



# **ELECTRÓNICA GERAL**

**1º TRABALHO DE LABORATÓRIO**

## **FILTROS ACTIVOS E OSCILADORES**

**1º SEMESTRE 2020/2021**

**JOSÉ GERALD E PEDRO VITOR**

*JULHO 2020*

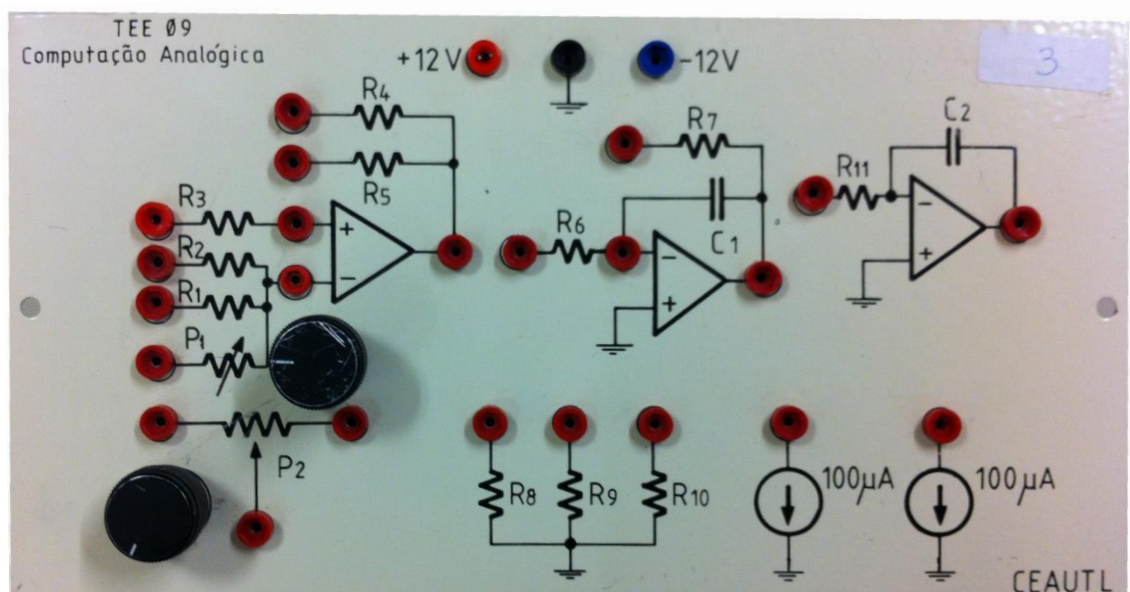
# Sessão 1 – Secções Biquadráticas com 3 Amplificadores Operacionais

## 1.1 Objectivos

Realização de filtros activos RC e sua aplicação ao estudo de secções biquadráticas de três Amplificadores Operacionais (AO).

## 1.2 Equipamento para Ensaio Laboratorial

- (i) Base de experimentação TEE
- (ii) Módulo experimental TEE-09
- (iii) Osciloscópio de duplo traço
- (iv) Gerador de funções com varrimento
- (v) Frequencímetro



$R_1 = 51k\Omega$	$R_7 = 1M\Omega$	$P_1 = 100k\Omega$ (LOG)
$R_2 = 100k\Omega$	$R_8 = 100k\Omega$	$P_2 = 10k\Omega$ (LIN)
$R_3 = 10k\Omega$	$R_9 = 51k\Omega$	$C_1 = 4.7nF$
$R_4 = 10k\Omega$	$R_{10} = 100k\Omega$	$C_2 = 4.7nF$
$R_5 = 100k\Omega$	$R_{11} = 10k\Omega$	Ampops = 741
$R_6 = 10k\Omega$		

### 1.3 Procedimento Experimental

A montagem dos circuitos para ensaio é feita no módulo experimental por meio dos cabos apropriados de ligações que são fornecidos com a base de experimentação. A alimentação dos circuitos em ensaio é feita directamente através da base de experimentação que fornece tensões DC de +12V, 0V e -12V. A entrada dos sinais para alimentação do circuito, bem como a saída de sinais para observação e medida, é feita através dos micro-alvéolos no painel frontal que, por sua vez, se encontram ordenadamente ligados ao painel posterior da base de experimentação.

### 1.4 Introdução

Este trabalho baseia-se na possibilidade de realizar Filtros Activos com base em circuitos elementares. Alguns destes circuitos mais vulgarmente utilizados estão representados na Figura 1.1. A partir destes circuitos elementares, é possível realizar circuitos electrónicos mais complexos que descrevem a função de transferência de um filtro.

Neste trabalho estudam-se dois exemplos de realização de secções biquadráticas com 3 AO's, nomeadamente a secção biquadrática de Kerwin, Huelsman e Newcomb (KHN) e a secção biquadrática de Tow-Thomas (TT).

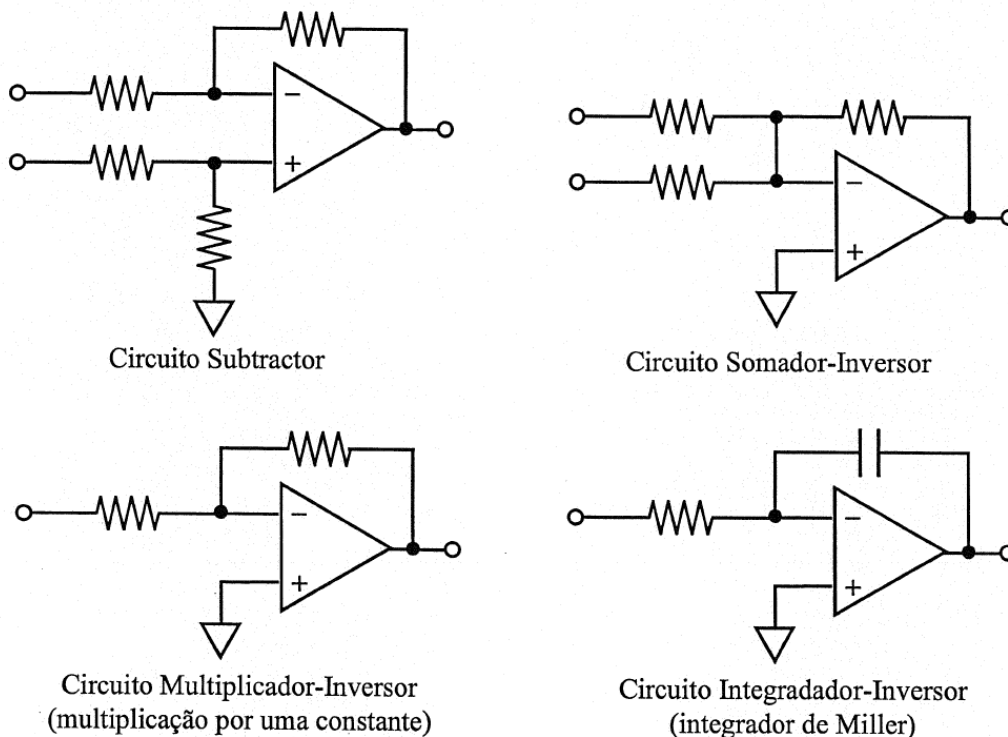


Figura 1.1: Circuitos electrónicos elementares a utilizar.

## 1.5 Secção Biquadrática de Kerwin, Huelsman e Newcom (KHN)

**1.5.0** Uma equação diferencial linear de 2º grau, de coeficientes constantes, pode ser convenientemente descrita por um Diagrama de Fluxo de Sinal (DFS) representado em função da variável complexa  $s=j\omega$ . Para o DFS da Figura 1.2, que permite obter a secção biquadrática de KHN, obtenha as seguintes funções de transferência:

$$T_1 = \frac{V_1}{V_i} \quad T_2 = \frac{V_2}{V_i} \quad T_3 = \frac{V_3}{V_i}$$

**1.5.1** Verifique que as funções de transferência obtidas anteriormente correspondem a três tipos diferentes de resposta em frequência. Diga, justificando, quais são, e como se relacionam, estes três tipos de resposta em frequência.

**Sugestão:** Verifique que as funções de transferência obtidas possuem a mesma função quadrática do denominador e que, por conseguinte, são caracterizadas por um par de pólos complexo-conjugados com a mesma frequência  $\omega_p$ , e factor de qualidade  $Q$ .

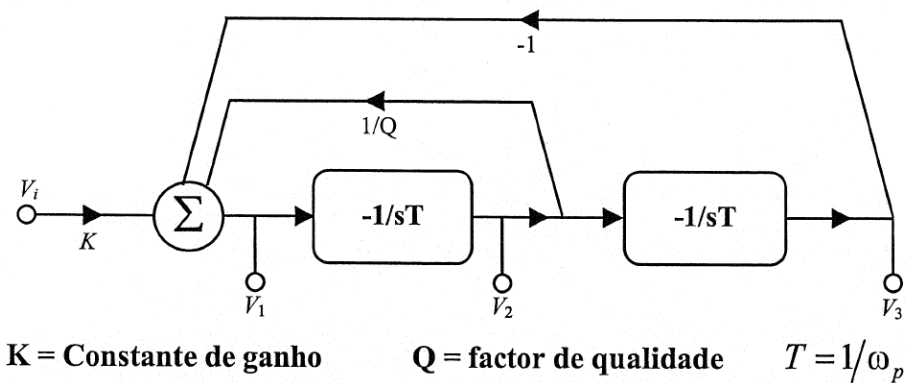


Figura 1.2: Diagrama de fluxo de sinal correspondente a secção biquadrática KHN.

**1.5.2** Considere o circuito da Figura 1.3. Depois de identificar os elementos de circuito que simulam as operações descritas pelo DFS da Figura 1.2, obtenha as expressões da constante de ganho K, da frequência  $\omega_0$  ( $f_0$ ) e do factor de qualidade Q em função dos componentes do circuito.

**Nota:** Repare que o circuito de entrada desta secção biquadrática é um circuito de diferença, o que corresponde a um operador subtração na entrada da DSF da Figura 1.2.

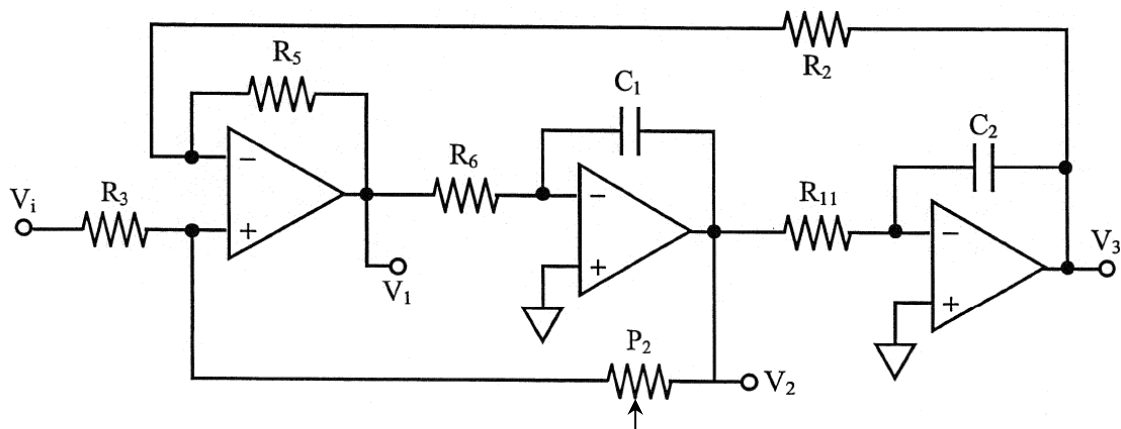


Figura 1.3: Secção biquadrática de Kerwin, Huelsman e Newcom (KHN).

**1.5.3** Faça as ligações necessárias no módulo experimental de modo a obter o circuito da Figura 3 (repare que o potenciômetro  $P_2$  é utilizado como uma resistência fixa de valor 10 k $\Omega$ ). Visualize no osciloscópio as características de resposta em frequência na saída dos três AO's, observando as formas de onda dos três sinais nas baixas (500 Hz), médias e altas (20 KHz) frequências e tire conclusões quanto ao tipo de filtragem realizada em cada uma das saídas.

1.5.4 Determine experimentalmente, ponto-a-ponto, os diagramas de Bode de amplitude correspondentes às respostas em frequência que se obtêm para cada uma das saídas da secção quadrática de KHN.

1.5.5 Compare os valores teóricos e experimentais da constante de ganho  $K$ , da frequência  $\omega_0$  e do factor de qualidade  $Q$ .

1.5.6 Modifique o circuito da Figura 1.3 por forma a poder utilizar o potenciómetro  $P_2$  como um divisor de tensão variável (Figura 1.4). Determine experimentalmente qual o efeito da variação deste divisor sobre as características de resposta em frequência da secção biquadrática de KHN.

**Nota:** Justifique as suas observações com base nos resultados obtidos em 1.5.2.

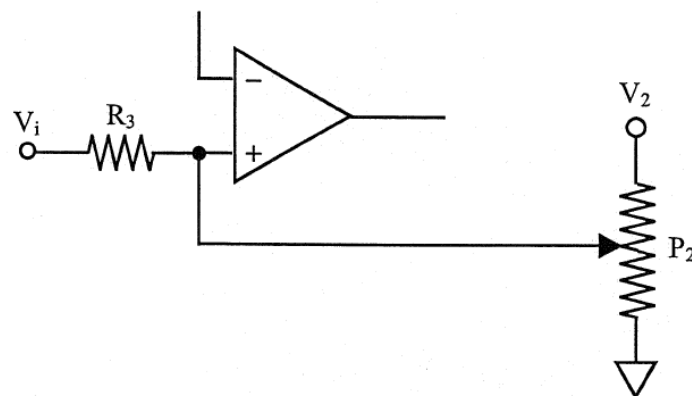


Figura 1.4: Utilização do potenciómetro  $P_2$  como um divisor de tensão variável.

## 1.6 Secção Biquadrática de Tow-Thomas

1.6.0 O circuito da Figura 1.5 representa a secção biquadrática de Tow-Thomas (TT) (neste circuito o potenciómetro  $P_2$  é utilizado como uma resistência variável – entre um dos terminais e o ponto médio).

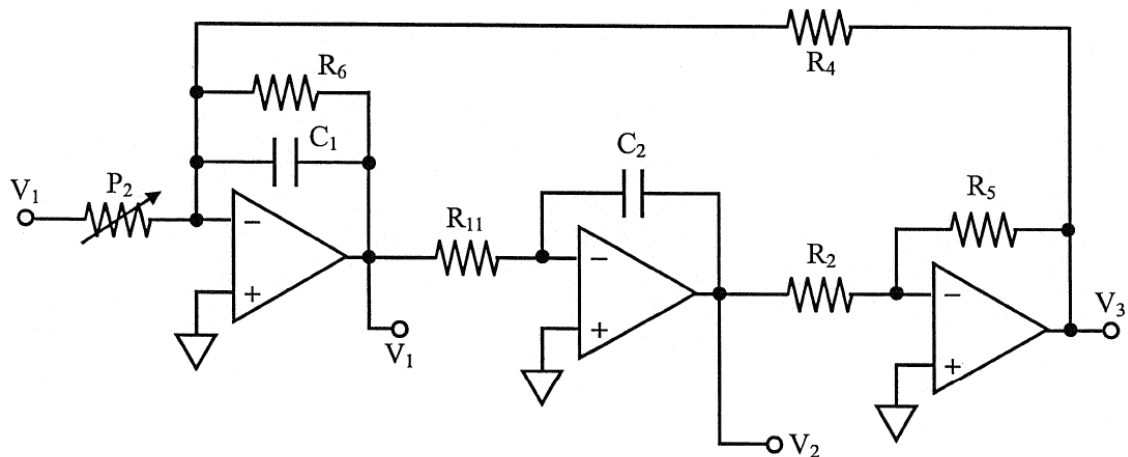


Figura 1.5: Secção biquadrática de Tow-Thomas (TT).

**1.6.1** Obtenha o DFS que descreve as operações realizadas no circuito da Figura 1.5. Determine as funções de transferência:

$$T_1 = \frac{V_1}{V_i} \quad T_2 = \frac{V_2}{V_i} \quad T_3 = \frac{V_3}{V_i}$$

e as expressões da constante de ganho K, da frequência  $\omega_0$  ( $f_0$ ) e do factor de qualidade Q em função dos componentes do circuito.

**1.6.2** Utilizando os valores nominais dos componentes indicados no ponto 1.2., represente os diagramas de Bode de amplitude correspondentes às respostas em frequência descritas por essas funções de transferência.

**1.6.3** Faça as ligações necessárias no módulo experimental por forma a obter a secção biquadrática de TT representada na Figura 1.5 e ajuste o potenciômetro P2 para o seu valor máximo (10 kΩ). Determine experimentalmente, ponto-a-ponto, os diagramas de Bode de amplitude correspondentes às respostas em frequência que se obtêm para cada uma das saídas da secção biquadrática de TT.

**1.6.4** Ajustando convenientemente o potenciômetro P2 para valores de resistência de 5 kΩ, 1 kΩ e 0,5 kΩ, verifique experimentalmente qual o efeito da variação desta resistência sobre as características de resposta em frequência da secção de TT.

**Nota:** Justifique as suas observações com base nos resultados obtidos em 1.6.1.

1.6.5 Compare os valores teóricos e experimentais da constante de ganho  $K$ , da frequência  $\omega_0$  e do factor de qualidade  $Q$ .

## 1.7 Relatório

A componente de relatório desta Sessão 1 deve obrigatoriamente respeitar a seguinte sequência de capítulos/secções:

- Secção biquadrática KHN
  - Análise teórica
  - Trabalho experimental
  - Comparação de resultados
- Secção biquadrática Tow-Tomas
  - Análise teórica
  - Trabalho experimental
  - Comparação de resultados
- Conclusões



# Sessão 2 – Oscilador de Onda Rectangular e Secção Biquadrática de Rauch

## 2.1 Objectivos

Realização de um oscilador de onda rectangular e de uma secção biquadrática passa-banda de Rauch.

## 2.2 Equipamento para Ensaio Laboratorial

- (i) Base de experimentação (TEE ou equivalente)
- (ii) Placa de Bread-Board
- (iii) Osciloscópio de duplo traço
- (iv) Gerador de funções com varrimento
- (v) Frequencímetro
- (vi) Lista de componentes:

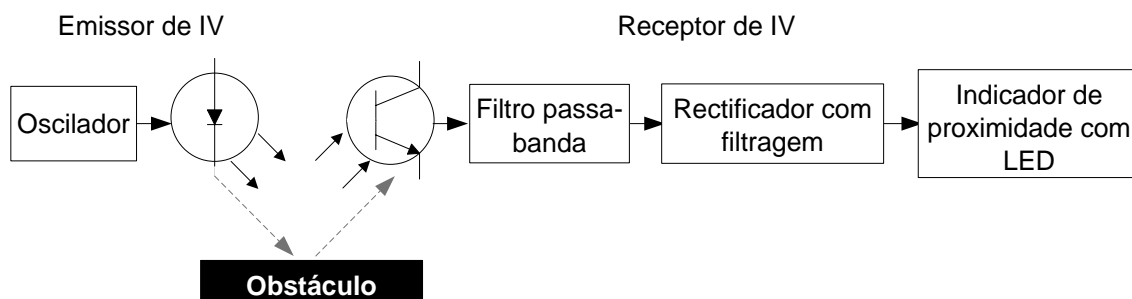
R <sub>1</sub>	820 $\Omega$
R <sub>2</sub>	3,9 k $\Omega$
R <sub>3</sub>	150 $\Omega$
R <sub>4</sub> = R <sub>5</sub>	1,5 k $\Omega$
R <sub>6</sub>	47 k $\Omega$
R <sub>8</sub> = R <sub>9</sub>	1,2 k $\Omega$
P <sub>1</sub>	100 k $\Omega$
C <sub>1</sub>	180 nF
C <sub>2</sub>	100 $\mu$ F
C <sub>3</sub> = C <sub>4</sub>	27 nF
C <sub>5</sub>	10 $\mu$ F
2x AmpOp	$\mu$ A741 ( $\mu$ A748)
Temporizador	NE555
Díodo (IV)	SIR333

## 2.3 Procedimento Experimental

A montagem dos circuitos para ensaio é feita na placa de bread board que está colocada sobre a base de experimentação. A alimentação dos circuitos em ensaio é feita directamente através da base de experimentação que fornece tensões DC de +12V e 0V. A entrada dos sinais para alimentação do circuito, bem como a saída de sinais para observação e medida, é feita através dos micro-alvéolos no painel frontal da base de experimentação.

## 2.4 Introdução

O circuito a montar neste trabalho de laboratório realiza parte de um detector de proximidade, utilizando um emissor de infravermelhos (IV). O sinal emitido por um díodo de IV é reflectido num obstáculo. A amplitude do sinal reflectido permite estimar a distância entre o emissor e o obstáculo. O circuito baseia-se num princípio semelhante ao do circuito [Park-Ald](#), que tem como objectivo auxiliar o estacionamento de veículos automóveis.



*Figura 2.1 – Diagrama de blocos do circuito.*

No emissor, como se ilustra na Figura 2.1, existe um oscilador que permite modular o sinal de infravermelhos. O sinal reflectido, cuja amplitude depende da distância ao obstáculo, é detectado por um foto-transístor, sendo em seguida filtrado e rectificado. O valor da tensão na saída do rectificador permite, por comparação com valores de que correspondem a distâncias pré-estabelecidas, identificar diferentes distâncias. A indicação do grau de proximidade do obstáculo é realizada com a ajuda de vários LEDs. Neste trabalho, realiza-se apenas a parte do oscilador e do filtro passa-banda.

## 2.5 Oscilador

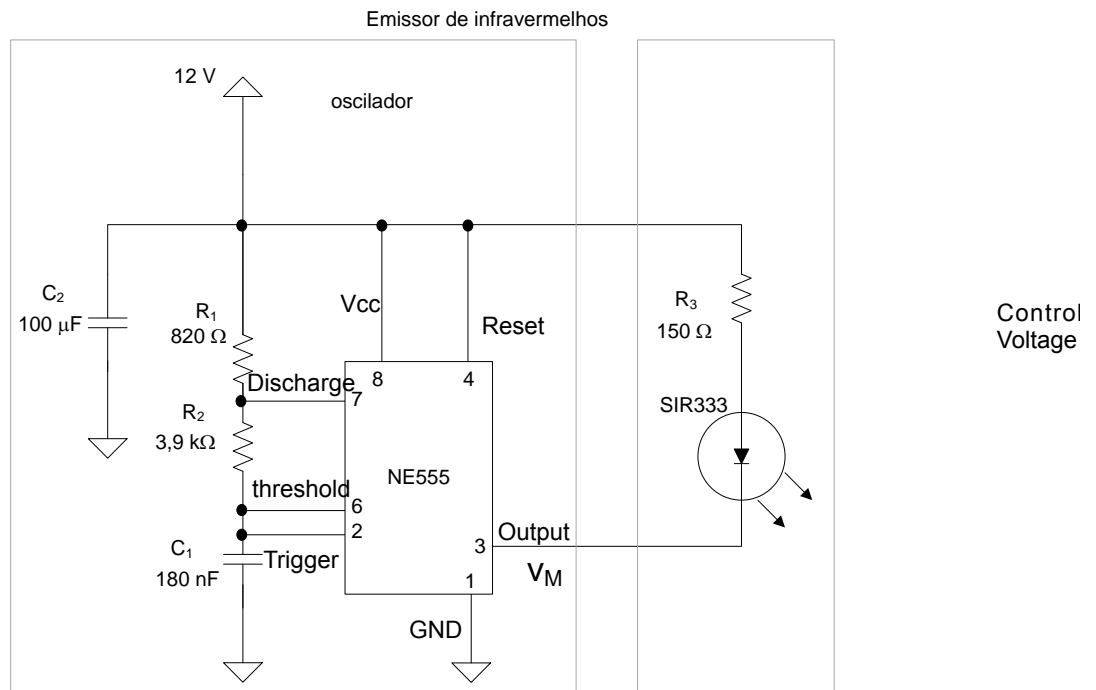


Figura 2.2 – Emissor de IV.

2.5.1 A Figura 2.2 representa um oscilador de onda rectangular realizado com um temporizador NE555. A figura inclui também o circuito de polarização do díodo. Esboce a forma de onda de um período da tensão na saída  $v_M$  do oscilador e da tensão aos terminais condensador  $C_1$ . Determine a frequência de oscilação e o factor de ciclo (*duty-cycle*).

2.5.2 Com base no valor teórico de  $V_M$  estime o valor máximo da corrente no díodo. Indique, justificando, se poderá reduzir significativamente o valor de  $R_3$ .

2.5.3 Monte o circuito da Figura 2.2 na *bread-board*. Ligue a alimentação do oscilador.

2.5.4 Observe e desenhe as formas de onda na saída do circuito integrado NE555 (pino 3). Determine a frequência de oscilação e o factor de ciclo. Compare com os valores obtidos na preparação teórica (2.5.1).

2.5.5 Observe e desenhe as formas de onda aos terminais do condensador  $C_1$  (pino 2). Indique o valor da frequência de oscilação. Comente os resultados.

2.5.6 Com base na tensão de saída do circuito integrado NE555, estime o valor máximo da corrente no díodo e compare com o valor teórico.

## 2.6 Filtro Passa-Banda de Rauch

2.6.1 Determine a função de transferência de um filtro passa-banda de Butterworth de 2ª ordem, com frequência central  $f_0 = 1$  kHz, largura de banda de 250 Hz e com ganho 24 dB na frequência central.

2.6.2 Monte os blocos do filtro passa-banda (Figura 2.3). Tente manter, na *bread board*, os componentes dos circuitos em posição semelhante à dos respectivos diagramas esquemáticos. O condensador  $C_5$  deve ser montado directamente entre os terminais 4 e 7 do amplificador operacional ( $\mu A741$ ).

2.6.3 Considere apenas o filtro passa-banda (Figura 2.3). Aplique na entrada do filtro ( $V_{in}$ ) um sinal sinusoidal de pequena amplitude e sempre positivo, de modo a não provocar a saturação do AMPOP. Varie a frequência do sinal e, com base na análise da fase, determine a frequência central do filtro. Determine o ganho à frequência central e a largura de banda do filtro. Compare com os valores obtidos na preparação teórica.

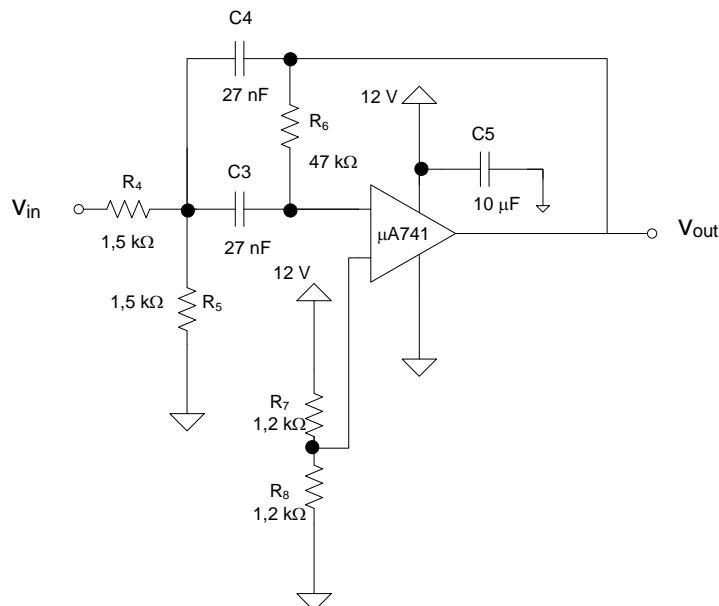
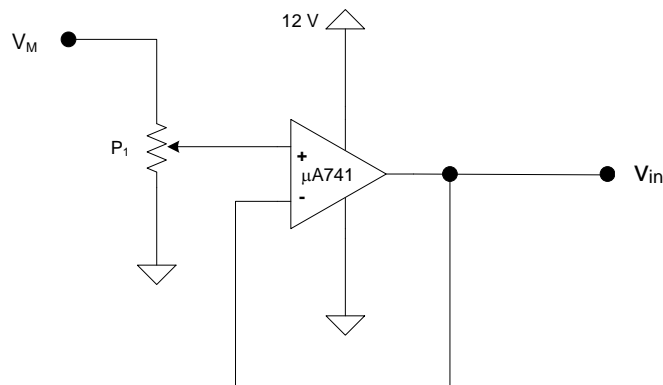


Figura 2.3 – Secção biquadrática de Rauch.

2.6.4 Monte o circuito atenuador representado na Figura 2.4



*Figura 2.4 – Circuito atenuador.*

**2.6.5** Ligue a saída do oscilador ( $V_M$ ) à entrada do circuito atenuador e a saída deste ao filtro passa-banda. Use a afinação do potenciômetro para garantir a não saturação do AMPOP. Compare as formas de onda de saída do oscilador e do filtro.

**2.6.6** Sugira uma alteração ao filtro utilizado por forma a obter um melhor sinal à saída deste, sem aumentar o factor de qualidade do filtro nem o número de componentes.

## 2.7 Relatório

A componente de relatório desta Sessão 2 deve obrigatoriamente respeitar a seguinte sequência de capítulos/secções:

- Oscilador de onda rectangular
  - Análise teórica
  - Trabalho experimental
  - Comparação de resultados
- Secção biquadrática de Rauch
  - Análise teórica
  - Trabalho experimental
  - Comparação de resultados
- Conclusões