



Projeto Final

Laboratório de Circuitos Elétricos

Autoria	Matrícula
Pedro Henrique Dornelas Almeida	18/0108140
Lucas Rabelo Andrade	18/0105442

Engenharia de Redes de Comunicação
Universidade de Brasília
Brasília - DF

13 de maio de 2021

1 Resumo

Este relatório tem como objetivo a implementação de amplificadores operacionais com a função de somadores ou integradores. Para isso será utilizado o software Tina TI, que proporciona a utilização dos mais diversos recursos dos circuitos elétricos, como fontes de tensão, resistências e amplificadores operacionais. Serão observados todos os passos realizados para a correta implementação dos circuitos, além de observar os resultados gerados por este, que serão comparados com os resultados descritos pela teoria.

2 Introdução

Existem diversos tipos e aplicações para amplificadores operacionais, mas no caso deste projeto, serão utilizados dois tipos em específico: o amplificador operacional somador e o amplificador operacional integrador.

O amplificador operacional somador tem como função básica fazer a soma de dois sinais inseridos no seu circuito, combinando suas tensões em uma só tensão, enquanto que o amplificador operacional integrador, identifica a curva gerada pelo sinal de entrada e com isso retorna uma tensão equivalente à área sob essa curva, como por exemplo, caso seja inserido no circuito um senoide, o integrador retornaria uma tensão equivalente a uma cossenoide, realizando a operação de integração.

Circuitos somadores e amplificadores têm diversas aplicações, como em um medidor de velocidade de rotação de um objeto (tacômetro), velocímetro e conversores de frequência/tensão, conversores digitais, entre muitas outras possibilidades. Para este projeto, será desenvolvido o último exemplo citado, um conversor digital-analógico, que tem como função básica transformar um sinal digital, ou seja, discreto, em um sinal equivalente que seja contínuo. Isso é útil em diversos cenários, como na reprodução de um arquivo de áudio que seja digital, e precise ser convertido em um sinal sonoro que é contínuo, ou seja, analógico, dentre diversas outras aplicações que utilizam esse tipo de circuito.

3 Fundamentação teórica

Primeiro, será feita uma consideração geral sobre amplificadores operacionais. Estes são comumente utilizados em várias aplicações e estudando-os é possível obter diversos circuitos para suas aplicações, indo desde somadores, integradores, diferenciadores até subtratores.

Continuando, os amplificadores operacionais foram construídos para que não houvesse corrente passando por suas entradas. Também foi feito para funcionar com as

tensões de referência presentes fossem V_{cc} e $-V_{cc}$.

Para o projeto que será apresentado neste relatório serão usados amplificadores operacionais e circuitos em que será possível fazer o papel de integradores e somadores para serem usados na conversão digital-analógica.

3.1 Somadores

Para ser possível obter um circuito do tipo somador, é necessário utilizar um amplificador operacional do tipo inversor, e ele será capaz de somar as tensões de entrada e apresentar esta soma em sua saída. Para montar o circuito, como foi dito, será usado o amplificador operacional inversor, e o circuito montado será como a figura abaixo:

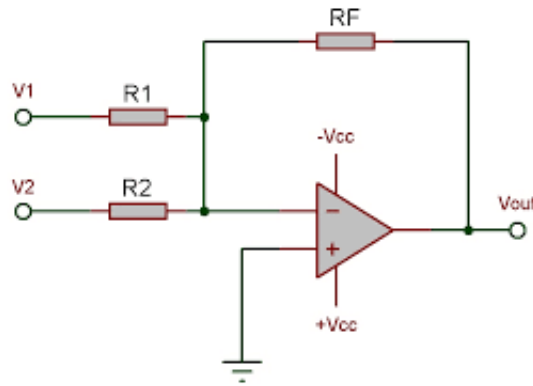


Figura 1: Amplificador Somador Inversor

Por meio da imagem é possível ver algumas características do circuito, por exemplo, o R_f é nomeado como Resistor de Feedback, e este é responsável pelo que se diz Feedback Negativo, e ele é necessário para que a diferença de tensão das entradas seja 0V. Outra função importante deste componente é ter o controle do ganho do amplificador. As resistências de entrada do circuito são chamadas de R_{in} , e o ponto em que R_{in} e R_f se misturam é chamado ponto de soma, do inglês *summing point*.

Para completar a solução, serão feito os cálculos abaixo. Começando aplicando a Lei de Kirchhoff para correntes no nó de soma, encontramos o seguinte:

$$I_f = I_1 + I_2$$

$$I_f = -\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}\right)$$

Continuando, é possível que a tensão de saída será dada: $V_{out} = R_f \cdot I_f$, então,

podemos fazer:

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$$

Por este motivo o circuito é chamado de circuito somador, note que a tensão de saída depende das tensões apresentadas na entrada inversora do circuito, propondo o esperado para o circuito. Também é possível ver com clareza a função de ganho que o resistor de Feedback tem no circuito, basta manipular da seguinte maneira:

$$R_f = - \frac{V_{out}}{\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)}$$

O que nos mostra exatamente a função de ganho, que é definida pela relação entre a tensão de saída e a tensão de entrada, que é possível ver claramente na fórmula acima.

Passando para a aplicação do circuito que será feita com o circuito somador, será feito um conversor digital-analógico, para isso, devemos fazer algumas considerações teóricas. O circuito será modificado para ser possível obter uma tensão para determinada combinação de bits, então, será possível obter uma tensão analógica a partir dos bits que estarão na entrada do circuito.

Para mapear os bits para uma tensão iremos fazer:

b	V_{in}
0	0V
1	V_s

Tabela 1: Mapeador bits

Desta maneira, será possível encontrar uma relação entre o bit que entrará no circuito e a sua coerente passagem para tensão da seguinte maneira:

$$V_{in} = b \cdot 5$$

Assim, será possível ter uma tensão associada a cada um dos bits, e este processo tem de ser feito para todos os bits que se tenha no canal. Para completude da solução, consideremos 4 bits sendo transmitidos: $b_3b_2b_1b_0$. Dessa maneira, cada bit deve ter uma contribuição diferente para serem associados a tensões, isto é feito associando resistores em série seguindo a mesma proporção da transmissão binária, assim, pode ser implementado da seguinte maneira:

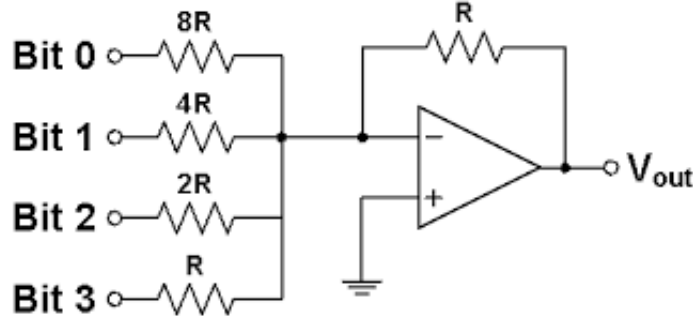


Figura 2: Conversor Digital-Analógico - Teoria

Podemos então perceber a relação entre a tensão de saída e os bits que serão mapeados em tensão da seguinte maneira(usaremos V_s para a fonte utilizada):

$$V_{out} = -R \cdot I = -R \cdot \left(\frac{V_3}{R} + \frac{V_2}{2R} + \frac{V_1}{4R} + \frac{V_0}{8R} \right)$$

$$V_{out} = - \left(V_s b_3 + \frac{V_s b_2}{2} + \frac{V_s b_1}{4} + \frac{V_s b_0}{8} \right)$$

$$V_{out} = -\frac{V_s}{8} (8b_3 + 4b_2 + 2b_1 + b_0)$$

Dessa maneira, para cada combinação dos bits da entrada, será mapeado em um nível de tensão diferente e contínuo no tempo, o que representa o conversor digital-analógico.

3.2 Integradores

Circuitos integradores são muito parecidos com o circuito somador, porém, ao invés de usar um resistor de Feedback, aqui deve-se usar um capacitor em seu lugar. Com o circuito resultante é possível ver uma rede RC aparecendo no circuito, este tem a função de se comportar como um integrador. Então o que veremos na saída do Amplificador Operacional será a integral da tensão de entrada.

Fazer esse tipo de circuito integrador só é possível graças ao caráter de carga e descarga do capacitor, que está funcionando como um Feedback do sinal de entrada. Dessa maneira, o sinal resultante é proporcional as variações ocorridas no sinal de entrada. Podemos citar aqui um exemplo, por exemplo, a onda quadrada ao passar pelo circuito será transformada em um sinal triangular.

Este comportamento será explorado para uma aplicação da geração de sinais para transmissão. É possível perceber a dificuldade em criar uma onda do triangular, porém, com este circuito torna-se simples a geração desse sinal, basta gerar uma onda quadrada,

no caso é simples de ser gerada, e em seguida passar pelo circuito integrador. Esta é uma aplicação bastante utilizada na geração de sinais.

Dessa maneira, abaixo temos um circuito integrador:

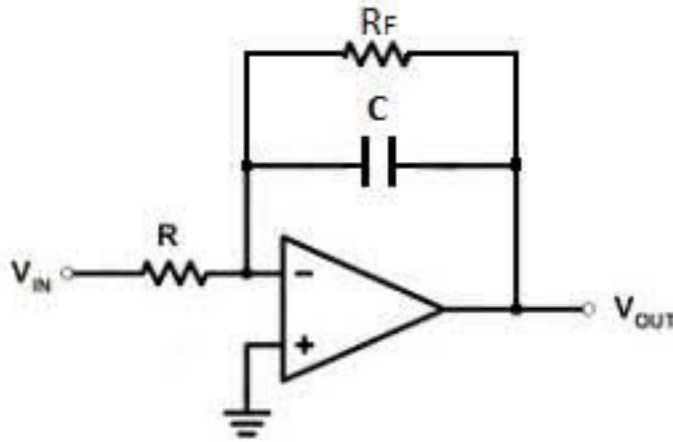


Figura 3: Amplificador Integrador - Teoria

Aqui serão detalhados alguns aspectos sobre o circuito acima. Devemos associar o resistor R_2 e C para obter a impedância resultante(Z_1):

$$Z_1 = R_f || C \rightarrow Z_1 = R_f || \frac{1}{j2\pi fC} \rightarrow Z_1 = \frac{R_f}{1 + jR_f2\pi fC}$$

O próximo passo é aplicar a Lei de Kirchoff das correntes para o nó que conecta R_1 com o circuito do Capacitor, vamos chamar a tensão desse nó por V_a , e podemos ver:

$$\frac{V_{in} - V_a}{R} = \frac{V_a - V_{out}}{Z_1}$$

Isolando V_{out} :

$$V_{out} = -\frac{Z_1 V_{in}}{R} = -\frac{R_f}{R(1 + jR_f2\pi fC)}$$

Este tipo de circuito garante que quando a frequência for nula, o ganho de tensão é R_f/R , o que não é garantido pela implementação de um integrador ideal, pois este dá um ganho infinito quando a frequência é nula, assim, devemos utilizar do circuito da figura para não termos esse descontrole do ganho.

Dessa maneira, podemos realizar a aplicação de um gerador de sinais, para isso, faremos um gerador de onda triangular. Ele pode ser obtido colocando uma onda quadrada na entrada do sistema, e como o circuito responde as variações de amplitude será possível ver na saída do amplificador o sinal triangular, assim completaremos a caixa de um gerador de sinais triangulares.

4 Simulação computacional

Para realizar a simulação computacional será utilizado o mesmo software citado no início deste documento. Assim, baseado no embasamento teórico feito anteriormente, serão montados os circuitos do integrador conforme mostrado na figura 4, onde a entrada consistirá em uma onda quadrada, e do somador, na figura 5 mostrando um somador com ganho de 3 vezes, ou seja, vai somar as três entradas e multiplicar por 3.

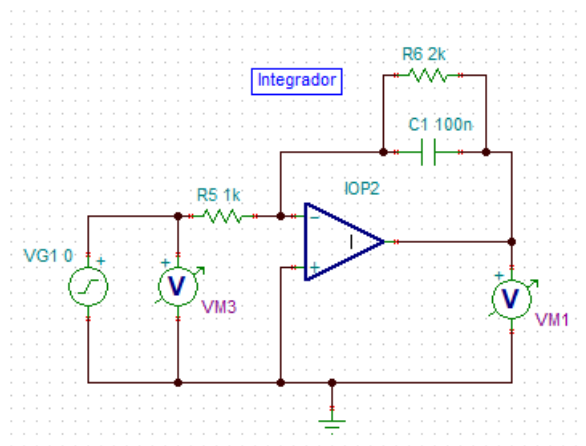


Figura 4: Circuito Integrador

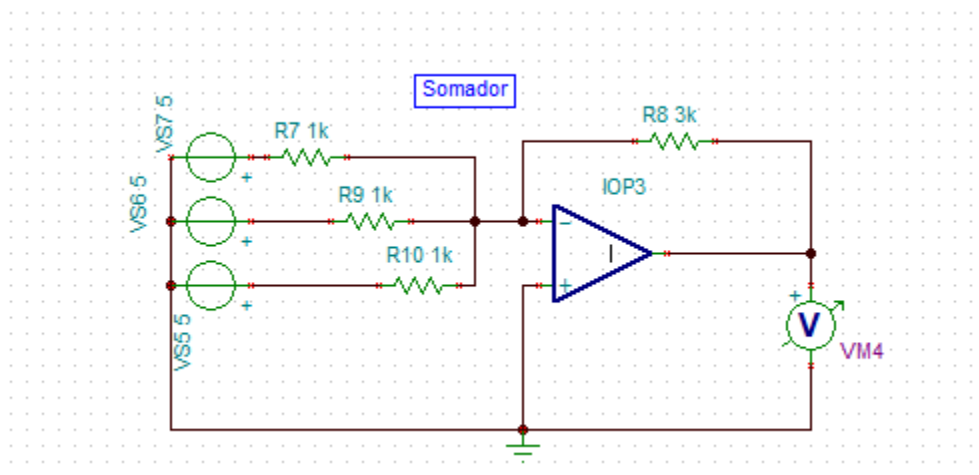


Figura 5: Circuito Somador

Tendo montado os circuitos, eles serão testados. A saída dos circuitos poderá ser

vista nas figuras 6, 7 e 8

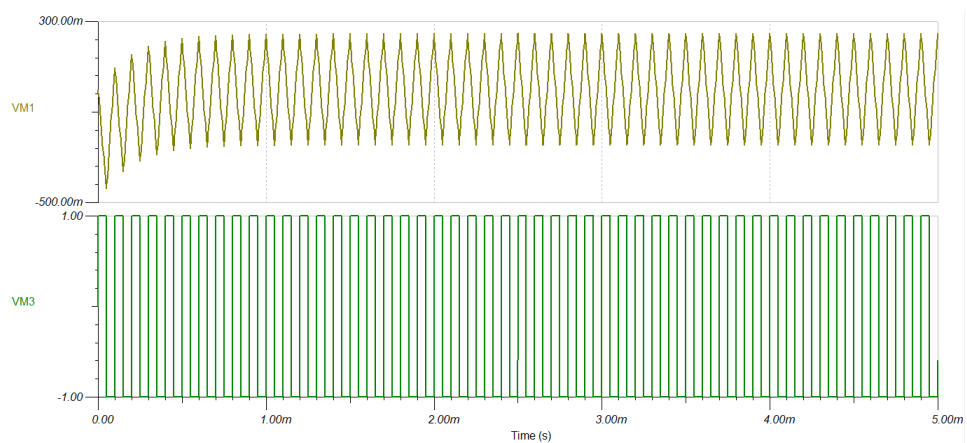


Figura 6: Saída do Integrador

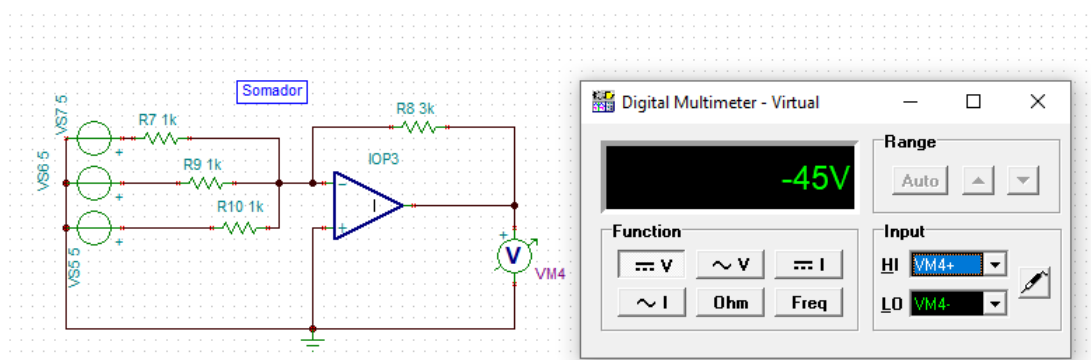


Figura 7: Somador com entrada 5+5+5

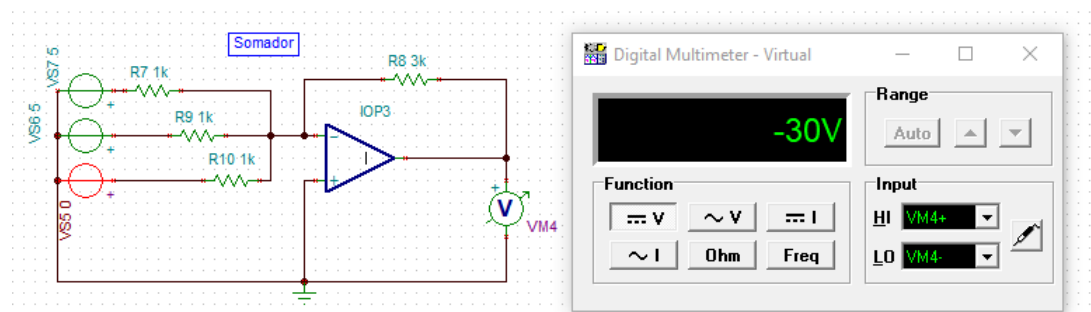


Figura 8: Somador com entrada 5+5+0

Como pode ser visto, na entrada no integrador está sendo gerada uma onda quadrada, que então será convertida em uma onda triangular, que é o resultado esperado quando se faz a integração de uma onda quadrada. Um circuito integrador é bastante usado em aplicações em que é necessário gerar ondas em formatos específicos, como observada a geração de uma onda triangular, o que é muito utilizado em circuitos de controle.

Já nas figuras onde são mostrados os resultados do somador, o resultado final é tal qual o descrito anteriormente, onde há a soma das entradas e a multiplicação por um fator igual a 3, definido através do resistor.

Agora, para implementar o circuito de conversor, será utilizado somente o circuito somador, de acordo com o descrito na fundamentação teórica. Desta forma, o circuito será montado de acordo com o observado na figura 9.

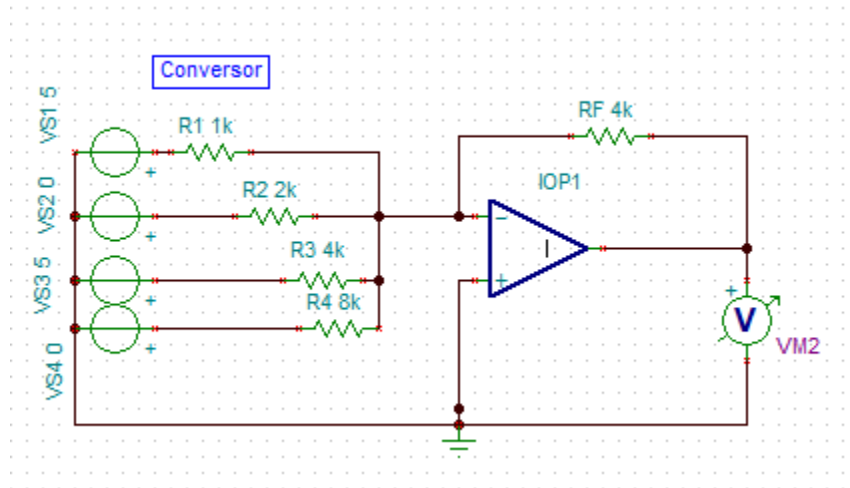


Figura 9: Conversor

Para demonstra a saída deste conversor, serão utilizadas duas entradas diferentes: Uma representando o valor 10, dando uma tensão de 5V para a primeira e o terceira fontes de tensão, e zero para as outras, representando o fluxo de bits 1010, que identifica o número 10. A outra saída será feita com uma entrada de valor 14, sendo obtida dando uma tensão de 5V para as 3 primeiras fontes e 0 para a última, representando o fluxo de bits 1110, que é igual a 14. Ambas saídas poderão ser vistas nas figuras 10 e 11

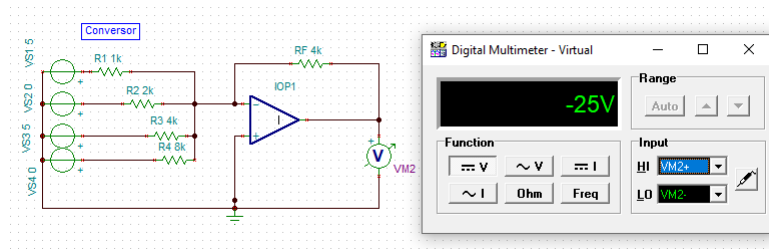


Figura 10: conversor com entrada 1010 (10)

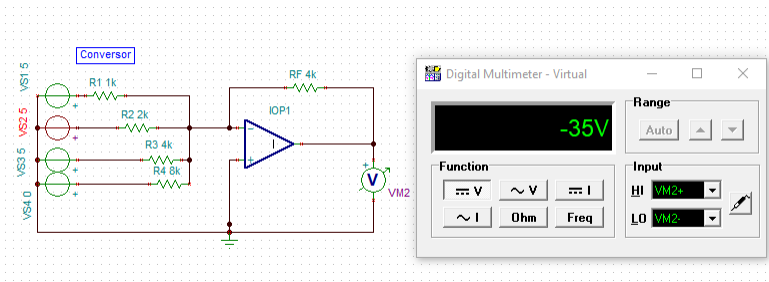


Figura 11: Conversor com entrada 1110 (14)

5 Conclusão

Através deste experimento foi possível observar o funcionamento de amplificadores operacionais de um modo geral, que é um circuito extremamente importante no universo de circuitos elétricos, sendo utilizado nos mais diversos tipos de aplicações. Além disso, foram observados amplificadores operacionais dos tipos somadores e integradores, em aplicações como a geração de ondas e em conversores digital-analógicos simples, com aprofundamento teórico nestes aspectos. Isso proporciona uma visão mais ampla do funcionamento de outros circuitos que utilizam estes circuitos, como em capacitores de áudio ou geradores de sinal por exemplo. Também foi possível através deste experimento a observação e entendimento de outros elementos fundamentais para a implementação de circuitos, como capacitores, resistores e fontes de tensão.