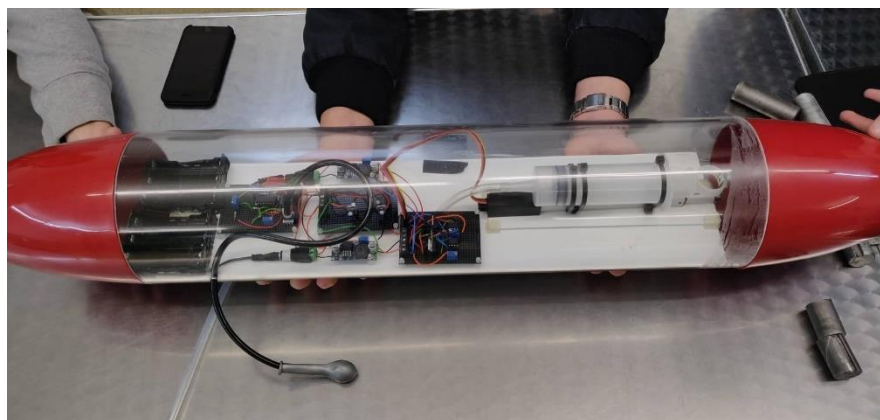




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

PROJETO INTEGRADOR

SUBMERGÍVEL



1. ANDRÉ CAMPO	A 8 3 1 0 0
2. DANIEL FERNADES	A 8 1 7 0 0
3. FÁBIO CUNHA	A 8 0 1 0 0
4. JOÃO SOUSA	A 8 2 2 7 3
5. PEDRO SOUSA	A 8 2 0 4 1
6. SAMUEL PEREIRA	A 8 1 4 0 8

Coordenador: Luís Gonçalves

Unidade curricular: Laboratórios e Práticas Integradas

ÍNDICE

Âmbito do Projeto.....	2
Descrição do Produto.....	2
Descrição Técnica.....	3
_____ Conjunto Atuador Linear – Seringa	3
_____ Sensor de Pressão	5
_____ Cápsula do Submergível	6
_____ Circuitos e Subsistemas: Alimentação.....	7
_____ Circuitos e Subsistemas: Controlos	9
_____ Circuitos e Subsistemas: Circuito controlo 1.....	10
_____ Circuitos e Subsistemas: Circuito controlo 2.....	11
_____ Circuitos e Subsistemas: Comparador e atuador	12
Listagem de Componentes e Preços.....	13
Estudo de Segurança.....	14
Estudo de Fiabilidade	14
Estudo de Certificação	15
Conclusão.....	15
Agradecimentos:	15
Bibliografia	16

PROJETO: SUBMERGÍVEL

ÂMBITO DO PROJETO

Este projeto integrador foi desenvolvido por 6 alunos do 3º ano do Mestrado Integrado de Engenharia Eletrônica Industrial e Computadores, como complemento de aprendizagem para a cadeira Laboratórios e Práticas Integradas I.

Foram do âmbito deste projeto as atividades de aprendizagem e preparação na participação de futuros projetos integradores a realizar, as atividades de conceção e desenvolvimento, nas quais se incluem atividades como modelação, planeamento, testes das soluções desenvolvidas, atividades de monitorização, regulação e avaliação do produto final.

Espera-se, da realização deste projeto, obter, em primeiro lugar, um produto que envolva apenas nos seus circuitos implementação analógica, e eventualmente, componentes lógicos discretos, sem recurso a dispositivos programáveis.

Desta forma, foi tomado o desafio de desenvolver consoante as normas estabelecidas, um submergível.

DESCRIÇÃO DO PRODUTO

Protótipo de submergível com:

- Motor/Atuador linear;
- Sensor de Pressão;
- Circuito de controlo;

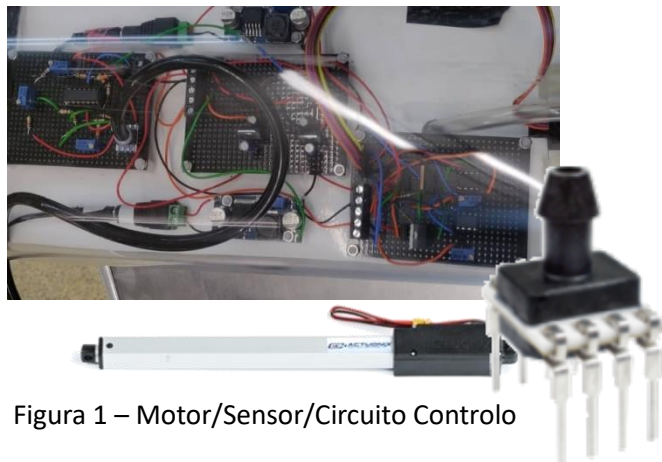


Figura 1 – Motor/Sensor/Circuito Controlo

O atual protótipo do submergível, de 80 cm por 15 de raio feito em acrílico, tem a capacidade de emergir e submergir na água e atingir uma profundidade pretendida (dentro das suas limitações).

De forma a pudermos aumentar ou diminuir o peso do submergível, o atuador linear acoplado a uma seringa de 100ml é dos componentes mais essenciais. Tendo o atuador a funcionar como “bomba de água” e a seringa como “reservatório”, é possível manusear o peso do submergível.

Contudo, um submergível submerso está constantemente em equilíbrio instável, tendo a tendência de afundar ou de vir à superfície. Manter uma profundidade constante requer uma operação constante de controlo de profundidade.

É neste aspeto que o circuito de controlo, em concordância com o sensor de pressão, atua.

Muito longe do ideal, este protótipo tem bastante liberdade a melhorias quer estéticas (reduzindo o seu tamanho), quer no sistema de controlo, pois mesmo com um sensor para 16m de profundidade, o circuito de controlo foi projetado apenas para uma profundidade máxima de 50 cm.

DESCRIÇÃO TÉCNICA

Módulos e subsistemas do protótipo:

- Conjunto atuador linear – seringa;
- Sensor de pressão;
- Cápsula submergível;
- Circuitos e subsistemas:
 - Alimentação;
 - Controlo 1 – Cálculo de Pressão e Diferenciação de profundidades;
 - Controlo 2 – Sistema de Proteção;
 - Comparador e Atuador;

CONJUNTO ATUADOR LINEAR – SERINGA

O motor usado é um atuador linear (um Actuonix) de 15 cm e extensível para 30 cm, com potenciómetro de feedback da posição:

- 1 – Laranja – Potenciómetro de feedback da referência de posição negativa rail;
- 2 – Roxo – Potenciómetro de feedback da posição do rail;
- 3 – Motor V+ (6V ou 12V);
- 4 – Motor V- (Ground);
- 5 – Amarelo – Potenciómetro de feedback da referência de posição positiva rail;

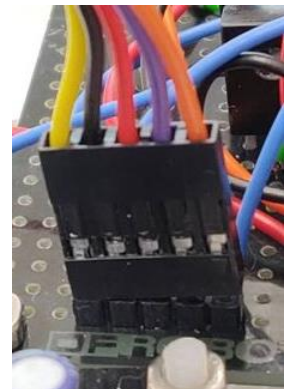


Figura 2 – Pinouts do Atuador Linear

L16 Specifications	
Gearing Option	150:1
Peak Power Point	175N @4mm/s
Peak Efficiency Point	75N @7mm/s
Max Speed (no load)	8mm/s
Max Force (lifted)	200N
Back Drive Force	102N
Stroke Option	140mm
Mass	84g
Repeatability (-P & LAC)	0.5mm
Max Side Load (extended)	20N
Closed Length (hole to hole)	218mm
Feedback Potentiometer	16k Ω ±50%
Feedback Linearity	Less than 2.00%
Input Voltage	0-15 VDC. Rated at 12VDC.
Stall Current	650mA @ 12V
Operating Temperature	-10°C to +50°C
Audible Noise	60dB @ 45cm
Ingress Protection	IP-54
Mechanical Backlash	0.25mm
Limit Switches	Max. Current Leakage: 8uA
Maximum Static Force	250N
Maximum Duty Cycle	20%

Tabela 1 - Especificações do motor

O atuador foi acoplado paralelamente a uma tradicional seringa de 100ml (equivalente a 100g).

Com uma força de 15N necessária para introduzir ou expelir água, o motor é deveras capaz de assumir o seu papel.

Alimentado positivamente os seus polos (3 e 4), o veio estende-se, tal como a seringa ao qual está amarrado, ao qual a água é sugada para dentro da seringa. (Aumento de peso)

Alimentado negativamente, o veio e a seringa recolhem e a água é expulsa. (Diminuição de peso)

O motor ainda possui um potenciômetro interno com a capacidade de traduzir a posição do seu veio por uma tensão de +5V a -5V. Este potenciômetro é usado no circuito de controlo de posição e no circuito de proteção.



Figura 3 – Atuador e Seringa 100 ml acoplados

SENSOR DE PRESSÃO

O sensor de pressão da TruStability de 1.6BA máximo (cerca de 16m) é um sensor absoluto, significando que o output é proporcional à diferença da pressão aplicada no orifício com o vácuo interno de referência.

Characteristic	Min.	Max.	Unit
Supply voltage (V_{supply})	-0.3	6.0	Vdc
Voltage on any pin	-0.3	$V_{supply} + 0.3$	V
Storage temperature	-40 [-40]	85 [185]	°C [°F]
Soldering time and temperature: lead solder temperature (SIP, DIP) peak reflow temperature (SMT)		4 s max. at 250 °C [482 °F] 15 s max. at 250 °C [482 °F]	

Tabela 2 - Valores máximos

Characteristic	Parameter
Humidity: gases only (See "Options N and D" in Figure 4.) liquid media (See "Options T and V" in Figure 4.)	0% to 95% RH, non-condensing 100% condensing or direct liquid media on Port 1
Vibration	MIL-STD-202G, Method 204D, Condition B (15 g, 10 Hz to 2 Hz)
Shock	MIL-STD-202G, Method 213B, Condition C (100 g, 6 ms duration)
Life ¹	1 million pressure cycles minimum
Solder reflow	J-STD-020-D.1 Moisture Sensitivity Level 1 (unlimited shelf life when stored at ≤30 °C/85 % RH)

Tabela 3 -Especificações de ambiente

Component	Port 1 (Pressure Port)	Port 2 (Reference Port)
Ports and covers	high temperature polyamide	high temperature polyamide
Substrate	alumina ceramic	alumina ceramic
Adhesives	epoxy, silicone	epoxy, silicone
Electronic components	ceramic, silicon, glass, solder	silicon, glass, gold

Tabela 4 -Materiais

Pressure Range (see Figure 4)	Pressure Range		Unit	Working Pressure ¹	Over Pressure ²	Burst Pressure ³	Common Mode Pressure ⁴	Total Error Band ⁵ (%FSS)	Total Error Band after Auto-Zero ⁶ (%FSS)	Long-term Stability 1000 hr, 25 °C (%FSS)
	Pmin.	Pmax.								
1.6BA	0	1.6	bar	-	4	8	-	±1%	-	±0.25%

Tabela 5 -Especificações de Alcance

Output Type	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5	Pin 6	Pin 7	Pin 8
Analog	NC	V_{supply}	V_{out}	GND	NC	NC	NC	NC

Tabela 6 -Pinos



Figura 4 e 5 – Sensor Pressão Absoluto 1.6BA

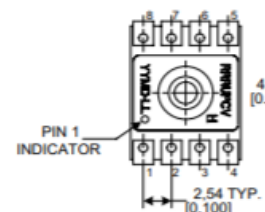


Figura 5

Este sensor apenas é aplicável ao ar, uma vez que, maior parte dos sensores para água são para profundidades muito maiores e com baixa precisão (á volta dos 100m e precisões de +/-1m).

Assim, para ser aplicável debaixo de água, selámos através o sensor a um balão, servindo como bolsa de ar. O balão fica de fora, exposto á pressão da água, que com a profundidade, aumenta a força que empurra o ar para cima, aumentando a pressão exercida no sensor.

Por uma questão de precisão e de facilidade em testar o protótipo não utilizamos toda a potencialidade do sensor, optando por restringir a profundidade máxima a 50cm.

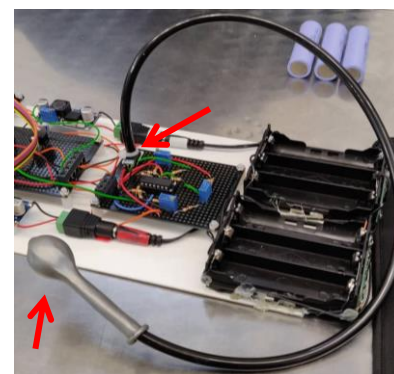


Figura 6 – Balão e sensor selados

Como podemos observar na figura seguinte, o sensor apresenta uma tensão de output que varia linearmente com a variação da profundidade.

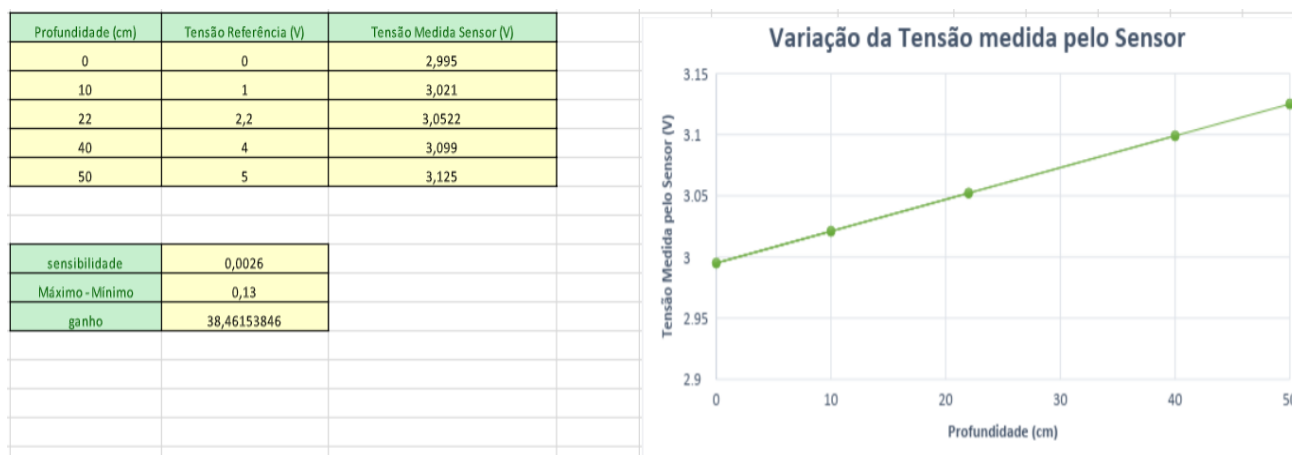


Figura 7 - Resultados dos testes realizados no sensor

Tensão Medida Sensor - Tensão medida experimentalmente pelo sensor a uma dada profundidade, algumas são obtidas por esta fórmula: $\text{sensibilidade} * \frac{\text{Profundidade}_2 - \text{Profundidade}_1}{\text{Tensão Medida Sensor}_1}$, e assim obtemos a tensão à Profundidade₂.

Sensibilidade- Sensibilidade do sensor, obtida experimentalmente $\frac{\Delta \text{Tensão Medida Sensor}}{\Delta \text{Profundidade}}$.

Ganho de 38,46 é um valor importante usado como ganho dos amplificadores no controlo 1.

CÁPSULA DO SUBMERGÍVEL

A cápsula final projetada para o submergível foi desenhada com um tubo de acrílico transparente com 59 cm de raio e 15 cm de comprimento (ele foi oferecido, logo não tínhamos muita margem para jogar com as medidas).

Como tampas do Submergível, foi ponderado usar umas roscas impermeáveis, contudo devido a complicações de encaixe, usamos umas tampas ovais, de 10 dm de altura. Depois de encaixadas e revestidas por fita isolante, temos a nossa cápsula impermeável.

No conjunto, o volume total da cápsula é cerca de 12.4 dm³, que equivale a uma força necessária de 124 N (12.4 kg) para afundar, sendo compensado essa falta de peso com 4 pesos de 2.5 kg. Tem dois furos laterais, respetivamente, um para o tubo da seringa para a entrada ou saída de água e o outro para ligação do balão ao sensor.



Figura 8- 3 Pesos (2.5kg cada)

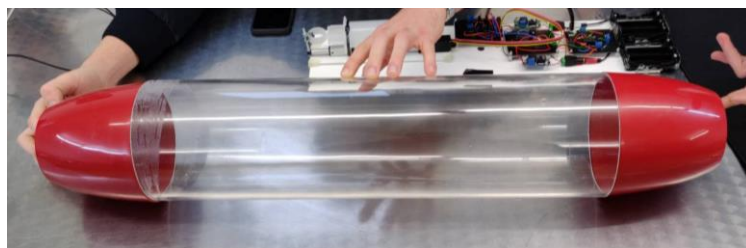


Figura 9- Cápsula e tampas

CIRCUITOS E SUBSISTEMAS: ALIMENTAÇÃO

Nos circuitos, são necessárias alimentações de:

- +9/-9 V, (pois como é necessário 6-12V para alimentar o motor) usado na alimentação dos Ampops;
- +5/-5 V, para controlo nas varáveis de referência e dos potenciômetros de posição.

Visto que todos os componentes têm de estar dentro do protótipo, ou seja, impossível alimentar o protótipo através de fontes externas, utiliza-se:

- 6 Pilas de Lítio Recarregáveis de 3.6V e 2.6 Ah, 3 pilhas para a 9V positivos e outras 3 para 9V negativos, com corrente suficiente para o motor.



Figura 10- Pilhas 3.6V 2.5Ah

- 2 BMS (Battery management system), um para cada conjunto de 3 pilhas de lítio, com a função proteger as pilhas de lítio mantendo-as dentro da sua área de operação segura (condições de tensão e corrente nas quais o dispositivo pode operar sem quaisquer danos).

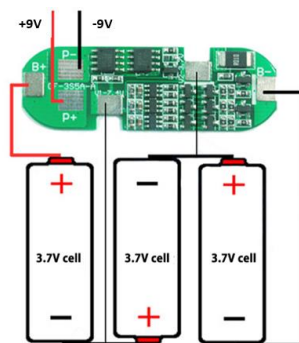


Figura 11 -Ligação dos BMS ao conjunto de pilhas

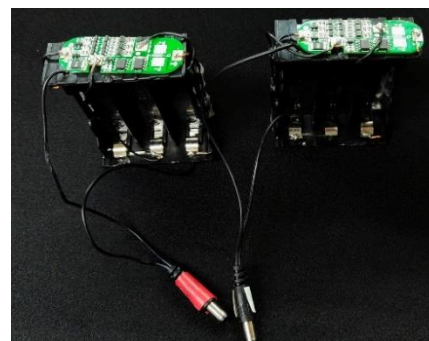


Figura 12 -Montagem do suporte de pilhas e BMS

- 2 Step Downs Reguláveis, com potenciômetro multivoltas de precisão, para obtermos uma tensão estável de +9/-9V. O módulo pode reduzir uma carga de até 3A para uma tensão de saída entre 1,5 a 35V, tendo como entrada 3,2 a 40V.

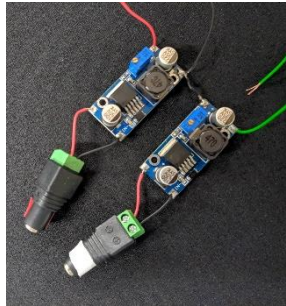


Figura 13 e 14 -Step-Down e Montagem (vermelho +9; branco -9V; preto – massa)

- Regulador de tensão, para obtermos alimentações de +5/-5V decidimos usar um regulador de tensão (representado na figura abaixo). Funcionamento: ao aplicarmos nas entradas do LM7905CT e LM7805CT +9V e -9V, respectivamente, obtemos nos pinos de saída VREG as tensões de +5V e -5V. Os condensadores, quer nas entradas quer nas saídas dos reguladores servem apenas para manter as tensões constantes.

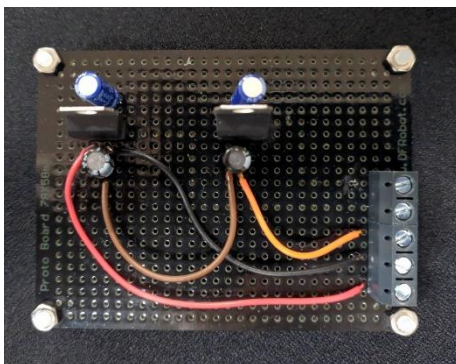


Figura 15 – Montagem dos Reguladores

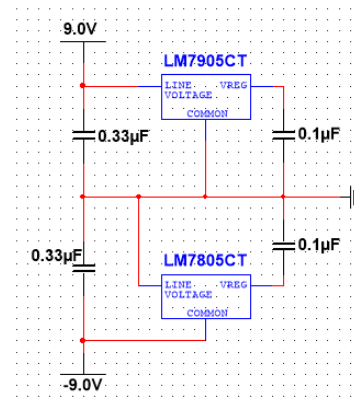


Figura 16- Circuito dos reguladores

CIRCUITOS E SUBSISTEMAS: CONTROLOS

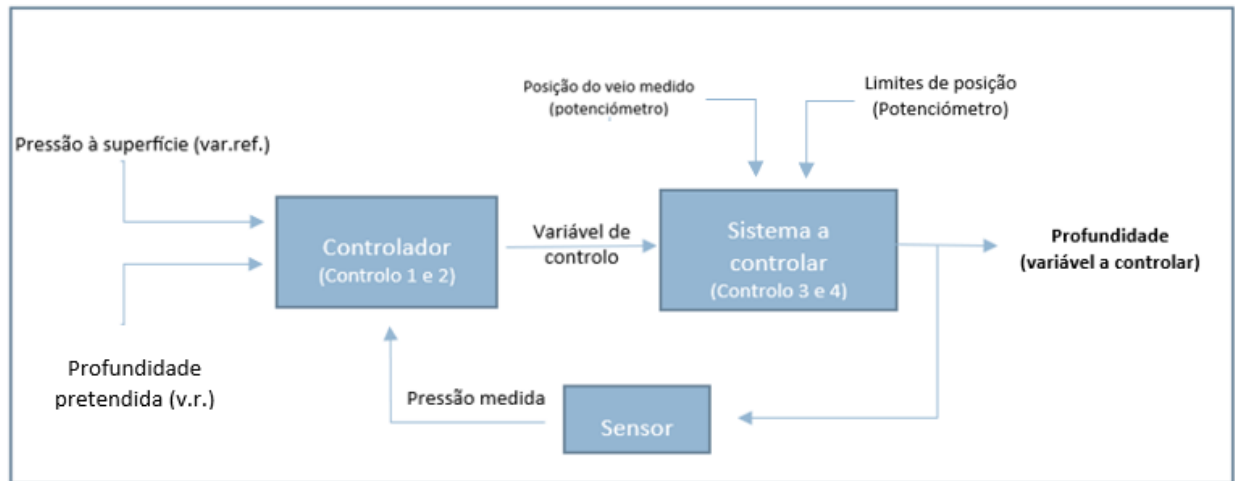


Diagrama 1 – Diagrama de Controlo

O controlo do submersível está dividido em 2 partes:

- Controlo 1 e 2: referente ao calculo das pressões e da diferenciação de profundidades/pressões;
- Controlo 3 e 4: Proteção, comparação e atuação;

No Controlador são introduzidas 2 variáveis de referência, a Pressão á superfície e a Pressão da profundidade pretendida, e a pressão medida pelo sensor á profundidade que o submersível se encontre.

Com a pressão medida e a pressão á superfície, é calculado a profundidade a que o submersível se encontra. Sabendo a profundidade do submersível, é calculada a variável de controlo que corresponde á diferença de comprimento entre a profundidade pretendida e a profundidade atual.

No sistema a controlar, através dos Limites de posição e da Posição medida são estabelecidas limitações da posição em que a variável de controlo pode atuar (por outras palavras, limita o range das posições que o veio do atuador linear pode atingir).

A variável de controlo, é convertida para a variável de atuação, mais concretamente, a alimentação do motor. Ativando o motor, varia-se o peso, consequentemente, varia-se a profundidade.

CIRCUITOS E SUBSISTEMAS: CIRCUITO CONTROLO 1

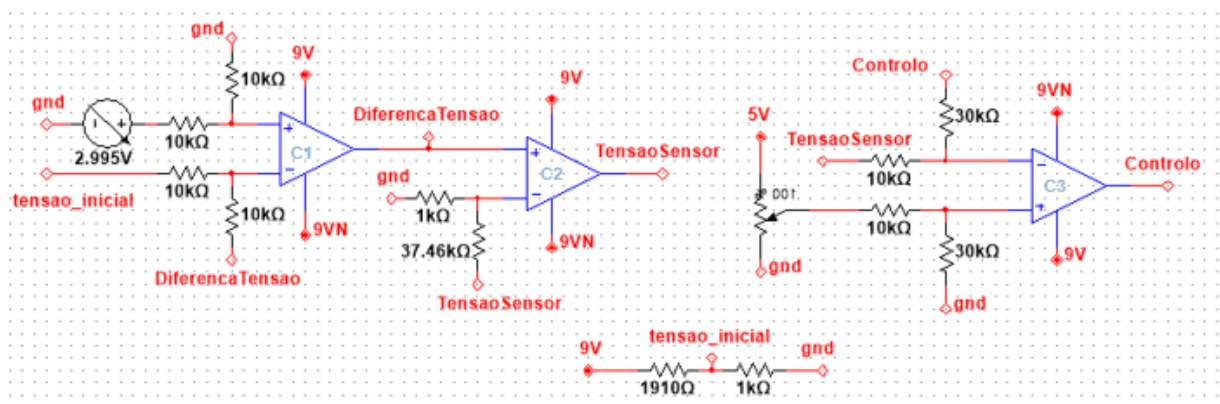


Figura 17- Montagem de controlo conforme o valor de tensão no sensor de pressão.

A “Tensao_Inicial” é um valor de tensão que equivale á tensão do sensor de pressão à superfície. Quando a pressão no sensor se altera (sensor é representado pela fonte de tensão regulável com 2.995V), a tensão “DiferencaTensao” varia pela diferença entre a tensão do sensor a essa pressão e a tensão inicial.

O amplificador não-inversor que origina a “TensaoSensor” tem um ganho nominal de 38.46 (determinação demonstrada na Figura 7), que converte o valor de “TensaoSensor” para uma escala de 0V a 5V.

A implementação do controlador é feita pela montagem na Figura 1, que permite gerar a tensão Controlo pretendida pelo atuador linear. Para se atingir o valor de tensão pretendida é necessário igualar a tensão do sensor de pressão e a tensão de referência (representada pelo divisor de tensão que se encontra na entrada positiva de C3).

Dependendo do valor desejado de profundidade, é escolhido um valor de referência utilizando um potenciómetro (ligado a entrada positiva de C3). É usado C3 para converter em valores compreendidos entre -9V e 9V, tensão esta aplicada posteriormente ao Atuador linear. Ganho de C3 igual a 4, ganho escolhido pelo grupo de forma a obter a melhor resposta possível por parte do atuador linear dependendo da situação.

$$\text{Ganho C3} = \frac{5}{\text{Maximo-Minimo}} ;$$

Ganho necessário para converter a variação da tensão lida pelo sensor numa escala de 0V a 5V onde o valor máximo é o valor lido pelo sensor á profundidade de 50cm (profundidade pré-estabelecida pelo grupo).

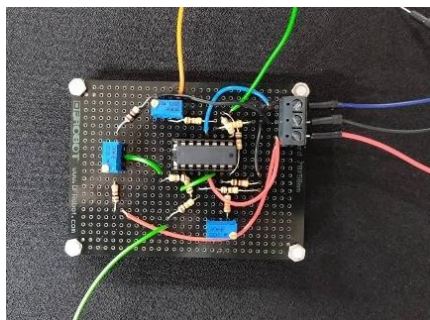


Figura 18- Montagem de controlo 1

Circuito de Protecção

2 Motivos:

- Devido ao comprimento da extensão do atuador linear de 15cm, e a extensão da seringa de 11.5cm, há a necessidade de limitar o comprimento máximo que o braço do atuador pode atingir de modo a evitar o desacoplamento das 2 partes da seringa, ao qual causaria água a entrar para os circuitos.

-Sendo o motor sem protecção interna relativamente ao fecho continuado, é necessário que quando o motor estiver a recolher o seu braço (expelindo água do interior do submergível) se limite o comprimento mínimo do braço, para evitar a corrente exceder as condições nominais.

Pelos potenciómetros “Pmax” e “Pmin”, consegue-se estabelecer os limites de abertura ou fecho do braço do atuador linear.

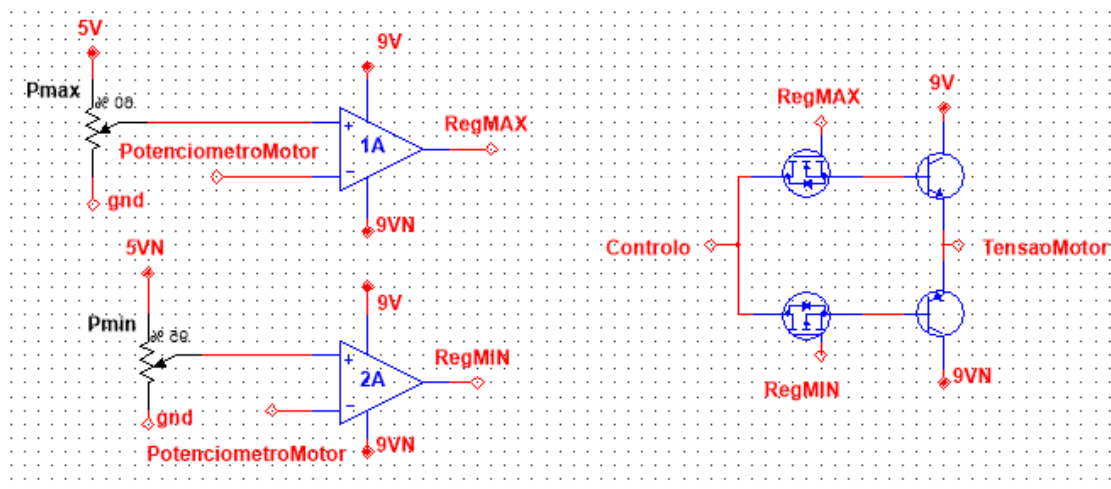


Figura 19- Circuito de protecção e Comparador/Atuador

Sendo os amplificadores A1 e A2, comparadores inversores sem histerese obtemos na saída de cada um os valores 9V ou -9V consoante a posição do braço do atuador linear (“PontenciometroMotor”) e as posições limite definidas posteriormente pelos “Pmax”(Posição máxima) e “Pmin”(Posição Mínima).

Após alguns testes as tensões limites do “Pmin” e do “Pmax” retiradas foram respetivamente: tensão máxima= 2.7V; tensão mínima= -4.5V.

De forma a que o motor deixe de funcionar foram introduzidos 2 mosfets funcionando como interruptores.

Um deles é controlado com o “RegMAX”, estando conectado á gate do mosfet tipo n, conduzindo para tensões positivas de “Controlo”. O outro é controlado com o “RegMIN”, estando conectado á gate do Mosfet tipo p.

CIRCUITOS E SUBSISTEMAS: COMPARADOR E ATUADOR

De forma a melhorar a corrente de alimentação do atuador linear e definir o sentido de movimento do braço, foi usada a montagem na figura x.

O circuito que aplica esse tipo solução é o push&pull.

Constituído por dois transístores, um NPN e outro PNP, garante uma saída (TensãoMotor) igual à entrada.

A tensão de entrada Controlo é passada para a base dos transístores. Essa tensão irá polarizar o transístor de acordo a polaridade correta, isto é, por exemplo, Controlo = + 9 → Tnpn ativa → Tensao Motor = +9; e vice-versa.

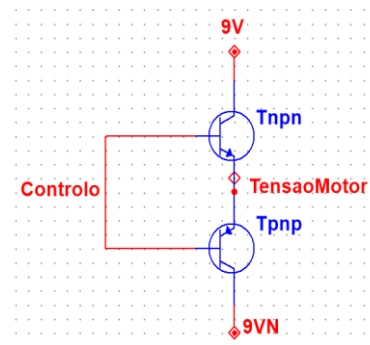


Figura 20- Circuito Atuador

A partir da nossa variável Controlo, o sistema a controlar é gerido da seguinte forma:

- sendo a variável Controlo +9V, o braço do atuador e a seringa se expandem. Desta forma, ocorre a entrada de água para o interior da seringa, que consequentemente aumentará a densidade ($\frac{\text{Peso}}{\text{Volume}} = \rho$) do submergível fazendo-o descer.

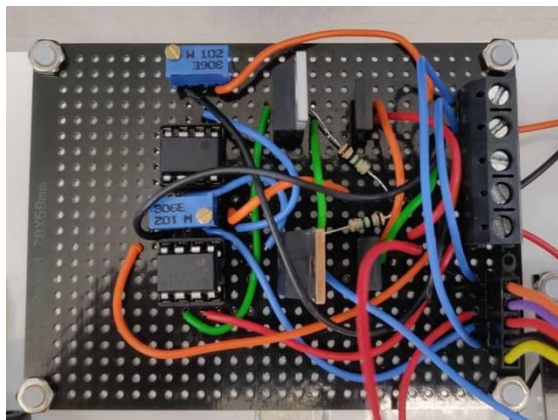


Figura 20- Montagem Circuito de Proteção e Comparador/Atuador

LISTAGEM DE COMPONENTES E PREÇOS

Componentes	Quantidade	Preço
Sensor de pressão	1	26 €
Pilha de lítio	6	23,90€
BMS	2	7,64€
Carregador de pilhas de lítio	1	9,11€
Seringa	1	2€
Condensadores	4	0,66€
*Resistências (tolerância 5%)	30	0.5€
TL084	4	2,25€
LM393AP (comparador diferencial)	2	0,49€
Reguladores	2	0,66€
Potenciômetros multi-voltas	5	2,68€
Atuador linear	1	88 €
Conectores de parafuso	5	1€
Transistor NPN	2	0.30€
Conector de alimentação DC	2	0,63€
Step Down regulavel (LM2596)	2	6,34€
Protoboard	3	3€
Tubo acrilico	1	60€
Suporte baterias	2	4.80€
Conector de alimentação	2	1,60
Transistores	3	1.10€
Mosfets	2	1.90€
Fio	-----	1,40€
TOTAL	-----	262.50€

ESTUDO DE SEGURANÇA

- Que pode acontecer errado?

Reservatório da seringa abrir demasiado, resultando na inundação dos circuitos;
Verter água para dentro do submergível;
Sobreaquecimento de algum componente;

- Quais são as causas básicas dos eventos não desejados?

Falha de algum componente;
Desgaste do material que seja com o tempo, quer por mau uso ou pelo ambiente (ex. águas muito calcárias ou salinas);
Dimensionamento incorreto;
Fecho e isolamento mal efetuado;

- Quais são as consequências?

Todos componentes estragarem-se;
Possível choque de pequena carga;
Explosão derivada da danificação das pilhas;

- Qual é a frequência dos acidentes?

Fecho e/ou isolamento incorreto – acontecimento com grande probabilidade;
Desgaste de material – acontecimento pouco provável;
Falha de tempo de vida de componente – acontecimento muito pouco provável;

- Os riscos são toleráveis?

O único risco é provocado pelas baterias, que sendo pilhas de 3.6V e 2.6Ah, que mesmo sendo bastante improváveis de acontecer, seriam riscos de possíveis lesões mínimas ou ligeiras.

ESTUDO DE FIABILIDADE

Componentes	Tempo de vida
Sensor de pressão	1 milhão de ciclos (min)
Pilha de lítio	250 ciclos
Condensadores	15 anos
Potenciômetros multi-voltas	2 milhões de ciclos
Atuador linear	Proporcional (1000-10k h)

Com a influência exterior mínima, a sua probabilidade de falha equivale à probabilidade de falha dos componentes. Desta forma, é proporcional a relação de tempo com a probabilidade se estragar.

ESTUDO DE CERTIFICAÇÃO

Para a colocação do produto no mercado, é necessário satisfazer os requisitos essenciais dispostos nas Diretivas que lhes são aplicáveis, que tenham sido objeto de procedimento de avaliação de conformidade e estejam devidamente marcados nos termos constantes da respetiva Diretiva.

Recorrente ver em dispositivos eletrónicos, é a marcação CE. A marcação CE indica a conformidade do produto com as normas nacionais que transpõem as normas definidas pela União Europeia, com uma aprovação técnica europeia ou com as especificações técnicas nacionais.

O nosso projeto, embora não tendo sido posto em prova de certificação, foi construído com material que respeita o regulamento e as normas necessárias impostas.

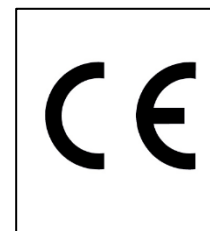


Figura 21 – Símbolo de Certificação Europeia

CONCLUSÃO

Neste projeto integrador confrontamo-nos com diversas dificuldades, vivendo por momentos a vida que um engenheiro enfrenta no seu dia a dia.

Relativamente ao projeto em si, existem inúmeros aspetos aos quais gostaríamos de melhorar e torná-lo num digno projeto de fim de semestre.

Primeiramente, no nosso desenho ideal do projeto, sonhámos em implementar a locomoção do submarino.

No entanto, não foi possível, não só devido ao aquário que nos foi fornecido para testes ter apenas um metro de comprimento, e, desta forma, sem espaço suficiente para pudermos realizar os testes necessários.

Pretendíamos também introduzir telecomando no submarino, contudo tivemos bastantes dificuldades em arranjar circuitos analógicos que satisfizessem os nossos objetivos.

AGRADECIMENTOS:

Um agradecimento especial ao professor Luís Gonçalves por toda a ajuda e atenção prestada.

Ao Senhor Alberto por ter fornecido o tubo de acrílico!

Ao professor Paulo Garrido por nos disponibilizar esta oportunidade!

BIBLIOGRAFIA

- <https://pt.mouser.com/datasheet/2/187/honeywell-sensing-trustability-hsc-series-high-acc-708740.pdf>
- <https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/14ad/0900766b814ad9e2.pdf>