

# Eletrónica Aplicada

Fonte de Tensão com Regulador Comutado de  
Sobrelevação

Ano Letivo 2022/23

**P2 Grupo:**

Daniel Galhano, 59752  
Daniela Marques, 59939  
Rui Filipe, 60461

**Docente responsável:**

Professor Dawei Liang

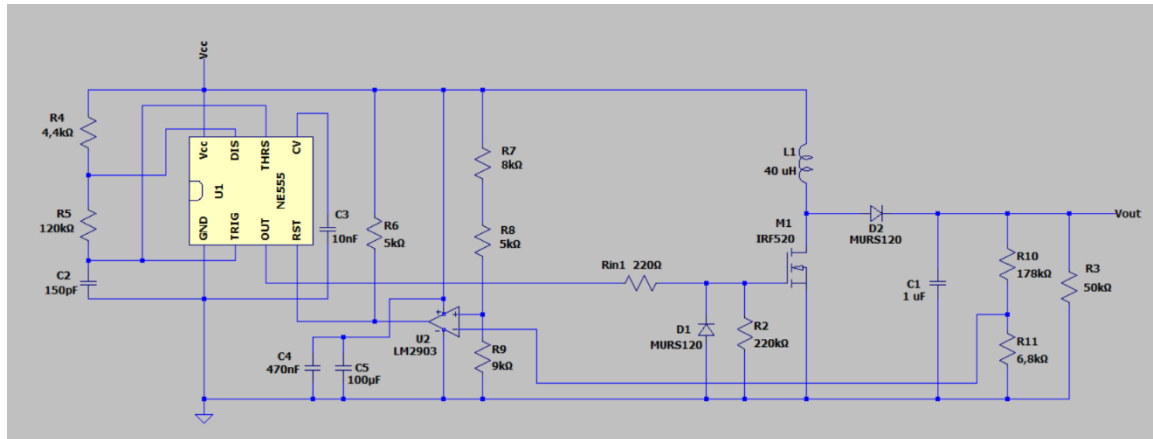
## Índice

<b>I</b>	<b>Objetivo</b>	<b>3</b>
<b>II</b>	<b>Primeiro estágio: Amplificação</b>	<b>4</b>
1	Circuito	4
2	Otimização Experimental da Frequência	5
<b>III</b>	<b>Segundo estágio – Oscilador de onda quadrada com <i>Timer</i> 555</b>	<b>6</b>
1	Circuito	6
2	<i>Duty Cycle</i>	7
3	Verificação da maximização de $U_{out}$	7
<b>IV</b>	<b>Terceiro estágio – Comparador</b>	<b>8</b>
1	Circuito	8
2	Dimensionamento de Resistências	9
3	Verificação do Funcionamento do Comparador	9
<b>V</b>	<b>Quarto estágio – Feedback</b>	<b>9</b>
1	União de Circuitos	9
2	Dimensionamento de Resistências	10
3	Verificação da Estabilidade de $U_{out}$	11
4	Filtros	11
<b>VI</b>	<b>Tabela de Material Utilizado</b>	<b>13</b>
<b>VII</b>	<b>Conclusão</b>	<b>13</b>
<b>VIII</b>	<b>Referências</b>	<b>14</b>

## I Objetivo

Os objetivos da elaboração de uma fonte de tensão com regulador comutado de sobrelevação são:

- Fornecer uma tensão DC de saída superior à tensão DC de entrada;
- Regular a tensão de saída independentemente das flutuações de entrada.



**Figura 1** – Esquema da montagem de uma fonte de tensão com regulador comutado de sobrelevação.

## II Primeiro estágio: Amplificação

### 1 Circuito

O circuito representado na **Figura 2** e exemplificado na **Figura 3** permite amplificar um sinal de entrada de 5V através de um indutor e de um MOSFET. A variação de corrente no indutor gera uma diferença de potencial, que é tanto maior quanto maior a variação temporal de corrente no mesmo. Para atingir esta variação de corrente, o MOSFET funciona como um interruptor, estando aberto se a tensão na *gate* for negativa e fechado se for positiva, sendo esta uma onda quadrada. O condensador armazena a energia depositada pelo indutor, e o diodo D4 impede a corrente de fluir do condensador para o MOSFET. Assim, é possível ter uma tensão de saída superior à de entrada.

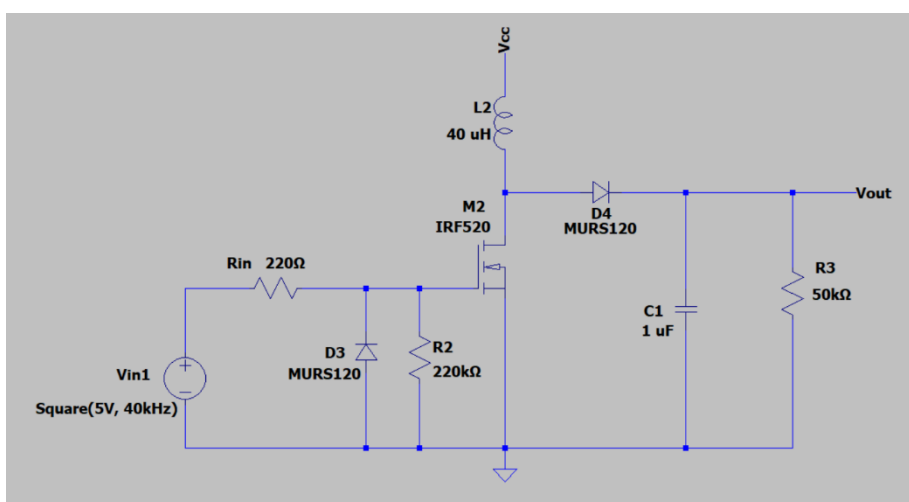


Figura 2 - Esquema do regulador de sobrelevação.

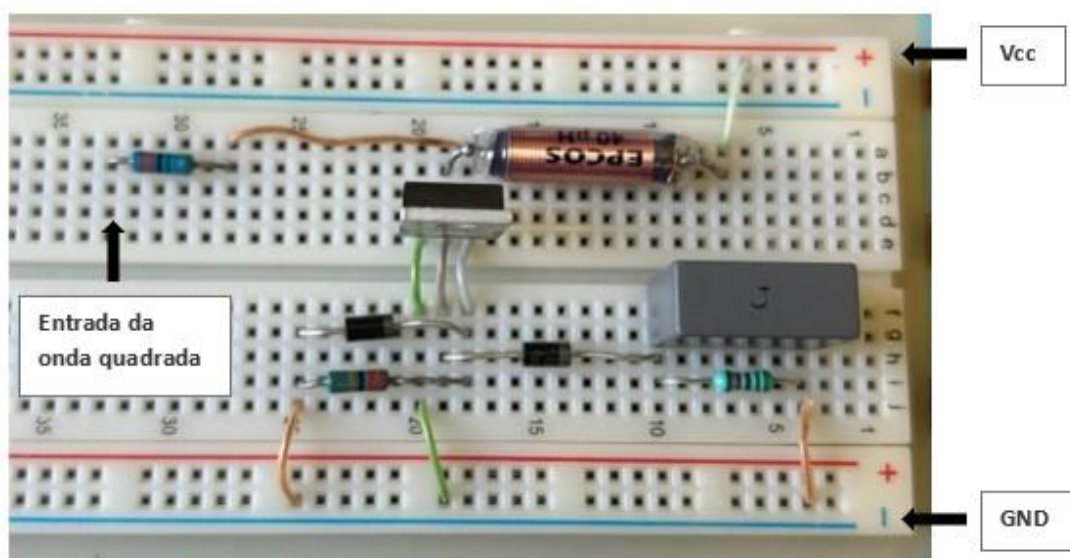


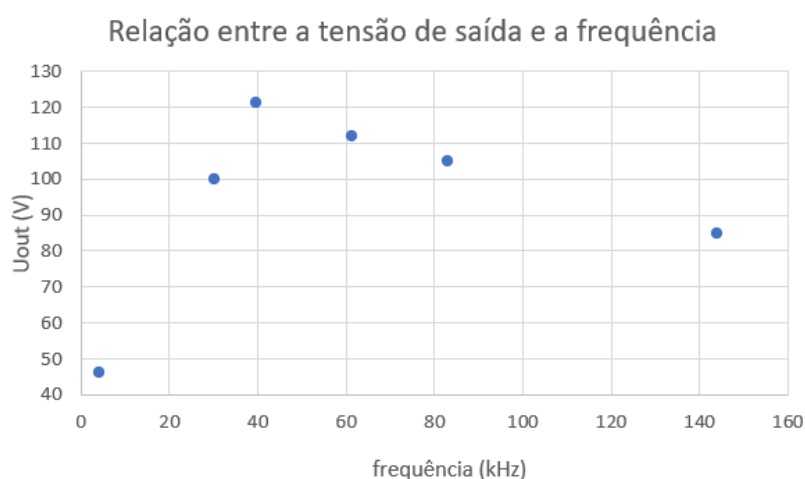
Figura 3 – Circuito do regulador de sobrelevação.

Com a alimentação do circuito a 5V, a tensão de saída era bastante pequena, cerca de 12V. Ao ler a datasheet deste MOSFET, percebeu-se que o valor de  $V_{GS}$  para o qual o MOSFET conduz melhor é de 2,9V, sendo que o  $V_{GS}$  que estava a ser obtido era de apenas 1,18V. Ao aumentar a tensão de alimentação para 5,58V,  $V_{GS}$  atingiu 2,81V, valor bastante próximo do ideal. Deste modo, foram obtidas tensões de saída muito superiores, chegando mesmo a atingir 120V. Outra forma de polarizar melhor o MOSFET era retirar a resistência de entrada, para que toda a tensão de entrada fosse usada para a polarização.

## 2 Otimização Experimental da Frequência

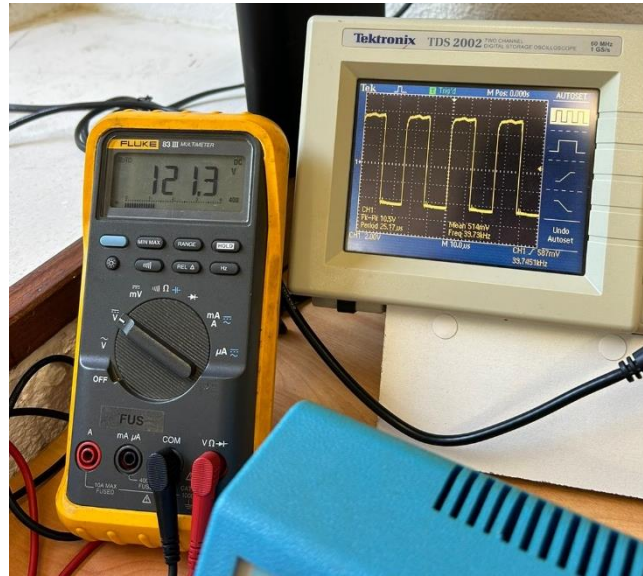
A frequência da onda quadrada determina a frequência de abertura e fecho da porta lógica (MOSFET). Teoricamente, quando maior a frequência, maior a variação da corrente do indutor, logo maior a tensão de saída. Na prática, observa-se que, a partir de um determinado valor de frequência, a tensão de saída começa a diminuir.

De modo a encontrar a frequência da onda quadrada para a qual se obtinha a maior amplificação, registaram-se os valores da tensão de saída para diferentes valores de frequência, obtendo um máximo para 39,73kHz.



Frequência (kHz)	$U_{out}$ (V)
4.08	46.0
30.23	99.8
39.73	121.3
61.30	112.1
83.11	105.1
143.90	84.8

**Figura 4** – Tensão em função de frequência: gráfico (cima) e tabela de pontos (baixo).

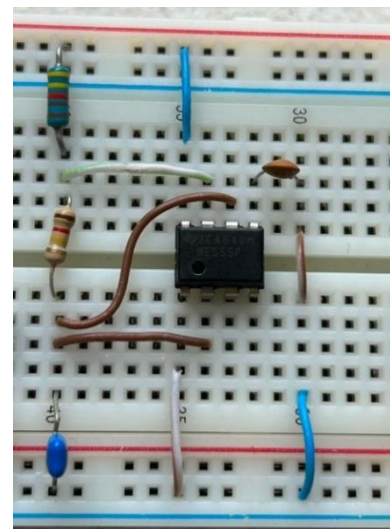
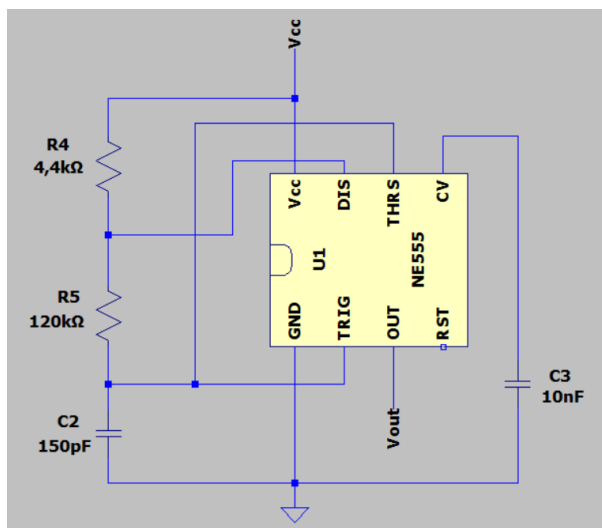


**Figura 5** - Tensão de saída para uma onda quadrada com 39,73kHz.

### III Segundo estágio – Oscilador de onda quadrada com *Timer* 555

#### 1 Circuito

Determinada a frequência ótima para o sinal de entrada na *gate* do MOSFET, o circuito da **Figura 6** utiliza o *Timer* 555 para gerar ondas quadradas com a frequência e *duty cycle* desejados, através do ajuste das resistências e do condensador C2. O pino de controle é ligado a um condensador, que é ligado a *ground*, para diminuir o ruído no circuito.



**Figura 6** – Esquema (esquerda) e circuito (direita) do oscilador de onda quadrada com *Timer* 555.

## 2 Duty Cycle

Para obter um *duty cycle* de 50% para a onda quadrada, escolheu-se  $R_4 = 4.4k\Omega$ ,  $R_5 = 120k\Omega$ :

$$Duty\ cycle = \frac{R_5}{R_4 + 2R_5} = \frac{120}{244.4} \approx 0.491$$

De modo que a onda tenha a frequência desejada (39.79kHz):

$$f = \frac{1.44}{(R_4 + 2R_5)C} \Rightarrow 39.79 \times 10^3 = \frac{1.44}{(4.4 \times 10^3 + 120 \times 10^3)C} \Rightarrow C \approx 290.92\ pF$$

O que se verificou experimentalmente, aquando da implementação desta montagem, foi uma onda quadrada com o *duty cycle* de exatamente 50%, e uma frequência de 33kHz, ligeiramente abaixo do projetado.

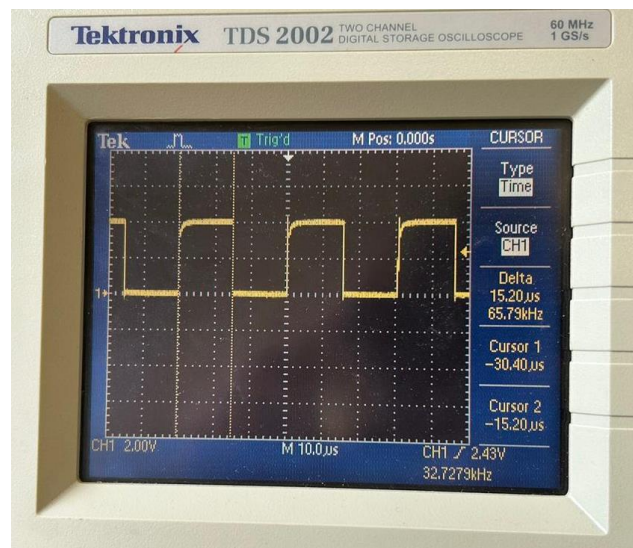


Figura 7 - Duty cycle de 50%, frequência de 33kHz.

## 3 Verificação da maximização de $U_{out}$

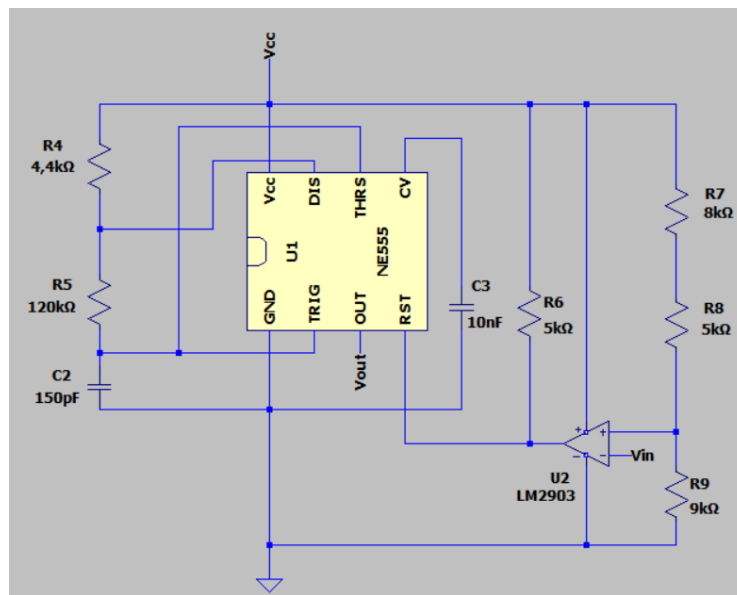
Feito o dimensionamento teórico, procedeu-se à confirmação experimental, de modo a verificar se o circuito dimensionado realmente maximiza a tensão de saída. Para o efeito, foram testados vários valores para o condensador C2, obtendo o máximo da tensão de saída para um valor de capacidade igual a 150pF, diferente do valor obtido teoricamente.

Condensador (pF)	$U_{out}$ (V)
6,8	79,50
68	116,20
100	118,48
150	120,80
180	117,84
330	109,95
470	70,09

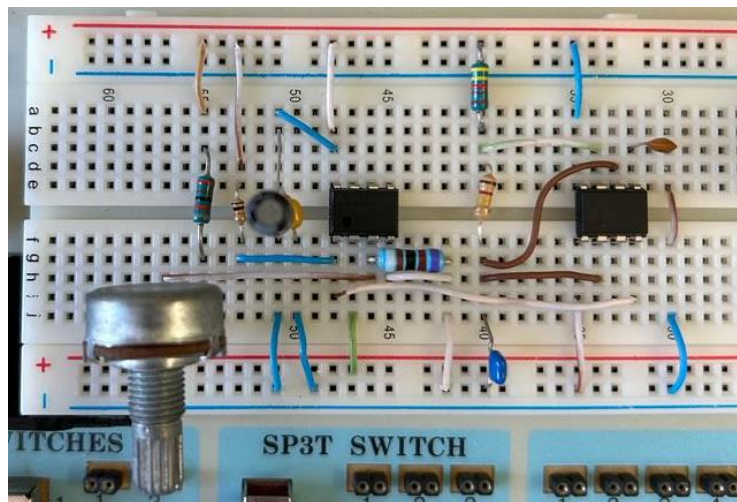
## IV Terceiro estágio – Comparador

### 1 Circuito

De modo a preparar o circuito gerador de onda quadrada para a posterior adição do *feedback*, procedeu-se à montagem do circuito da **Figura 8** e **Figura 9**, que controla a saída do *Timer* 555 através de um comparador ligado ao seu pino *Reset*. Se a tensão na entrada inversora do comparador for maior que na entrada não-inversora, o comparador irá fornecer tensão nula ao pino *Reset*, que, por sua vez, fará com que o output do *Timer* seja um sinal de tensão nula.



**Figura 8** - Esquema de regulação do oscilador.



**Figura 9** – Circuito de regulação do oscilador.



## 2 Dimensionamento de Resistências

Partindo dos valores  $R_7 = 8k\Omega$  e  $R_8 = 5k\Omega$  (potenciômetro), dimensionou-se  $R_9$  de modo a obter um valor de 2,2V na entrada não-inversora do comparador:

$$2,2V = \frac{R_9}{R_9 + 8k + 5k} \times 5,5V \Rightarrow R_9 \approx 9k\Omega$$

Assim, a entrada não-inversora está sempre a 2,2V, sendo possível variar a tensão na entrada inversora de modo a observar o funcionamento do *Timer* 555.

## 3 Verificação do Funcionamento do Comparador

Quando a entrada inversora está a menos de 2,2V, o comparador dá 1 no *output*, não ativando o *Reset*, fazendo com que o *output* do *Timer* seja a onda quadrada projetada. Quando a entrada inversora está a mais de 2,2V, o comparador dá 0 no *output*, ativando o *Reset* do *Timer* e fazendo com que a sua saída seja nula.

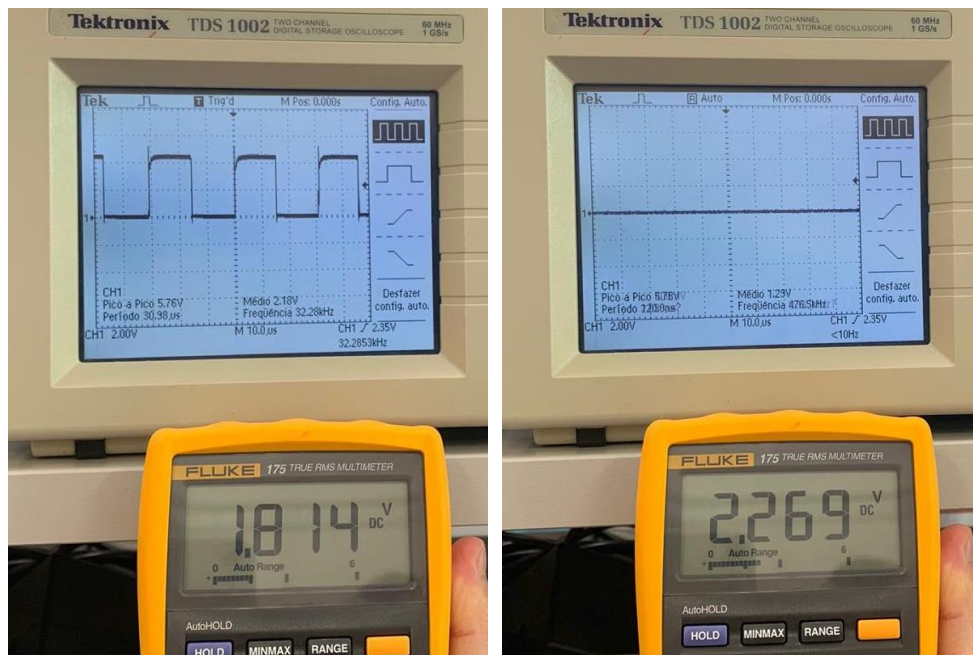


Figura 10 - Funcionamento do *Timer* 555 consoante a tensão aplicada na entrada não-inversora do comparador.

## V Quarto estágio – Feedback

### 1 União de Circuitos

O primeiro estágio do projeto já realizava a tarefa de amplificação, mas a tensão de saída não era estável, aumentando progressivamente. Para a estabilizar, juntaram-se o segundo e terceiro estágios, anteriormente projetados, de modo a ter *feedback* negativo. Assim, quando a tensão de saída aumenta além do ponto desejado, a tensão na entrada inversora do comparador também aumenta, ficando superior à tensão de

referência (na entrada não-inversora), ativando o pino *Reset* do *Timer* 555, e fazendo com que a sua saída seja nula. Consequentemente, o MOSFET fica ao corte, parando a variação de corrente aos terminais do indutor, diminuindo a tensão de saída até ao ponto desejado, a partir do qual o *Timer* 555 volta a fornecer a onda quadrada ao MOSFET. O *feedback* negativo permite, deste modo, contrariar aumentos indesejados na tensão de saída.

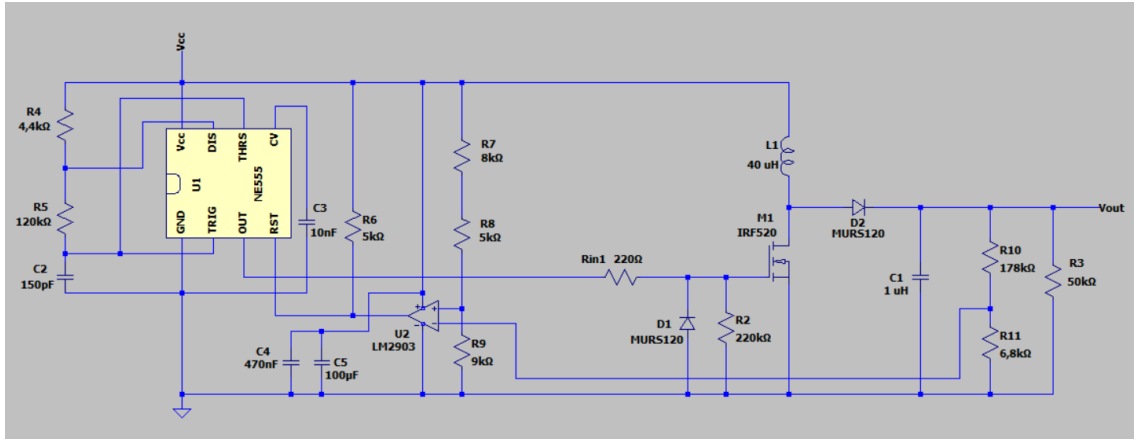


Figura 11 - Esquema do circuito final.

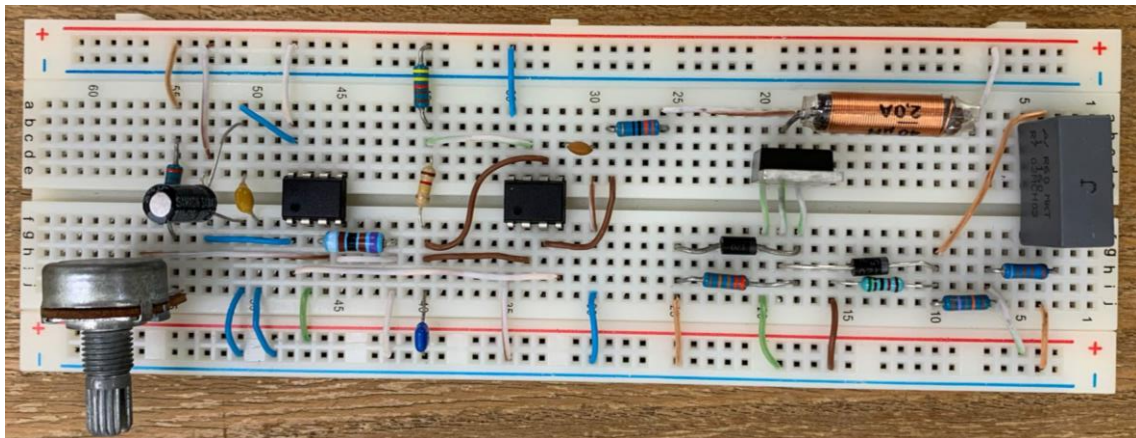


Figura 12 – Montagem do circuito final.

## 2 Dimensionamento de Resistências

Dimensionou-se  $R_{10}$  e  $R_{11}$  de modo que a tensão na entrada inversora do comparador fosse de aproximadamente 2,2V, para ativar o pino *Reset* do *Timer* sempre que a tensão de saída aumentasse:

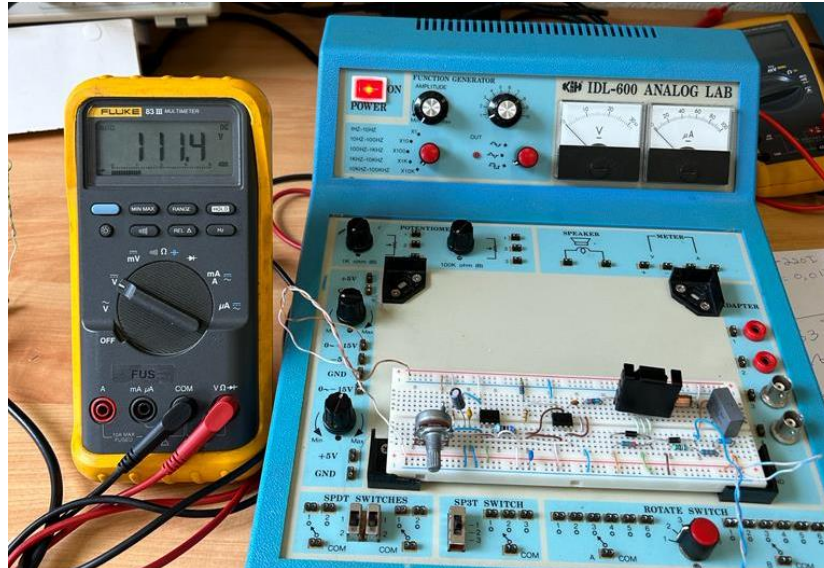
$$2,2V = \frac{R_{11}}{R_{10} + R_{11}} \times 121,3V \Rightarrow R_{11} = 54 \times R_{10}.$$

Escolheu-se então  $R_{10} = 6.8k\Omega$  e  $R_{11} = 370k\Omega$ .

Posteriormente, otimizou-se experimentalmente o valor de  $R_{11}$ , até obter o melhor compromisso entre  $U_{out}$  elevado e  $U_{out}$  estável, resultando em  $R_{11} = 178k\Omega$ .

### 3 Verificação da Estabilidade de $U_{out}$

Com a montagem da **Figura 12**, a tensão de saída era constante, não apresentando quaisquer variações ao longo do tempo.



**Figura 13** – Tensão de saída com montagem final do circuito, apresentando elevada estabilidade.

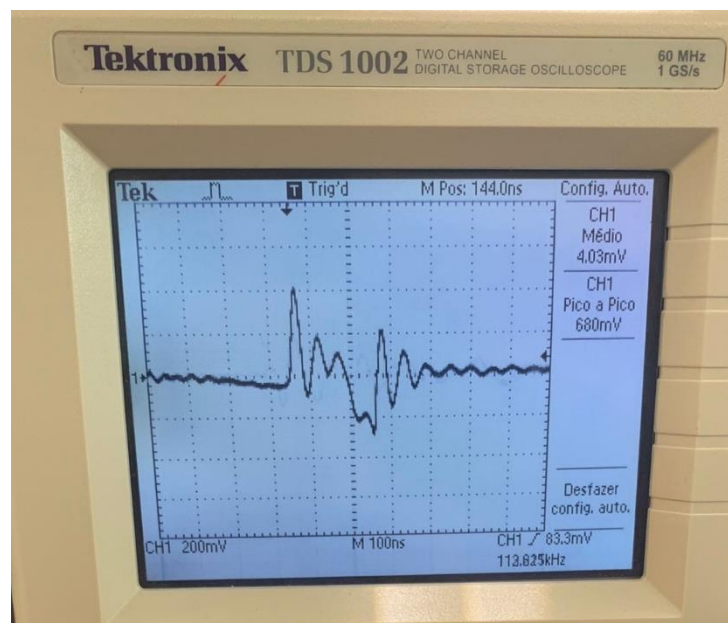
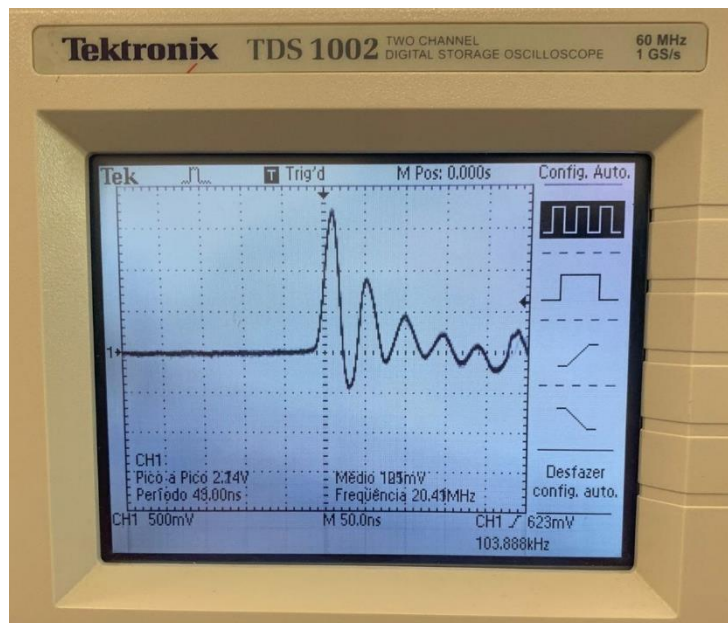
Tempo (s)	$U_{out}$ (V)
0	111,4
10	111,4
20	111,4
30	111,4
40	111,4
50	111,4
60	111,4

**Figura 14** – Verificação da estabilidade através do registo da tensão de saída durante 1 minuto, em intervalos de 10 segundos.

### 4 Filtros

Para diminuir o *kick* de corrente alternada que o indutor produz, introduziram-se dois condensadores (C4 e C5), e observou-se, no osciloscópio, a diminuição do *kick* de 1,5V para apenas 400mV.

Também se experimentou mudar o indutor para um de menor indutância, porém não foram produzidas diferenças significativas.



**Figura 15** – Alteração no *kick* do indutor: em cima, sem condensadores C4 e C5, pico máximo de 1,5V; em baixo, com condensadores C4 e C5, pico máximo de 400mV.

## VI Tabela de Material Utilizado

Dispositivo	Quantidade	Valor
MOSFET IRF520	1	N.A.
IC NE555	1	N.A.
IC LM2903	1	N.A.
Díodo MUR120	2	N.A.
Condensador Cerâmico	4	1uF, 10nF, 150pF, 470nF
Condensador Eletrolítico	1	100uF
Indutor	1	40uH
Resistência	10	220Ω, 220kΩ, 50kΩ, 4,4kΩ, 120kΩ, 9kΩ, 5kΩ, 8kΩ, 178kΩ, 6,8kΩ
Potenciômetro	1	Valor Máximo: 10kΩ
Breadboard	1	N.A.
Fios de Ligação	N.A.	N.A.
Dissipador Térmico para MOSFET	1	N.A.

## VII Conclusão

No âmbito da Unidade Curricular, foram aplicados e observados os conceitos teóricos: amplificação de tensão com MOSFET, *Timer* 555, *amp-op* como comparador de nível, circuitos com feedback (negativo).

Para dimensionamento de resistências e condensadores, foram utilizados tanto cálculos teóricos como otimizações experimentais para determinar os valores para os quais se encontrava o melhor balanço entre amplificação e estabilidade elevadas.

Os estágios foram validados individualmente de modo que a montagem final produzisse o resultado esperado.

O circuito foi cuidadosamente montado de modo que seja perceptível a divisão entre estágios e facilmente identificável alguma falha na montagem detetada experimentalmente.

Concluindo, foram atingidos os objetivos do trabalho, uma vez que foi obtida a amplificação de uma tensão de entrada DC, tendo o sinal de saída um valor de tensão estável.



## VIII Referências

[1] IRF520 *Datasheet* – STMicroelectronics: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22389/STMICROELECTRONICS/IRF520.html>

[2] NE555 *Datasheet* – NXP Semiconductors: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/17972/PHILIPS/NE555.html>

[3] LM2903 *Datasheet* - NXP Semiconductors: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/17874/PHILIPS/LM2903.html>