

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica

RELATÓRIO DO EXPERIMENTO 6
Prof. Jaidilson jo da Silva

Data:01/10/2024

Aluno: Rogério Moreira Almeida

INTRODUÇÃO

O sistema foi identificado como um retificador de meia onda inversor seguido de um filtro passa-baixa ativo como mostrado na Figura 1.

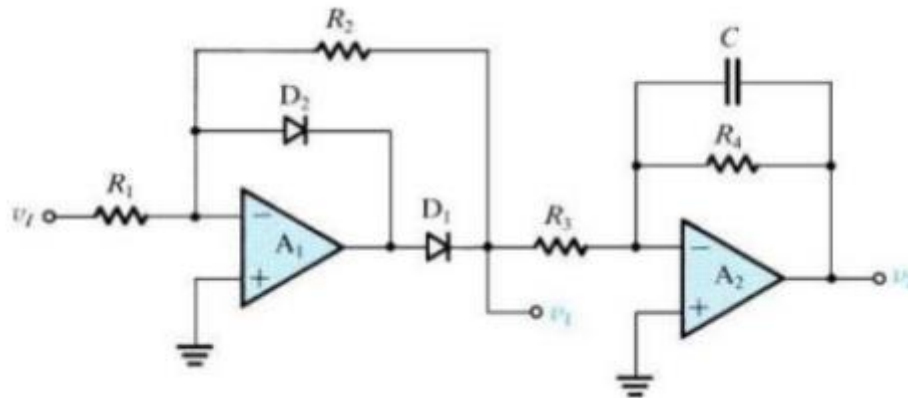


Figura 1: circuito retificador de precisão.

Para uma entrada senoidal tendo uma amplitude de pico a saída do V_p a saída V_L do retificador será uma onda senoidal retificada em meio ciclo tendo uma amplitude de $v_p \cdot R_2/R_1$. Pode-se mostrar, usando uma análise de Fourier, que a onda V_L tem um valor médio de $(V_p/\pi)(R_2/R_1)$, contendo também harmônicos da frequência ω do sinal de entrada. Para reduzir as amplitudes destes harmônicos para níveis desprezáveis a frequência de corte do filtro passa-baixa deve ser escolhida muito mais baixa do que ω_{min} da onda de entrada.

Retificador de meia onda inversor

O retificador de meia onda inversor é apresentado na Figura 2. Para um sinal na entrada negativo V_I o diodo D_1 está diretamente polarizado, fechando a malha de realimentação negativa através do resistor. A queda de tensão sobre o diodo, o que inclui todas as suas não linearidades, é compensada na saída do amplificador operacional. Para tensões de entrada de valores positivos o diodo D_2 conduz de forma a transformar o amplificador operacional em um buffer. Neste caso como o outro diodo está cortado, a saída do circuito é nula.

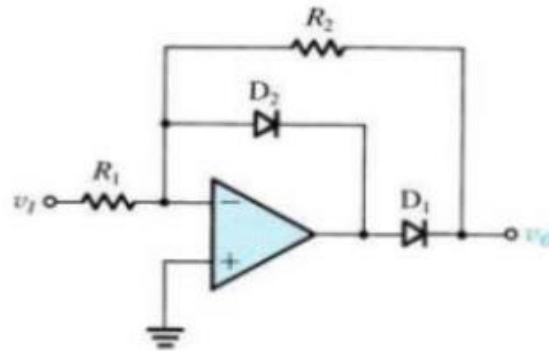


Figura 2: circuito retificador de meia onda inversor.

Filtro passa-baixa ativo de primeira ordem

O filtro passa-baixa permite a passagem de baixas frequências sem dificuldades e atenua a amplitude das frequências maiores que a frequência de corte. O filtro é denominado de primeira ordem pois temos apenas um polo no semiplano esquerdo.

No filtro passa-baixa proposto na Figura 3, a função de transferência é dada por:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{\frac{R_2}{R_1}}{1 + sR_2C}$$

E a frequência de corte é dado por:

$$\omega_c = \frac{1}{R_2C}$$

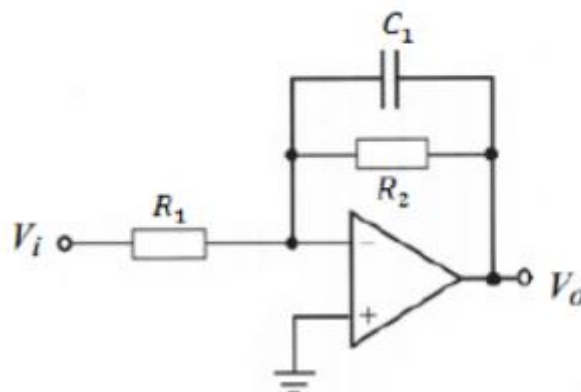


Figura 3: filtro passa-baixa ativo de primeira ordem.

2. APLICAÇÕES

O sistema mede a componente DC das excursões negativas do sinal de entrada. No entanto pode ser calibrado para medir o valor rms (valor eficaz) das senóides de entrada, pois o valor rms é diretamente proporcional a V_p .

Material Utilizado

- Gerador de Funções Agilent 33220A;
- Osciloscópio Agilent DS05014A;
- Circuito de um retificador de meia onda inversor seguido de um filtro passa-baixa ativo;
- Computador com controle via web das interfaces do gerador de funções e osciloscópio.

Descrição Experimental

O experimentos e caracterizou pelo estudo de um determinado sistema (após a análise realizada verificou-se que se tratava de um retificador de meia onda inversor seguido de um filtro passa-baixas ativo)através do acesso remoto ao gerador de funções e ao osciloscópio ambos do mesmo fabricante Agilent Technologies(Figura 4), foi possível verificar que o controle e monitoramento deste sistema remotamente é realizável.



Figura 4: gerador de função Agilent 33220 A e Osciloscópio Agilent DSO5014 A.

Tanto o gerador de funções quanto o osciloscópio possuem uma interface que podem ser acessadas via Web. Feito esse acesso, foi realizado corretamente as configurações do gerador de funções e do osciloscópio, conforme solicitado no guia.

Atuando sobre a interface do gerador de funções (Figura 5) foi configurado um sinal senoidal com amplitude de 5 Vp com frequência de 60 Hz. Logo após, observamos as formas de onda presentes nos canais 1, 2 e 3 na interface do osciloscópio. O mesmo procedimento foi repetido para as frequências de 120 Hz, 240 Hz, 480 Hz e 1 kHz. Após cada alteração foi tirado print da tela.

Em seguida, o sinal foi modificado para uma onda quadrada de 60 Hz com amplitude de 5Vp e duty cycle de 50%, então foi tirado print da tela do osciloscópio. Este mesmo procedimento foi repetido alterando o duty cycle para 25% e posteriormente para 75%.

O objetivo desta caracterização em frequência é efetuar a identificação do sistema e de sua funcionalidade, de forma a demonstrar que o estudo feito remotamente conduz a uma análise eficiente tanto quanto efetuar o experimento na bancada do laboratório.



Figura 5: interface Web do gerador de funções.

3. QUESTÕES PROPOSTAS

1) Compare os sinais de entrada e saída. O que este sistema implementa? A Figura 6 mostra a interface do osciloscópio ao final das configurações. Nela é possível visualizar o formato do sinal para o canal 1, 2 e 3 do osciloscópio.

Comparando o sinal de saída do canal 2 com o sinal de entrada (canal 1), é possível verificar que o sinal passou por um sistema retificador de precisão de meia onda, pois o circuito retifica o semiciclo positivo e inverte a polaridade do sinal como pode ser visto na Figura 6.

O sinal de saída do canal 3 é o valor médio do sinal do canal 2 com uma

pequena oscilação (Figura 6). Se decompormos o sinal do canal 2 em uma série de Fourier, é possível observar que o sistema deixa passar apenas a componente DC do sinal (valor médio). Portanto, o sistema implementa um filtro passa-baixas ativo com uma frequência de corte muito menor que 60 Hz.

A série de Fourier para o retificador de meia onda com uma fonte senoidal (sinal do canal 2) é dada por:

$$V_0(t) = \frac{V_p}{\pi} + \frac{V_p}{2} \sin(\omega t) - \frac{V_p}{\pi} \left(\frac{\cos(2\omega t)}{3} + \frac{\cos(4\omega t)}{15} + \dots \right)$$

como $V_p = 5V$, temos:

$$V_0(t) = 1,5915 + 2,5 \sin(\omega t) - 1,5915 \left(\frac{\cos(2\omega t)}{3} + \frac{\cos(4\omega t)}{15} + \dots \right)$$

Portanto, a tensão DC do canal 3 é, teoricamente, 1,5915 V.

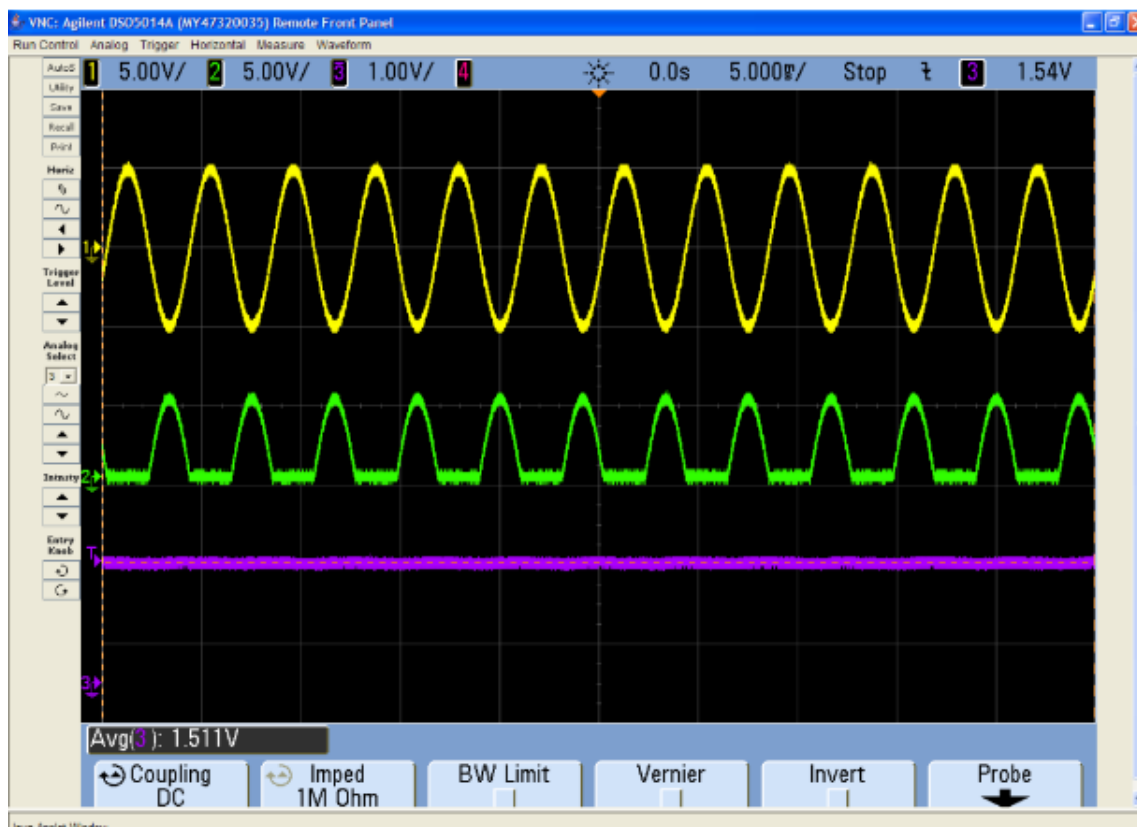


Figura 6: formato de onda para um sinal de entrada com frequência de 120 Hz.

2) Meça o valor da tensão DC no canal 3. Para isso, selecione o campo “QuickMeas” presente no menu “Measure”. Em seguida, selecione o canal 3 em “Source” e clique no botão “MeasureAvg”.

O valor medido da tensão DC no canal 3 foi 1,510 V.

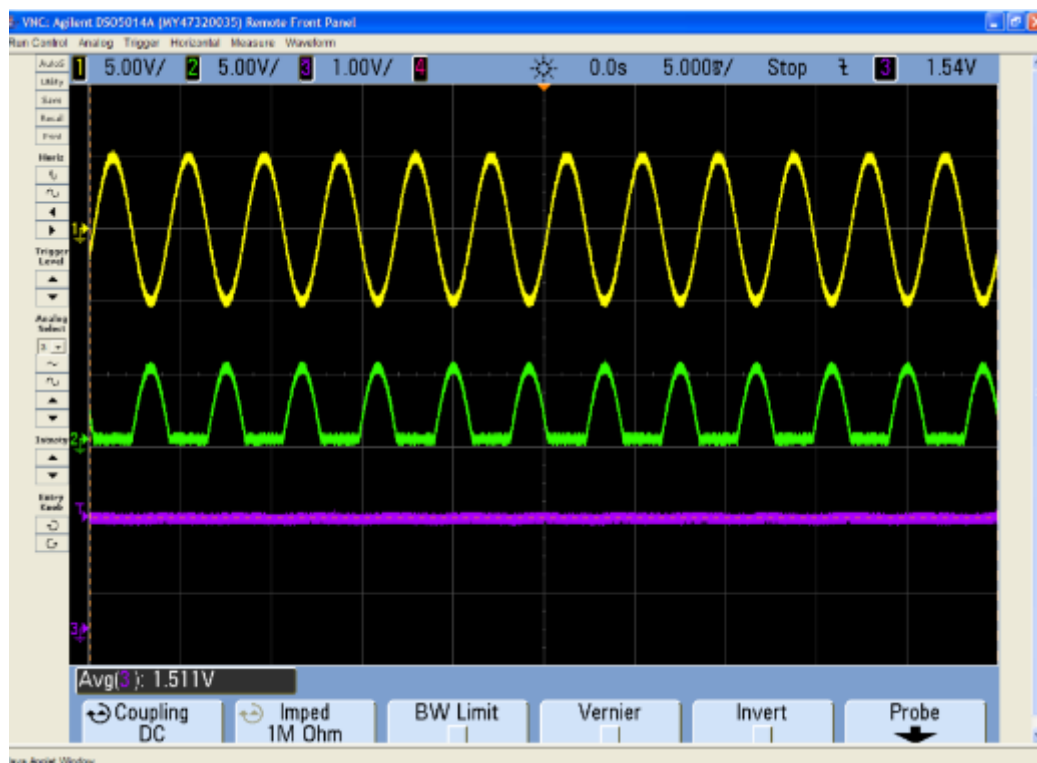
3) Calcule o valor médio do sinal do canal 2 e compare com o valor da tensão DC medida no canal 3. O que foi verificado?

O valor médio do sinal do canal 2 é dado por:

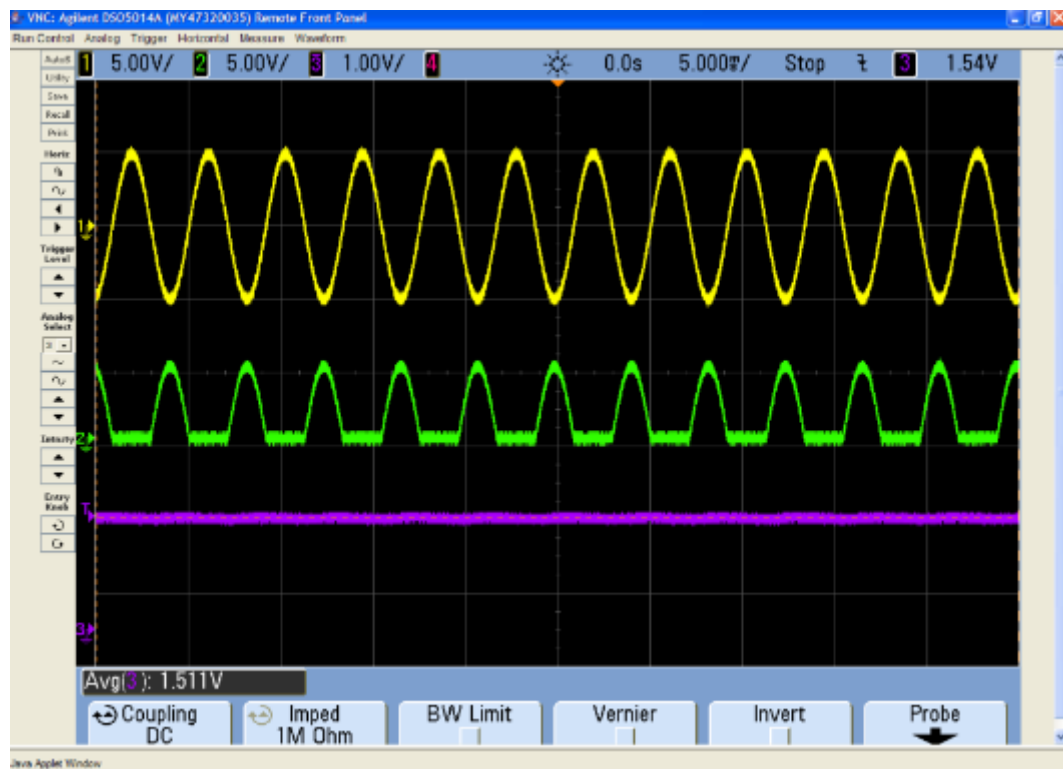
$$V_{\text{médio}} = \frac{V_p}{\pi} = \frac{5}{\pi} = 1,5915$$

Como previsto, o valor da tensão medida no canal 3 (1,510 V) é aproximadamente igual ao valor médio do canal 2 (1,5915 V), o que comprova que o circuito realiza o cálculo da tensão média do sinal aplicado a sua entrada.

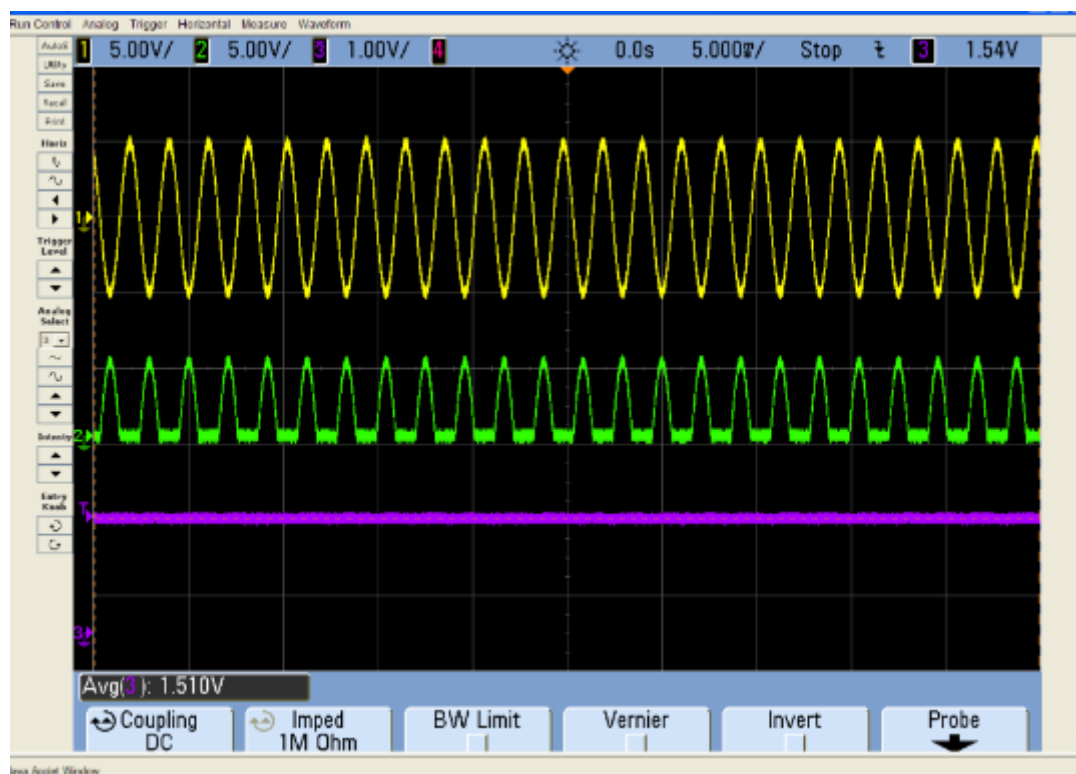
4) Varie a frequência do sinal de entrada, presente no canal 1, para valores maiores que 60 Hz. A tensão medida no canal 3 possui dependência com a frequência? (Dica: Ajuste a frequência do gerador de funções para 120 Hz, 240 Hz, 480 Hz e 1 kHz, e faça um print da tela do osciloscópio para cada um desses valores).



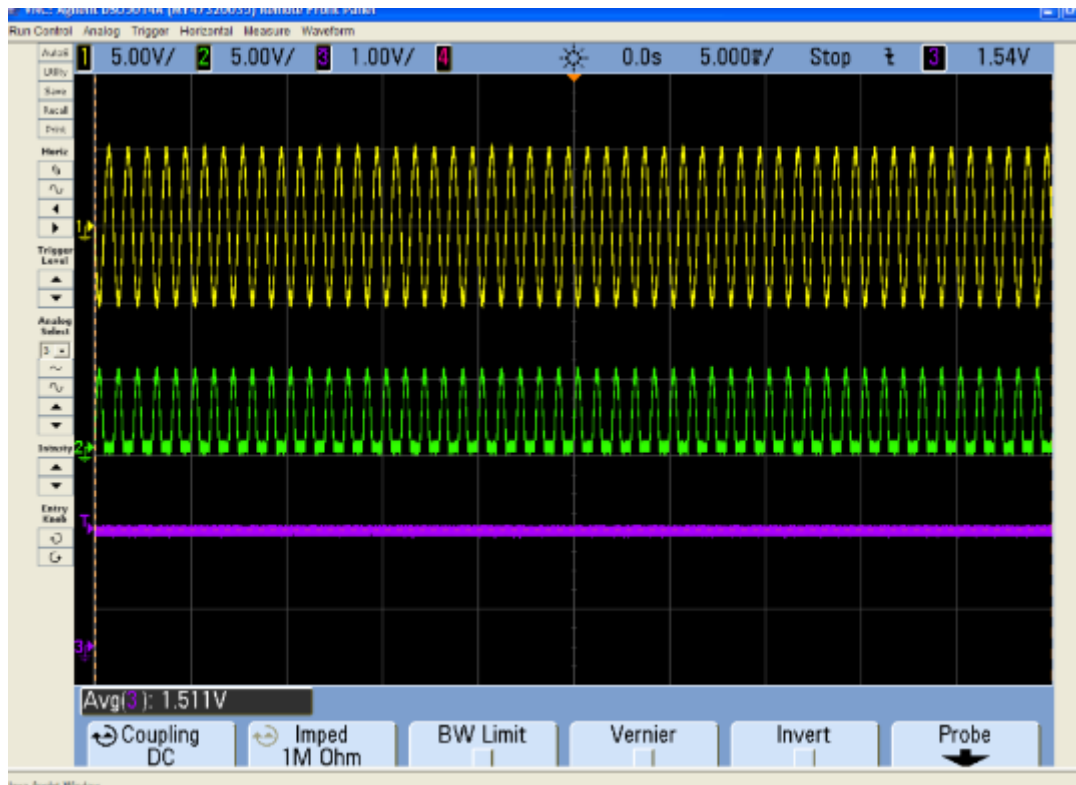
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7: formato de onda das frequências a) 120Hz b) 240 Hz c) 480 Hz d) 1 KHz

Conforme pode ser visto, a tensão medida no canal 3 não tem nenhuma dependência com a frequência, isso se deve ao fato que no canal 3 é dada a média do sinal de entrada como foi comentado anteriormente.

5) Aplique uma onda quadrada na saída do gerador de funções, com frequência igual a 60 Hz e ciclo de trabalho padrão igual a 50 %, e meça o valor da tensão DC no canal 3. Em seguida, clique em "Duty Cycle" no gerador de funções e ajuste o ciclo de trabalho da onda quadrada para 25 % e 75 %. Repita o procedimento de medição do sinal para estes ciclos e explique o que foi verificado (Dica: Faça um print da tela do osciloscópio para cada ciclo de trabalho definido).

A Figura 8 mostra as formas de onda para uma onda quadrada de 60 Hz com ciclo de trabalho de 50 %.

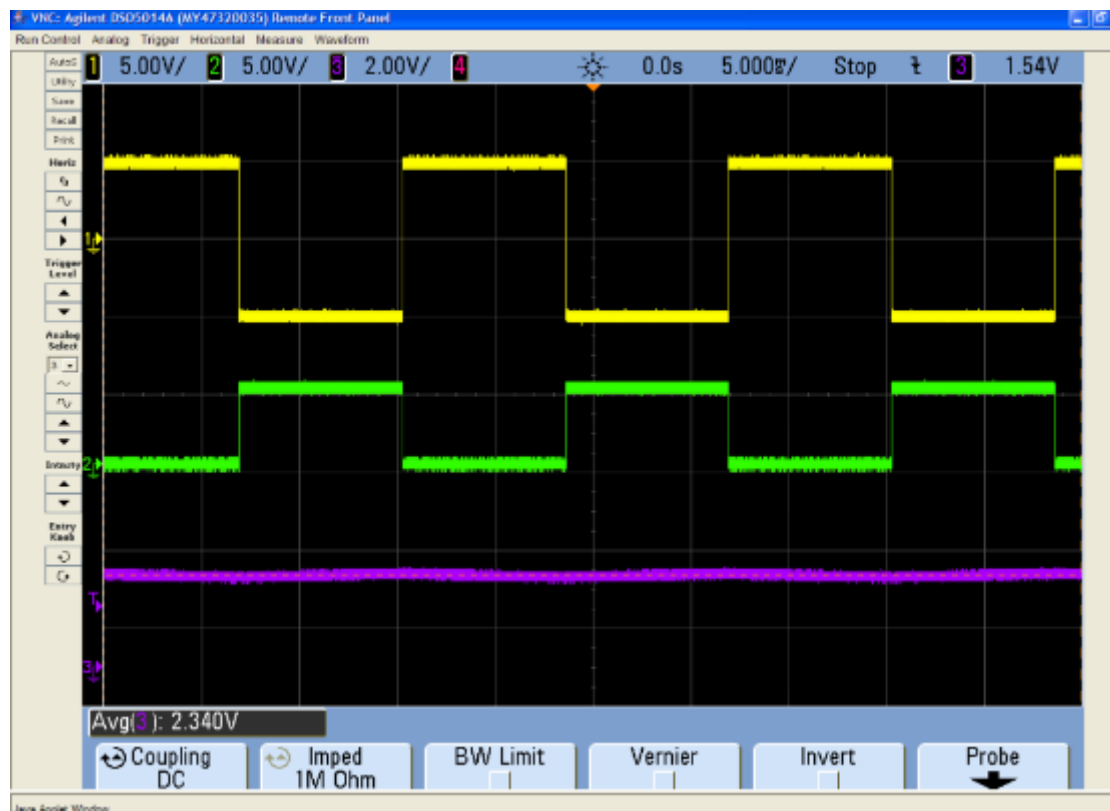
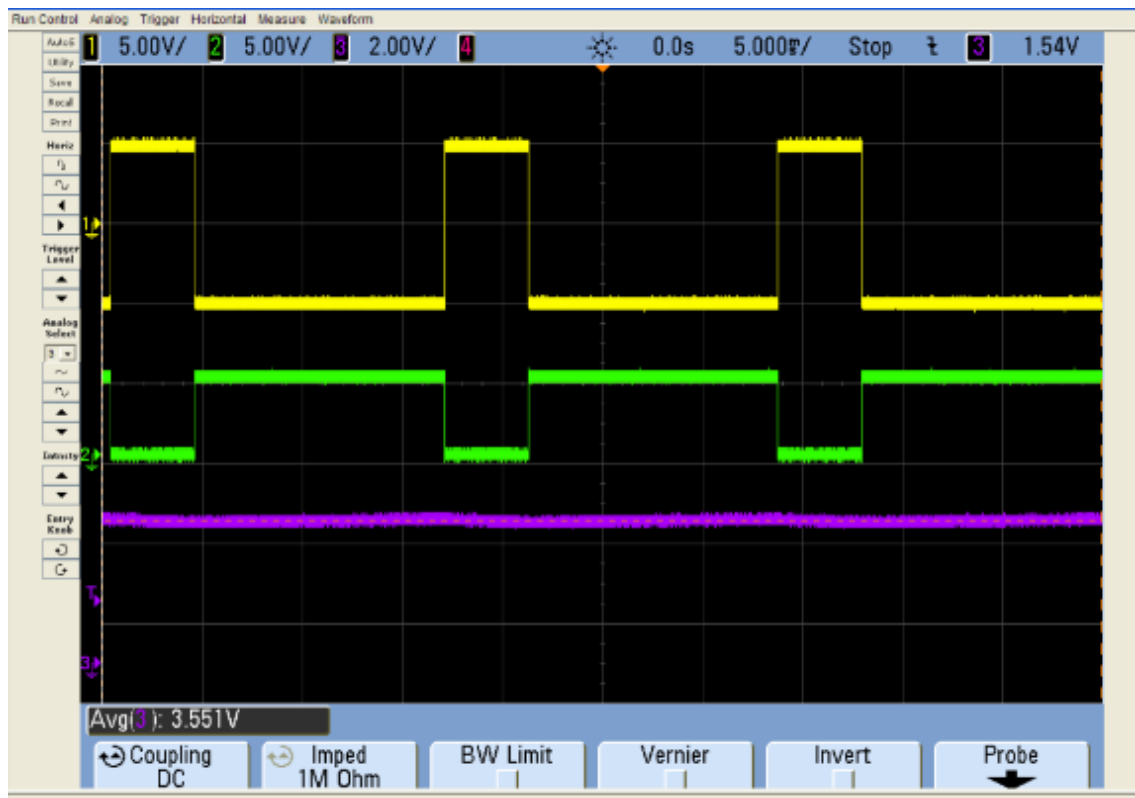
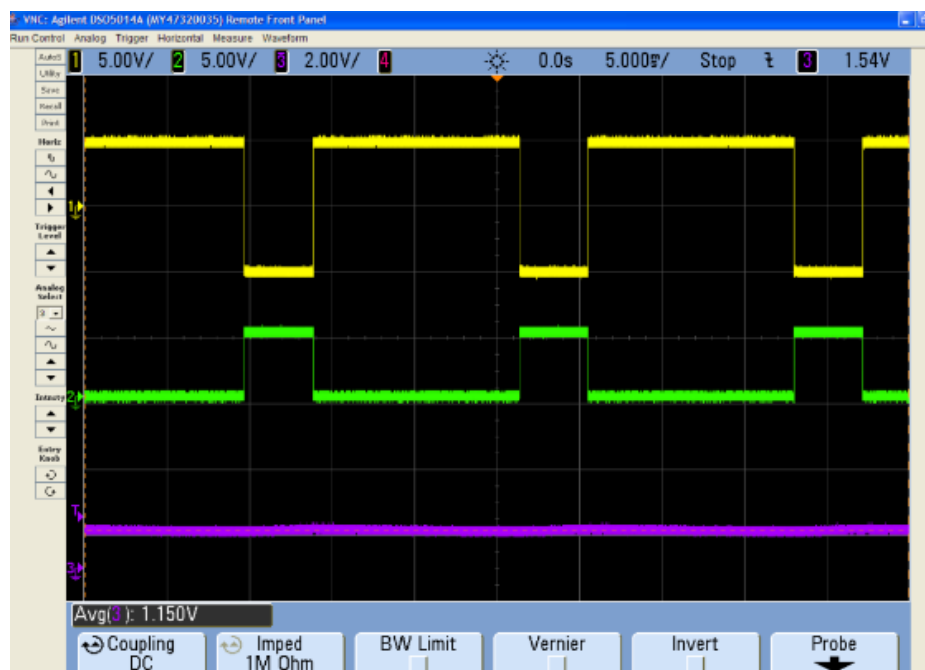


Figura 8: formato de onda para uma onda quadrada de 60 Hz com ciclo de trabalho igual a 50%.

O valor da tensão DC no canal 3 é 2,340 V. A Figura 9 mostra as formas de onda para um duty cycle de 25 % e de 75 %. Os níveis DC no canal 3 foram 3,551 V e 1,150 V para o duty cycle de 25 % e de 75 %, respectivamente.



(a)



(b)

Figura 9: formas de onda para uma onda quadrada de 60 Hz com ciclo de trabalho igual a) 25% e b) 75%.

O valor médio da tensão de uma onda quadrada é dado por:

$$V_0 = V_p \times (\text{duty cycle})$$

Como $V_p = 5 \text{ V}$, temos que para um duty cycle de 25 %:

$$V_0 = 3,75 \text{ V}$$

Para um duty cycle de 50 %:

$$V_0 = 2,5 \text{ V}$$

E para um duty cycle de 75 %:

$$V_0 = 1,5 \text{ V}$$

Com isso, verifica-se que o valor médio da tensão da onda quadrada do canal 2 é apresentado no canal 3 com uma boa aproximação do valor real.

1. Utilizando circuitos elétricos, explique como é possível obter, a partir do sinal do canal 2, o sinal do canal 3.

O sinal do canal 3 é obtido passando o sinal do canal 2 por um filtro passa baixas. Um filtro passa baixas ativo de 1ª ordem é mostrado na Figura 10. Esse filtro deixa passar frequências abaixo da sua frequência de corte. Assim, utilizando um filtro passa baixas com uma frequência de corte inferior à 60 Hz pode-se atenuar as componentes de frequência do sinal deixando praticamente o nível DC (valor médio) do mesmo.

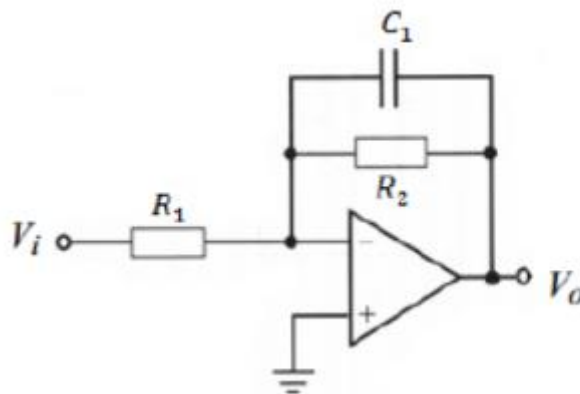


Figura 10. filtro passa baixas ativo de primeira ordem.

A função de transferência do filtro da Figura 10 é:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{\frac{R_2}{R_1}}{1 + sR_2C_1}$$

Seja

$$R_1 = R_2 = 159k\Omega \text{ e } C_1 = 1 \mu F$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{\frac{R_2}{R_1}}{1 + s0,15}$$

O diagrama de Bode para o filtro pode ser visualizado na Figura 11.

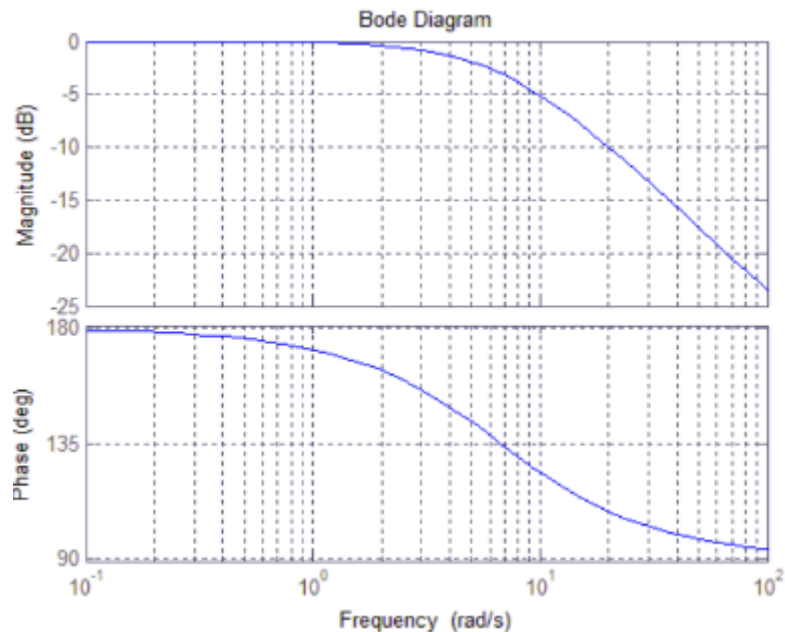


Figura 11. Diagrama de Bode para o filtro passa baixas proposto.

Conforme descrito anteriormente, um sinal pode ser decomposto em Série de Fourier. Para a aplicação do sinal senoidal de 60 Hz com amplitude de 5 V, após a passagem pelo retificador de meia onda, temos a seguinte série:

$$V_0(t) = 1,5915 + 2,5 \sin(378t) - 1,5915 \left(\frac{\cos(754t)}{3} + \frac{\cos(1507t)}{15} + \dots \right)$$

Observando a resposta em frequência, figura 12, verifica-se que a atenuação

sofrida pela primeira componente de frequência, 378 rad/s, é de aproximadamente -34dB. Assim a amplitude máxima dessa componente será:

$$V_{0(378)}(t) = 50 \times \sin(378t) \text{ mV}$$

O que resulta em uma tensão de pico a pico de 100 mV, o que é bastante próximo da variação de tensão do canal 3 de 103 mV.

Ao analisarmos a onda quadrada de 60 Hz com duty cycle de 50%, decompondo a onda na saída do canal 2 em Série de Fourier tem-se:

$$V_0(t) = \frac{V_p}{2} + \frac{2V_p}{2} \left(\sin(\omega t) + \frac{\sin(3\omega t)}{3} + \frac{\sin(5\omega t)}{5} + \dots \right)$$

$$V_0(t) = 2,5 + 3,18 \sin(378t) + \dots$$

A primeira componente senoidal sofrerá uma atenuação de aproximadamente -34 dB resultando em uma tensão de pico a pico de 127 mV, muito próximo da oscilação de 97 mV medido no osciloscópio.

É possível observar também que para frequências altas, muito acima da frequência de corte, o circuito comporta-se como integrador pois a função de transferência torna-se:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{1}{sR_1C_1}$$

Que é um integrador no domínio de Laplace.

4. CONCLUSÕES

Através desse experimento foi possível realizar o controle do gerador de funções e do osciloscópio presentes no laboratório a partir de um acesso remoto.

Além disso, foi possível verificar qual o sistema abordado no experimento através dos dados anotados.

Após a verificação das formas de onda no osciloscópio foi possível deduzir o sistema como um retificador de meia onda inversor com um filtro passa baixas de primeira ordem ativo. Em seguida foi estudado as características de um retificador de meia onda inversor, assim como, a utilização de um filtro passa baixas para medir o valor médio de uma onda através da decomposição do sinal em série de Fourier.