – coluna ΔV da Tabela 3 – no entanto este desvio não é significativo de forma negativa.

Tabela 3: Comparação entre valores simulados e valores experimentais

Massa (Kg)	Tensão (V) experimental	Resistividade do sensor (Ω) simulada	Tensão (V) simulada	ΔV (simulado - experimental)
0	-0,368	1000	-0,442	-0,075
1	0,777	1001	0,797	0,021
2	1,862	1002	2,326	0,464
3	2,949	1003	3,286	0,337
4	4,040	1004	4,528	0,488
5	5,110	1005	5,769	0,659

Bibliografia:

- [1] Razavi, Behzad, Fundamentals of Microelectronics, Wiley & Sons, 1. ed. 2008
- [2] Costa, Ricardo, Apontamentos teóricos, UC de Eletrónica Aplicada, 2019
- [3] Load Cell: página web, acedida através do link: https://www.omega.com/prodinfo/loadcells.html?fbclid=IwAR25F3mnB54RRqx4t7Cex1czCx5vKdJBqKhxk2lcOMO-fycBviMzvF_4B7U

Anexo A

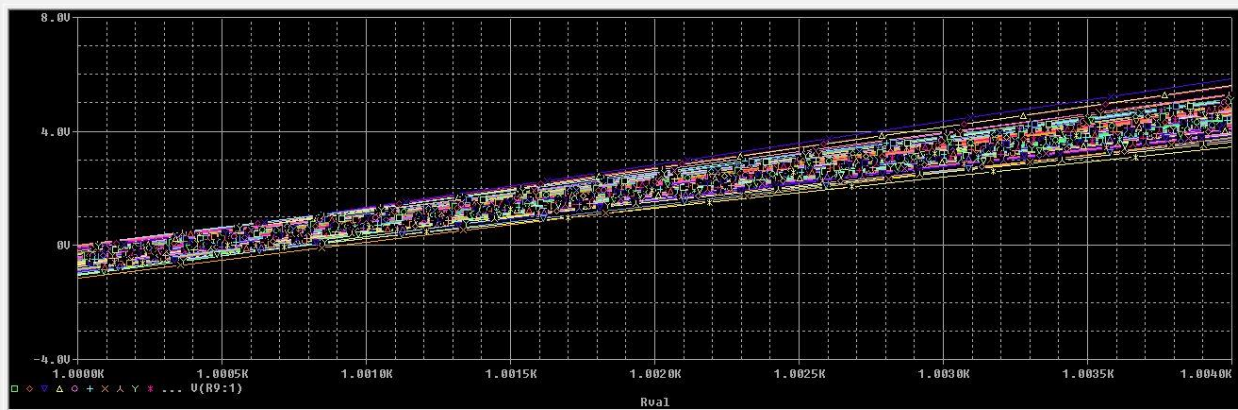


Figura 1: Análise gráfica da simulação de Monte Carlo

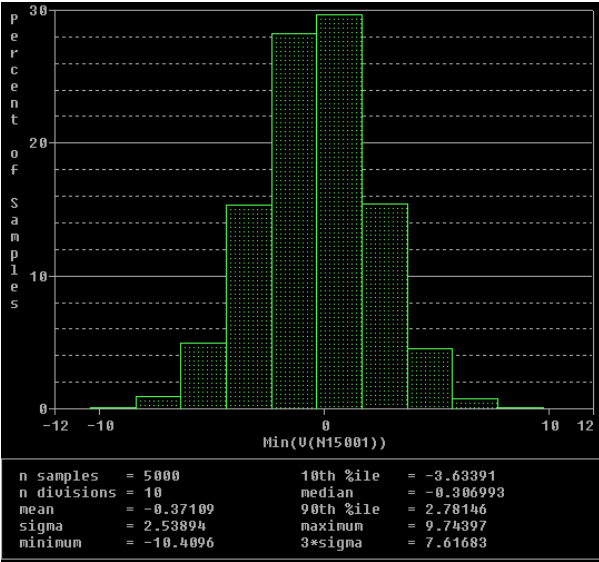


Figura 2 Gráfico de barras da simulação de Monte Carlo para valor mínimo

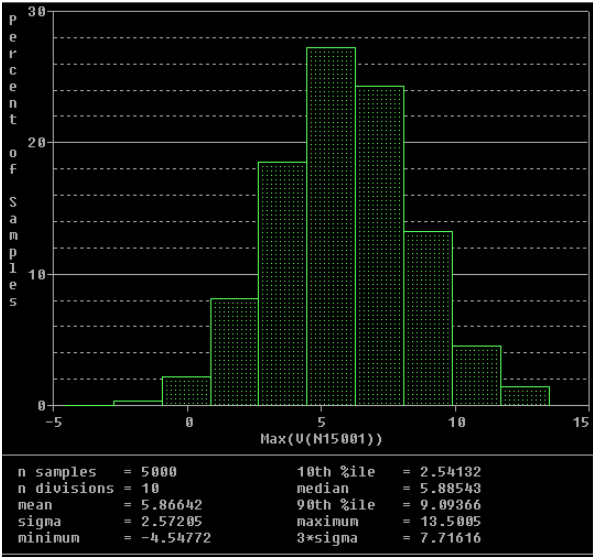


Figura 3: Gráfico de barras da simulação de Monte Carlo para valor máximo