



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

SOLAR TRACKER SYSTEM

Diego Soares Brandão	97769
Francisco Faria Costa	96443
Henrique Nogueira Magalhães	94939
João Pedro Machado da Silva	95610
Rui Pedro Fernandes Pedroso	96868
Tiago Leal Pereira	96008

Projeto Integrador em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores 1

Projeto orientado pelo professor

Vítor Duarte Fernandes Monteiro

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	3
LISTA DE TABELAS	5
Capítulo 1 INTRODUÇÃO.....	6
1.1- Introdução	6
1.2- Propósito do projeto.....	6
1.3- Funcionalidades.....	6
Capítulo 2 APRESENTAÇÃO DOS MÓDULOS.....	7
2.1- Divisão de circuitos	7
2.2- Definição de módulos	7
Capítulo 3 ELABORAÇÃO DOS CIRCUITOS	9
3.1- Introdução	9
3.2- amplificador de instrumentação.....	10
3.3- controlo on-off para o motor	13
3.4- driver do motor.....	18
3.5- conversor CC-CC boost (conversor elevador)	24
Capítulo 4 SIMULAÇÕES E TESTES.....	27
4.1- introdução	27
4.2- amplificador de instrumentação.....	27
4.3- controlo on-off para o motor	28
4.4- driver do motor.....	31
4.5- conversor CC-CC boost.....	33
Capítulo 5 CIRCUITO MECÂNICO	36
Capítulo 6 LISTA DE COMPONENTES	38
Capítulo 7 DESENHO DA PCB.....	39
Capítulo 8 OBSERVAÇÕES TÉCNICAS DO PRODUTO	43
8.1- segurança	43
8.2- fiabilidade	44
8.3- certificação	45
Capítulo 9 CONCLUSÕES.....	47
9.1 – atividade como grupo.....	47
9.2 – sugestões para o trabalho futuro	47
9.3 – conclusão do projeto.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - esquema divisão de circuitos	7
Figura 2.2 - módulo controlo do motor	7
Figura 3.1 – LDR Figura 3.2 - divisoria LDR	9
Figura 3.3 – divisor de tensão	10
Figura 3.4 - atuador contínuo	11
Figura 3.5 - amplificador de instrumentação	12
Figura 3.6 - circuito AI completo	13
Figura 3.7 - saída planeada com erro	14
Figura 3.8 - saída com erro e histerese	15
Figura 3.9 - comparador inversor com histerese	15
Figura 3.10 - comparador não inversor com histerese	15
Figura 3.11 - divisor de tensão com AmpOp inversor	16
Figura 3.12 - amplificador comparador não inversor	17
Figura 3.13 transístor para saída lógica	17
Figura 3.14 - circuito de controlo motores	18
Figura 3.15 – diagrama de enrolamentos do motor de passo.....	19
Figura 3.16 – circuito clock NE555	19
Figura 3.17 - circuito lógico enable	21
Figura 3.18 - circuito controlador das bobinas do motor	22
Figura 3.19 - circuito limitador de corrente do motor	23
Figura 3.20 - circuito atuador das bobinas do motor	24
Figura 3.21 - conversor CC-CC Boost	25
Figura 3.22 - circuito gerador de PWM	26
Figura 4.1 - ilustração processo de desenvolvimento	27
Figura 4.2 - fonte de corrente.....	28
Figura 4.3 - simulação circuito de controlo	29
Figura 4.4 - sinal de saída do comparador inversor	30
Figura 4.5 - sinal de saída do comparador não inversor	30
Figura 4.6 - saída de enable para o motor.....	31
Figura 4.7 - saída direction para o motor.....	31
Figura 4.8 - circuito limitador de corrente	32
Figura 4.9 - circuito de clock	32
Figura 4.10 - sinal de clock osciloscópio digital.....	33
Figura 4.11 - sinal de clock osciloscópio real	33
Figura 4.12 - saída para maior potência	34
Figura 4.13 - conversor boost para o ponto de maior potência.....	34
Figura 4.14 - saída para uma entrada inferior	35
Figura 4.15 - circuito para uma tensão qualquer de entrada	35
Figura 5.1 - diagrama mecânico no software	36
Figura 5.2 - sistema mecânico de rotação dos eixos	36
Figura 5.3 - montagem mecânica completa real	37
Figura 7.1 - esquemático circuito AI.....	39
Figura 7.2 - esquemático circuito controlo	39
Figura 7.3 - esquemático circuito driver motor 1	40
Figura 7.4 - esquemático circuito driver motor 2	40
Figura 7.5 - bottom layer PCB.....	40
Figura 7.6 - top layer PCB.....	41
Figura 7.7 - divisão de circuitos na PCB.....	41

Figura 7.8 - PCB impressa	41
Figura 7.9 - PCB completa com componentes	42
Figura 8.1 - sinais de segurança.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Estado dos motores	9
Tabela 3.2 – tabela de verdade do sinal enable	21
Tabela 3.3 - diagrama de sequencia das bobinas do motor	22
Tabela 3.4 - tabela de verdade do circuito lógico das bobinas do motor.....	22
Tabela 6.1 - componentes utilizados no produto.....	38
Tabela 8.1 - MTBF dos componentes.....	45
Tabela 8.2 - símbolo de certificação europeia	46

Capítulo 1 INTRODUÇÃO

1.1- Introdução

Dado o panorama global que nos encontramos, com crises climáticas cada vez mais evidentes, a procura por alternativas mais sustentáveis nos meios de produção e no cotidiano é cada vez mais elevada. Nesse quesito, um dos caminhos mais comuns é recorrer a utilização de fontes de energia renováveis, tais como eólicas, hídricas, e a mais comum hoje em dia, a energia solar.

Tendo isso em vista, é muito comum hoje em dia observar pessoas a aplicar painéis solares em suas casas de forma a complementar o fornecimento energético em sua residência. Da mesma forma, muitas empresas apresentam investimentos milionários para transitar completamente o fornecimento de energia à suas instalações. Para isso painéis solares são aplicados em grandes áreas, e dado o grande investimento, é necessário que essas instalações consigam extrair o maior rendimento possível.

Com esse objetivo em vista, decidiu-se criar um *Solar Tracker System* (STS) no âmbito da unidade curricular de Projeto Integrador em Engenharia Eletrônica Industrial e Computadores 1.

1.2- Propósito do projeto

O *Solar Tracker System* (STS) consiste num sistema capaz de orientar os painéis perpendicularmente ao sol, com o objetivo de maximizar a produção de energia elétrica. O produto servirá como uma ferramenta de estudo de terreno, por exemplo, para uma empresa que queira fazer uma grande instalação de painéis solares. Com a devida aplicação do STS, podemos ter em conta a melhor disposição dos painéis a serem aplicados, quantidade, e distribuição. Com isso a empresa conseguira reduzir custos, utilizando uma quantidade de painéis devida de acordo com a demanda energética, e com o maior rendimento de cada um.

1.3- Funcionalidades

O STS consiste em 4 painéis solares pequenos conectados entre si e ligados a um veio, onde estão estrategicamente posicionados 2 motores de passo para que se possa movimentar os painéis solares 360°. Dessa forma, os painéis podem estar sempre virados perpendicularmente ao sol, desde que situado em uma superfície plana. Os painéis são também ligados à um conversor que permita sempre extrair a maior potência possível.

Capítulo 2 APRESENTAÇÃO DOS MÓDULOS

2.1- Divisão de circuitos

O STS foi projetado com 2 circuitos distintos que realizam funções diferentes, relacionados ao controlo dos motores e à conversão de energia dos painéis. Pode-se observar no esquema a seguir o conceito desta divisão.



Figura 2.1 - esquema divisão de circuitos

Os inputs apontados no sistema são denominadamente a luminosidade, captada pelos sensores e as alimentações do circuito. Já os outputs são necessariamente a potência fornecida pelo painel já adequada para uma carga.

2.2- Definição de módulos

Cada módulo do STS é também dividido por alguns circuitos mais simples que permitem a execução de uma tarefa mais complexa.

O do módulo de controlo tem como função ativar e comandar os motores para que a posição dos painéis relativamente a fonte luminosa esteja correta a partir da leitura dos sensores.

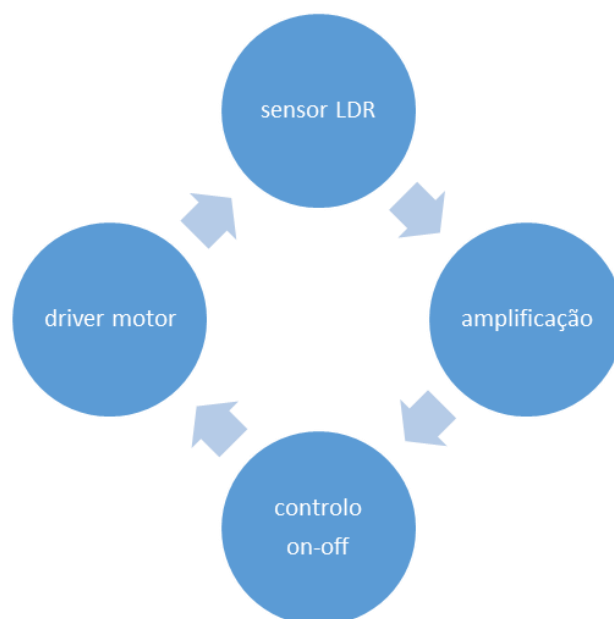


Figura 2.2 - módulo controlo do motor

Dentro deste módulo temos:

- **Circuito de Amplificação**, o qual utiliza um amplificador de instrumentação para amplificar e medir a diferença resistiva entre 2 sensores LDR's, e especifica a sensibilidade desejada.
- **Circuito de controle on-off**, que utiliza a tensão fornecida pelo circuito anterior para indicar se o motor deve ligar ou desligar e o sentido no qual deve rodar caso ligado. As duas saídas estão a nível lógico (+5V, 0V).
- **Driver do motor**. Este traduz os sinais lógicos do circuito de controle para comandar ativamente o motor. Com recurso a portas lógicas, define o estado do motor (ON ou OFF), velocidade e sentido de rotação.

O módulo do conversor consiste em converter uma tensão variável fornecida pelos painéis para uma constante na carga com a mesma potência.

Capítulo 3 ELABORAÇÃO DOS CIRCUITOS

3.1- Introdução

A primeira situação a se atentar para a elaboração do produto, era reconhecer a posição do sol para que se pudesse pôr os painéis voltados perpendicularmente ao mesmo. Para isto foi necessário usar 3 sensores LDR's, que consistem em resistências que variam de valor muito sensivelmente de acordo com a exposição à luz. Assim, dispõe-se as 3 divididas por 2 barreiras em cruz de forma que, a única maneira de ter luminosidade igual em todos os sensores é caso estejam todos perpendicularmente dispostos ao sol.

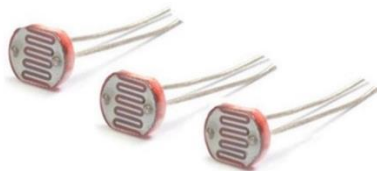


Figura 3.1 – LDR

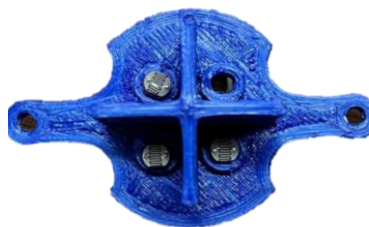


Figura 3.2 - divisoria LDR

Como a variação de resistência não é suficiente para ativar os motores, são necessários circuitos para traduzir a luminosidade medida em um sinal, para isso é utilizado um circuito amplificador que transforma a diferença de resistência entre 2 sensores em um valor de tensão, com recurso a um amplificador de instrumentação.

Esse sinal tem então que passar por um condicionamento, para que seja adequado para ligar os motores devidamente, então utiliza-se um circuito de controle para especificar o funcionamento do motor perante o sinal recebido.

Por fim, o driver do motor vai ativa-los de acordo com as entradas recebidas, para fazer o movimento devido do motor, garantindo assim que os painéis possam ter o maior aproveitamento de luz solar possível de acordo com a sua posição.

Como serão utilizados 2 motores, teremos 2 circuitos de cada, um para cada comparação de LDR's, e o comportamento deles será de acordo com as comparações expostas da tabela 3.1.

$LDR1 \leftrightarrow LDR2$	ESTADO MOTOR A	SENTIDO MOTOR A
>	ON	HORÁRIO
0	OFF	--
<	ON	ANTI-HORARIO
$LDR2 \leftrightarrow LDR3$	ESTADO MOTOR B	SENTIDO MOTOR B
>	ON	HORÁRIO
0	OFF	--
<	ON	ANTI-HORARIO

Tabela 3.1 - Estado dos motores

A tensão fornecida pelos painéis não é constante, logo não é adequado ligar uma carga diretamente aos terminais do mesmo. Para resolver isso, aplica-se um conversor CC-CC. Além do conversor é preciso também de um circuito interno para gerar um PWM controlável que condicione a saída.

3.2- amplificador de instrumentação

Este circuito deve amplificar a diferença entre as tensões obtidas aos terminais dos LDR's para, posteriormente, enviar o sinal amplificado para o circuito de controlo.

Podemos dividir este circuito em 2 partes: o circuito da fonte de corrente para os LDR's e o circuito do amplificador de instrumentação.

Porquê que se utilizou uma fonte de corrente?

Os LDR's (*Light Dependent Resistors*) são componentes eletrónicos que variam a resistência de acordo com a incidência de luz. Nos LDR's utilizados, quanto maior a incidência de luz, menor a resistência. Como a resistência muda e pretende-se comparar tensões no terminal não conectado ao GND dos LDR's, é conveniente que a corrente seja constante, logo utilizou-se um transistor PNP como fonte de corrente (mais sensibilidade e maior linearidade que a fonte de tensão) para o efeito.

Relativamente ao circuito da fonte de corrente, este é alimentado, tal como os circuitos restantes, com uma tensão de +12V e -12V (-12 para a alimentação dos IC's).

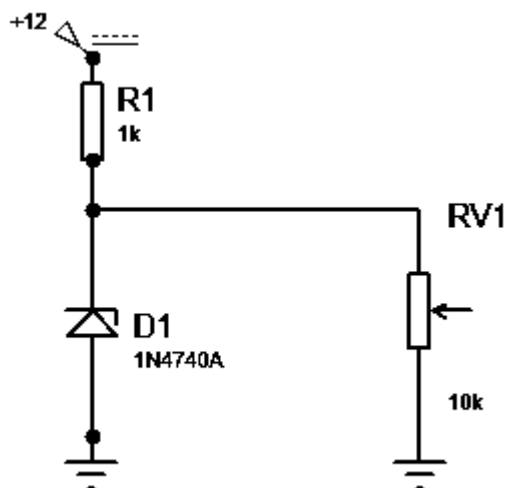


Figura 3.3 – divisor de tensão

A figura acima representa um circuito que pode ser usado para obter uma tensão de referência ajustável através do divisor de tensão, composto pela resistência R1 e o potenciômetro RV1. É usado também um diodo zener inversamente polarizado para garantir uma tensão estável aos terminais do potenciômetro de 10V. Quando o cursor do potenciômetro está na posição mais alta, a referência é de 10V; quando está na posição mais baixa, a referência é de 0V (ligado ao GND).

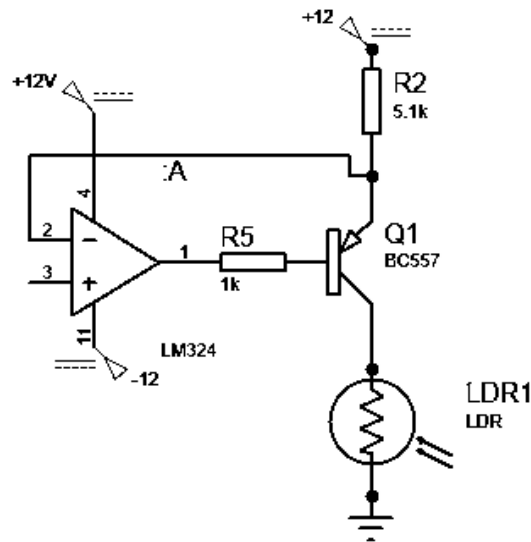


Figura 3.4 - atuador contínuo

O circuito da figura acima corresponde a um atuador contínuo de uma carga resistiva. O AmpOp com realimentação negativa força as suas entradas (inversora e não inversora) a manterem-se com o mesmo potencial, isto é, a tensão de referência vinda do potenciômetro RV1 (figura 3.4, acima desta que temos a falar) liga no pino não inversor do AmpOp e este forçará a tensão no emissor do transistor a ser igual à tensão de referência. Esta montagem é chamada de atuador contínuo, pois o transistor opera na sua zona ativa, ou seja, opera como fonte de corrente constante. Isto é especialmente útil para fazer com que a corrente do LDR seja constante. A tensão aos terminais da resistência R2 é regulada a partir do potenciômetro RV1, com o intuito de fazer passar uma corrente constante no coletor do transistor de 1mA. A resistência R5 de 1kΩ tem como objetivo limitar a corrente da base do transistor.

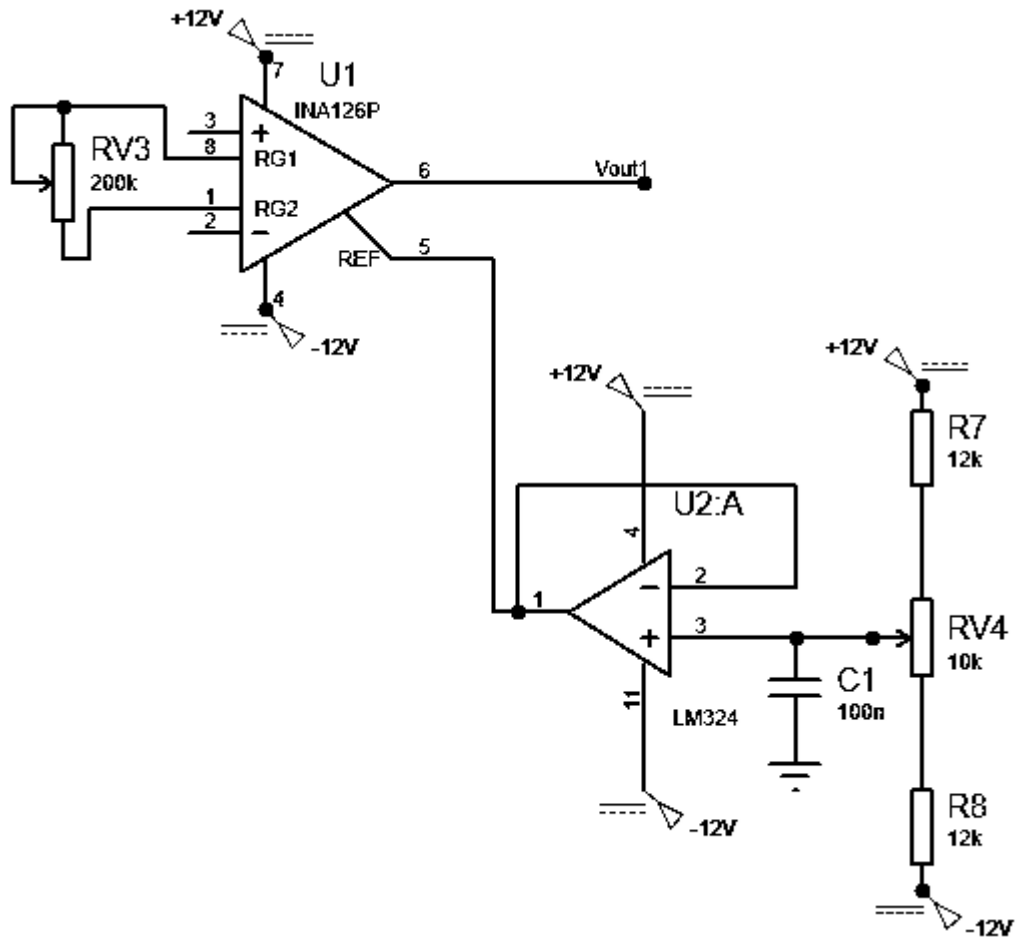


Figura 3.5 - amplificador de instrumentação

O circuito acima corresponde a um amplificador de instrumentação implementado com recurso a um circuito integrado (neste caso, o INA126P). Este recebe dois sinais provenientes de dois circuitos semelhantes ao atuador contínuo da figura 3.4, sendo conectado aos pinos 2 e 3 do INA126P o potencial do LDR não conectado ao GND de cada um dos circuitos. Nos pinos 1 e 8 do INA126P, encontra-se um potenciômetro de 200kΩ, cujo objetivo é regular o ganho à saída do integrado (pino 6). Ao pino 5 está conectado o circuito responsável pela regulação do offset, cujo dimensionamento foi feito recorrendo aos seguintes cálculos:

$$V_{os, INA} = 250\mu V$$

$$G_{máx} = 100$$

$$G_{mín} = 5 \text{ (default)}$$

$$V_{os, INA} * G_{máx} = 25mV$$

Para RV4 = 10kΩ, e definindo uma regulação de offset entre 500 mV e -500mV:

$$I = \frac{1}{1k} = 1mA$$

$$R7 = R8 = \frac{12-0.5}{1m} = 11.5k$$

O valor mais próximo para resistências de 0.25 W de 5% de tolerância é 12kΩ, pelo que os valores de R7 e R8 no circuito são de 12kΩ.

Relativamente ao potenciômetro RV3, foi escolhido um multivoltas de 200kΩ com o propósito de obter uma maior definição no ganho e, futuramente, regulação da sensibilidade do circuito final (STS). O ganho do INA126P é definido, por defeito, pela equação:

$$G = 5 + \frac{80k}{R_g},$$

onde Rg corresponde ao valor do potenciômetro RV3. Como o ganho base do INA definido pelo fabricante é de 5 (sem resistência de ganho ligada entre os pinos 1 e 8), ao colocar uma resistência, o ganho automaticamente fica maior que 5. Como se pretendia um ganho entre 5 e 100 e uma melhor sensibilidade, optou-se por escolher um potenciômetro de 200kΩ.

Uma vez que o STS utiliza 3 LDR's, sendo um deles partilhado entre dois circuitos, o circuito amplificador final corresponde ao que se encontra na seguinte figura:

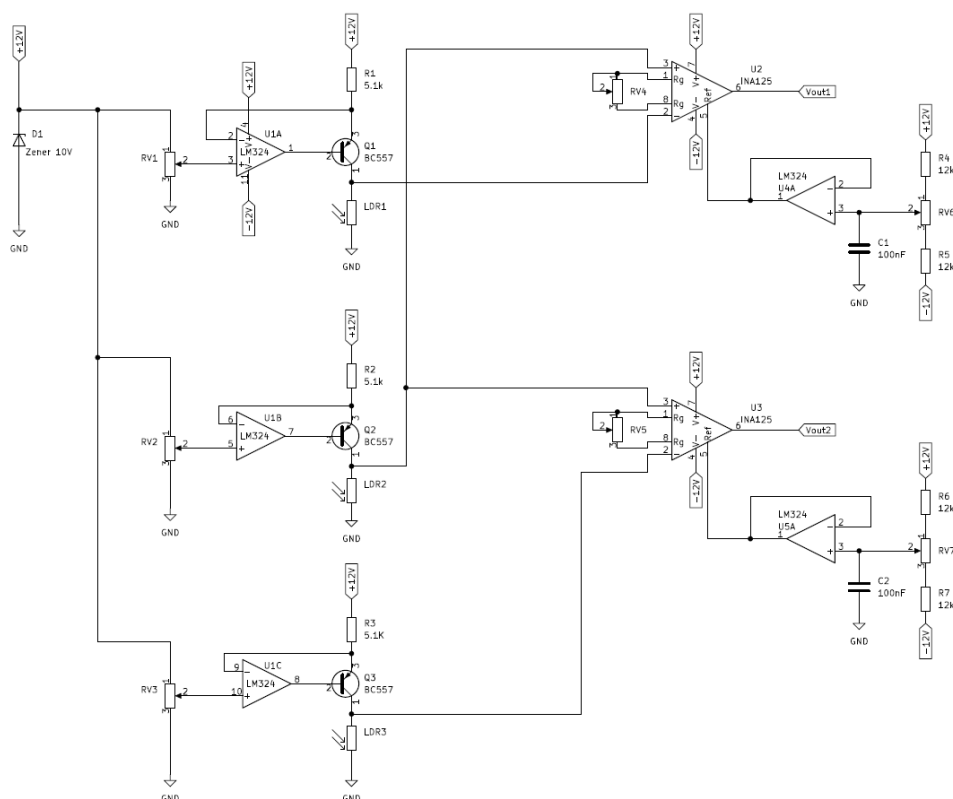


Figura 3.6 - circuito AI completo

3.3- controlo on-off para o motor

Este circuito deve traduzir o valor fornecido pelo circuito anterior para determinar, no circuito seguinte, se o motor deve estar ligado ou desligado, e em qual sentido deve

girar. Ainda, todas as saídas devem estar a nível lógico (5V ou 0V), para ser utilizado pelo driver.

A entrada deste vai receber uma tensão entre -11,5V a 11,5V. Em teoria, sempre que há uma diferença de potencial apontada pelo circuito amplificador, é porque a luz não incide da mesma maneira em ambos os sensores, logo o motor deveria ligar para ajustar a posição. No entanto, devido a sensibilidade elevada do LDR, é quase impossível que a tensão se mantenha a 0V, por isso é necessário que haja uma margem de erro (E), para que não se ligue e desligue o motor infinitamente, e assim prevenir danos. Com isso podemos chegar em um gráfico apontado abaixo.

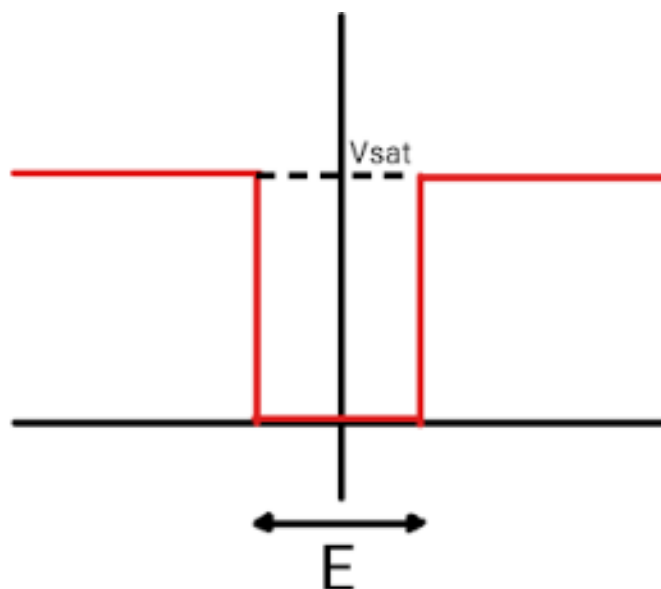


Figura 3.7 - saída planejada com erro

Quando a saída estiver em V_{SAT} , significa que o motor deve estar ligado, quando estiver em 0, deve estar desligado.

Mesmo com a margem de erro, deve-se lembrar que o sol está em constante movimento, então dada a sensibilidade do LDR, o motor ainda alternaria constantemente entre ligado e desligado. Para solucionar esse problema, é possível simplesmente aplicar uma histerese a cada nível de transição, onde a ideia seria que o motor desligasse quando a entrada indicasse 0V, e voltasse a ligar apenas quando a entrada passar da margem de erro (3V por exemplo). Isso resultaria em um funcionamento como apontado abaixo.

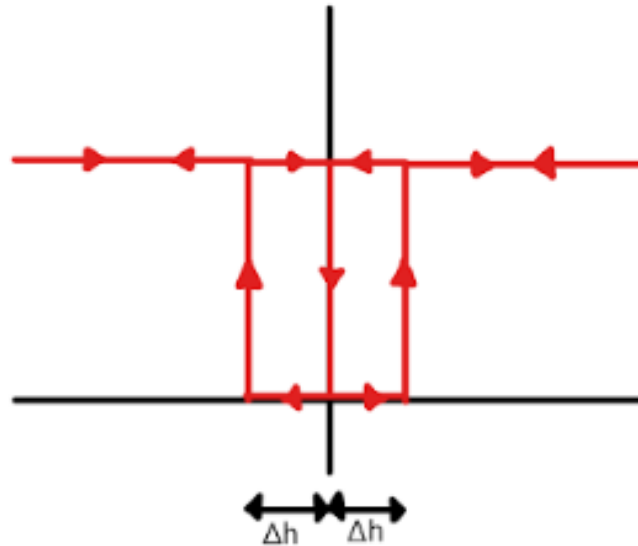


Figura 3.8 - saída com erro e histerese

Para obter este funcionamento, foi preciso utilizar 2 AmpOps como comparador de nível com histerese, com um inversor e um não inversor.

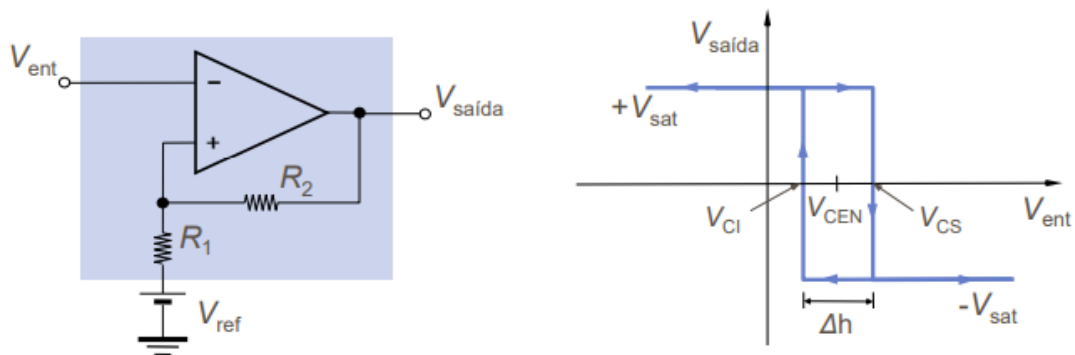


Figura 3.9 - comparador inversor com histerese

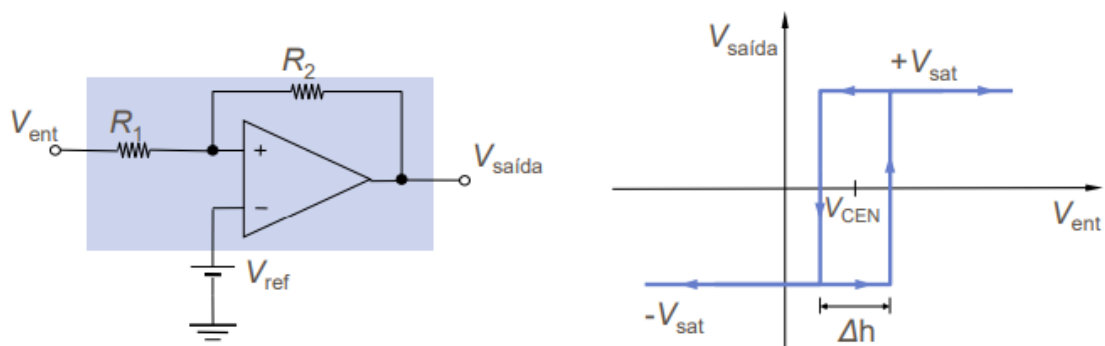


Figura 3.10 - comparador não inversor com histerese

O erro (E) não precisa ser um cálculo específico, desde que seja menor que 5V (valor encontrado por observação em testes), o funcionamento do circuito não é alterado. O importante é que a saída fosse à 0 quando a entrada fosse à 0V também.

Assim, nos dimensionamentos, não é preciso se preocupar com que os V_{CEN} sejam iguais, então, para simplificar o circuito, usamos o mesmo V_{REF} , mas com valores inversos para os AmpOps. Para isso, usamos um divisor de tensão com um amplificador inversor de ganho unitário.

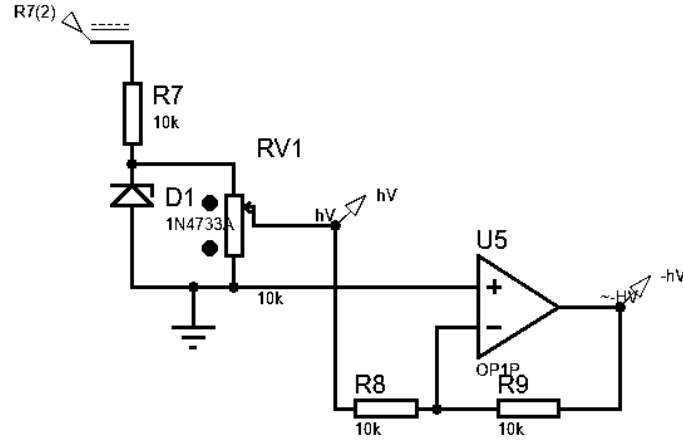


Figura 3.11 - divisor de tensão com AmpOp inversor

Ao definir V_{REF} a 1,5V podemos calcular as resistências dos amplificadores de comparação com histerese, basta usar V_{CI} a 0V (ou V_{CS} no caso do inversor) e realizar os seguintes cálculos:

$$V_{CS} = 0$$

$$0 = V_{CEN} + \frac{\Delta h}{2}$$

$$0 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{REF} \right) + \left(\frac{2 * V_{SAT}}{2} * \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right); V_{REF} = -1,5V \quad V_{SAT} = 12V$$

$$1,5R_2 = 12R_1 \quad \Leftrightarrow \quad 8R_1 = R_2$$

$$V_{CEN} = -1,333V \quad \Delta h = 2,667V$$

Se aplicarmos o mesmo ao AmpOp não inversor, obteremos:

$$V_{CI} = 0$$

$$0 = V_{CEN} - \frac{\Delta h}{2}$$

$$0 = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} * V_{REF} \right) + \left(\frac{2 * V_{SAT}}{2} * \frac{R_1}{R_2} \right); V_{REF} = 1,5V \quad V_{SAT} = 12V$$

$$7R_1 = R_2$$

$$V_{CEN} = 1,714V \quad \Delta h = 3,42V$$

Admitindo R_1 e R_2 para a montagem não inversora e R_3 e R_4 (equivalente ao R_1 e R_2 calculados respectivamente) ao inversor, podemos chegar aos valores:

$$R_1 = R_3 = 1K\Omega$$

$$R_2 = 7K\Omega$$

$$R_4 = 8K\Omega$$

Com a saída de comando do motor já dimensionada, falta apenas indicar o sentido para o qual deve girar. Este circuito é mais simples, pois se baseia apenas na polaridade do sinal que vem da entrada, pois se for negativo, quer dizer que um dos LDR's está a captar mais luminosidade e deve rotacionar em um sentido, se estiver positivo é o contrário e deve-se rotacionar no sentido contrário. Para que isso ocorra, é necessário utilizar um comparador simples com $V_{REF}=0V$.

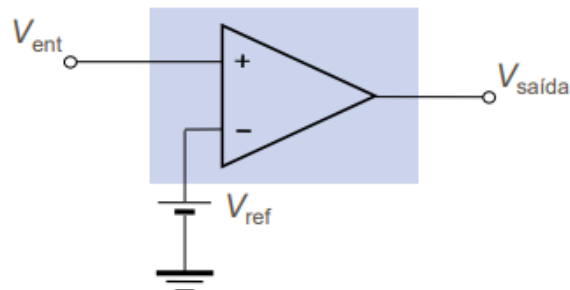


Figura 3.12 - amplificador comparador não inversor

Por fim, como o circuito do driver do motor funciona com portas lógicas, é preciso que as duas saídas estejam a nível lógico. Para isso, aplica-se um transistor NPN à saída de cada AmpOp a ser alimentado com 5V, uma carga na base para limitar a corrente e outra no coletor.

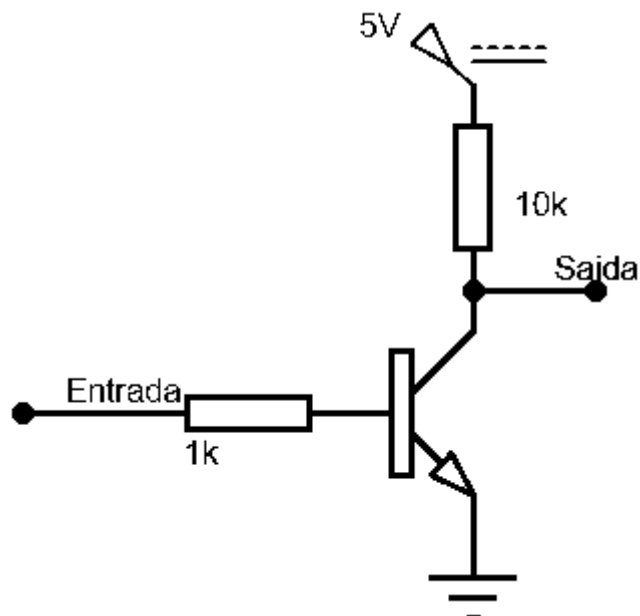


Figura 3.13 transistor para saída lógica

Dessa forma o componente funcionará como interruptor, e quando a saída no amplificador for $+V_{SAT}$, o interruptor estará fechado e a saída no coletor será de 0V. Quando a saída for $-V_{SAT}$, a chave estará aberta e a saída será de 5V. A lógica precisa ser inversa pois facilitará o circuito do driver e não haverá necessidade de mais recursos para inverter as entradas, o que reduz custos do produto.

Ao juntar todos os componentes e sub-circuitos idealizados, vamos obter o circuito completo e funcional. As saídas dos comparadores com histerese devem ser ligadas em comum, pois elas se complementam, fornecendo o resultado desejado para o comando dos motores.

A seguir podemos observar o circuito elaborado para o controle dos motores:

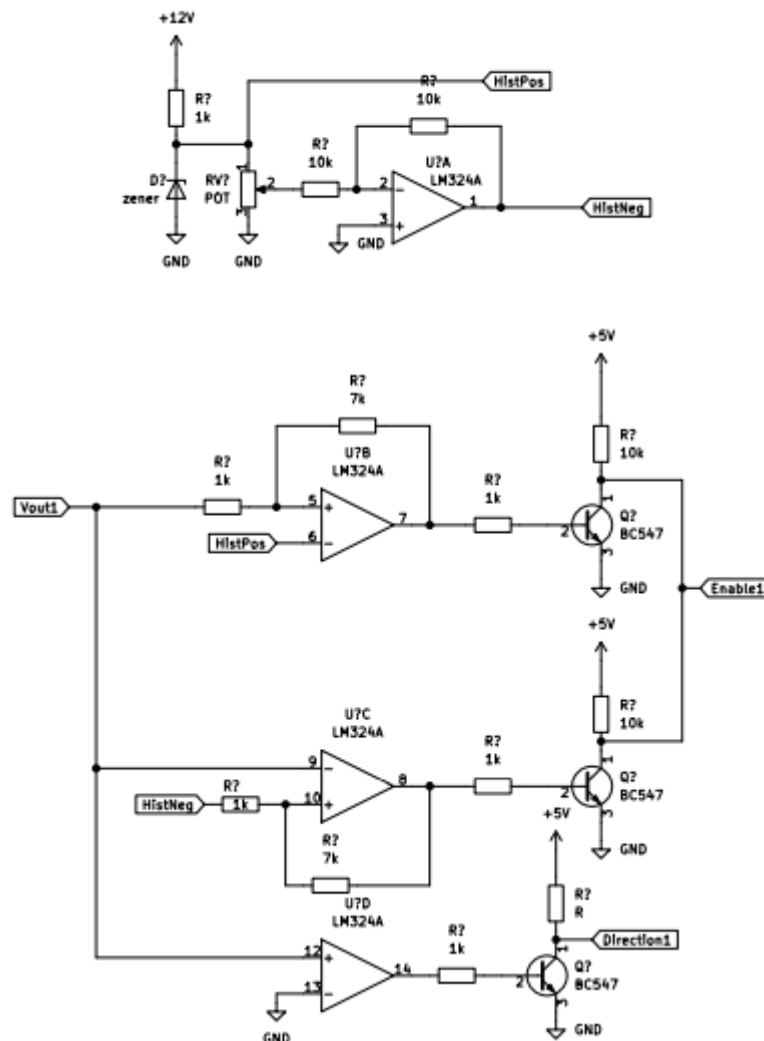


Figura 3.14 - circuito de controlo motores

3.4- driver do motor

Recorreu-se à utilização de dois motores de passo de imanes permanentes devido ao seu baixo custo, controlo preciso da velocidade e torque, os motores escolhidos possuem 2 bobinas com acesso externo ao terminal central de cada uma, como mostra a figura 3.15, diminuindo assim a quantidade de componentes necessários para o driver do motor.

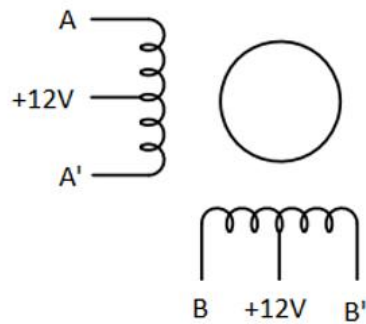


Figura 3.15 – diagrama de enrolamentos do motor de passo

Para o controlo dos motores foi desenvolvido um driver, dividido em vários estágios, um que gera o sinal de clock, um circuito lógico que faz todo o acionamento dos motores e um circuito de proteção contra sobre correntes para evitar danos nos motores.

O circuito de clock é responsável por gerar um sinal de clock para o circuito que controla as bobinas do motor, assim a frequência do sinal de clock irá determinar a velocidade do motor.

A simulação deste circuito foi feita uma vez mais no ambiente de simulação Proteus, e o circuito abaixo mostrado foi usado para gerar o clock.

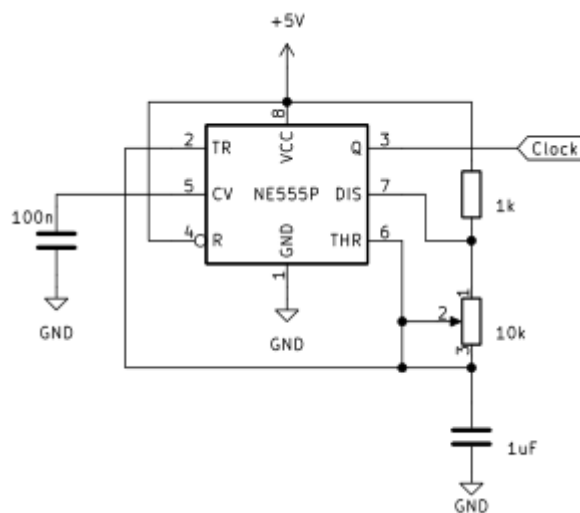


Figura 3.16 – circuito clock NE555

Como podemos observar através da imagem acima foi utilizado o temporizador IC 555 a funcionar no modo multivibrador astável que gera uma onda quadrada na sua saída (Pino 3) com base na resistência ($R=1K\Omega$ e $P=10K\Omega$) e condensador de temporização ($C=1\mu F$).

As equações matemáticas que determinam o período e a frequência da onda gerada são as seguintes,

$$Periodo (T) = Thigh + Tlow = 0.693(R + 2P)C$$

$$Frequência (f) = \frac{1.44}{(R + P)C}$$

Depois de alguns testes e de estudado o datasheet dos motores foi dimensionado o circuito para valores de frequência entre 100Hz e 1kHz, que são valores em que é possível obter uma grande variação na velocidade possibilitando assim a sua melhor calibração.

Posto isto, para um valor próximo de 1kHz tem-se:

$$1000 = \frac{1.44}{(R + 0)1\mu} \leftrightarrow R = 1440\Omega$$

Por conveniência o valor de R foi alterado para o valor comercial de 1k Ω , o que equivale a uma frequência de 1440 Hz.

Para um valor próximo de 100Hz temos:

$$100 = \frac{1.44}{(1000 + 2P)1\mu} \leftrightarrow P = 6700\Omega$$

Por conveniência o valor de P foi alterado para o valor comercial de 10k Ω , o que equivale a uma frequência de 70 Hz.

Para gerar os sinais de controlo de cada bobina foi escolhido um CI contador, no caso o 74HCT191, este CI em particular possui a funcionalidade de UP/Down Counter, que permite apenas com 1 bit, mudar o sentido de rotação do motor, esse bit é fornecido pelo circuito de controlo. Como medida de segurança foram usados dois interruptores de fim de curso, assim que um dos interruptores é ligado o motor não gira mais naquele sentido, assim o sinal de enable que chega ao contador não pode ser o sinal do circuito de controlo sendo necessário um circuito lógico que combine estas várias entradas.

Foi elaborada a tabela de verdade da tabela 3.2, que tem como entradas, o sinal de enable do circuito de controlo, os dois sinais dos interruptores de fim de curso e o sinal de direção

Enable1	Direção	Switch1	Switch2	EnableCounter
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

Tabela 3.2 – tabela de verdade do sinal enable

Entradas:

- Enable1 -> Sinal de enable proveniente do circuito de controlo;
- Switch1 -> Sinal do interruptor de fim de curso 1;
- Switch2 -> Sinal do interruptor de fim de curso 2;
- Direção -> Sinal de direção proveniente do circuito de controlo;

Saída:

- EnableCounter -> Sinal de enable do contador;

$$EnableCounter = Enable1 + Direção.Switch1 + Direção'.Switch2$$

Através da equação obtida foi feito o circuito lógico da figura 3.17.

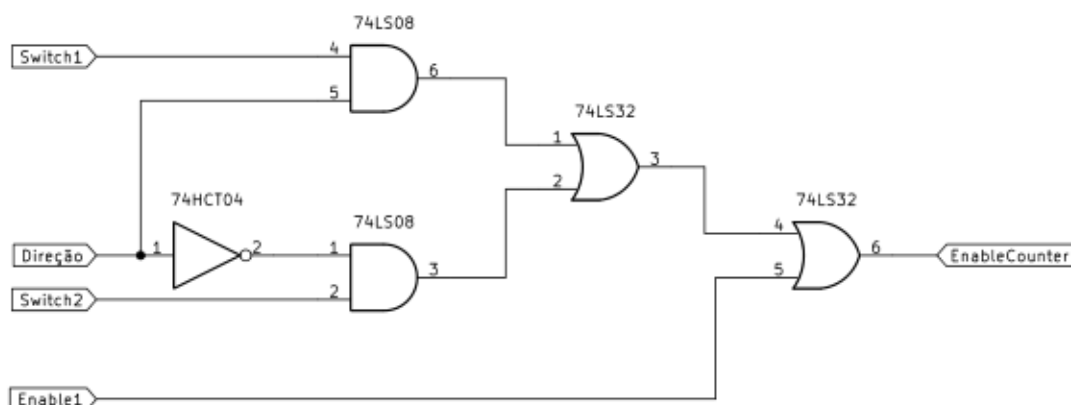


Figura 3.17 - circuito lógico enable

Tendo os circuitos necessários para os sinais de entrada do contador (sinal de Clock, sinal de direção e sinal de enable), foi feito o circuito que converte os 2 bits menos significativos da saída do contador nos 4 sinais das bobinas do motor, para isso foi elaborada a tabela de verdade tendo em conta o diagrama da tabela 3.3.


STEP	A	B	\bar{A}	\bar{B}	O (\bar{O})	CW
1	+	+			+	
2		+	+		+	
3			+	+	+	
4	+			+	+	
1	+	+			+	

Tabela 3.3 - diagrama de sequencia das bobinas do motor

QB	QA	A	A'	B	B'
0	0	1	0	1	0
0	1	0	1	1	0
1	0	0	1	0	1
1	1	1	0	0	1

Tabela 3.4 - tabela de verdade do circuito lógico das bobinas do motor

$$A = (QB \oplus QA)'$$

$$A' = QB \oplus QA$$

$$B = QB'$$

$$B' = QB$$

Com as equações lógicas obtidas foi elaborado o circuito da figura 3.18.

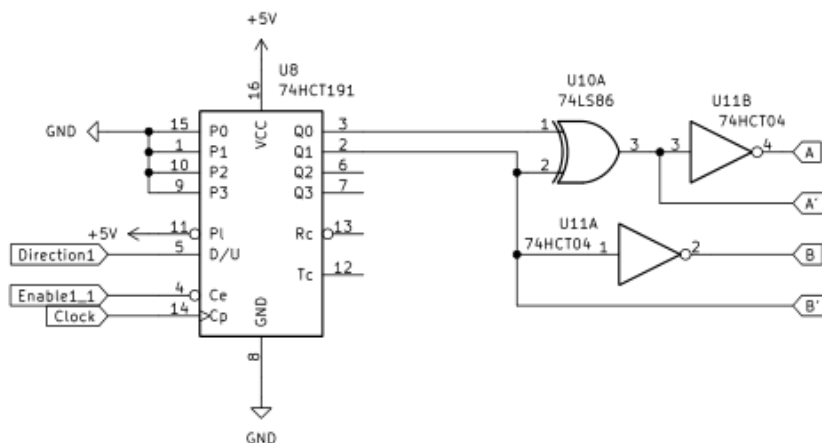


Figura 3.18 - circuito controlador das bobinas do motor

Foi feito um circuito para proteger o motor contra correntes superiores à corrente nominal do motor, figura 3.19, o circuito possui uma resistência de valor muito baixo, R_{sense} , cerca de 0.1Ω , em série com o motor, esta resistência liga o motor ao ground, a queda de tensão nesta resistência é amplificada por um circuito não inversor, a saída deste é ligada na entrada não inversora de um ampop, e na entrada inversora é ligada um tensão de referência, a saída desse ampop irá ligar à base de um transístor, assim quando a tensão na resistência R_{sense} for superior à tensão de referência a saída do ampop irá baixar, diminuindo a corrente de base do transístor e também a corrente de coletor, protegendo assim o motor.

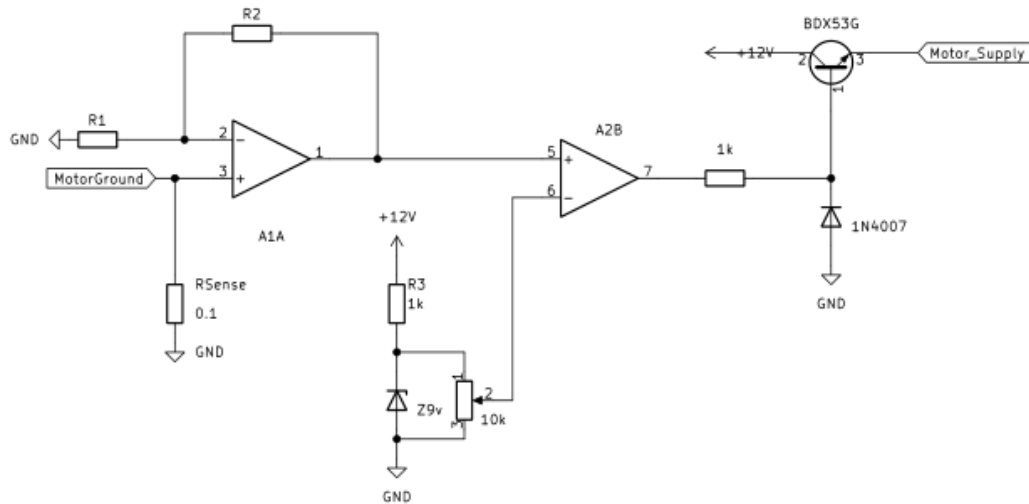


Figura 3.19 - circuito limitador de corrente do motor

$$\text{Para um ganho de 100 em A1} \rightarrow 100 = 1 + \frac{R2}{R1} \leftrightarrow R2 = 99R1$$

Fez-se $R1 = 1k\Omega$ e em $R2$ usou-se um trimpot de $100k\Omega$.

$$R_{base} = \frac{12 - V_{bemax}}{\frac{I_{max}}{h_{femin}}} \leftrightarrow R_{base} = \frac{12 - 2.5}{\frac{0.8}{750}} \leftrightarrow R_{base} = 7k\Omega$$

Foi usado o valor de $1k$ para garantir a saturação do transístor.

O circuito da figura 3.20, é o circuito de acionamento das bobinas, este é responsável por fazer a interface entre a parte de comando e a parte de potencia acionando assim as bobinas.

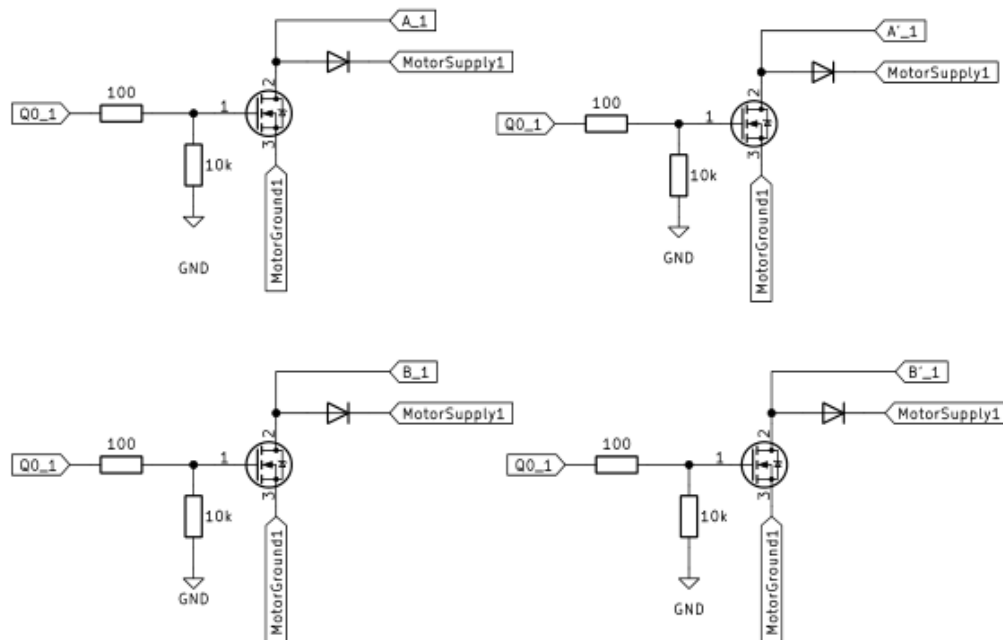


Figura 3.20 - circuito atuador das bobinas do motor

3.5- conversor CC-CC boost (conversor elevador)

Este circuito tem como intuito fornecer uma tensão mais estável e fiável para aplicação em uma carga do que a saída direta do painel.

Após testes, concluiu-se que os 4 painéis em paralelo conseguem fornecer uma tensão que varia entre os 1V e 22,6V, com uma potência máxima de 20W e uma corrente máxima de 1,12A. Por isso, foi decido pôr uma tensão de 24V à saída do conversor, e por se tratar de correntes contínuas com uma saída sempre maior do que a entrada, optou-se por utilizar um conversor CC-CC Boost (ou elevador) para a montagem.

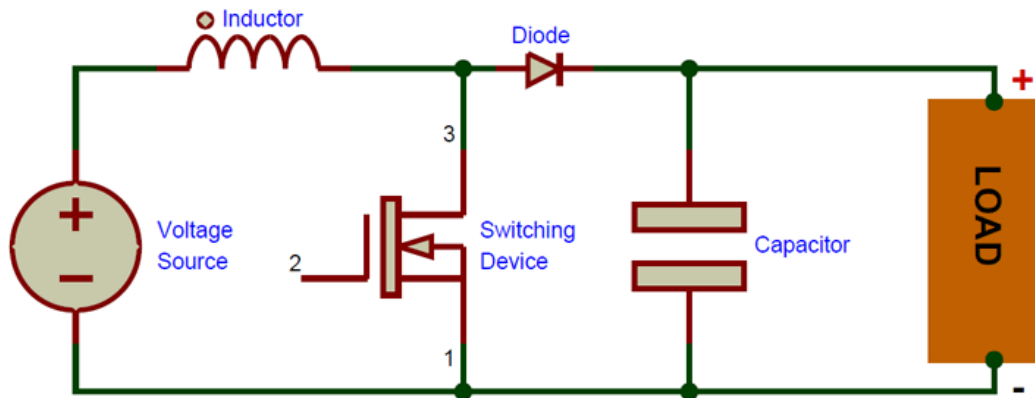


Figura 3.21 - conversor CC-CC Boost

Para selecionar os componentes a utilizar, teve que se levar em conta os parâmetros de entrada do circuito.

Em um primeiro momento, foram inseridas 4 resistências de 5W em paralelo para simular uma carga que fosse capaz de aguentar os 20W de potência máxima fornecida pelos painéis.

Para o diodo, foi utilizado o modelo BY229F, um diodo schottky, que é capaz de aguentar rápidas comutações para obrigar o condensador descarregar unicamente para a carga e não para a bobina cada vez que o MOSFET se encontra na zona de corte (OFF). Esse diodo ajuda a reduzir perdas no circuito e aguenta correntes de pico maior.

Como switching device foi escolhido o MOSFET IRF540N, um semiconductor com uma baixa resistência no regime ON, que aguenta uma tensão de Drain to Gate de 100V e uma $V_{GS(TH)}$ de 2 a 4V. O modelo que funcionará de maneira adequada para o circuito planejado.

Para dimensionamento da bobina e do capacitor, prosseguiu-se aos seguintes cálculos:

$$\begin{aligned}
 V_{in(min)} &= 1V & V_{in(max)} &= 22,6V & V_{out} &= 24V \\
 V_{in(min)} &= 1V & I_{out(max)} &= 0,83 & D_{(max)} &= 0,967 \\
 \Delta V_{out} &= 0,24 \\
 \Delta I_L &= 0,3 * 0,83 * \frac{24}{22,6} \\
 \Delta I_L &= 264mA \\
 L &= \frac{22,6(24 - 22,6)}{264m * 10000 * 24} \\
 L &= 500\mu H \\
 C_{(min)} &= \frac{0,83 * 0,967}{10000 * 0,24}
 \end{aligned}$$

$$C_{(min)} = 330\mu F$$

Dado os valores dimensionados, foram selecionados uma bobina de 560uH e um condensador eletrolítico de 330uF.

Com a bobina e o condensador dimensionados, o conversor Boost fica pronto para testes.

É preciso ainda de um circuito que gere o PWM ligado a gate do mosfet. Este precisa variar o sinal de saída de acordo com a tensão fornecida pelos painéis solares. Para isso foi utilizado um circuito baseado no IC TL494.

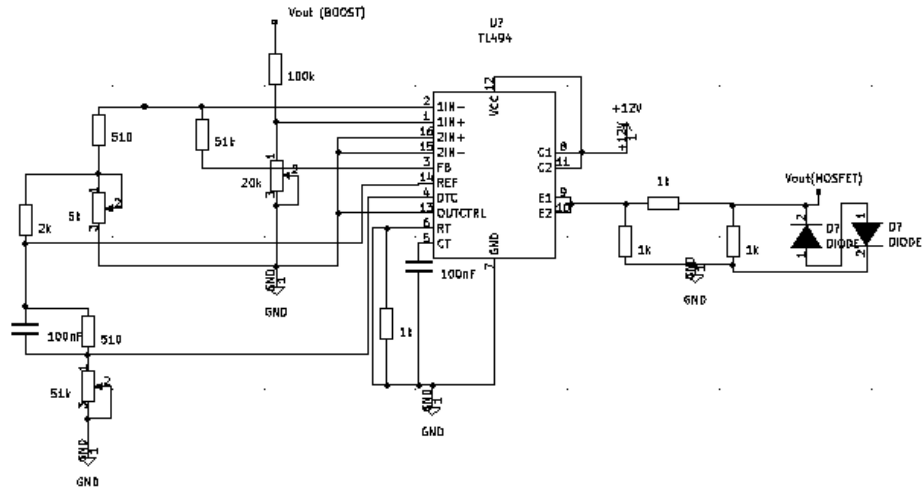


Figura 3.22 - circuito gerador de PWM

Capítulo 4 SIMULAÇÕES E TESTES

4.1- introdução

Iremos apresentar aqui as etapas tomadas após a elaboração dos circuitos que levaram a obtenção do produto final

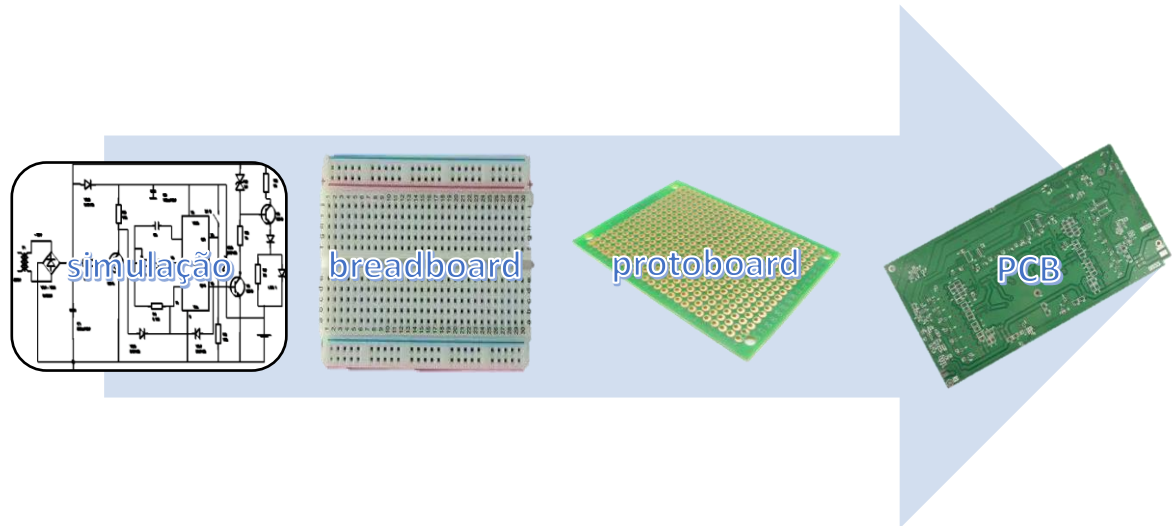


Figura 4.1 - ilustração processo de desenvolvimento

O circuito não está pronto para implementação após o desenho, é necessário testar e validar o funcionamento, pois eventuais problemas podem aparecer que não foram planejados. Por isso são feitas diversas etapas até a montagem da PCB, onde é preciso que não haja mais erros e seja funcional como esperado. Assim, passamos pelas seguintes etapas:

- Simulação: Onde iremos testar o circuito por meio de softwares para verificar se o circuito que desenhamos funciona na teoria e como desejado (aqui os componentes são ideais).
- Breadboard: Aqui aplicamos o circuito na vida real, onde os componentes não são ideais e diversos problemas, como interferências, maus contatos entre outros.
- Protoboard: Uma montagem mais fiável, usada para testar os módulos em conjunto.
- PCB: O produto final, todos os circuitos devem funcionar e sem erros ou problemas.

4.2- amplificador de instrumentação

Circuito – Fonte de corrente

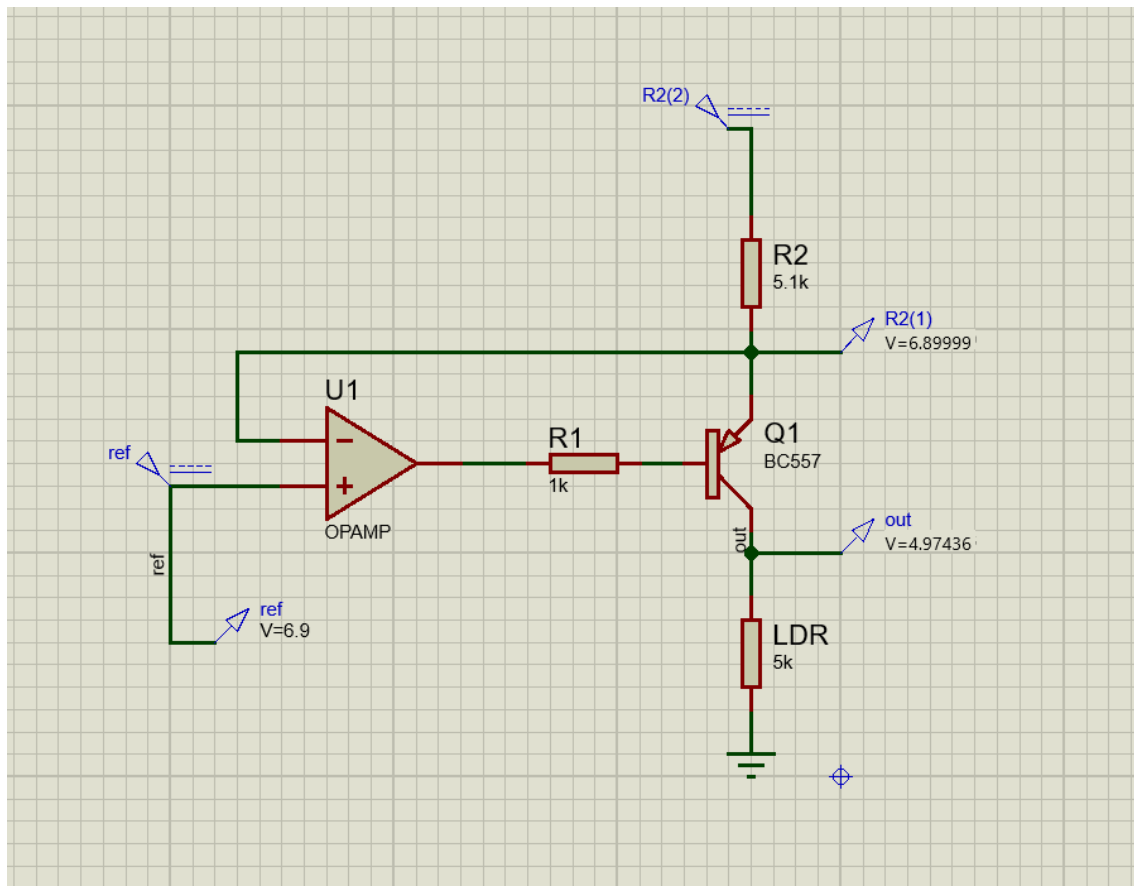


Figura 4.2 - fonte de corrente

Este circuito fornece uma corrente constante ao LDR, havendo 1 circuito para cada LDR, o ampop deverá fornecer uma corrente ao transístor para que a tensão no emissor do transístor seja mesma que a tensão na entrada não inversora do ampop, a resistência R2 serve para calibrar o circuito, deve ser usada uma resistência de precisão $\leq 1\%$, sendo o valor de 5.1k a tensão que deverá ser fornecida à entrada não inversora do ampop deverá ser igual à queda de tensão na resistência para 1mA. Nesta simulação foi usada uma resistência de valor fixo para simular o ldr.

$$V_{ref} = 12 - (5.1k * 1m)$$

4.3- controle on-off para o motor

A simulação desse circuito foi feita na plataforma Proteus, e o esquemático abaixo foi preparado para testar sua funcionalidade:

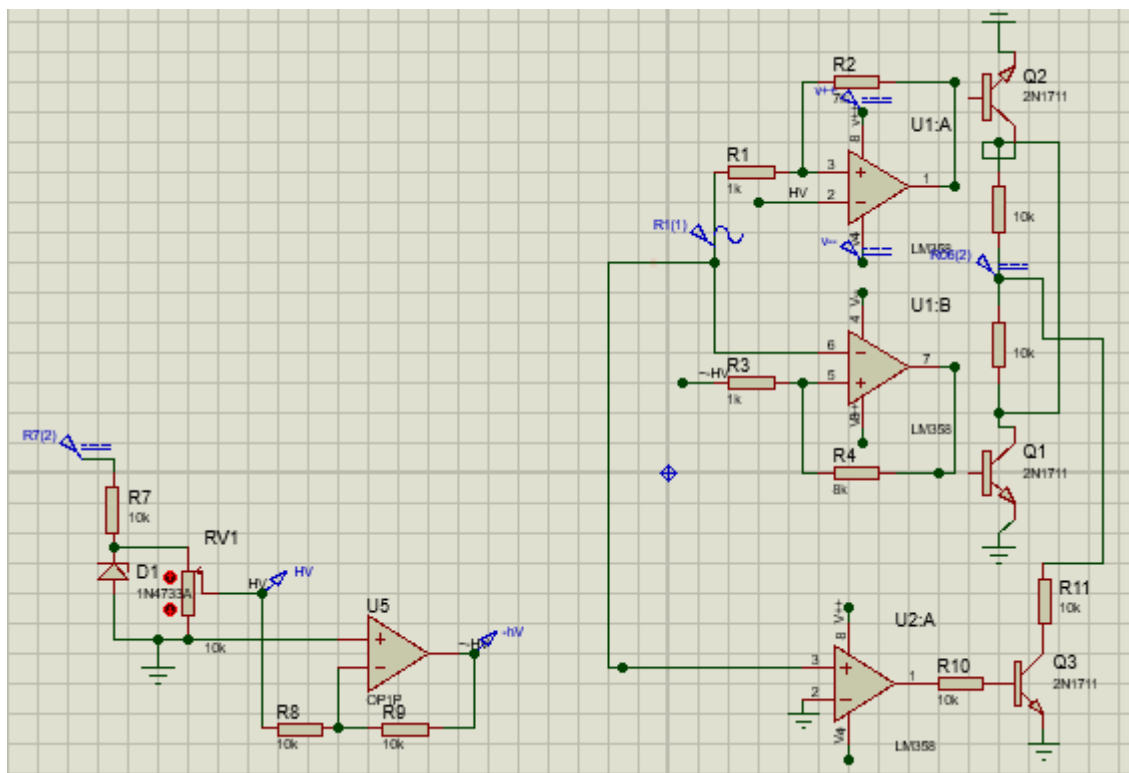


Figura 4.3 - simulação circuito de controlo

Com recurso ao osciloscópio digital, observou-se cada etapa para verificar se o sinal apontado era o esperado. Para simular a entrada do circuito foi implementada um sinal sinusoidal de 5V de amplitude.

O primeiro passo foi verificar se os amplificadores comparadores com histerese estão a funcionar, e como são 2 montagens distintas, é preciso observar os 2 sinais a sair. Para a montagem inversora, é esperado observar um sinal que esteja a 12V quando a sinusoide (entrada) passar de -2,667V até 0V (valores calculados pela margem de histerese no dimensionamento das resistências).

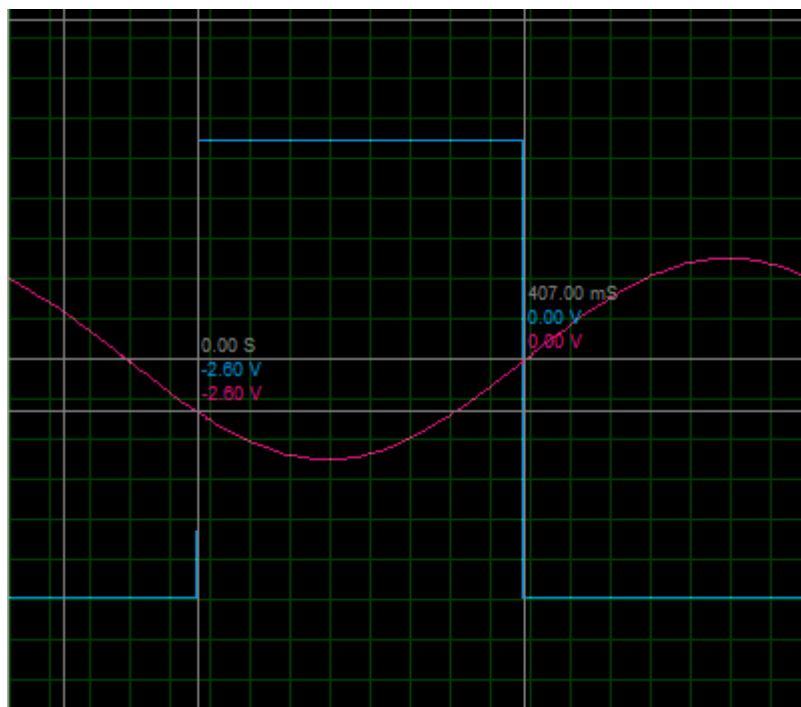


Figura 4.4 - sinal de saída do comparador inversor

Para a montagem não inversora, a saída deve estar a 12V quando a entrada passar de 3,42V até voltar a 0V.

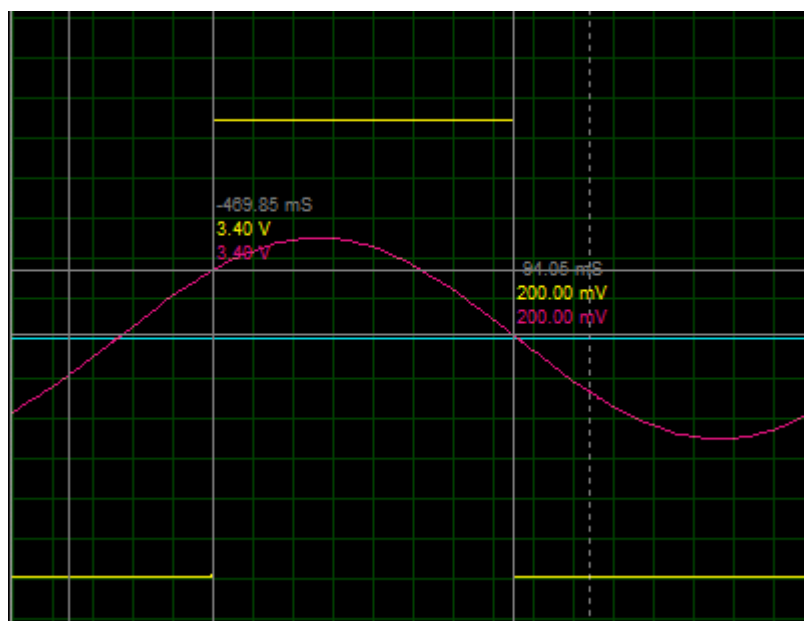


Figura 4.5 - sinal de saída do comparador não inversor

Os valores apontados pela simulação são muito próximos aos calculados, com uma margem de erro muito pequena que pode se relacionar com a resolução do osciloscópio digital e V_{ref} aplicado que não é exatamente 1,5V.

Verificada a funcionalidade de ambos os amplificadores, observa-se a saída final, já após a aplicação dos transístores e unificar em uma única saída. Idealmente, como a montagem dos transístores funciona com lógica inversa, a saída deve estar a

0V sempre que um dos amplificadores esteja a 12V e a 5V quando ambos estiverem a -12V.

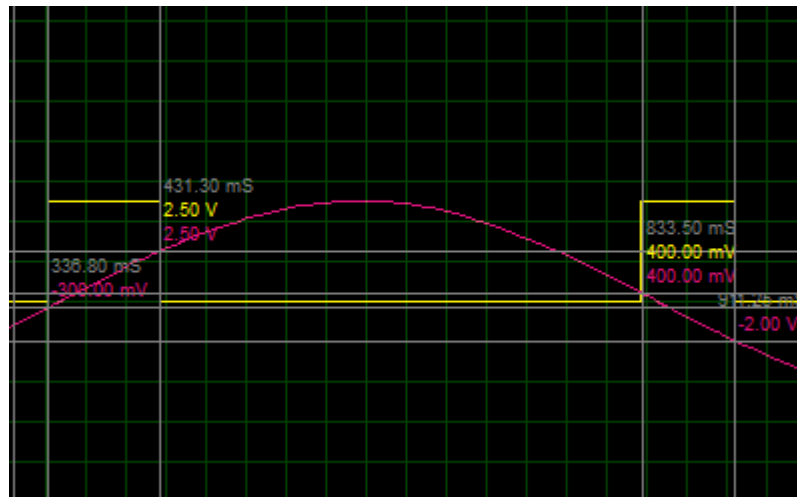


Figura 4.6 - saída de enable para o motor

A pequena diferença de valores quando comparado com as simulações anteriores deve-se à implementação do transistor e suas resistências que alterou a histerese e o V_{CEN} . Para isso foi necessário regular V_{REF} , mas o resultado ainda está adequado para o funcionamento do circuito, então não é necessário que se altere os parâmetros.

Para a saída que indica o sentido de rotação do motor, a saída estar a 0V quando a entrada for positiva e 5V quando for negativa.

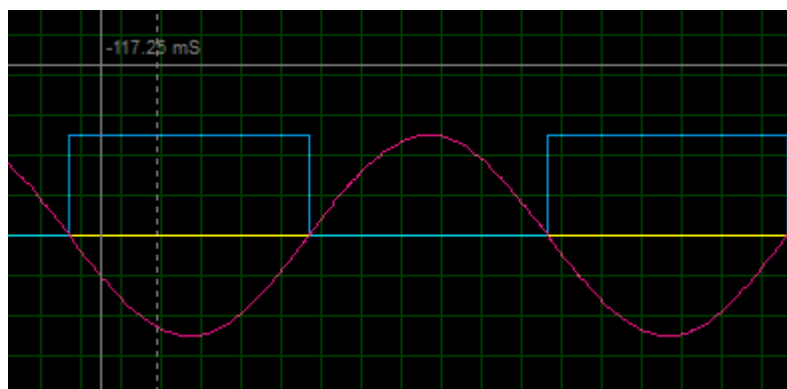


Figura 4.7 - saída direction para o motor

Com as duas saídas verificadas e com correto funcionamento, fez-se a montagem em breadboard para se certificar que o circuito não possui conflitos entre simulação e aplicação real.

Assim concluiu-se os testes e a montagem do protótipo em protoboard já pode ser elaborado.

4.4- driver do motor

Circuito – Limitador de corrente

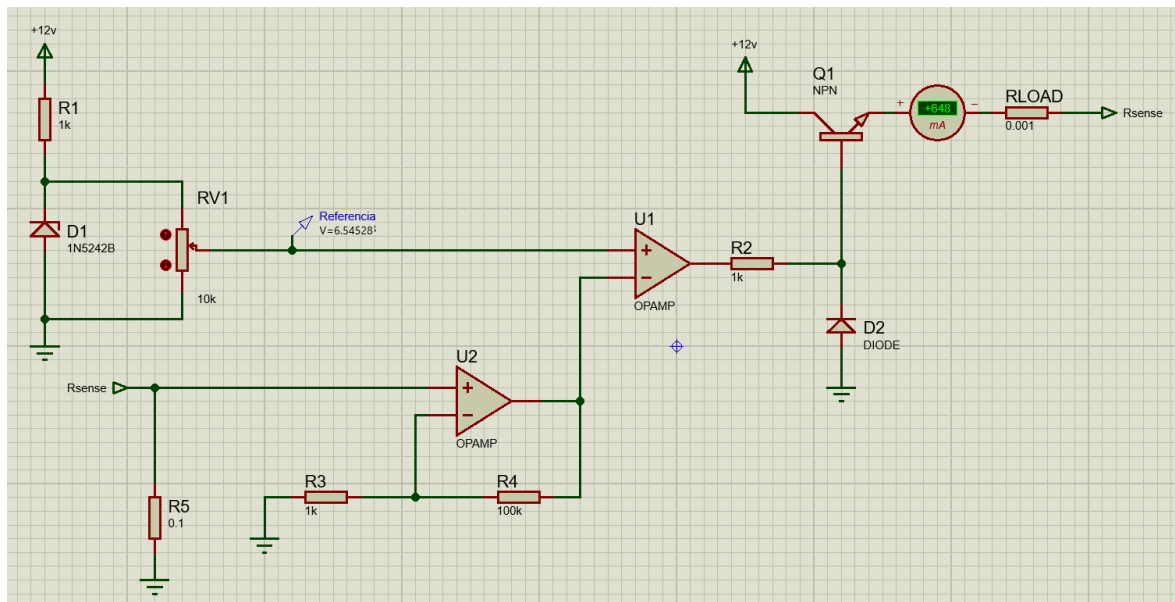


Figura 4.8 - circuito limitador de corrente

Na figura 4.8, é possível ver o circuito que limita a corrente do motor, neste circuito a resistência RLOAD representa o motor em curto, a tensão de referência é a tensão que representa a corrente à qual se quer limitar e deve ser 10 vezes superior ao valor de corrente, pode observar-se que tendo uma tensão de referência de 6.54V o circuito limitou a corrente a 648mA comprovando o funcionamento do mesmo.

Circuito de clock

O circuito de clock deverá gerar a o sinal de clock para o circuito lógico que ativa as bobinas do motor, o potenciômetro RV1 permite variar a frequência, as figuras 4.9 e 4.10 representam as simulações realizadas em software e a figura 4.11 é o sinal real que obtivemos.

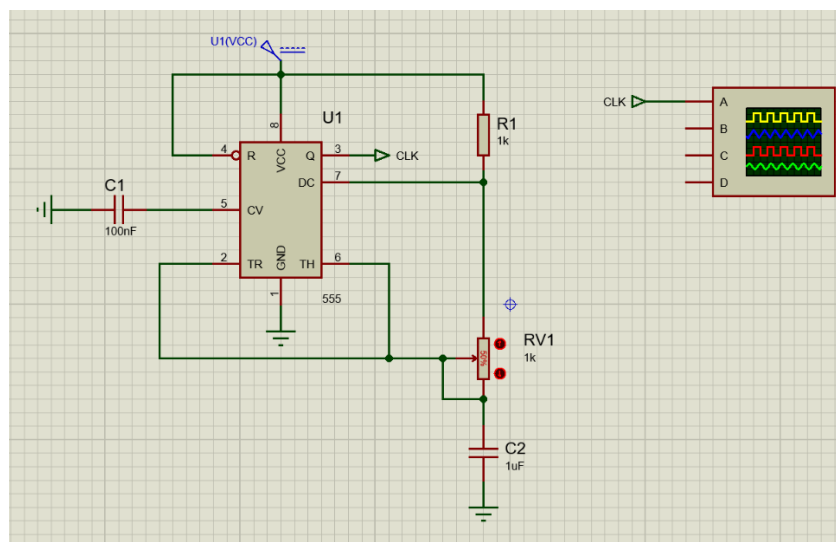


Figura 4.9 - circuito de clock

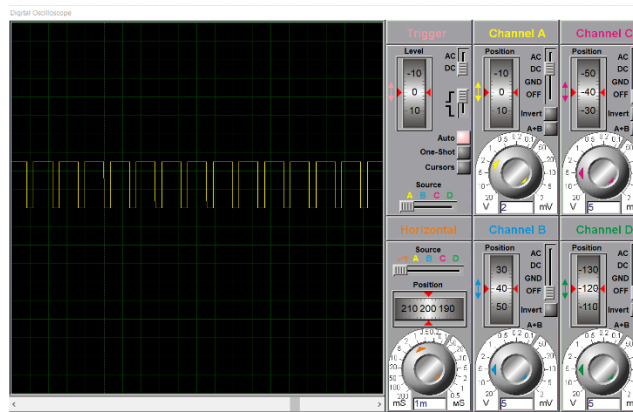


Figura 4.10 - sinal de clock osciloscópio digital

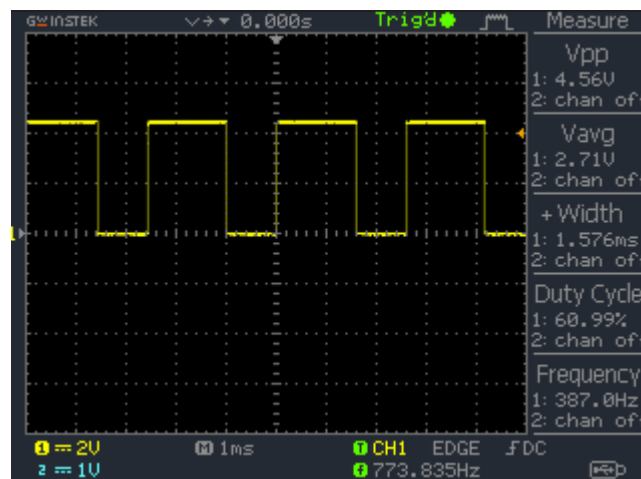


Figura 4.11 - sinal de clock osciloscópio real

4.5- conversor CC-CC boost

Para simular esse circuito, é preciso ver se a saída se mantém a 24V para diferentes valores de entrada. Para isso, foi desenhado o circuito na plataforma PSIM. Foram testados diversos valores de entrada e com o respectivo duty fornecido pelo circuito do TL494 para observar os resultados.

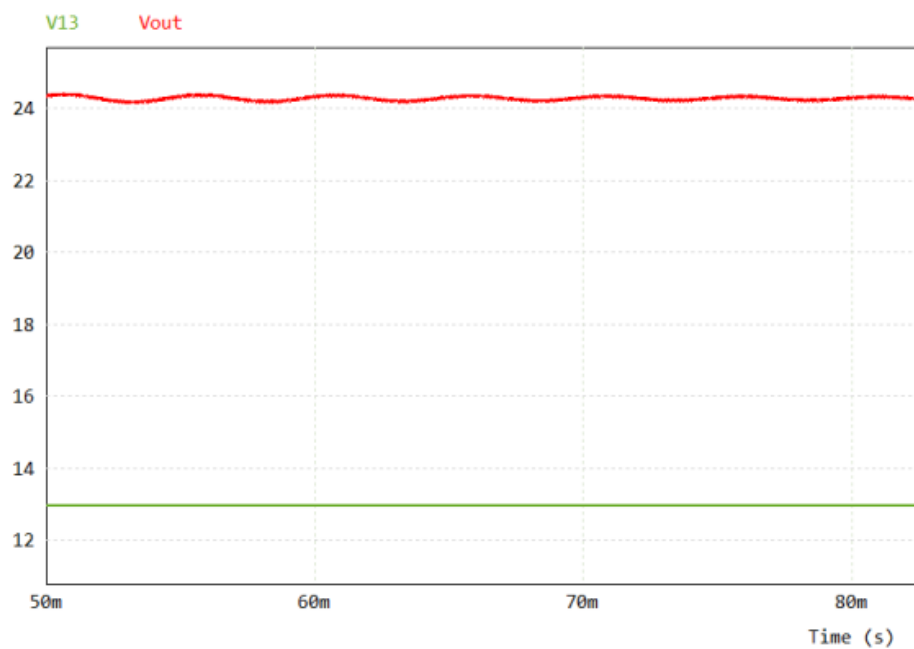


Figura 4.12 - saída para maior potência

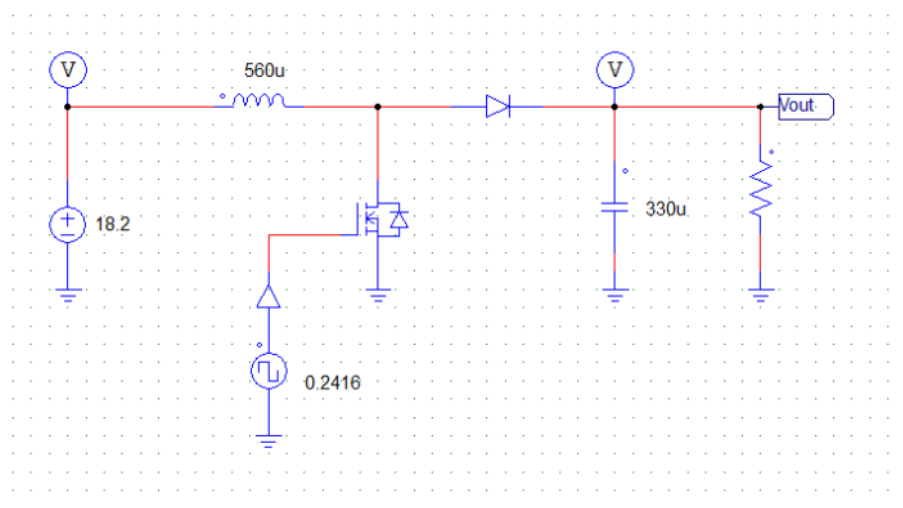


Figura 4.13 - conversor boost para o ponto de maior potência

Nas figuras 4.12 e 4.13 pode-se observar que para o ponto de maior potência do painel, a 18,2V, e com o D fornecido para a dada tensão, a saída permanece a 24V.

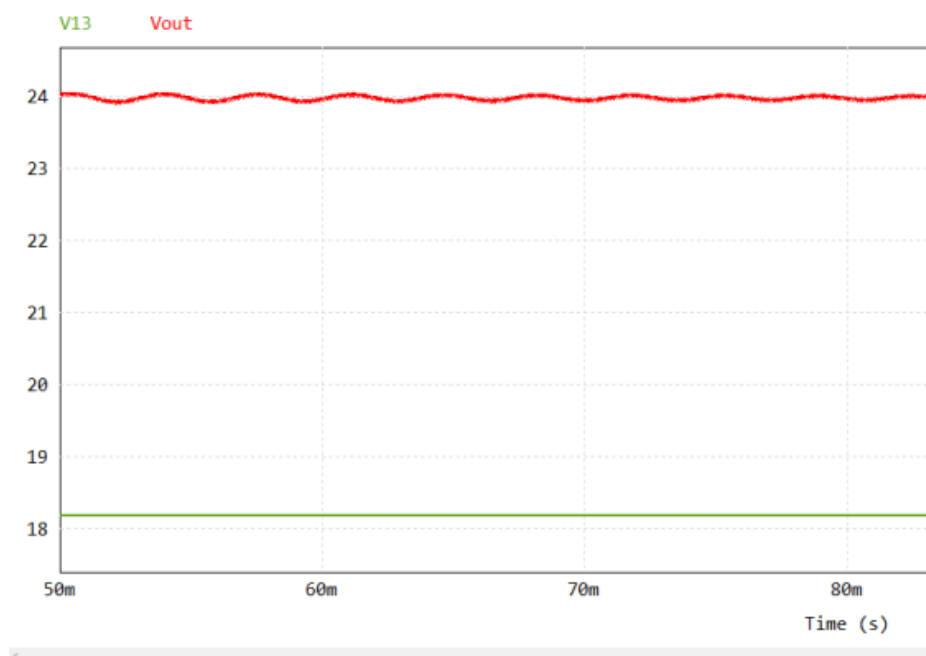


Figura 4.14 - saída para uma entrada inferior

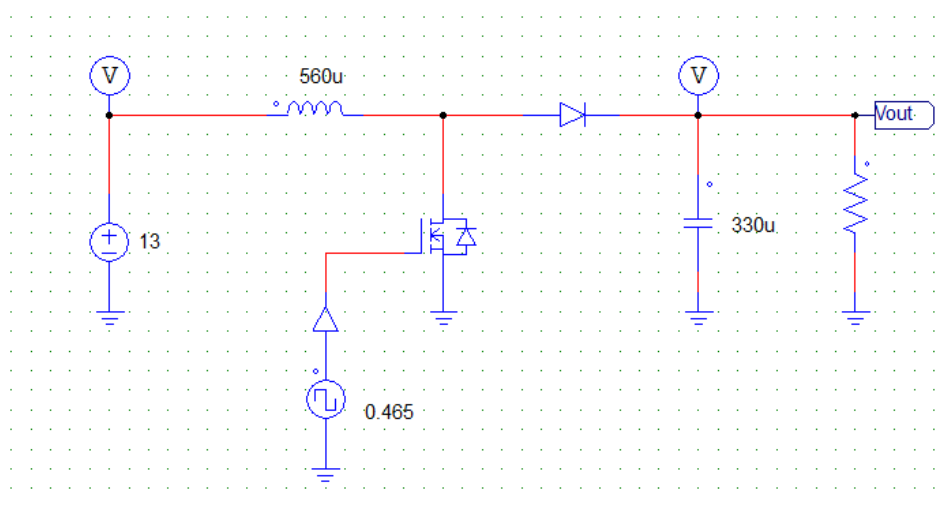


Figura 4.15 - circuito para uma tensão qualquer de entrada

Outros valores também foram simulados, onde pode-se notar que o circuito funciona como esperado.

Capítulo 5 CIRCUITO MECÂNICO

Visando a parte mecânica do STS, como foi anteriormente mencionado, foram utilizados dois motores de passo em dois eixos distintos responsáveis por fornecer a melhor orientação dos painéis em relação ao sol.

Ambos os motores estão conectados através de correias a uma espécie de cabeçotes circulares impressos em PLA sobrepostos num suporte principal. Este último trata-se de um suporte em ferro capaz de suportar todo o peso do sistema (painéis fotovoltaicos, motores etc.) sem que o mesmo sofra qualquer tipo de oscilação.

O suporte é composto por tubos quadrados em ferro soldados entre si, 4 deles formam as “pernas” do suporte e um outro é base aberta com o propósito de passar dentro dela um veio responsável pelo movimento dos painéis através de um dos eixos.

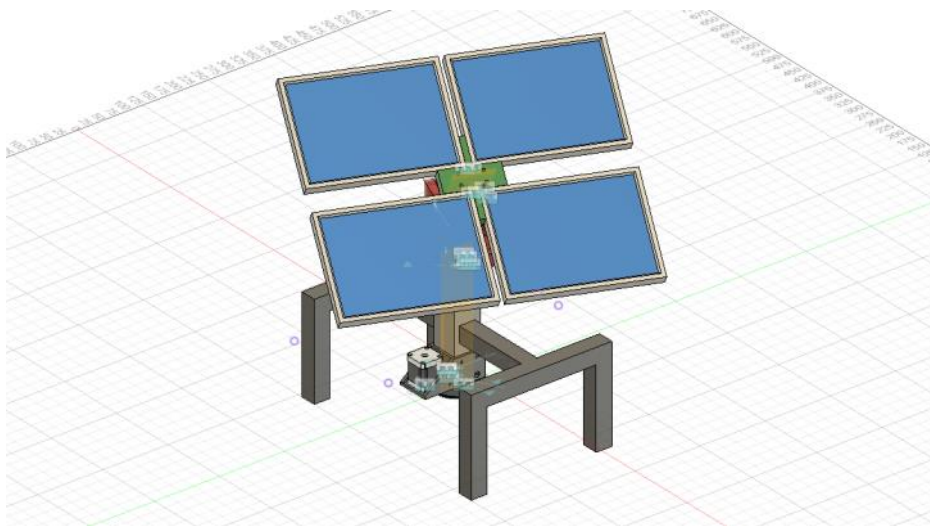


Figura 5.1 - diagrama mecânico no software

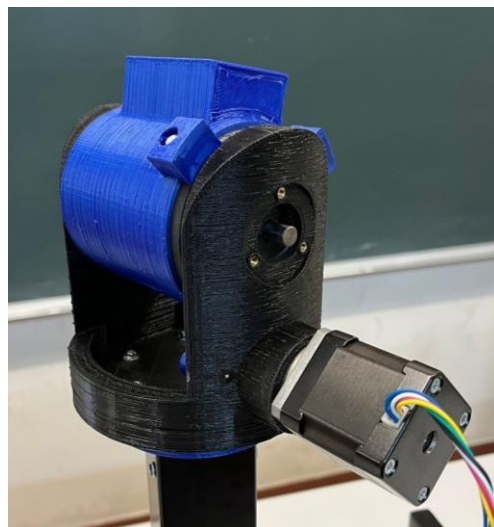
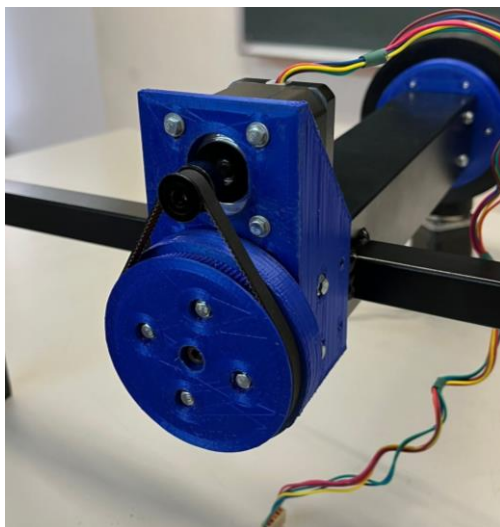


Figura 5.2 - sistema mecânico de rotação dos eixos



Figura 5.3 - montagem mecânica completa real

Capítulo 6 LISTA DE COMPONENTES

A tabela seguinte apresenta a lista de componentes utilizados, quantidades, preços e locais onde foram comprados.

	Material	Quantidade	Preço total
1	Condensador cerâmico	19	1.38€
2	Condensador eletrolítico	4	1.14€
3	Resistências	67	6.03€
4	Potenciometro multivoltas	15	7.5€
5	Díodos zenner	5	1.00€
6	Diodos	11	2.50€
7	LDRs	3	1.20€
8	BC 547	6	0.39€
9	BC 557	3	0.12€
10	BDX53G	2	1.96€
11	IRF540	9	5.40€
12	Bobina	1	0.39€
13	LM324	3	0.90€
14	INA126	2	8.20€
15	TL494	1	1.35€
16	TL084	2	0.60€
17	74HCT191	2	1.00€
18	74HCT86	1	0.50€
19	74HCT04	1	0.50€
20	74HCT32	1	0.50€
21	74HCT08	1	0.50€
22	NE555	2	1.06€
23	Conector	9	1.20€
24	Motor de passo	2	68.96€
25	Filamento impressora 3D	1	15.90€
26	Rolamento	6	35€
27	Barra ferro	2.5 m	6.00€
28	Veio ferro	0.4 m	2.00€
29	Porcas e Parafusos (Pack)	40	10.00€
30	Polia	2	2.60€
31	Correia	2	2.78€
32	Painel fotovoltaico	4	36.00€
Total			224.56€

Tabela 6.1 - componentes utilizados no produto

Capítulo 7 DESENHO DA PCB

Após montar todos os circuitos em protoboard, verificar o seu funcionamento e com resultados de acordo com o esperado, e confirmar ainda que todos se comunicam perfeitamente, pode-se prosseguir para a elaboração da PCB (Printed Circuit Board).

O primeiro passo na elaboração da PCB é fazer o esquemático dos circuitos a se implementar. Por não se tratar de um circuito muito grande, é possível desenhar tudo em uma única placa. Por mais que o circuito no final seja apenas um, é possível dividir os esquemáticos por partes.

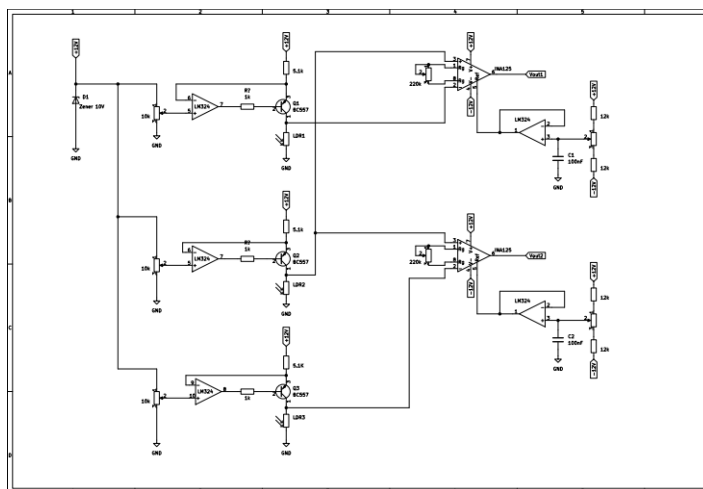


Figura 7.1 - esquemático circuito AI

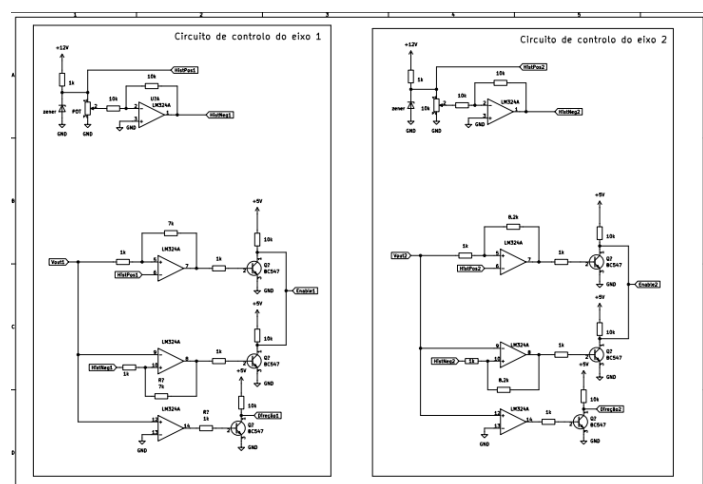


Figura 7.2 - esquemático circuito controle

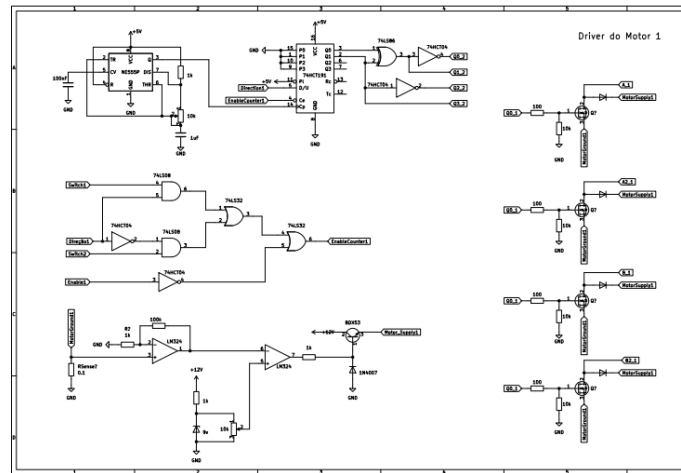


Figura 7.3 - esquemático circuito driver motor 1

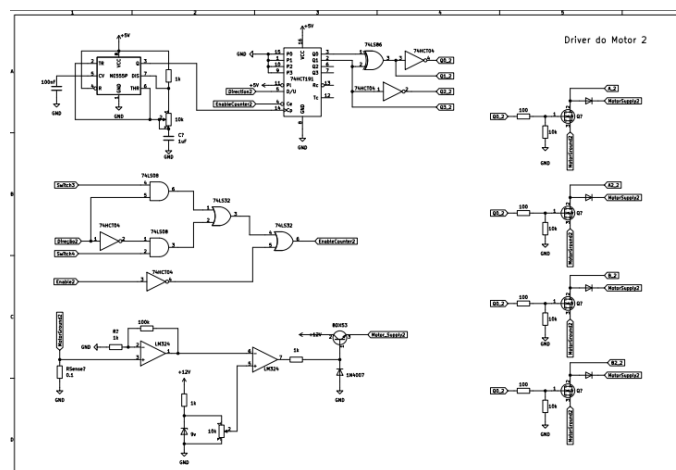


Figura 7.4 - esquemático circuito driver motor 2

Para desenhar os esquemáticos foi utilizado o software KiCad. Já o traçado das rotas foi feito na plataforma EasyEDA, a escolha foi feita pela maior facilidade de determinar as footprints.

Após a disposição dos componentes foi feito o traçado das rotas, as quais foram distribuídas por 2 layers. Ainda, a bottom layer tem o plano comum definido como GND, com as rotas isoladas.

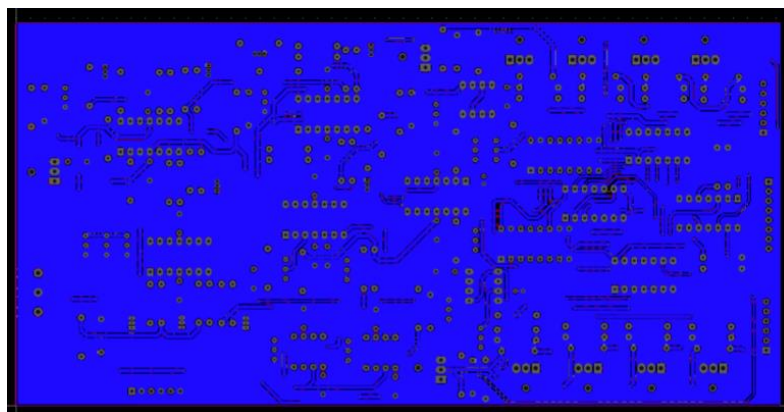


Figura 7.5 - bottom layer PCB

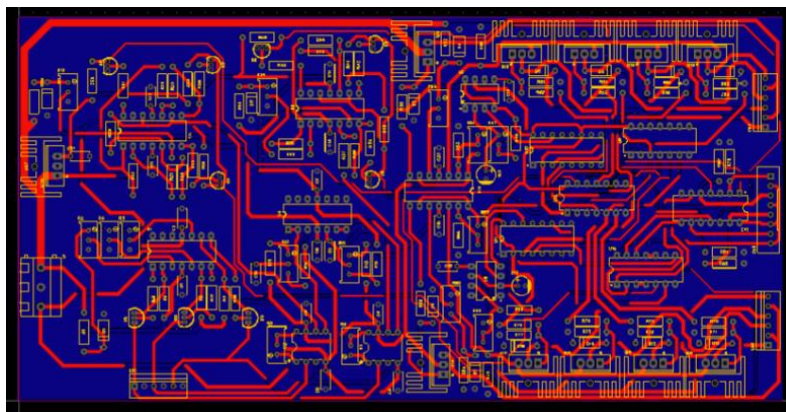


Figura 7.6 - top layer PCB

Na distribuição dos componentes, optou-se por distinguir visualmente os diferentes módulos como pode se observar na figura abaixo, de forma que facilitasse os testes e eventuais manutenções que pudessem ser necessárias.

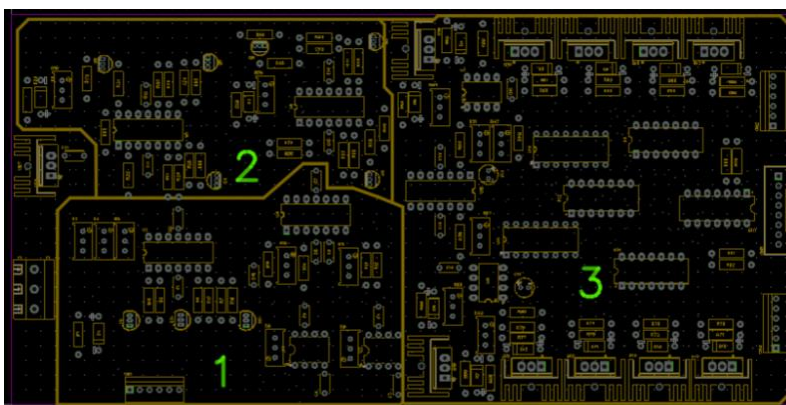


Figura 7.7 - divisão de circuitos na PCB

Após a impressão da PCB, foi feita a montagem e solda dos componentes para posteriormente testar o funcionamento.

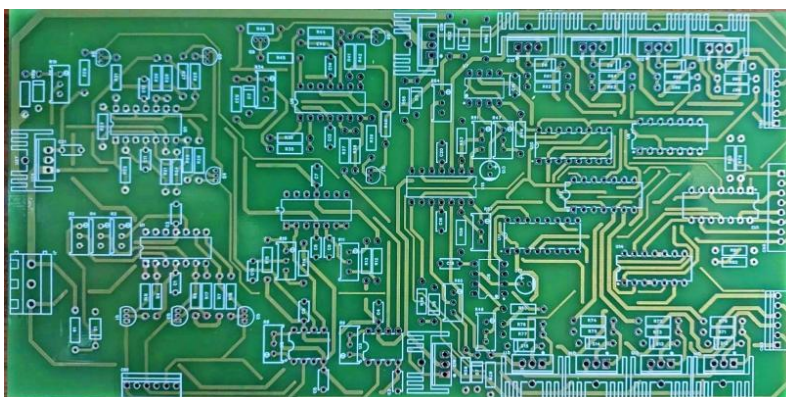


Figura 7.8 - PCB impressa

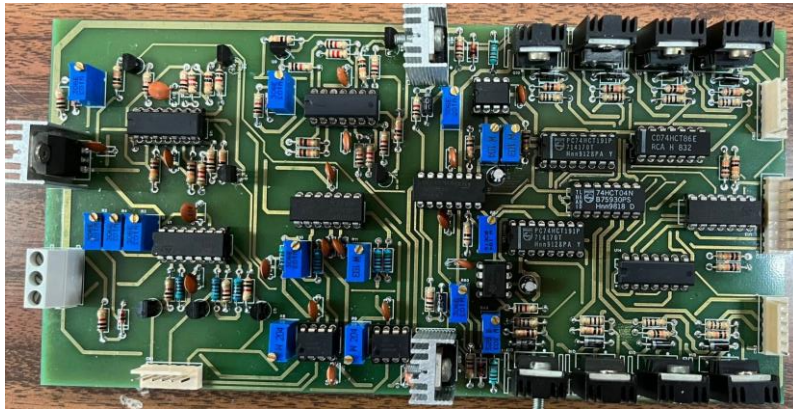


Figura 7.9 - PCB completa com componentes

Capítulo 8 OBSERVAÇÕES TÉCNICAS DO PRODUTO

8.1- segurança

A interação do utilizador com o equipamento deve ser feita de forma a que, tanto este como outros que o rodeiam tal como os bens materiais não sejam prejudicados nem danificados. Para tal, é necessário que este último possua um conjunto de características de segurança que garantam o isolamento elétrico dos circuitos. Também é necessário garantir que tanto os componentes utilizados como os materiais isoladores conseguem proteger termicamente o utilizador, isto é, não permitam que este sofra qualquer tipo de queimaduras aquando da utilização do equipamento.

Relativamente ao isolamento elétrico, tanto os circuitos elétricos como os fios condutores não devem estar em contacto com o suporte metálico do STS, de forma a evitar curto-circuitos e/ou choques elétricos (que apesar da baixa alimentação, são incómodos e podem provocar lesões no utilizador). Para isso, utilizou-se fita isoladora e mangas termorretráteis para isolar as partes expostas dos fios elétricos. De forma a não deixar exposta a PCB e evitar contactos diretos com o exterior, esta vai ficar dentro de uma caixa de material isolador (acrílico). Todavia, sabe-se que este equipamento é um dispositivo sensível à eletricidade estática (ESD – *Eletrostatic Sensitive Device*), o que significa que possui componentes que podem ser danificados por cargas elétricas estáticas que se acumulam em pessoas, ferramentas e outros materiais não condutores. Quando se for fazer reparações aos circuitos da PCB, deve-se ter cuidado com estas cargas eletrostáticas de modo a não danificar mais componentes ou causar danos a si mesmo.

Devido às situações acima descritas e aos componentes utilizados, alguns símbolos deverão ser colocados no equipamento como forma de precaver os utilizadores desses mesmos perigos. Além disso, o dispositivo não poderá ser colocado no lixo doméstico, mas sim reencaminhado para os devidos locais de reciclagem de produtos eletrónicos. As figuras seguintes representam os símbolos que deveriam estar presentes:



Figura 8.1 - sinais de segurança

8.2- fiabilidade

Fiabilidade é a medida da capacidade de um sistema, equipamento ou componente para funcionar corretamente e sem falhas durante um período especificado de tempo. É um indicador importante da qualidade e desempenho de um produto ou serviço.

Existem vários métodos para medir a fiabilidade, incluindo testes de longo prazo, análise de falhas e estatísticas de falhas. Além disso, a fiabilidade pode ser aumentada através da melhoria da qualidade dos componentes, do projeto do sistema e do uso de técnicas de manutenção preventiva.

A fiabilidade é particularmente importante em setores críticos, como indústria aeroespacial, indústria de defesa, indústria nuclear, entre outros, onde as falhas podem ter consequências graves. Além disso, a fiabilidade é importante para garantir

a segurança e a satisfação do cliente, e pode ser usada como um fator chave na tomada de decisão de compra.

Em resumo, a fiabilidade é um fator crucial para garantir a qualidade e desempenho de um produto ou serviço, e é importante para garantir a segurança, a satisfação do cliente e a competitividade no mercado.

Em relação ao tempo de operação, sabe-se que os componentes têm um tempo médio de vida previsto pelos fabricantes. Visto que não existe informação suficiente para calcular o consumo dos circuitos do STS, torna-se difícil fazer uma previsão do tempo de vida dos seus componentes com exatidão. Num circuito eletrónico, os componentes com maior probabilidade de falha são os condensadores, semicondutores e motores. Para quantificar o número de horas previstos de funcionamento médio de um componente, existe um parâmetro denominado Mean Time Between Failures – MTBF. Os componentes enunciados têm os MTBFs apresentados na tabela seguinte:

Componentes	MTBF
Semicondutores	10 anos
Condensadores eletrolíticos	14 anos
Motores	5 anos

Tabela 8.1 - MTBF dos componentes

Anormalidades nos circuitos poderão diminuir estes tempos consideravelmente, exigindo uma manutenção ou reparação precoce do STS. Dado os valores acima, o MTBF do STS é de 5 anos.

8.3- certificação

A certificação europeia é um processo pelo qual um produto ou serviço é avaliado e aprovado para atender aos requisitos de segurança, saúde e meio ambiente estabelecidos pela União Europeia. Esses requisitos são estabelecidos em normas técnicas e regulamentos específicos. A certificação é realizada por organismos independentes de certificação, que são reconhecidos pela União Europeia. Uma vez obtida a certificação, os produtos podem ser comercializados livremente dentro da União Europeia, sem a necessidade de novos testes ou avaliações. Isso facilita a livre circulação de bens e serviços dentro da União Europeia e contribui para a proteção do consumidor e do meio ambiente. A certificação europeia é considerada como sinónimo de qualidade, segurança e confiabilidade. Por isso, é importante para as empresas obterem esse tipo de certificação para seus produtos e serviços, pois isso pode ajudá-los a se destacar em um mercado altamente competitivo e aumentar sua competitividade no mercado global.

De acordo com DIRETIVA 2014/35/UE ANEXO I [1], que informa os principais elementos dos objetivos de segurança para o material elétrico usado no equipamento, devem ser previstas medidas de ordem técnica a fim de que:

- a) As pessoas e os animais domésticos fiquem protegidos de forma adequada contra os riscos de ferimentos ou de outros acidentes resultantes de contactos diretos ou indiretos;
- b) Não se produzam temperaturas, descargas ou radiações que possam provocar perigo;
- c) As pessoas, os animais domésticos e os bens sejam protegidos de forma adequada contra os riscos de natureza não elétrica provenientes do material elétrico que a experiência venha a revelar;
- d) O isolamento seja adequado aos condicionamentos previstos.

Com o conteúdo apresentado anteriormente neste documento, é possível verificar que o projeto cumpre com todos os pontos da diretiva acima, sendo assim possível a atribuição do certificado europeu ao STS. No conjunto de símbolos que o projeto necessitaria de ter, acrescenta-se o símbolo da certificação europeia (Figura 8.1);



Tabela 8.2 - símbolo de certificação europeia

Capítulo 9 CONCLUSÕES

9.1 – atividade como grupo

Desde o momento que nos propusemos a desenvolver este projeto tínhamos a percepção dos problemas e dificuldades que a realização do mesmo envolveria e para tal seria necessário dedicar tempo e esforço para que fosse possível obtermos o resultado pretendido.

Durante todo o projeto foram postas à prova algumas competências adquiridas ao longo do curso. Deste modo, aprofundamos conhecimentos já adquiridos de unidades curriculares anteriormente lecionadas, desde Sistemas Digitais e Eletrónica I e II até Controlo Automático, Máquinas Elétricas e muitas outras. Foi um projeto ímpar comparativamente a projetos já realizados em anos anteriores porque envolveu um maior conhecimento de várias áreas e requereu muito trabalho autónomo.

Ao longo do desenvolvimento do projeto, encontramos inúmeras adversidades tanto no desenvolvimento do design como na elaboração e testes dos circuitos elétricos que compunham o STS. Até ao resultado final, todos os circuitos passaram por um processo de simulação, montagem e teste até serem obtidos os resultados projetados nas simulações.

Uma das aprendizagens mais importantes a reter da execução deste projeto e que, por vezes, não recebe a devida importância, está relacionado com a comunicação e o crescimento de cada um como pessoa e futuros engenheiros, bem como o desenvolvimento de um ambiente de trabalho saudável.

9.2 – sugestões para o trabalho futuro

Todo este trabalho realizado não pode ser visto como uma ideia final e sim uma forte base para um projeto mais elaborado no futuro, já sem as limitações do mundo analógico.

Dentre algumas melhorias que serão possíveis implementar com circuitos digitais, com recurso a controladores programáveis, seria a elaboração de um sistema de recolha de dados, bem como a adição de mais sensores, para poder ter em conta mais parâmetros (bem como temperatura e humidade que são variáveis importantes para a eficiência dos painéis), assim será possível ter um estudo mais bem fundamentado e eficiente da área a se aplicar.

Ainda na mesma perspectiva, é possível implementar um algoritmo MPPT (Max Power Point Tracking), que auxilia o conversor a sempre fornecer o máximo de potência, que auxilia muito na eficiência dos painéis.

Além disso, outras melhorias também já são pensadas, como uma bateria que seria carregada pelos painéis e utilizada para alimentar os circuitos, o que torna o circuito 100% autossuficiente.

9.3 – conclusão do projeto

Em suma este projeto só nos trouxe mais valias como futuros engenheiros, tanto a possível problemas reais no mundo de trabalho e desenvolvimento e planeamento do seu desenvolvimento.

O balanço final é positivo consoante o resultado final que atingimos.

Todo o processo ajudou-nos a enriquecer as nossas capacidades e conhecimentos.

Todos os objetivos a que nos propusemos no início foram desenvolvidos e concluídos com sucesso o que nos faz sentir que todo o trabalho e tempo investido valeram a pena.