



**Instituto Federal de Ciências,  
Tecnologia e educação de Santa  
Catarina – IFSC.**

## Amplificadores Operacionais-AMPOP

Profº: Luis Carlos Martinhago Schlichting.

Aluno: Marcelo Brancalhão Gaspar.

## *Introdução.*

---

Neste relatório será apresentado dois tipos de ampops: 741 e 324. Mostrando como trabalhar com os circuito somador, circuito integrador e circuito derivador. O relatório será constituído em três etapas: introdução teórica, simulação (utilizando o Protheus), montagem e conclusão com análise dos resultados e explicação das diferenças entre a teoria, simulação e prática em cada experimento.

## OBJETIVOS

---

- Analisar, projetar e montar amplificadores operacionais: somador, derivador e integrador.
- Analisar teoria, simulação e prática.
- Otimizar o conhecimento na utilização do osciloscópio digital.
- Analisar as formas de onda de saída e entrada do circuito.
- Entender melhor o funcionamento dos somadores.
- Entender a aplicação dos somadores.

## *Etapa 1: Introdução Teórica*

---

Um amplificador operacional ideal possui um ganho muito elevado e é suposto que a resistência de entrada seja infinita e que a impedância de saída igual a zero. Em situações práticas, a característica de transferência de um amplificador permanece linear apenas em uma faixa limitada de tensões de entrada e saída, além da variação do ganho em função da frequência do sinal de entrada. Além dessas restrições de ordem prática, pode existir um desbalanceamento no estágio de entrada do amplificador operacional que leva ao surgimento de uma tensão DC na saída. Para a eliminação da tensão DC na saída (chamada de tensão de off set), os amplificadores operacionais tem em geral pinos adicionais que podem ser utilizados para evitar esse problema. Uma outra maneira é através da implementação da configuração somadora, onde adiciona-se uma tensão DC na entrada tal que a saída sem sinal seja de zero volts DC.

As características de um amplificador operacional são:

- Alta resistência de entrada Ideal infinita. Na prática na ordem de 10 M $\Omega$ ;
- Baixa resistência de saída Ideal nula. Na prática na ordem de 75  $\Omega$ ;
- Alto ganho Ideal infinito. Na prática na ordem de 200.000;
- Alta resposta em frequência Ideal de 0 ao infinito. Na prática se opta por tipos com resposta bastante acima da frequência, na qual, irão operar para dar uma aproximação do ideal;
- Tempo de resposta Ideal zero. Na prática varia de 0,25 a 0,8  $\mu$ s;
- Insensibilidade à temperatura Ideal invariável. Na prática sua variação é quase que estável.
- Relação de Rejeição em Modo Comum (CMRR) Ideal infinito, ou seja, o AMPOP tem sua saída nula se as entradas são iguais. Na prática, há sempre uma pequena saída com as entradas iguais, condição esta chamada de modo comum. A condição usual, com tensões de entrada diferentes é chamada modo diferencial. E o parâmetro é dado pela relação, expressa em decibéis, dos ganhos em ambas condições  $CMRR = 20 \log |A_d/A_{cm}|$ .

O AMPOP possui entrada diferencial (duas entradas), na qual a amplificação ocorre a partir da diferença das duas entradas.

A Figura 1 mostra o símbolo mais utilizado do AMPOP, que é um triângulo, tendo duas entradas e no vértice uma saída.

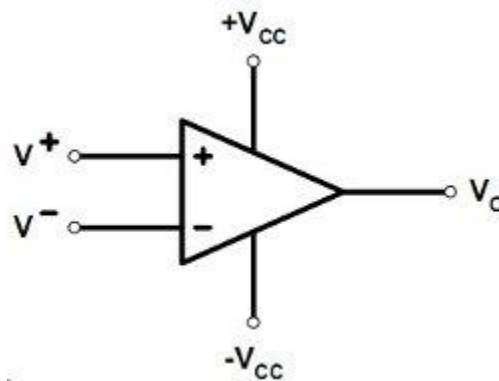
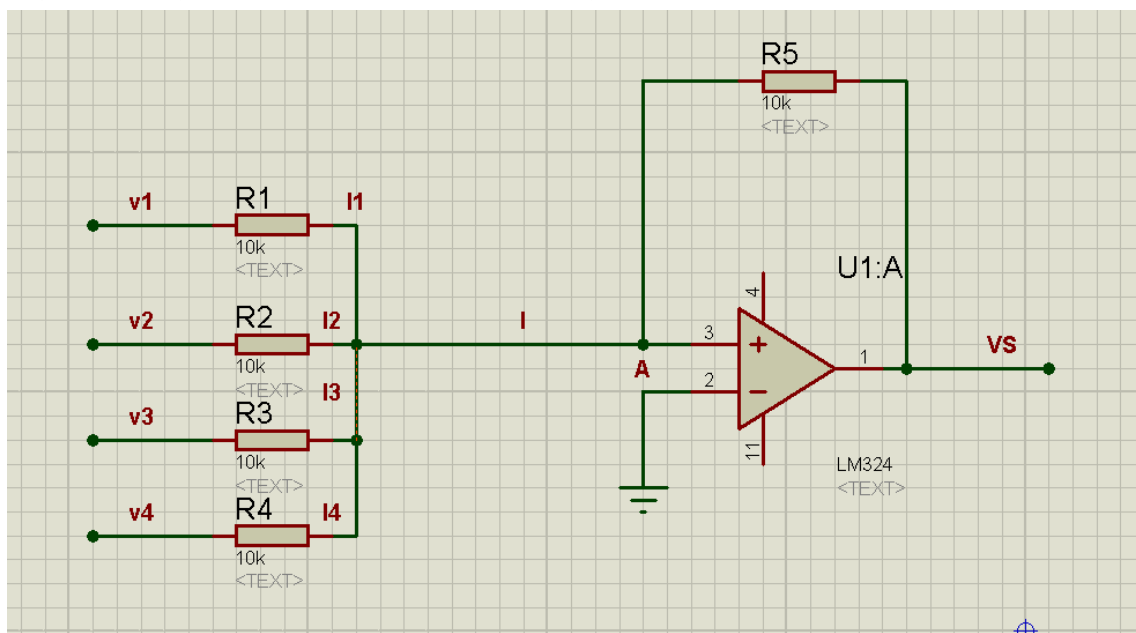


Figura 1 – Símbolo do Amplificador Operacional

### Amplificador Somador:

A configuração somadora também pode ser utilizada para somar sinais de entrada como apresentado na figura 2.

Figura2(esquemático de um somador genérico.)



Na figura 2, o sinal de saída do amplificador é a soma dos sinais de entrada  $v_1$ ,  $v_2$  e  $v_3$ . A expressão do sinal de saída é dado por:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Levando em conta que:

$$I_1 = (v_1 - V_a) / R_1 ,$$

$$I_2 = (v_2 - V_a) / R_2 ,$$

$$I_3 = (V_3 - V_a) / R_3 ,$$

$$I_4 = (v_4 - V_a) / R_4 ,$$

$$I = (V_a - V_s) / R_5$$

E supondo que  $V_a \approx 0$ , chega-se a seguinte relação entrada saída para o amplificador somador.

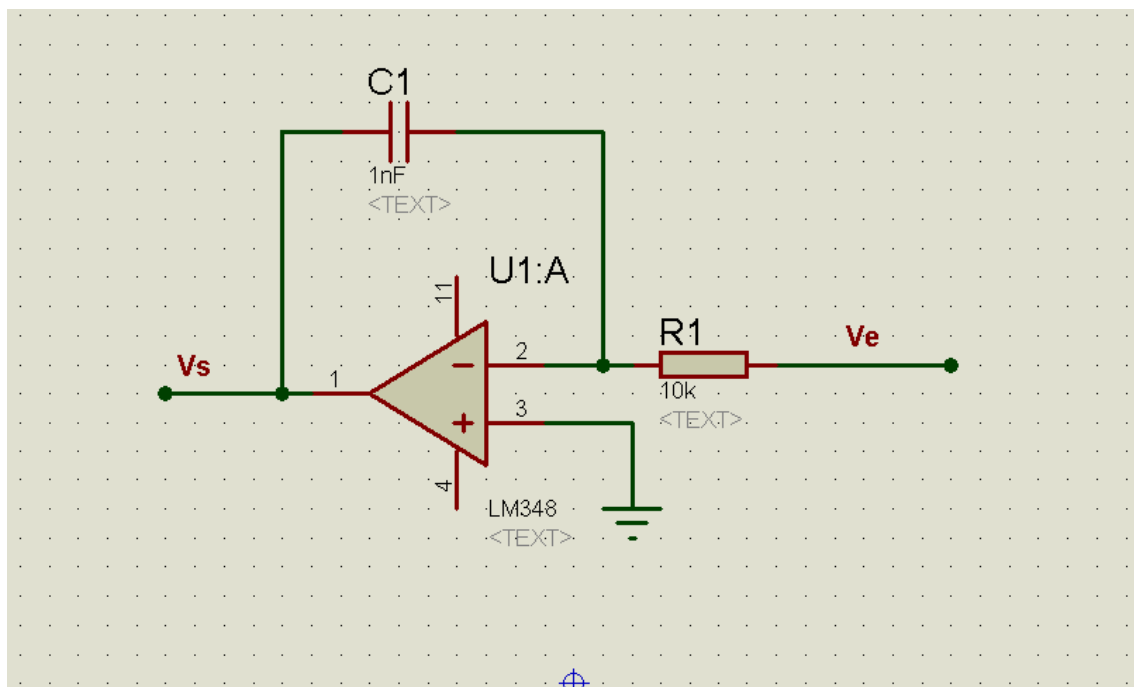
OBS: ( $R_f = R_5$ )

$$V_o = - \sum_{i=1}^n \left( \frac{R_f}{R_i} V_i \right) = - \left( \frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3 + \dots + \frac{R_f}{R_n} V_n \right)$$

### **Circuito integrador:**

o Circuito integrador é um circuito que executa a operação de integração, que é semelhante a de soma, um vez que constitui uma soma da área sob a forma de onda ou curva em um período de tempo. Se uma tensão fixa for aplicada como entrada para um circuito integrador, a tensão de saída cresce sobre o período de tempo, fornecendo uma tensão em forma de rampa. A equação característica do integrador mostra que a rampa de tensão de saída (para uma tensão de entrada fixa) é oposta em polaridade a tensão de entrada e é multiplicada pelo fato  $1/RC$ .

Figura 3(esquemático de um ampop integrador genético.)



$$I_1 = V_1 / R_1$$

$$I_c = C \cdot (d V_c(t) / d t)$$

$$I_1 + I_c = I_-$$

$$I_1 + I_c = 0$$

$$I_1 = -I_c$$

$$V_e(t) / R_1 = -C \cdot (d V_c(t) / d t)$$

$$V_e(t) / R_1 \cdot C = -(d V_s(t) / d t)$$

$$d V_s(t) = (-1 / R_1 \cdot C) \cdot V_e(t) \cdot d t$$

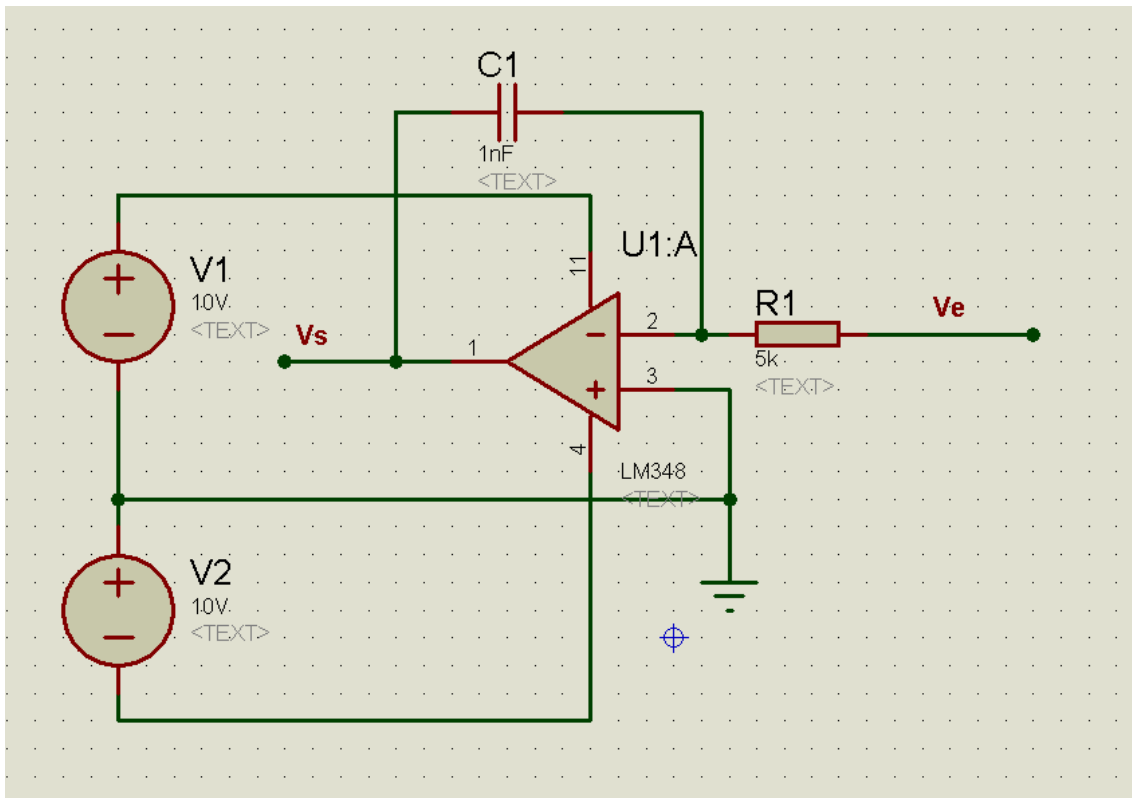
$$\int d V_s(t) = \int (-1 / R_1 \cdot C) V_c(t) \cdot d t$$

$$V_s(t) = (-1 / R_1 \cdot C) \int V_e(t) d t$$

Exemplo para melhor compreensão do funcionamento e comportamento de um ampop integrador;

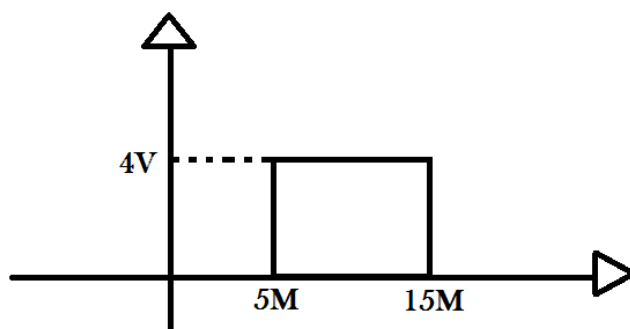
Determine  $V_s(t)$ :

Figura 4(exemplo integrador)



Sabendo que:

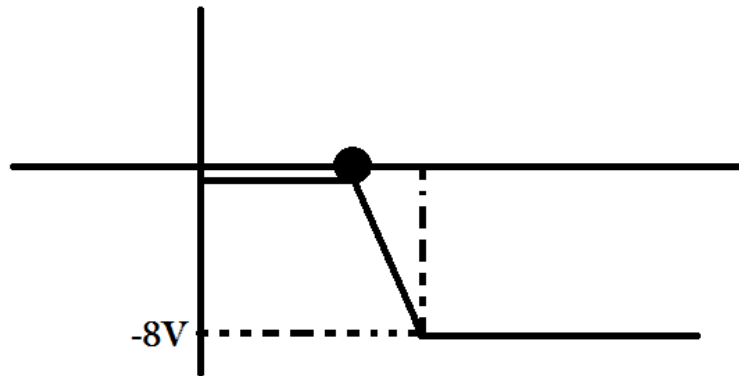
Figura 5(dados para exemplo de integrador.)





Resolução do exemplo;

Figura 6( resolução gráfica do exemplo.)



5m -15m

$$V_s(t) = (-1/R_1 \cdot C) \int 4 \, dt$$

$$V_s(t) = (-1/R_1 \cdot C) \cdot 4t$$

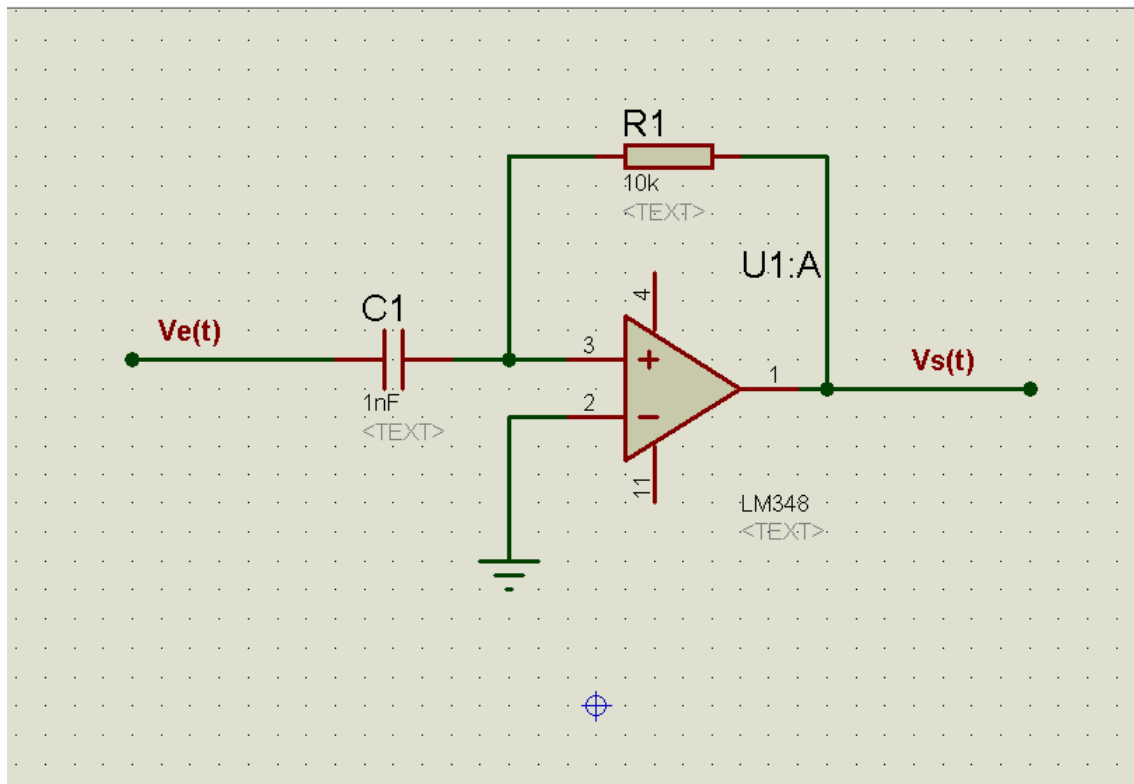
$$V_s(15m) = (1/-5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^{-6}) \cdot 4 \cdot 10^{-3}$$

$$V_s(15m) = -8V$$

### Circuito Derivador:

O circuito do derivador é apresentado na figura 7. A corrente no capacitor é determinada pela variação de tensão sobre ele. Esta corrente, ao passar por R1 produz na saída do circuito uma tensão proporcional a derivada da tensão de entrada.

Figura 7(esquemático genérico de uma ampop derivador)



$$I_c = I_1$$

$$I_c = C \cdot \frac{dV_c(t)}{dt}$$

$$I_1 = \frac{V_s}{R_1}$$

$$I_c + I_1 = 0$$

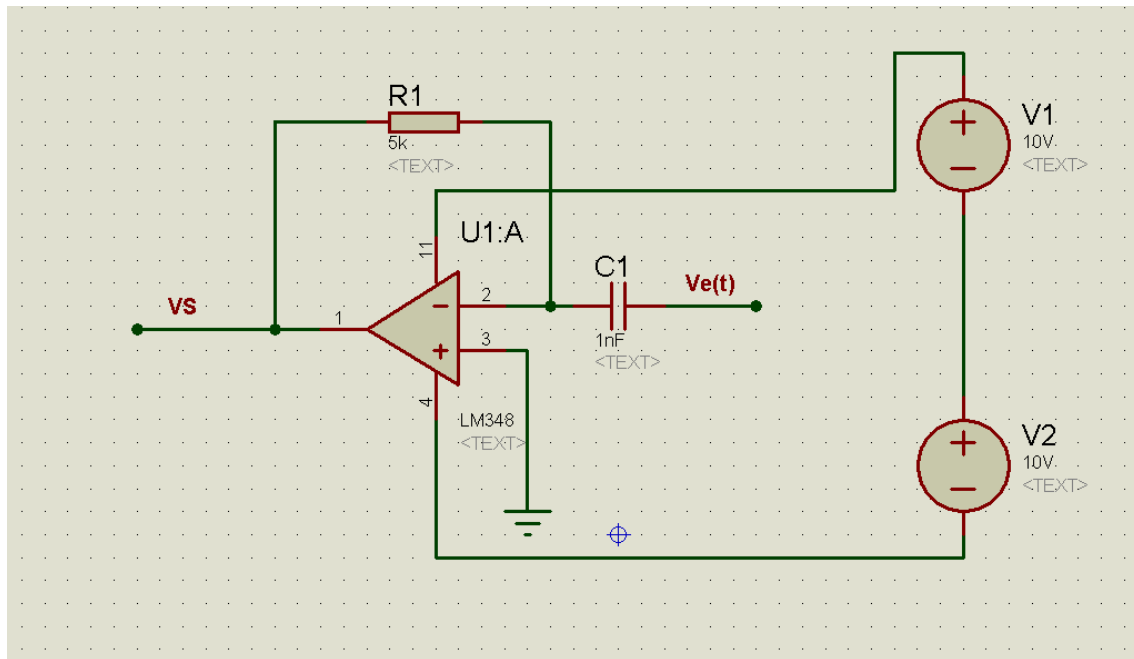
$$I_c = -I_1$$

$$V_s(t) = -R \cdot C \cdot \frac{dV_c(t)}{dt}$$

Exemplo para melhor compreensão do funcionamento e comportamento de um ampop derivador;

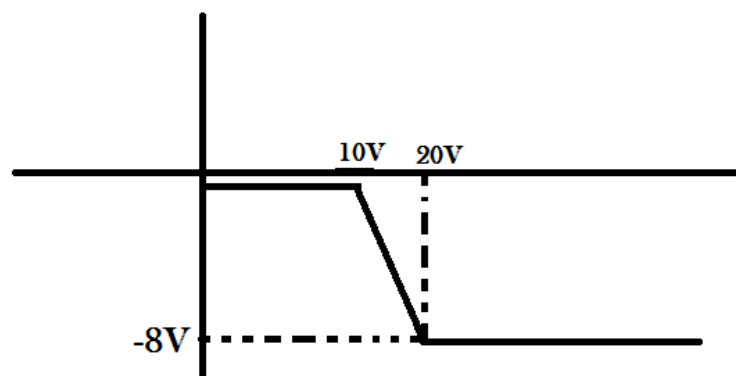
Determine  $V_s$ :

Figura 8(exemplo de derivador)



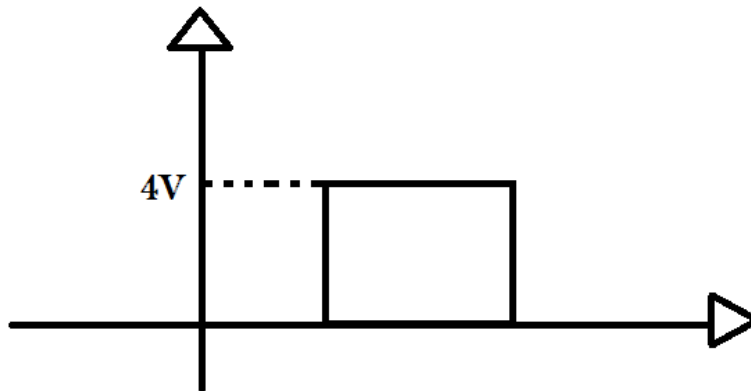
Sabendo que:

Figura 9( dados para resolução do exemplo de derivador.)



Resolução do exemplo;

Figura 10(resolução grafico do exemplo de um ampop derivador.)



É possível notar analisando o exemplo de integrador e derivador, as resoluções gráficas dos mesmos e as figuras 5,6, 9 e 10. Que quando se mantem o mesmo intervalo de tempo no caso 10 um torna se o inverso da outra e isso é algo muito fácil de ser compreendido para quem tem um pouco de conhecimento de calculo aplicado. Uma integral também pode ser chamada de antiderivada e isso claramente quer dizer que uma derivada é o inverso de uma integral, quando se integra uma função e em seguida a deriva obtemos a mesma função e é isso que ocorre nos exemplos de derivador e integrador.

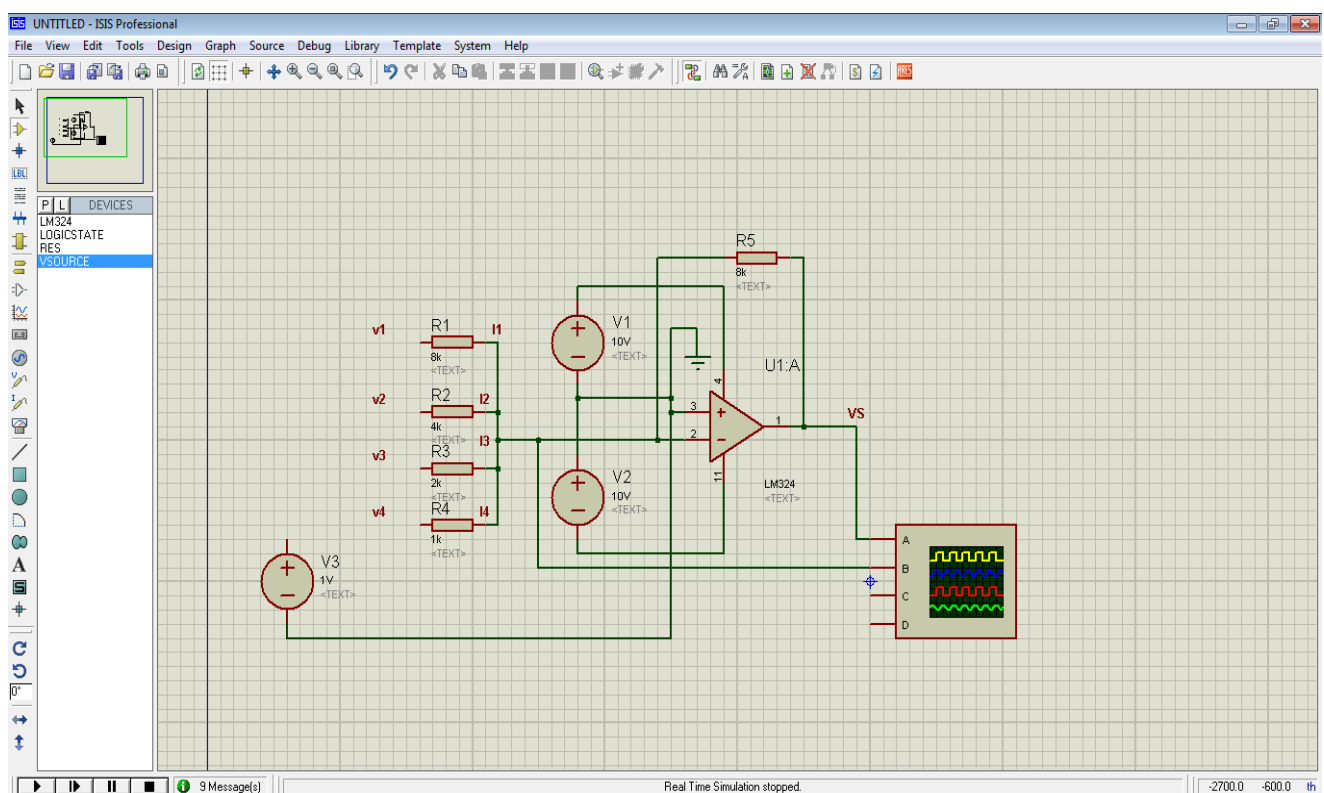
## *Etapa 2: introdução teórica, simulação (utilizando o Protheus), montagem e análise dos resultados.*

Este experimento de somador será utilizando um circuito integrado LM324 com demonstração dos resultados teórico, simulação e pratica.

Mudando a configuração das entradas vamos descobrir Vs para todas as possibilidades pedidas nos para o experimento.

Com  $V_1=0V$ ,  $V_2=0V$ ,  $V_3=0V$  e  $V_4=0V$ . (esquemmatizado na figura 11)

Figura11( 1ºsimulação circuito somador.)



$V_s = 0V$  como mostra a figura 12.

Figura12 ( imagem do osciloscópio virtual,1° circuito somador.)

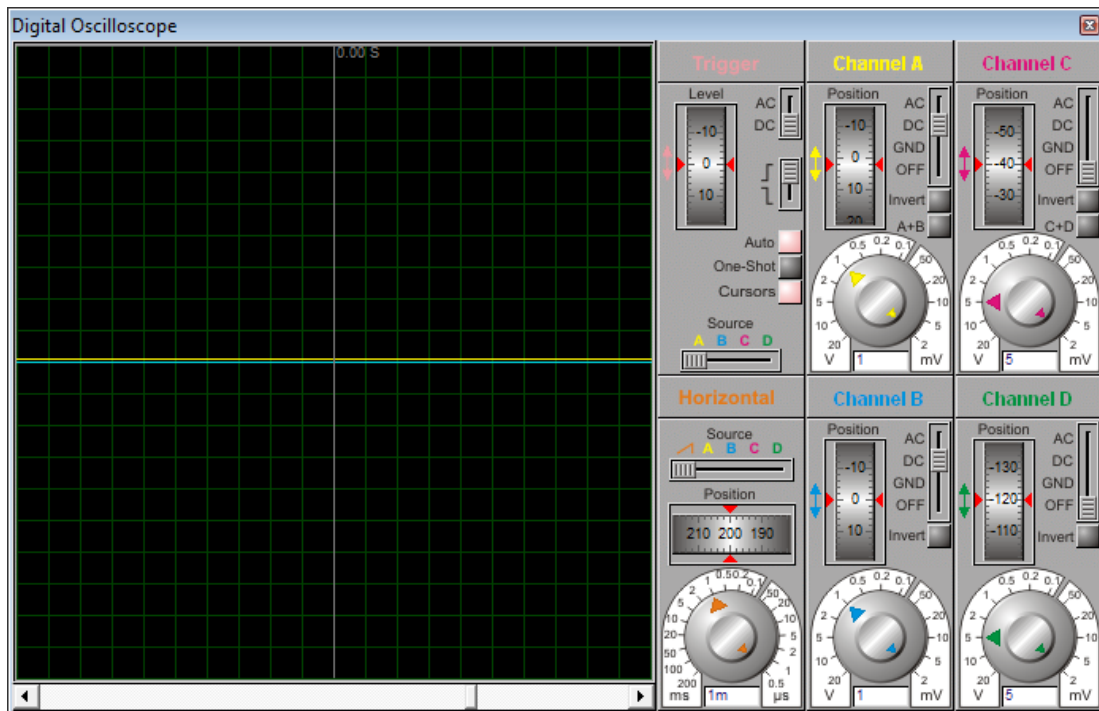
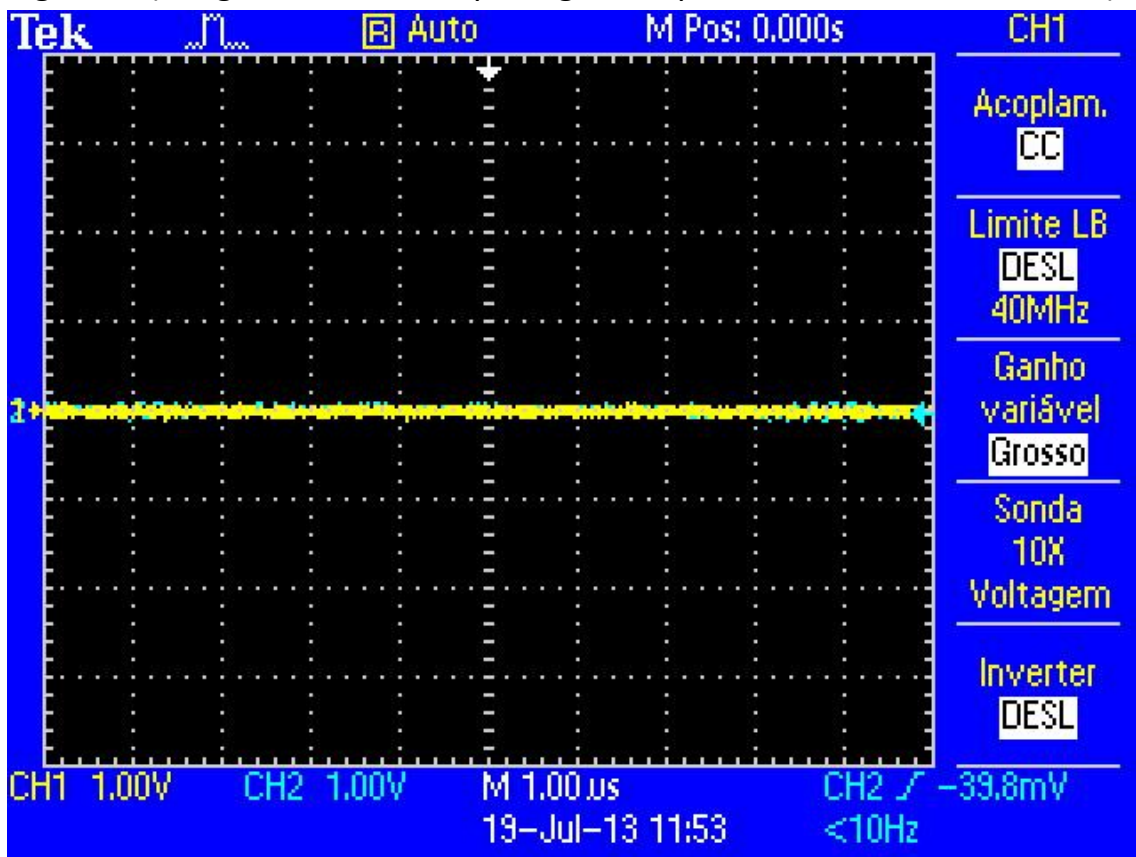


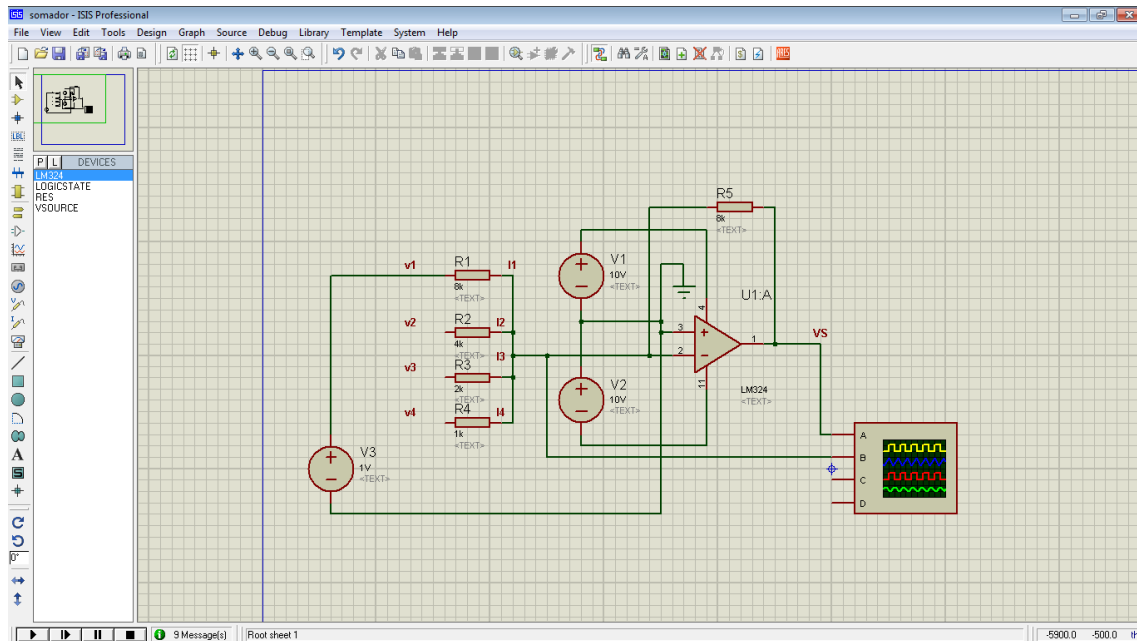
Figura 13(imagem do osciloscópio digital na pratica. 1° circuito somador.)



No 1º experimento foi comprovado que a teoria neste caso é igual a prática, podemos comprovar este fato observando as figuras 11, 12 e 13. Os dois resultados obtidos foram iguais

Com  $V_1=1V$ ,  $V_2=0V$ ,  $V_3=0V$  e  $V_4=0V$ . (esquemático na figura 14)

Figura14( 2ºsimulação circuito somador.)



$V_s = -1V$  como mostra a figura 15.

Figura15 ( imagem do osciloscópio virtual, 2º circuito somador.)

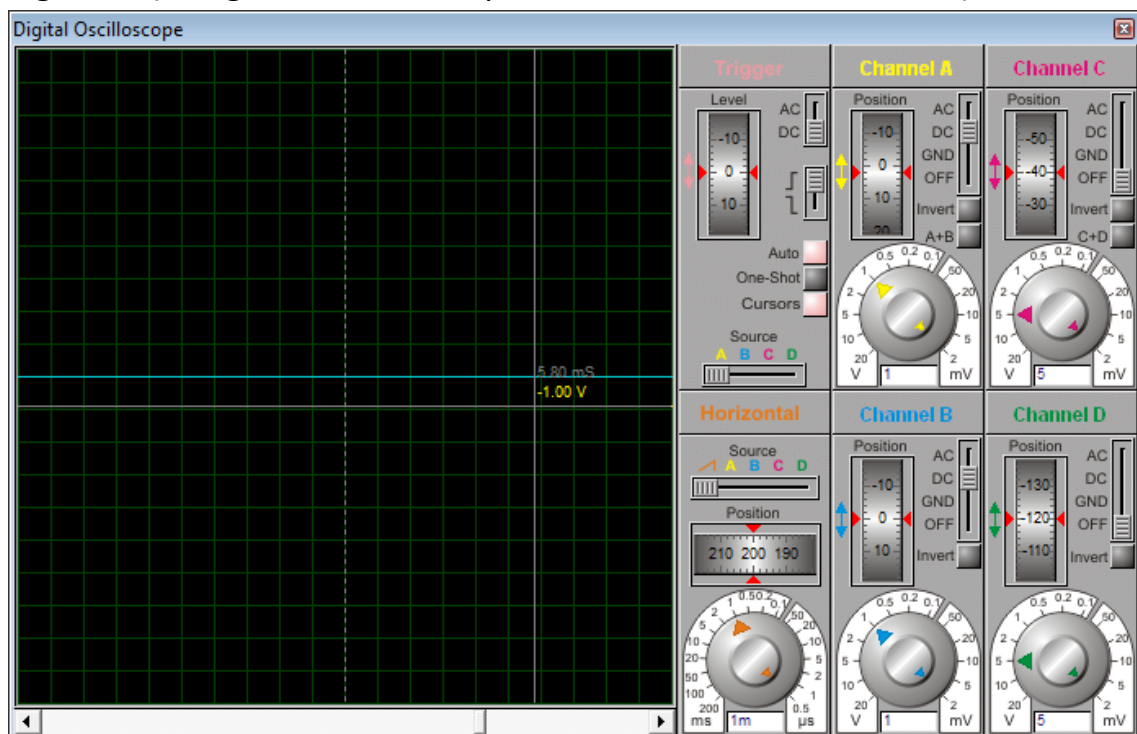
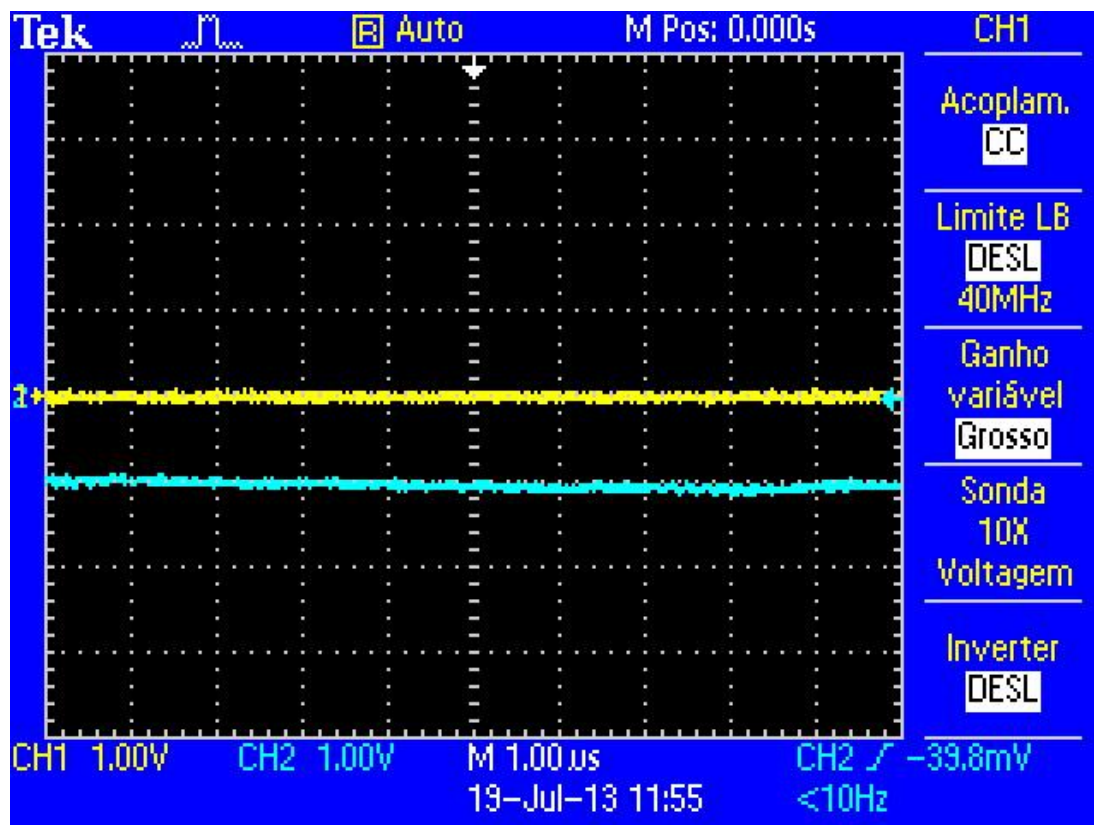


Figura 16(imagem do osciloscópio digital na pratica. 2° circuito somador.)

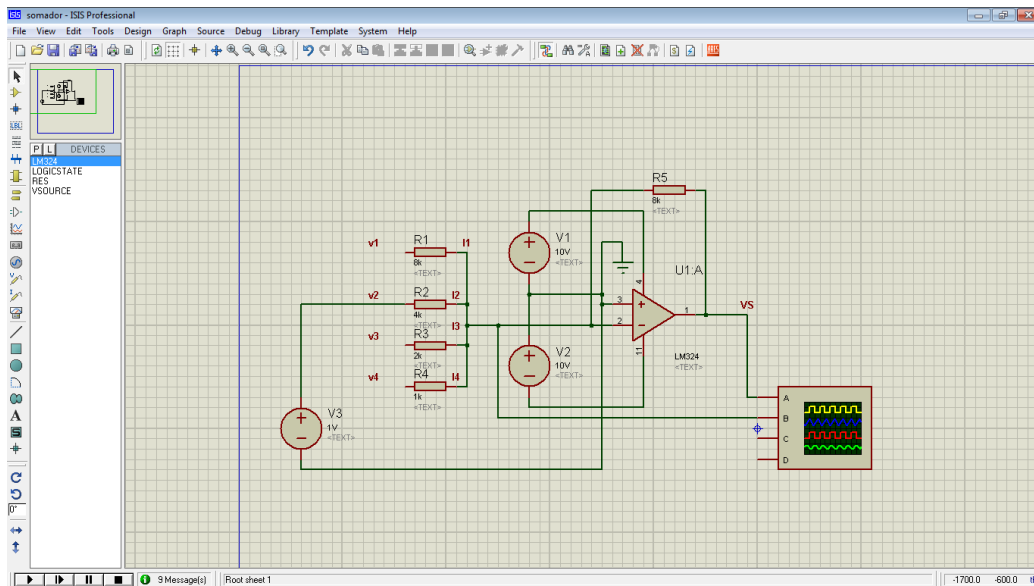


No 2° experimento foi comprovado que a teoria neste caso é igual a pratica, podemos comprovar este fato observando as figuras 14, 15 e 16. Os dois resultados obtidos foram iguais. Como no 1° experimento.



Com  $V_1=0V$ ,  $V_2=1V$ ,  $V_3=0V$  e  $V_4=0V$ . (esquemático na figura 17)

Figura17( 3ºsimulação circuito somador.)



$V_s = -2V$  como mostra a figura 18.

Figura18 ( imagem do osciloscópio virtual, 3º circuito somador.)

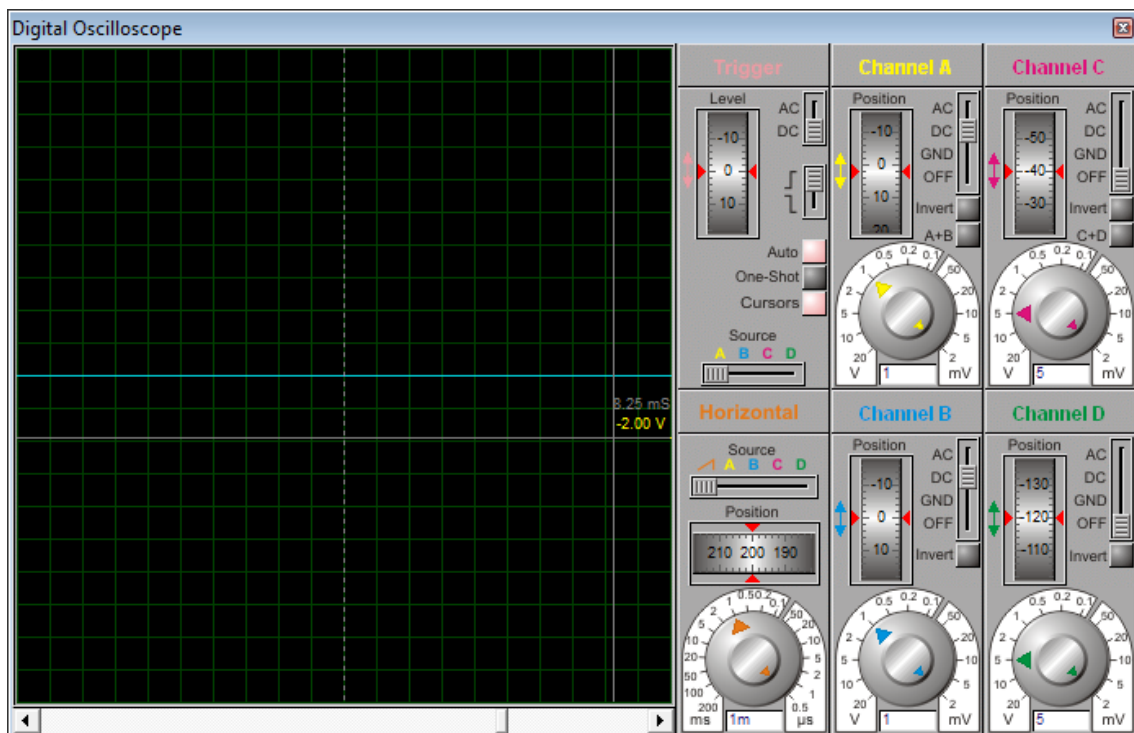
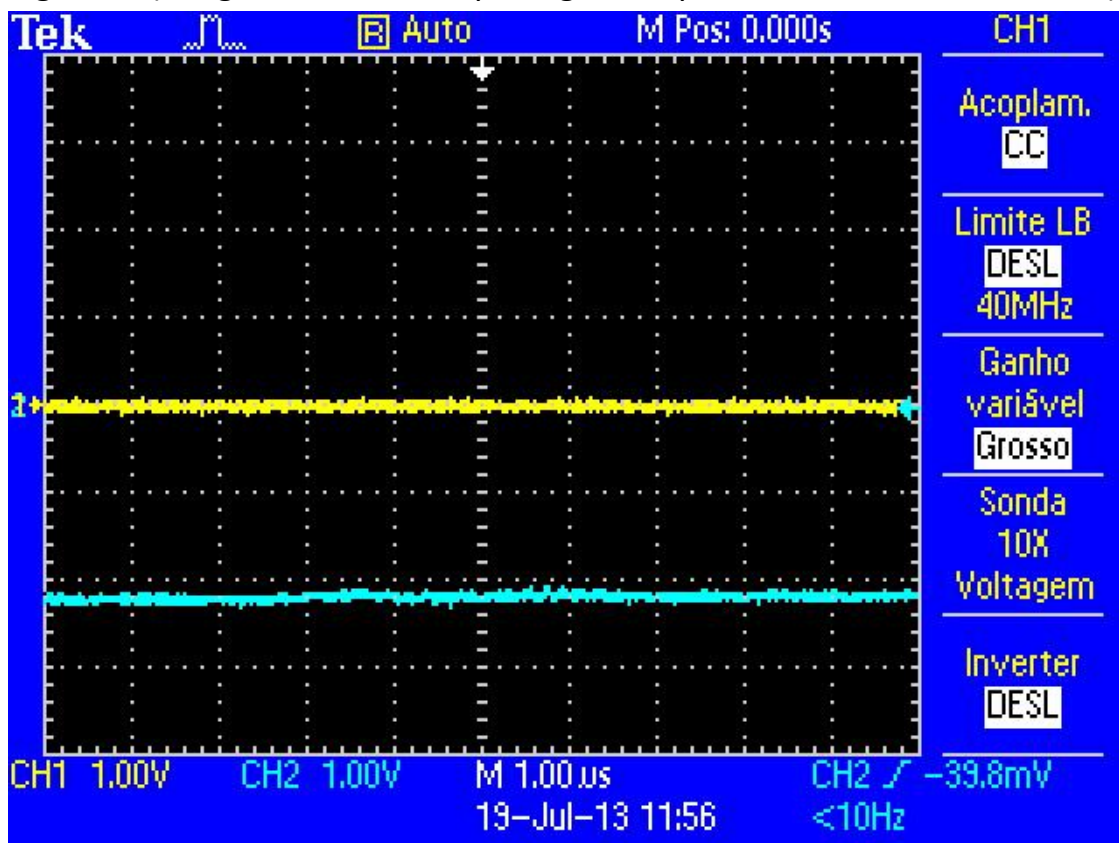


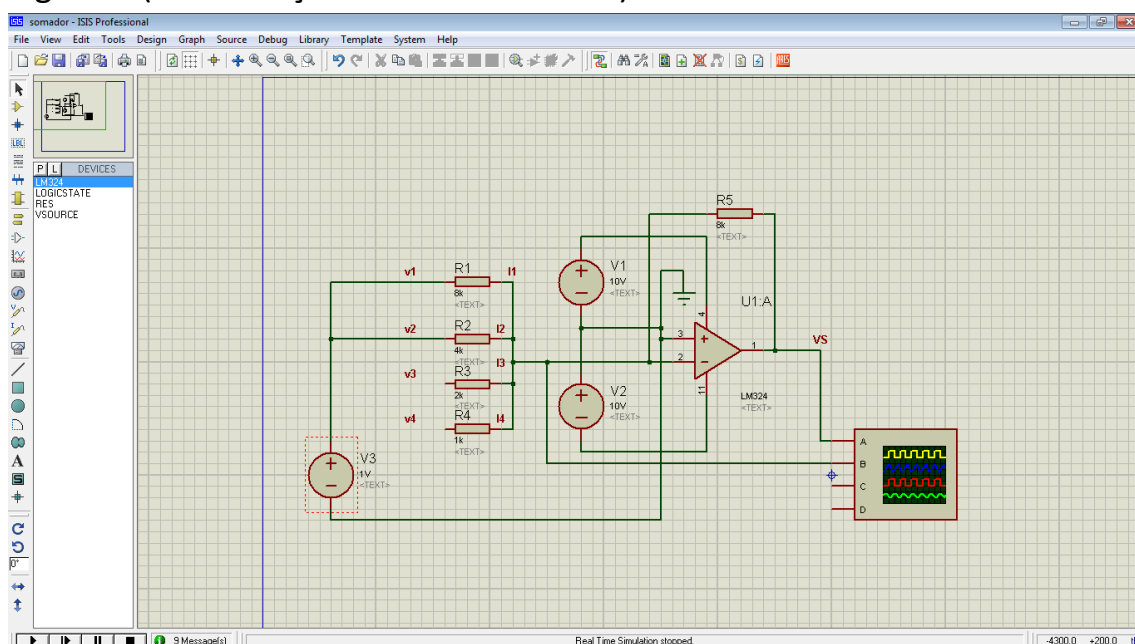
Figura 19(imagem do osciloscópio digital na pratica. 3° circuito somador.)



No 3° experimento foi comprovado que a teoria neste caso é igual a pratica, podemos comprovar este fato observando as figuras 17, 18 e 19. Os dois resultados obtidos foram iguais. Como no 1° e 2° experimento.

Com  $V_1=1V$ ,  $V_2=1V$ ,  $V_3=0V$  e  $V_4=0V$ . (esquematizado na figura 20)

Figura20( 4°simulação circuito somador.)



$V_s = -3V$  como mostra a figura 21.

Figura21 ( imagem do osciloscópio virtual, 4° circuito somador.)

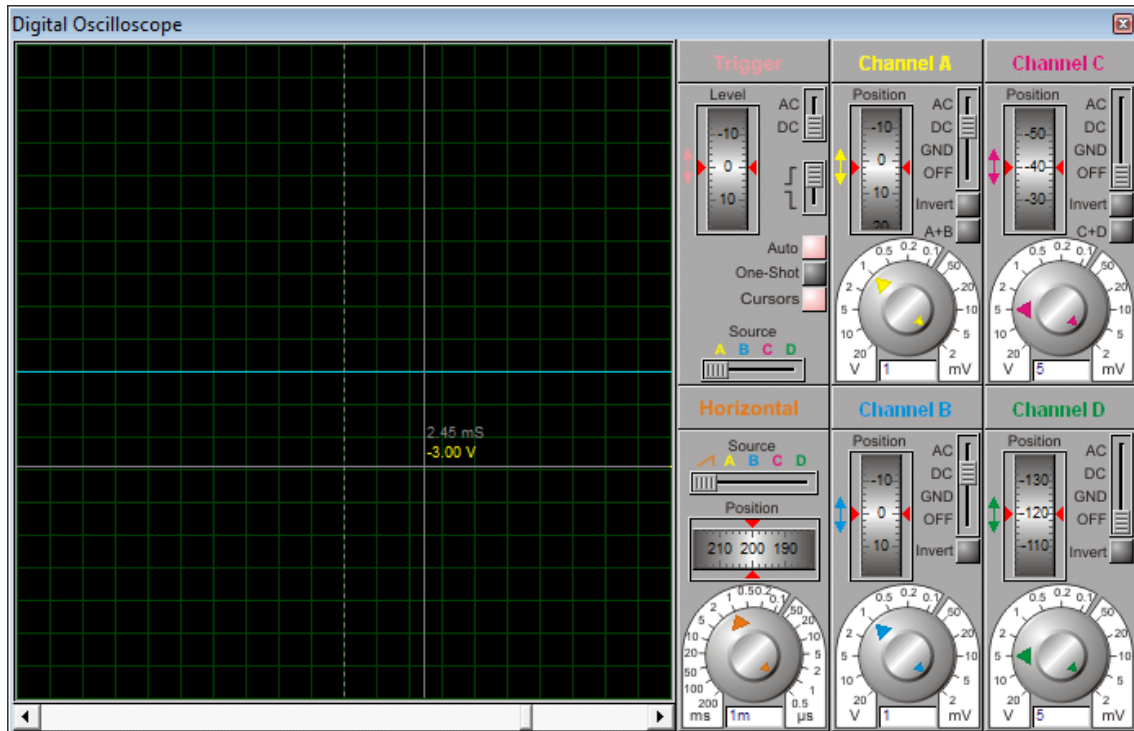
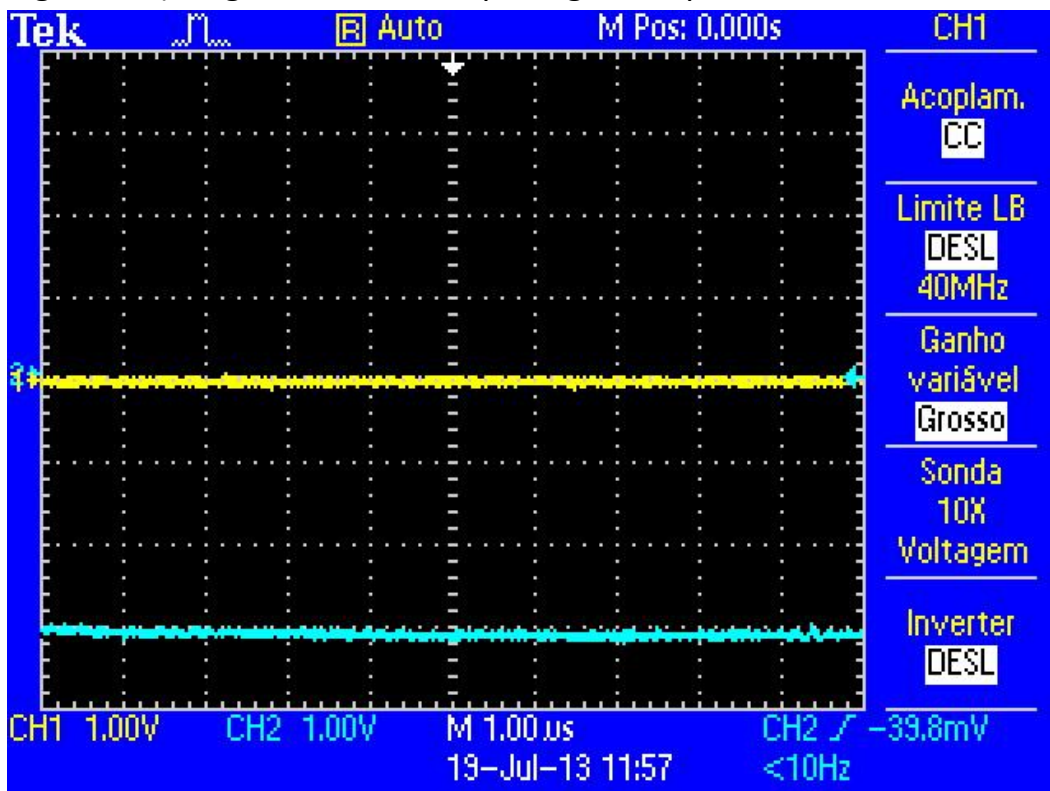


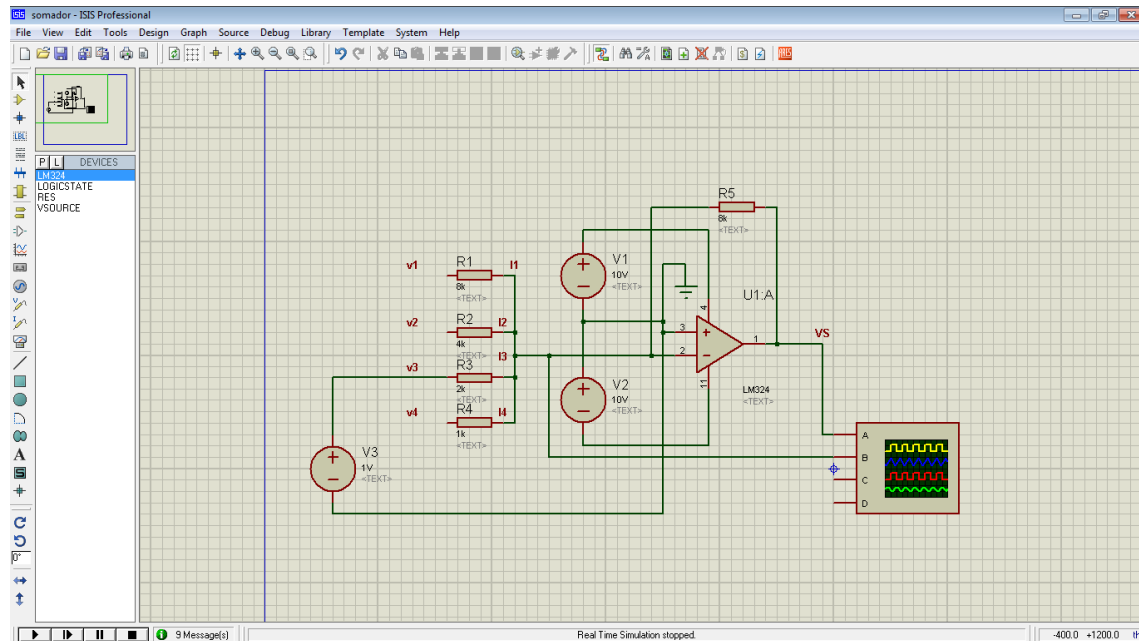
Figura 22 (imagem do osciloscópio digital na pratica. 4° circuito somador.)



No 4º experimento foi comprovado que a teoria neste caso é igual a pratica, podemos comprovar este fato observando as figuras 20, 21 e 22. Os dois resultados obtidos foram iguais. Como no 1º, 2º e 3º experimento.

Com  $V_1=0V$ ,  $V_2=0V$ ,  $V_3=1V$  e  $V_4=0V$ . (esquematzado na figura 23)

Figura23 ( 5ºsimulação circuito somador.)



$V_s = -4V$  como mostra a figura 24.

Figura24 ( imagem do osciloscópio virtual, 5º circuito somador.)

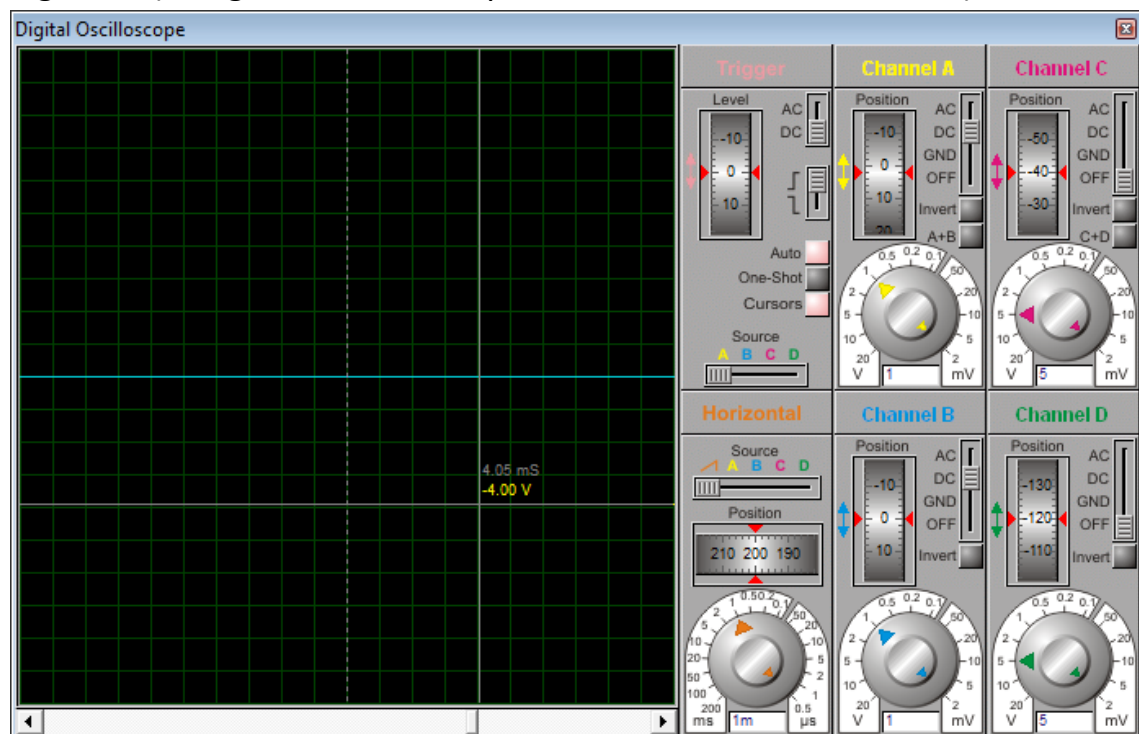
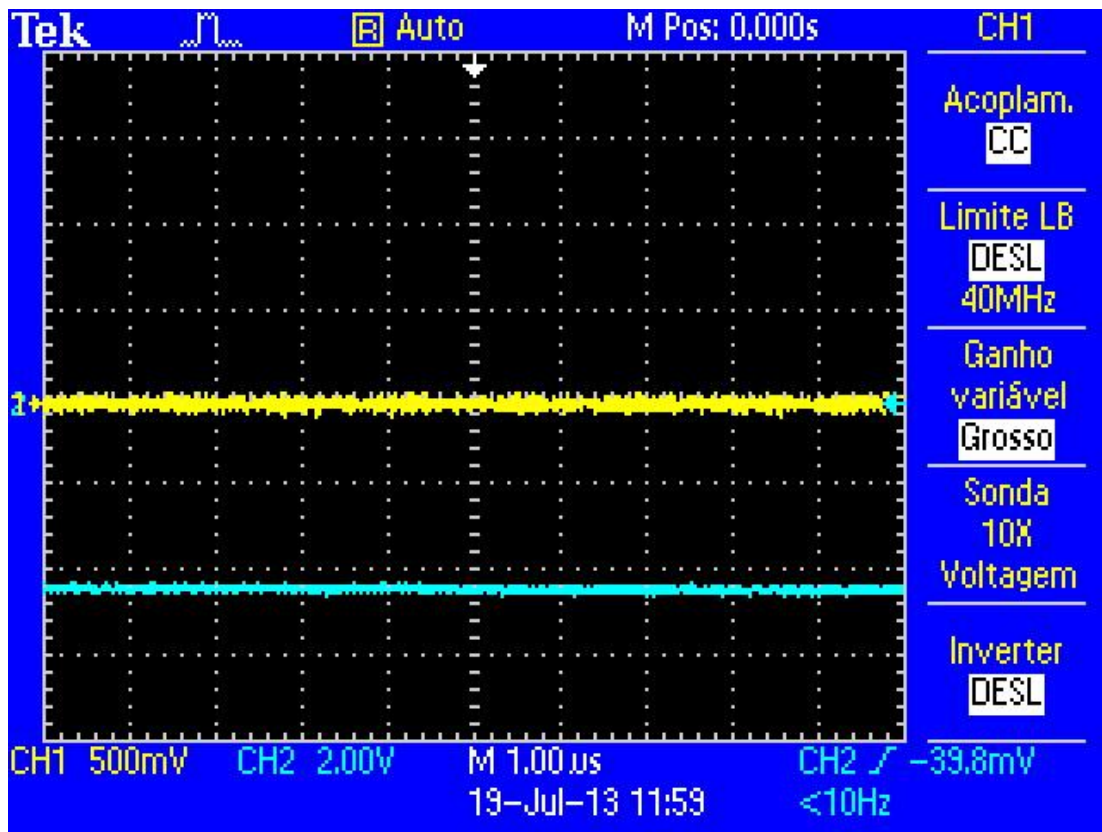


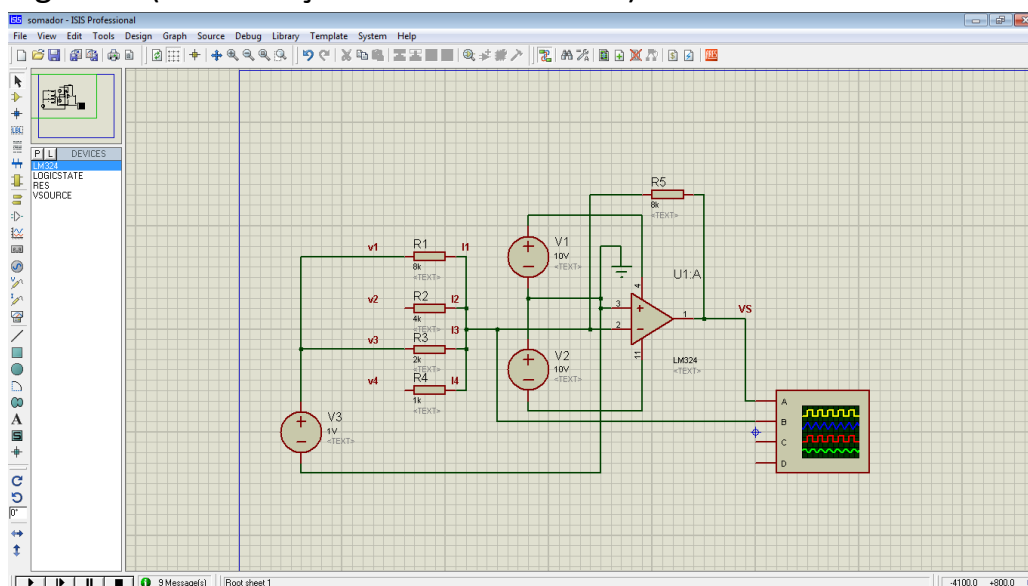
Figura 25 (imagem do osciloscópio digital na pratica. 5° circuito somador.)



No 5° experimento foi comprovado que a teoria neste caso é igual a pratica, podemos comprovar este fato observando as figuras 23, 24 e 25. Os dois resultados obtidos foram iguais. Como no 1°, 2°, 3° e 4° experimento.

Com  $V_1=1V$ ,  $V_2=0V$ ,  $V_3=1V$  e  $V_4=0V$ . (esquematizado na figura 26)

Figura26 ( 6°simulação circuito somador.)





$V_s = -5V$  como mostra a figura 25.

Figura27 ( imagem do osciloscópio virtual, 6° circuito somador.)

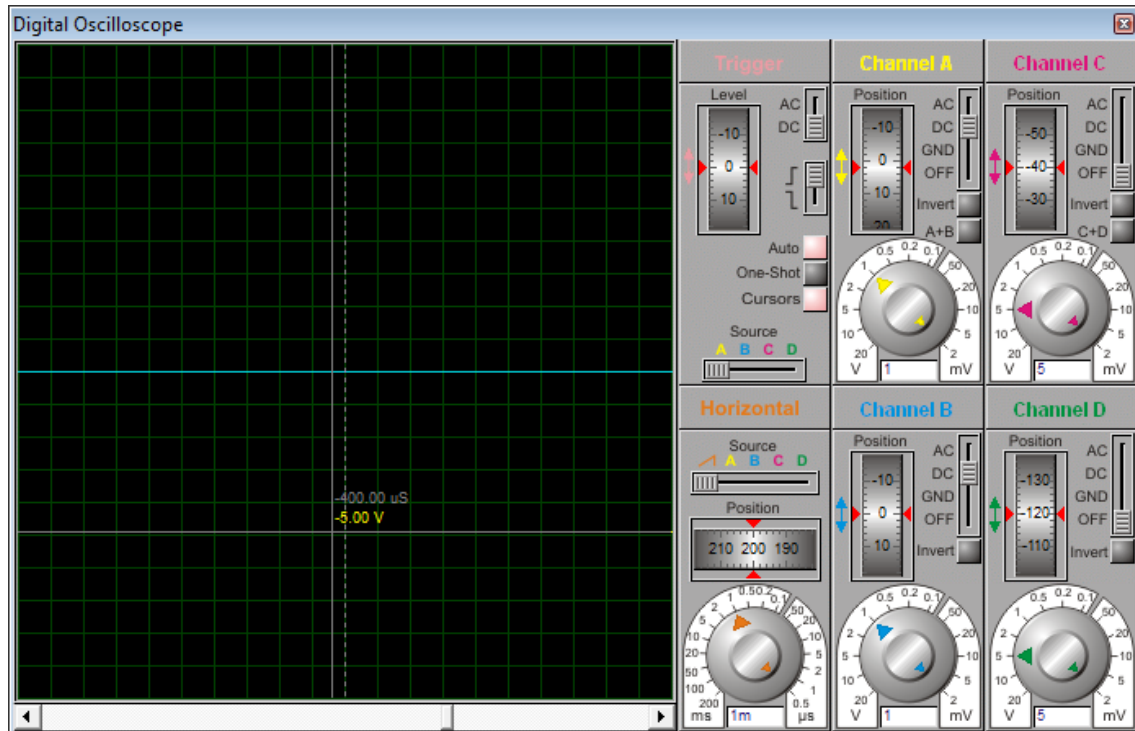
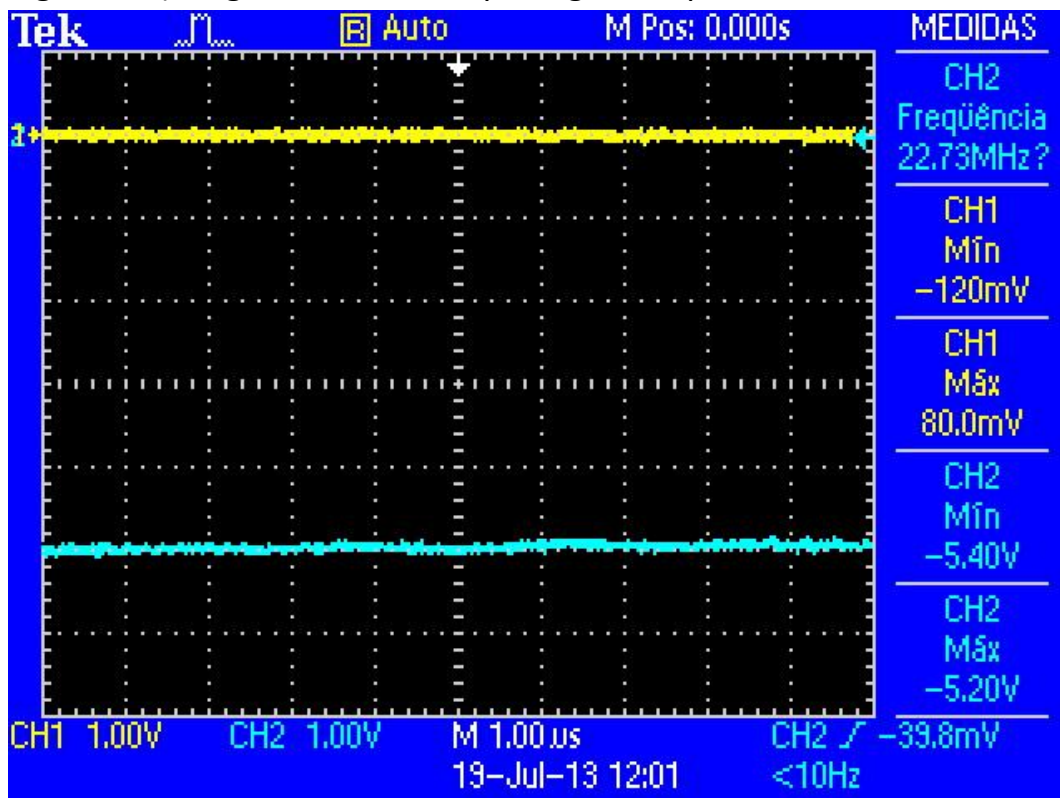


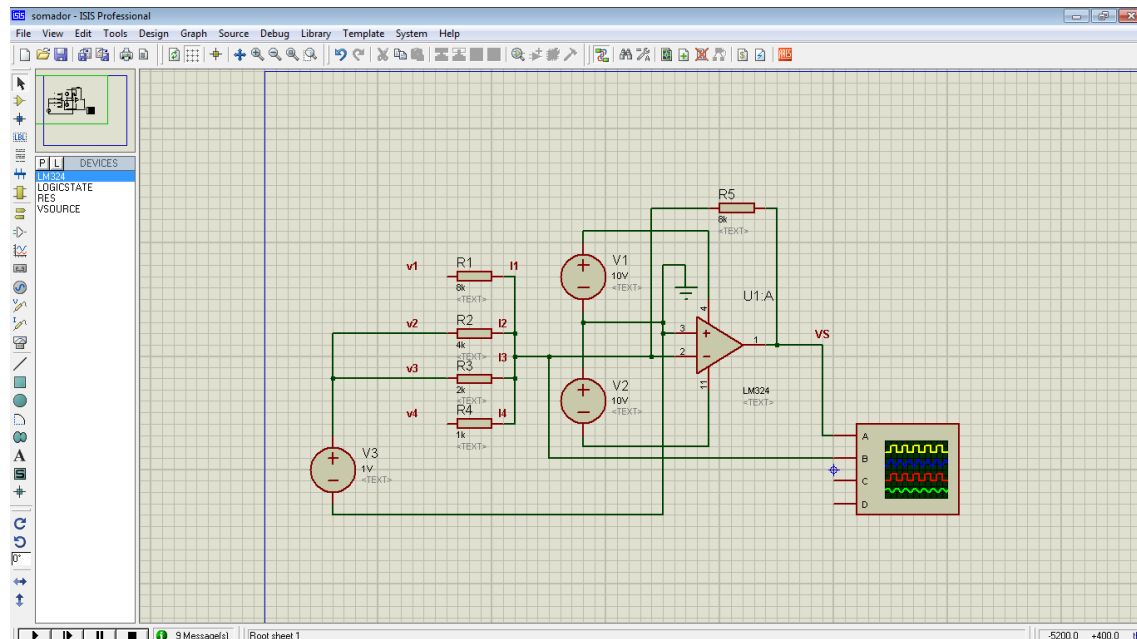
Figura 28 (imagem do osciloscópio digital na pratica. 6° circuito somador.)



No 6º experimento foi comprovado que a teoria não é igual a pratica, podemos comprovar este fato observando as figuras 26, 27 e 28. Os dois resultados obtidos foram parecidos mas não iguai. Na simulação foi encontrado  $V_s = -5V$  e na pratica  $V_s = -5,2V$ .

Com  $V_1 = 0V$ ,  $V_2 = 1V$ ,  $V_3 = 1V$  e  $V_4 = 0V$ . (esquematizado na figura 29)

Figura29 ( 7ºsimulação circuito somador.)



$V_s = -6V$  como mostra a figura 30.

Figura30 ( imagem do osciloscópio virtual, 7º circuito somador.)

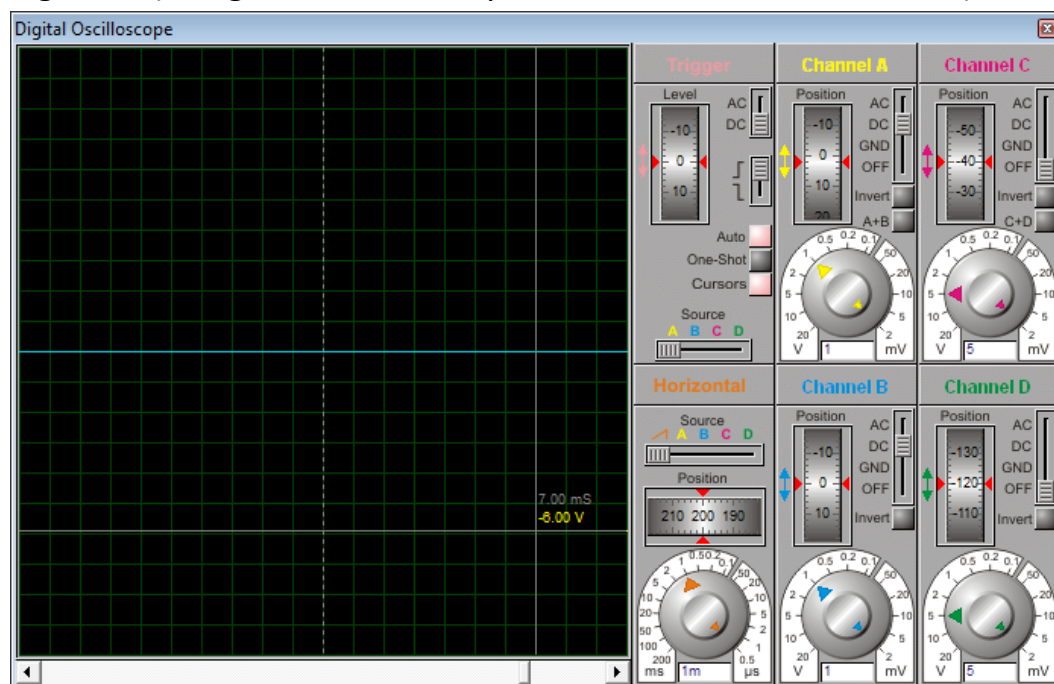
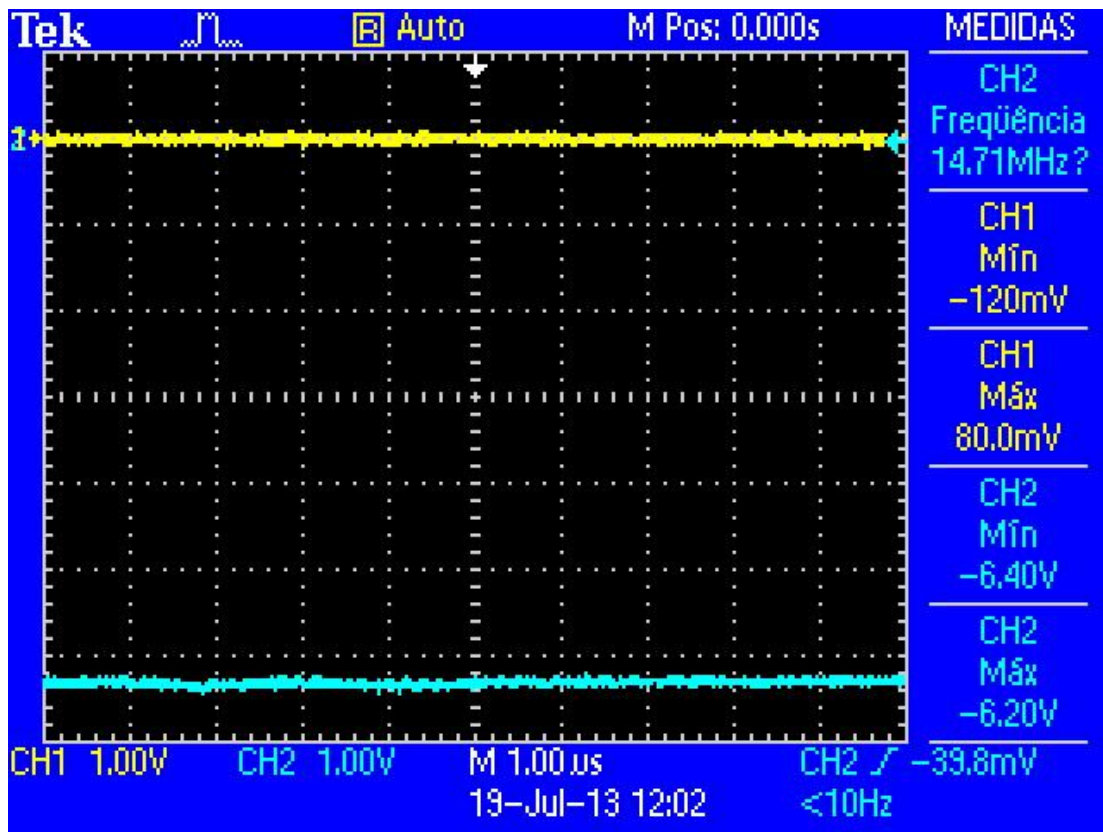


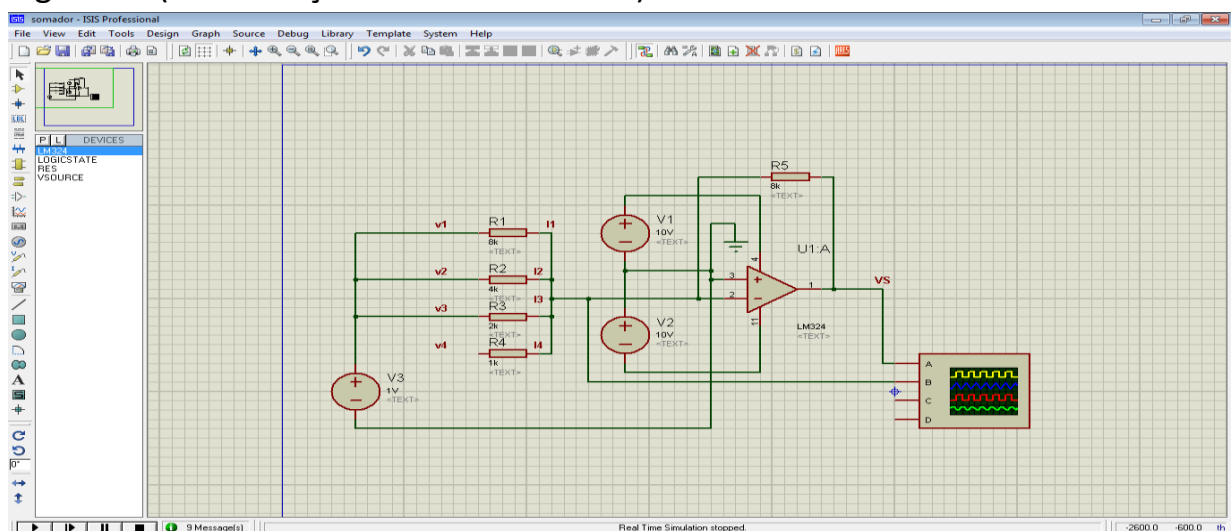
Figura 31 (imagem do osciloscópio digital na pratica. 7º circuito somador.)



No 7º experimento foi comprovado que a teoria não é igual a pratica, podemos comprovar este fato observando as figuras 29, 30 e 31. Os dois resultados obtidos foram parecidos mas não iguais. Na simulação foi encontrado  $V_s = -6V$  e na pratica  $V_s = -6,20V$ .

Com  $V_1 = 1V$ ,  $V_2 = 1V$ ,  $V_3 = 1V$  e  $V_4 = 0V$ . (esquematizado na figura 32)

Figura 32 ( 8ºsimulação circuito somador.)





$V_s = -7V$  como mostra a figura 33.

Figura33 ( imagem do osciloscópio virtual, 8º circuito somador.)

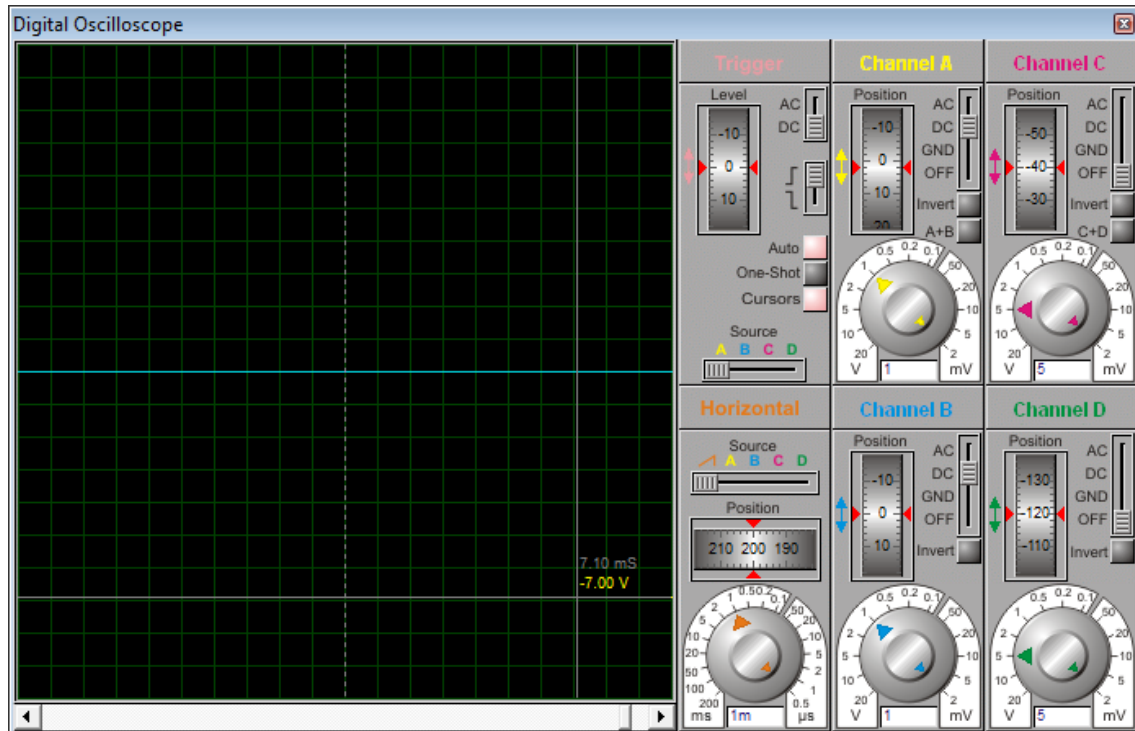
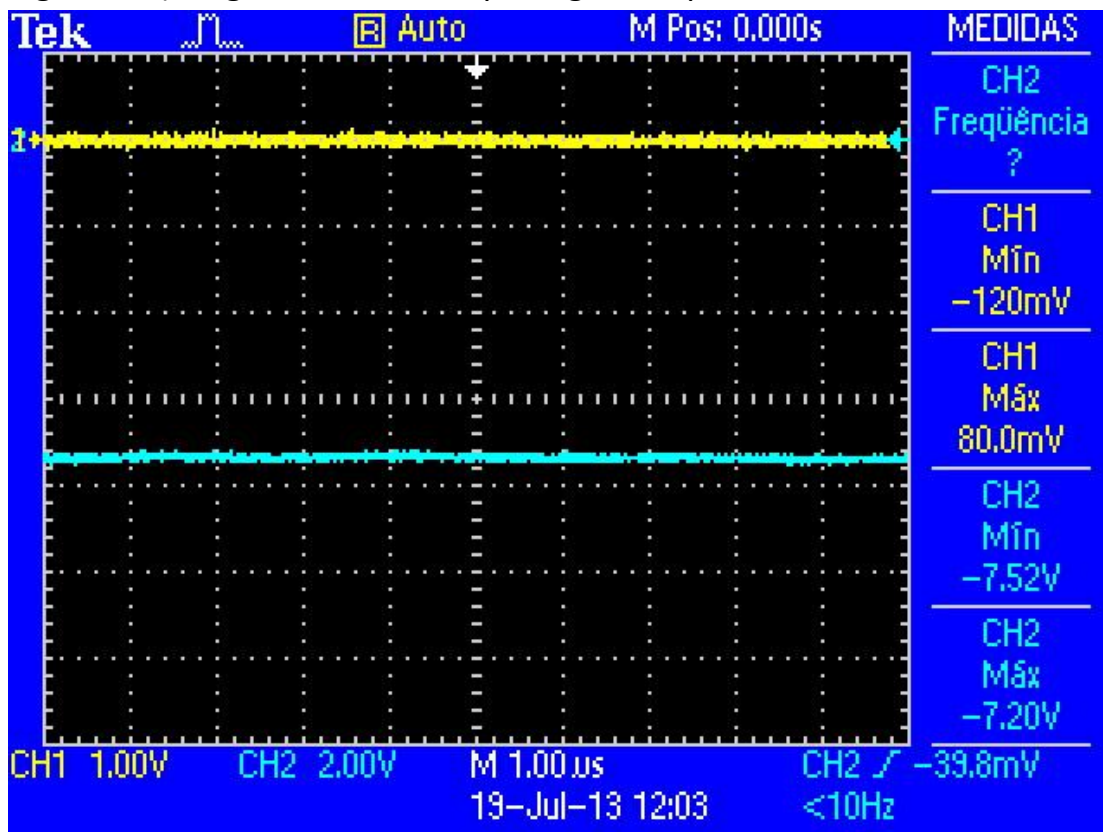


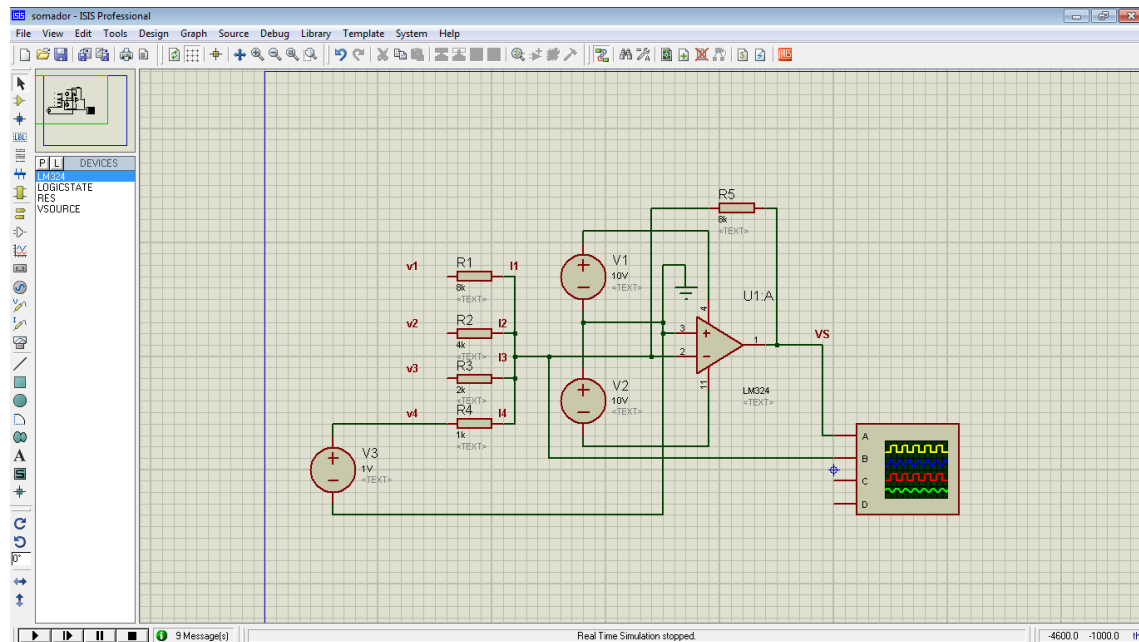
Figura 34 (imagem do osciloscópio digital na pratica. 8º circuito somador.)



No 8º experimento foi comprovado que a teoria não é igual a pratica, podemos comprovar este fato observando as figuras 32, 33 e 34. Os dois resultados obtidos foram parecidos mas não iguai. Na simulação foi encontrado  $V_s = -7V$  e na pratica  $V_s = -7,20V$ .

Com  $V_1 = 0V$ ,  $V_2 = 0V$ ,  $V_3 = 0V$  e  $V_4 = 1V$ . (esquematzado na figura 35)

Figura 35 ( 9ºsimulação circuito somador.)



$V_s = -8V$  como mostra a figura 36.

Figura36 ( imagem do osciloscópio virtual, 9º circuito somador.)

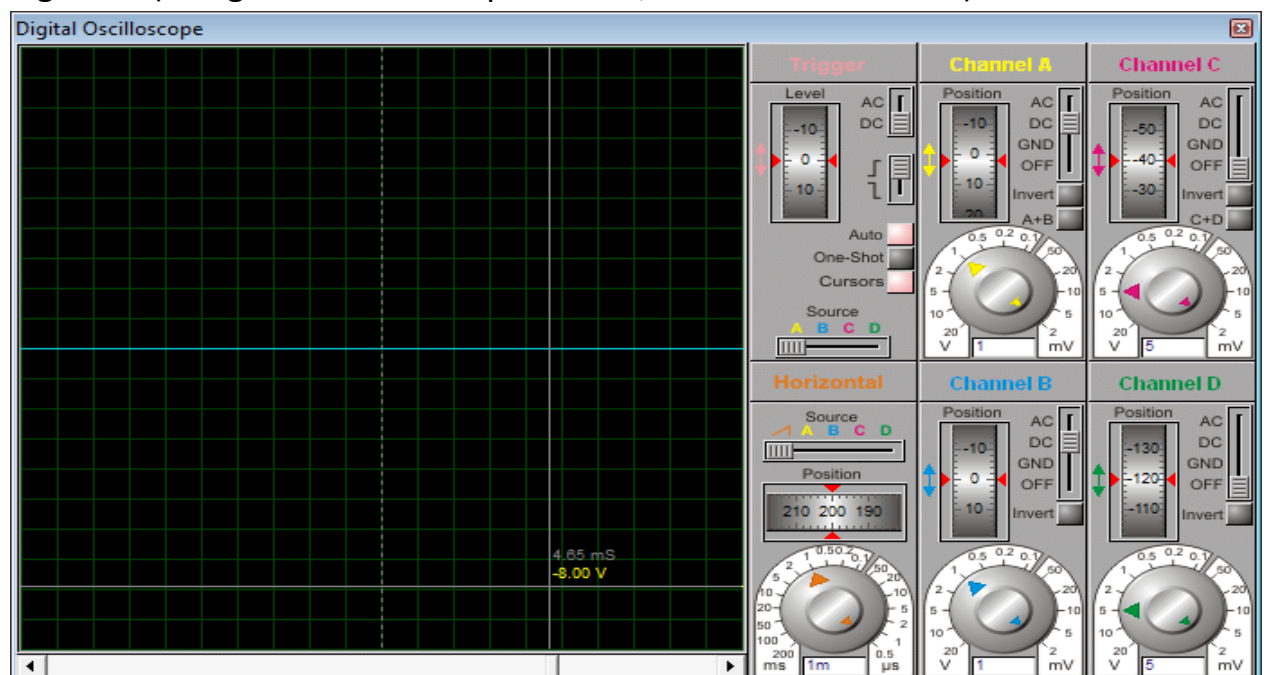
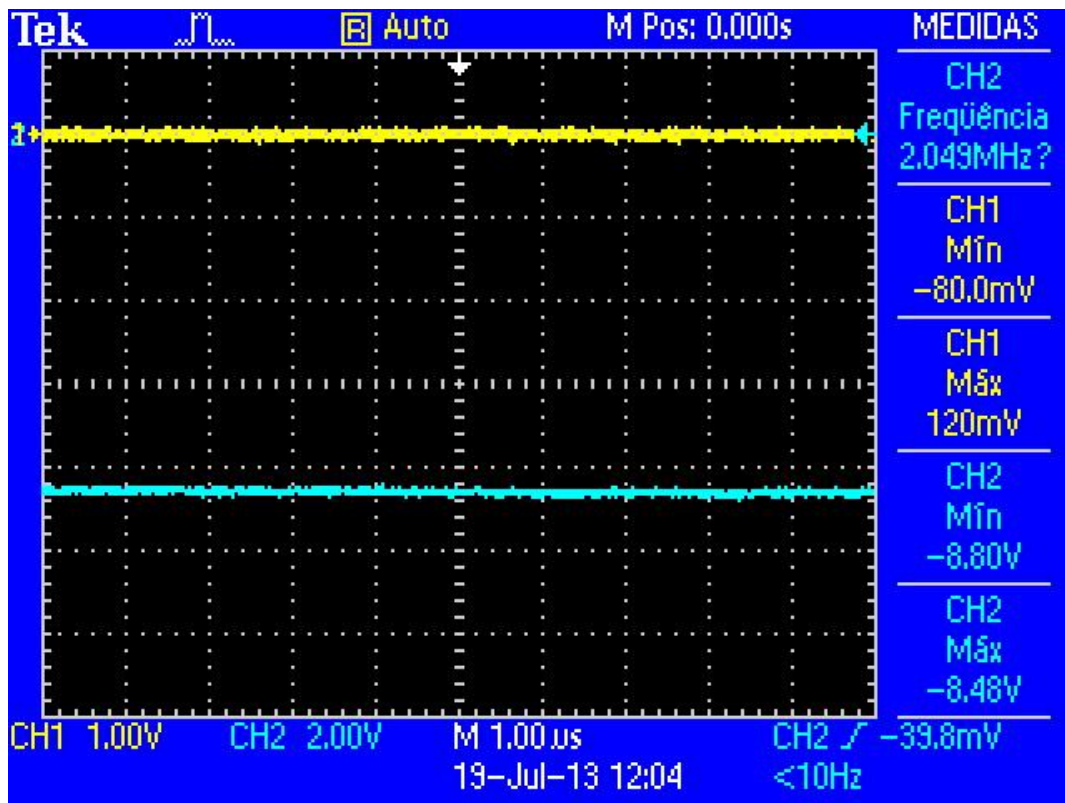


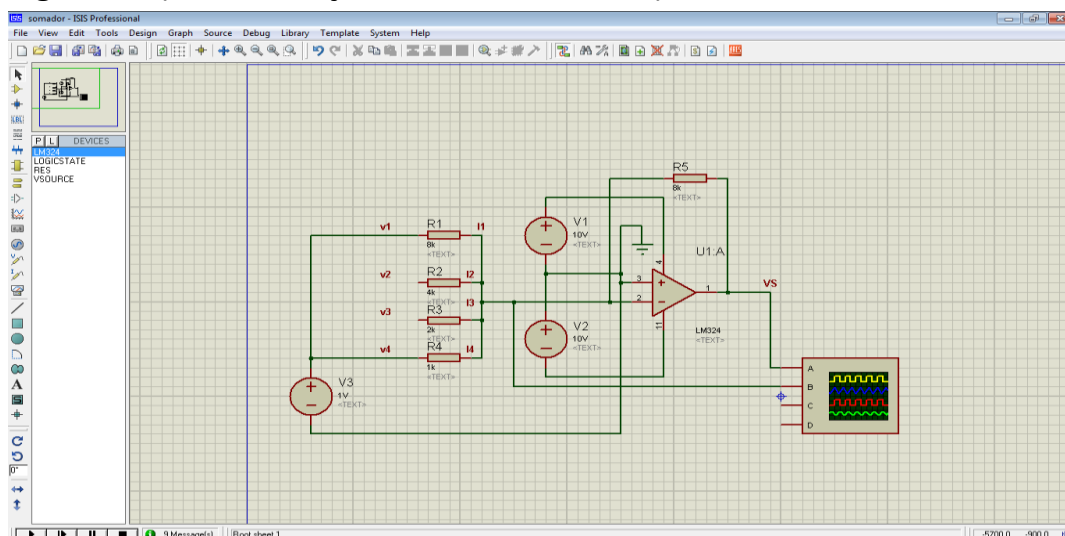
Figura 37 (imagem do osciloscópio digital na pratica. 9º circuito somador.)



No 9º experimento foi comprovado que a teoria não é igual a pratica, podemos comprovar este fato observando as figuras 35, 36 e 37. Os dois resultados obtidos foram parecidos mas não iguais. Na simulação foi encontrado  $V_s = -8V$  e na pratica  $V_s = -8,48V$ .

Com  $V_1 = 1V$ ,  $V_2 = 0V$ ,  $V_3 = 0V$  e  $V_4 = 1V$ . (esquematisado na figura 36)

Figura 37 ( 10ª simulação circuito somador.)



$V_s = -9V$  como mostra a figura 38.

Figura38 ( imagem do osciloscópio virtual, 10º circuito somador.)

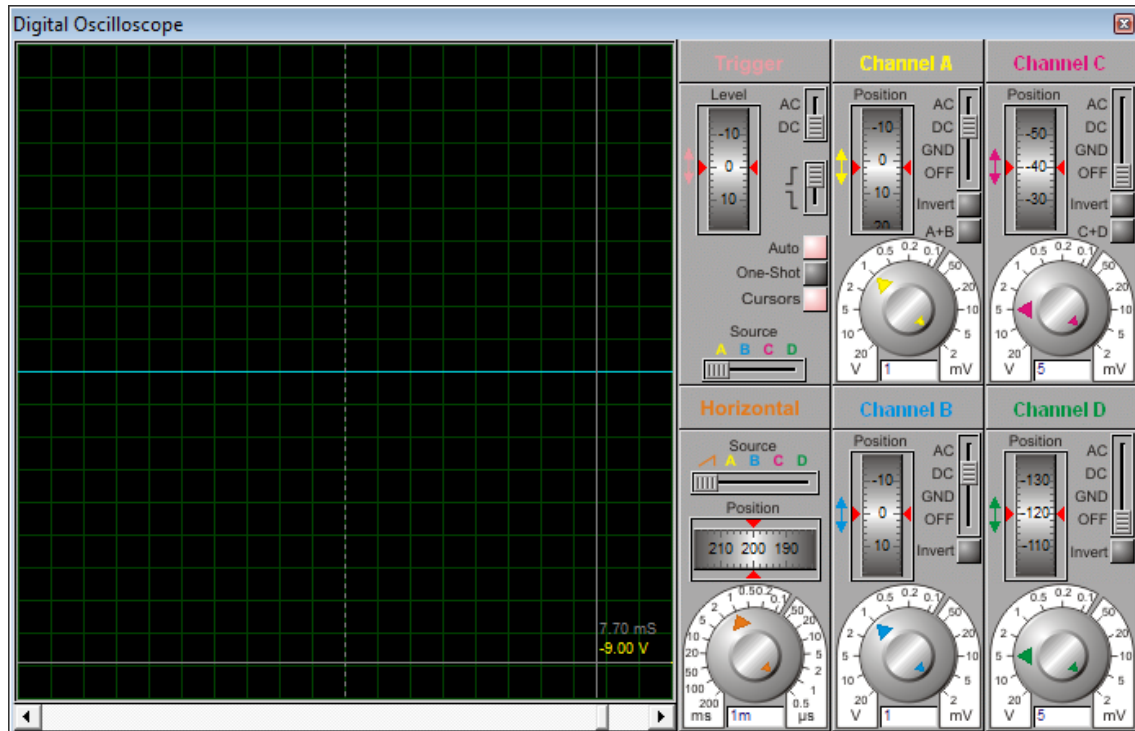
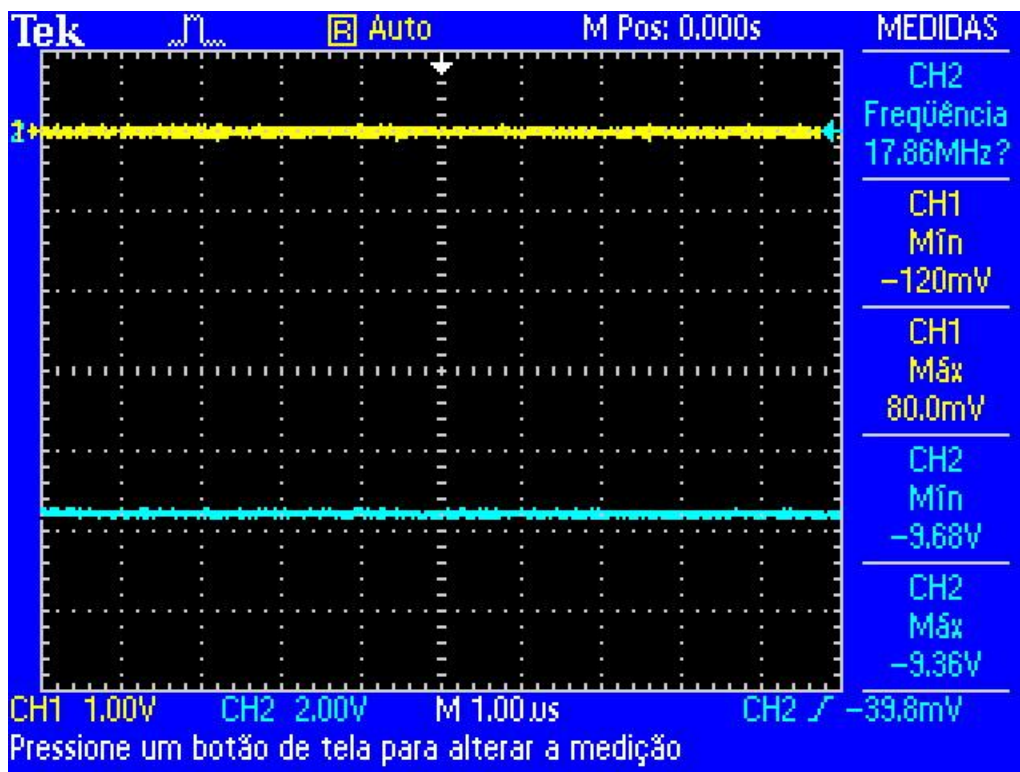


Figura 39 (imagem do osciloscópio digital na pratica. 10º circuito somador.)



No 10º experimento foi comprovado que a teoria não é igual a pratica, podemos comprovar este fato observando as figuras 37, 38 e 39. Os dois resultados obtidos foram parecidos mas não iguai. Na simulação foi encontrado  $V_s = -9V$  e na pratica  $V_s = -9,36V$ .

**Resumo dos resultados encontrados com o ampop somador utilizando o lm324.**

V1	V2	V3	V4	Vs (simulação)	Vs (experimento)
0V	0V	0V	0V	0V	0V
1V	0V	0V	0V	-1V	-1V
0V	1V	0V	0V	-2V	-2V
1V	1V	0V	0V	-3V	-3V
0V	0V	1V	0V	-4V	-4V
1V	0V	1V	0V	-5V	-5,20V
0V	1V	1V	0V	-6V	-6,20V
1V	1V	1V	0V	-7V	-7,20V
0V	0V	0V	1V	-8V	-8,48V
1V	0V	0V	1V	-9V	-9,36V



Este experimento integrador será utilizando um circuito integrado LM741 para demonstrar o funcionamento do circuito variando a sua frequência e explicando o comportamento do integrador.

Figura40(simulação do ampop741 integrador.)

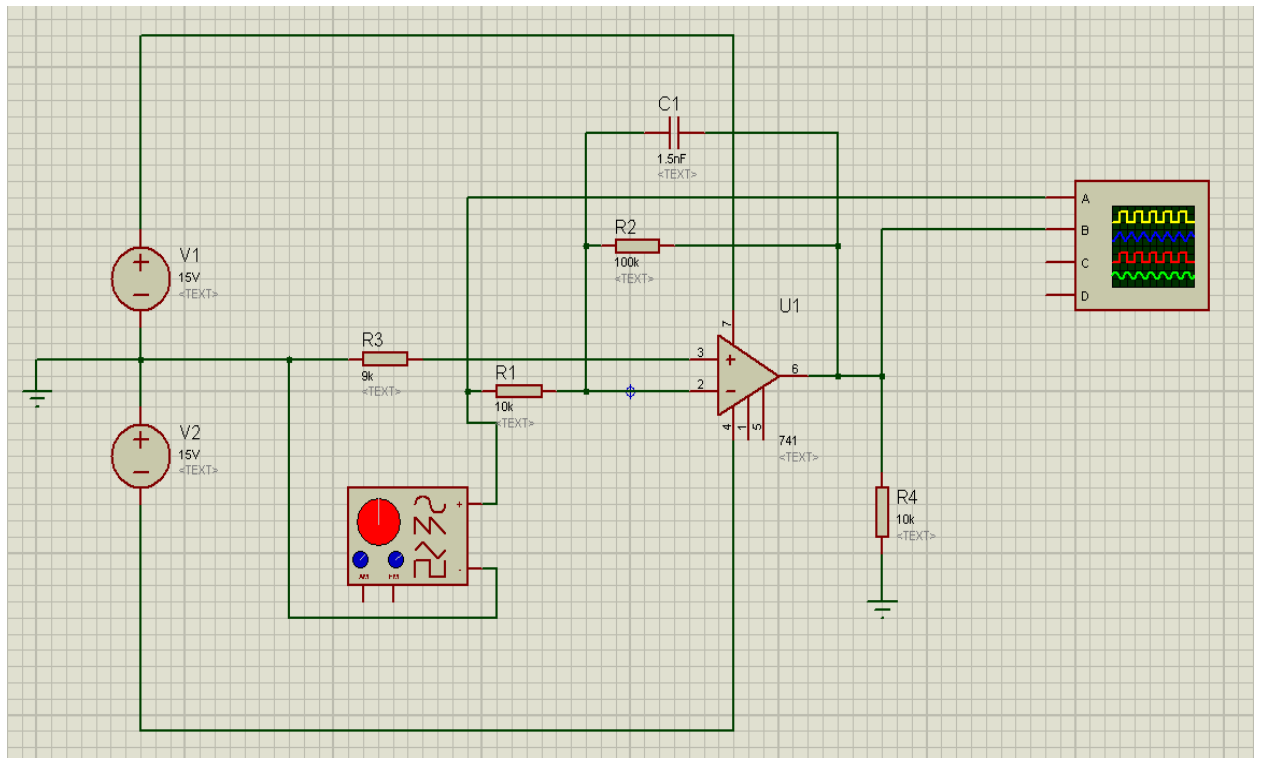


Figura 41( comportamento de um ampop integrador no osciloscópio virtual.)

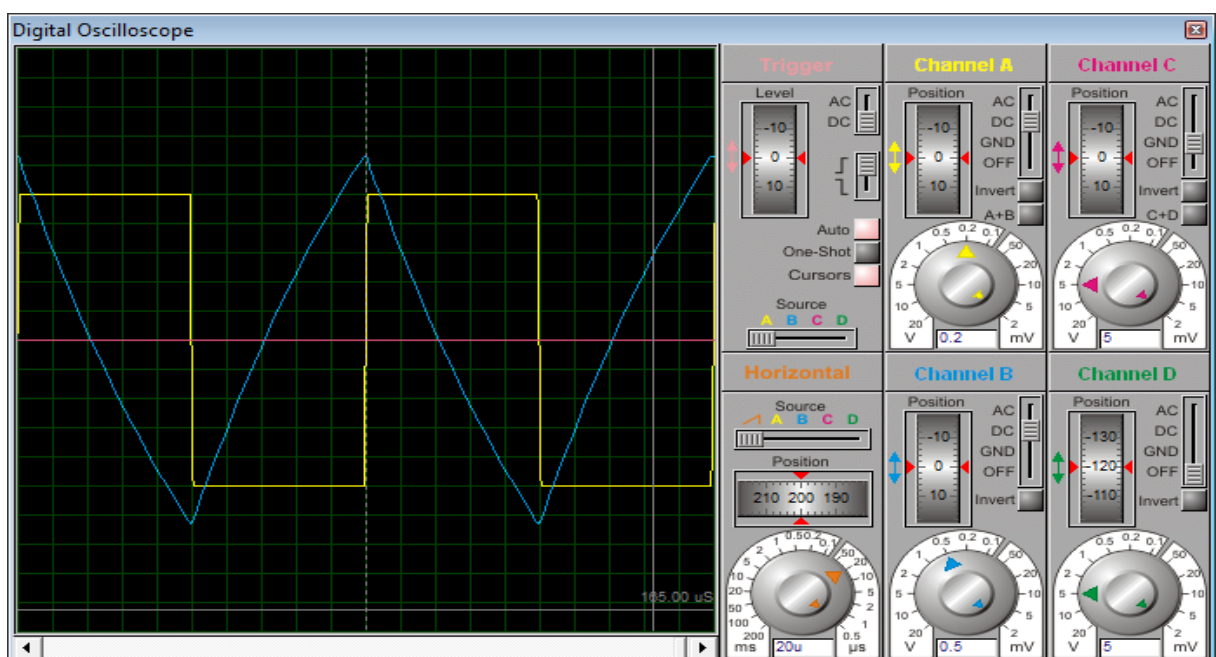
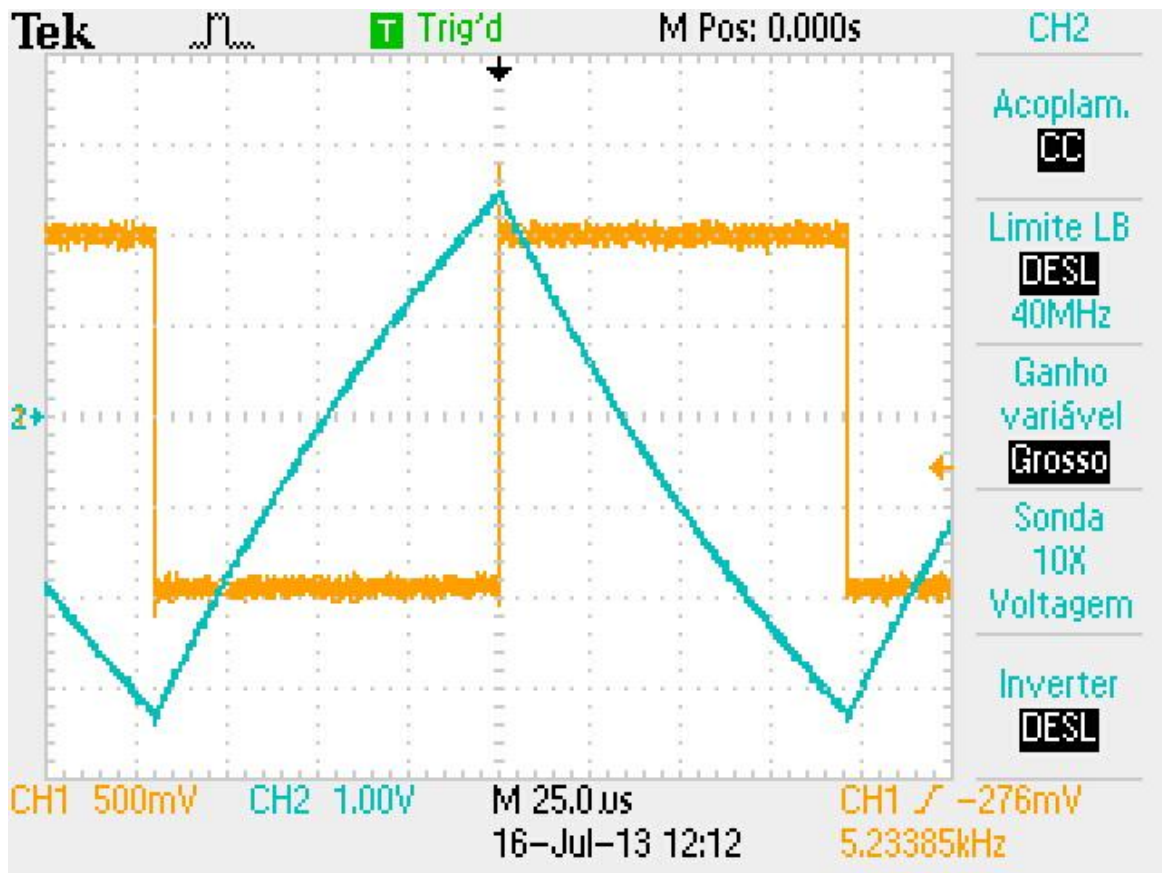


Figura 42 (comportamento de um ampop integrador no osciloscópio digital.)



Este ampop integrador está com uma frequência alta igual a 5 KHz com um entrada quadrada (amarelo). Podemos notar que o ampop tente a saturar como é de costume para Vcc ou Vee entretanto como a frequência é muito alta ele não tem tempo o bastante para permanecer em Vcc ou Vee e fica oscilando entre eles, também podemos notar que entre o tempo que ele leva para sua saturação sua onda não é reta isso é devido ao uso de um capacitor no circuito e por característica é impossível ter uma onda reta. Agora na figura 43 iremos observar um integrador com uma frequência mais baixa e analisar seu comportamento.

Figura 43( comportamento de um ampop integrador no osciloscópio virtual.)

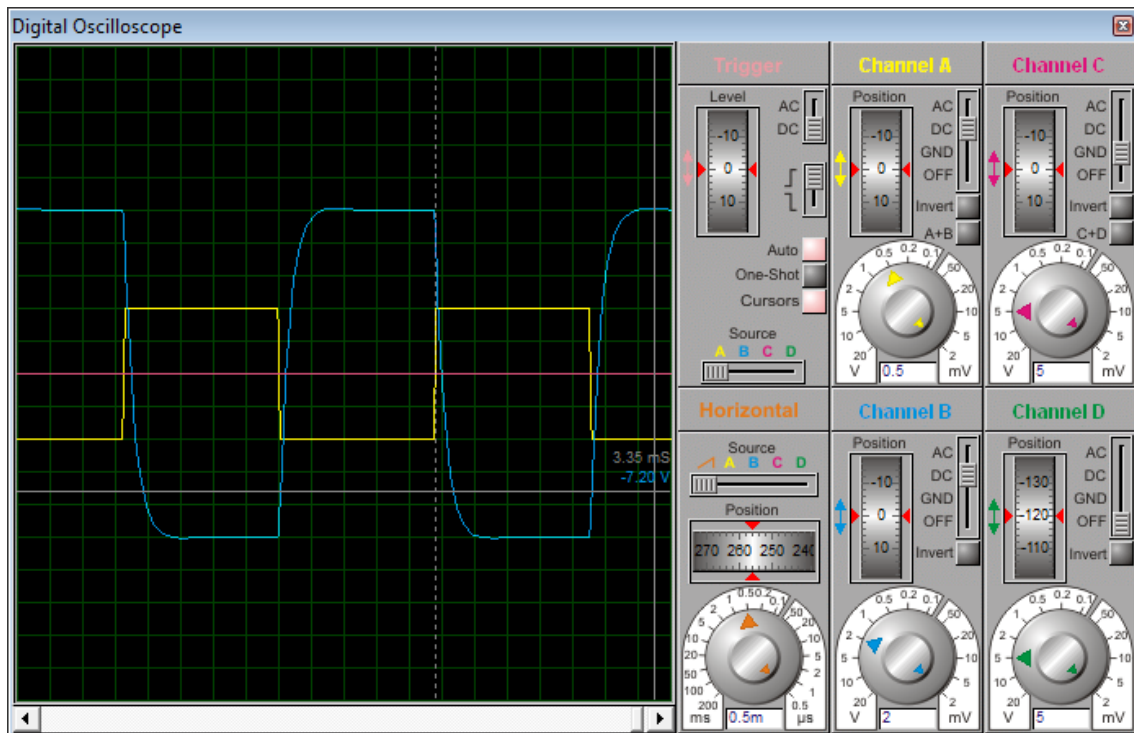
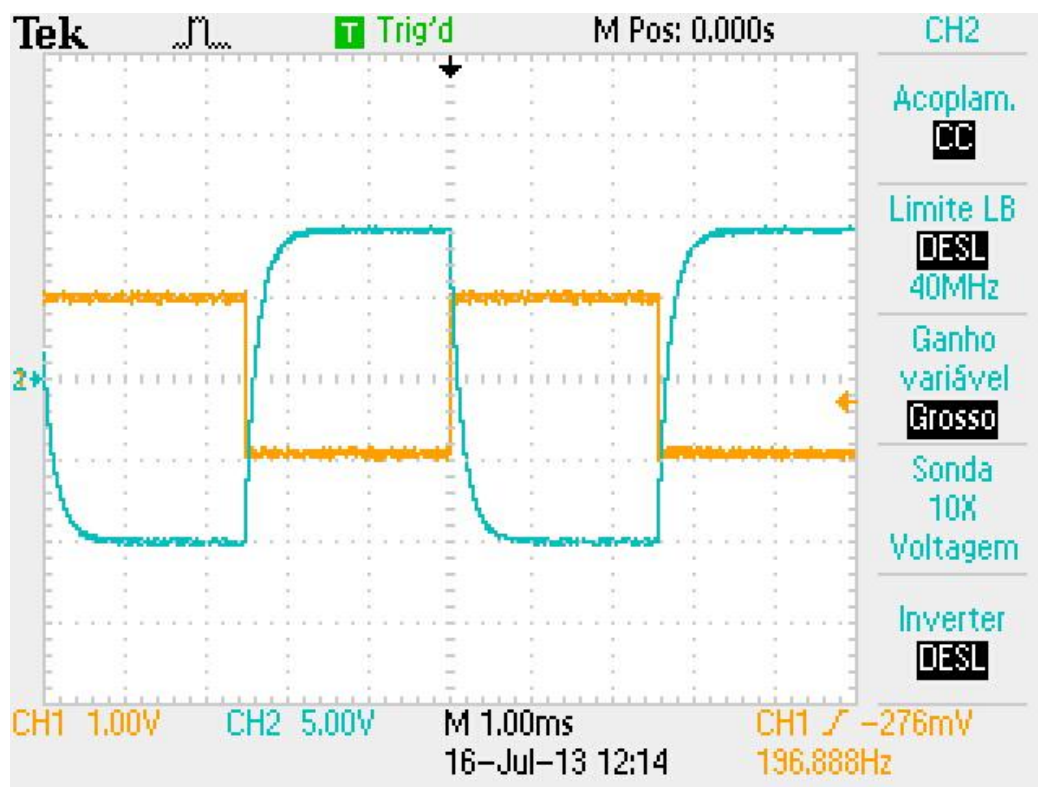


Figura 44 (comportamento de um ampop integrador no osciloscópio digital.)





Nestes gráficos das figuras 43 e 44 comprovam que o ampop integrador satura entretanto com uma frequência mais alta ele não tem o tempo suficiente para permanecer neste estado e com uma frequência mais baixa claramente ele tem tempo suficiente para notarmos com clareza a sua saturação.

**Este experimento derivador será utilizando um circuito integrado LM741 para demonstrar o funcionamento do circuito variando a sua frequência e explicando o comportamento do derivador.**

Figura 45(esquemático de um ampop derivador)

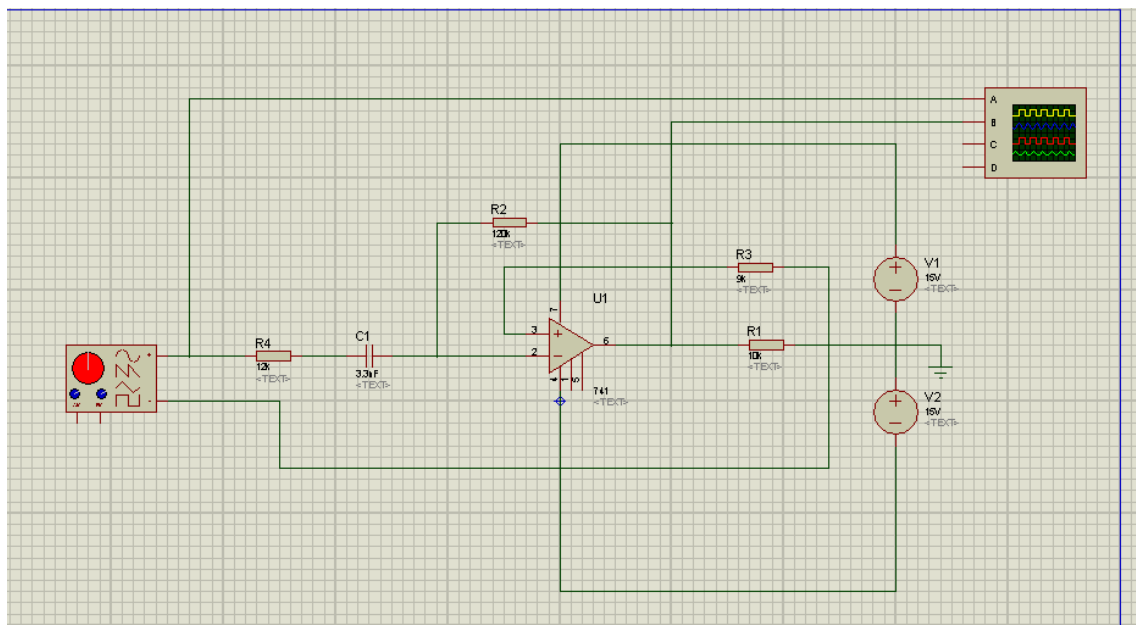


Figura 46(comportamento de um ampop derivador no osciloscópio virtual.)

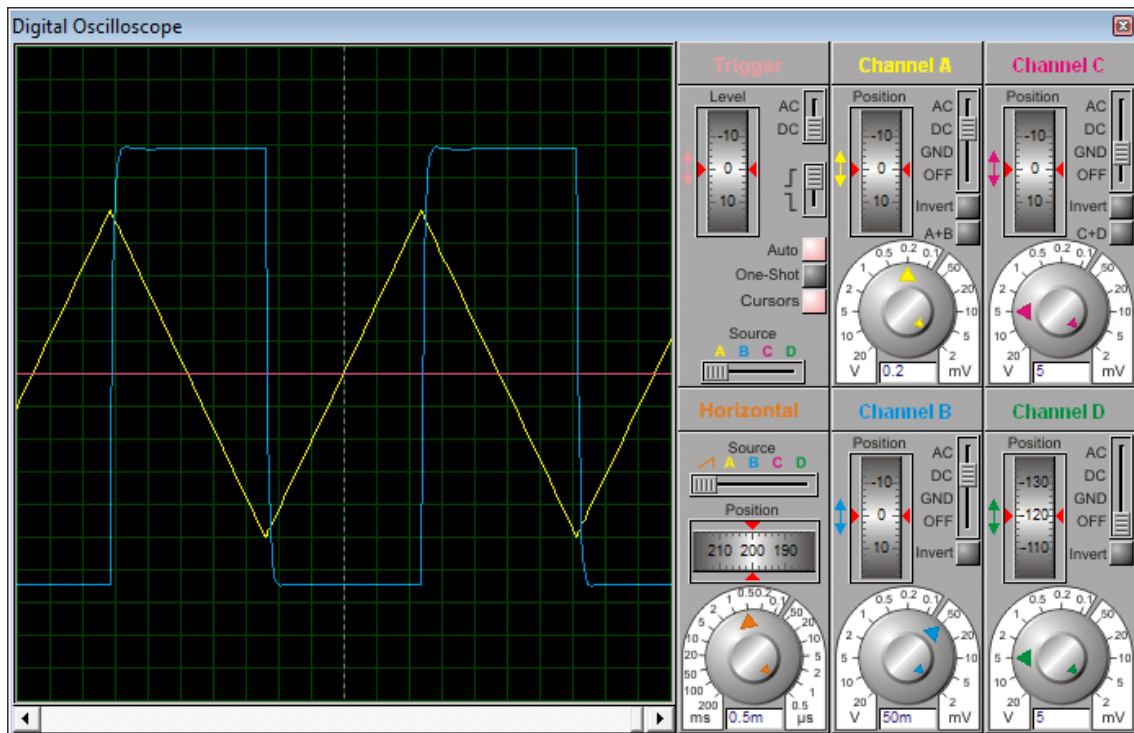
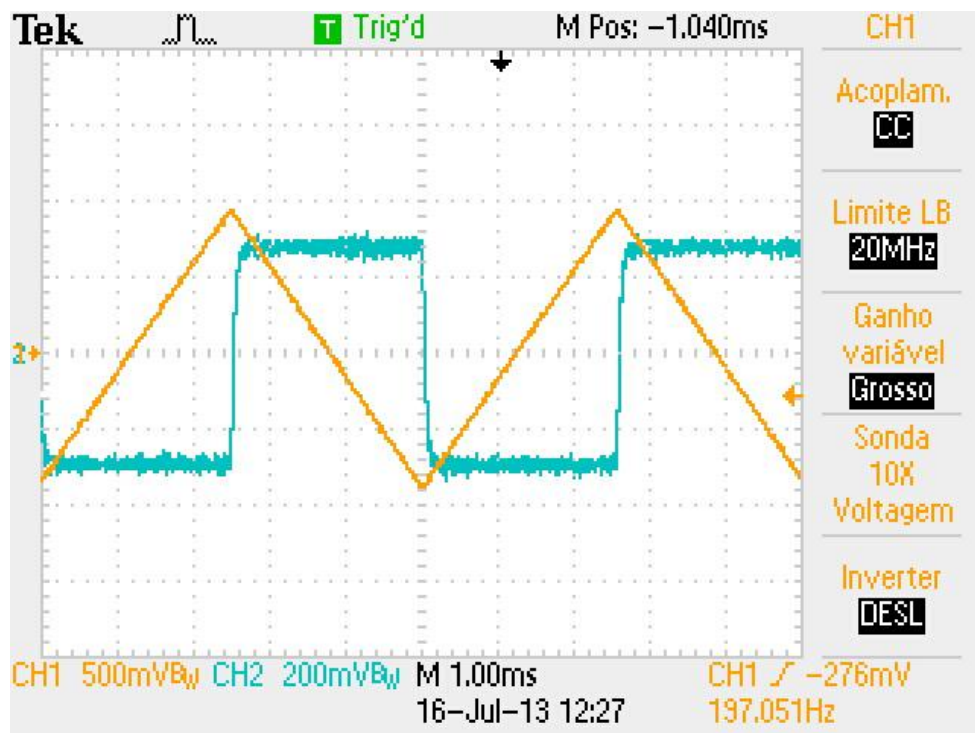


Figura 47(comportamento de um ampop derivador no osciloscópio digital.)



Podemos notar que o comportamento do derivador com frequência baixa de 200Hz do inverso do comportamento do integrador, mas observar o que ocorre com o derivador em um frequência alta.

Figura 48(comportamento de um ampop derivador no osciloscópio virtual.)

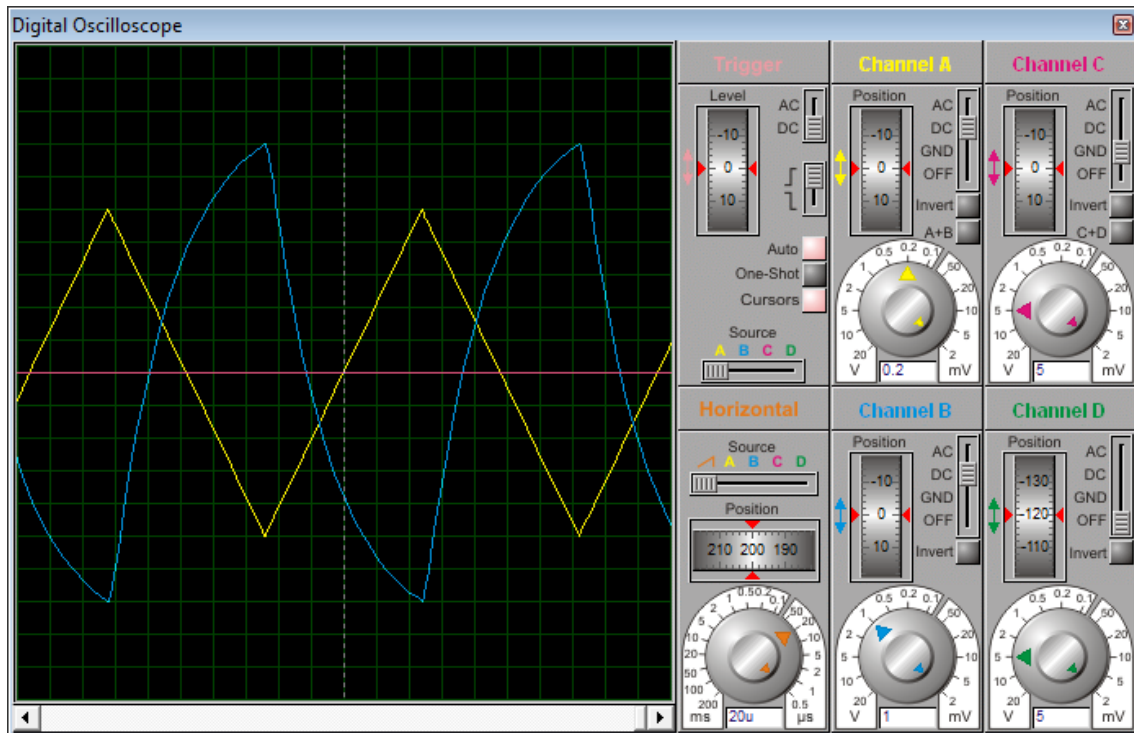
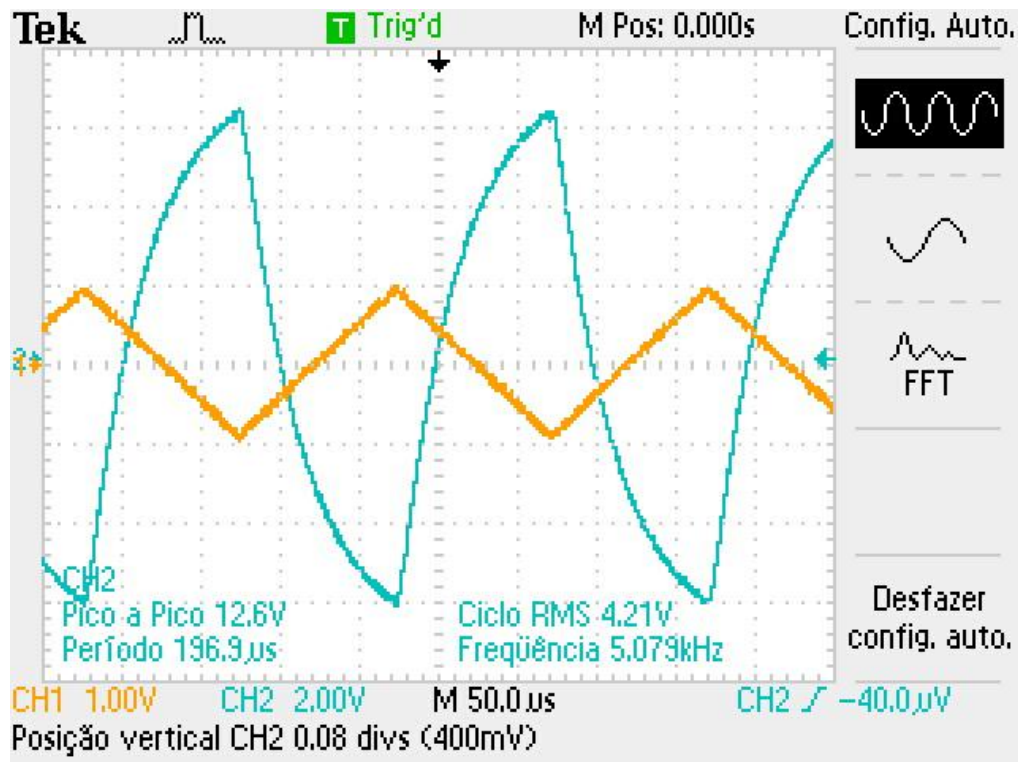


Figura 49 (comportamento de um ampop derivador no osciloscópio digital.)



É possível observar que o derivador em frequência alta é o integrador em frequência baixa é isto é um fato, a matemática nos prova isso a derivada é o inverso da integral e a integral é o inverso da derivada é o que está acontecendo com o ampop 741 nesse estudo.

## Conclusão

---

Este relatório proporcionou a compreensão de trabalhar com os ampops integrador, derivador e somador. Todos os objetivos traçados no início do relatório foram alcançados com êxito, a compreensão teórica, prática e de simulação, apenas com pouca dificuldade de entendimento teórica do somador, entretanto sanado durante a execução do relatório.

Sobre a prática não houve qualquer problema na montagem dos circuitos, todos foram montados e funcionaram como visto no relatório.

# Anexos

## Lm741



LM741

www.ti.com

SNOSC25B – MAY 2004 – REVISED OCTOBER 2004

### LM741 Operational Amplifier

Check for Samples: [LM741](#)

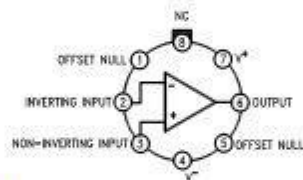
#### DESCRIPTION

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C is identical to the LM741/LM741A except that the LM741C has their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of –55°C to +125°C.

#### Connection Diagram



LM741H is available per JM38510/10101

Figure 1. Metal Can Package

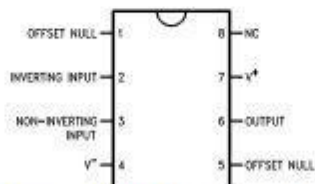


Figure 2. Dual-In-Line or S.O. Package

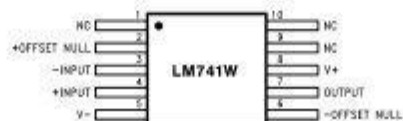
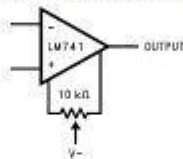


Figure 3. Ceramic Flatpak

**Figure 4. Offset Nulling Circuit**

These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

**Absolute Maximum Ratings** <sup>(1) (2)</sup>

	LM741A	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation <sup>(3)</sup>	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V
Input Voltage <sup>(4)</sup>	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	150°C	100°C
<b>Soldering Information</b>			
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C
<b>M-Package</b>			
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD Tolerance <sup>(5)</sup>	400V	400V	400V

(1) "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

(2) For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

(3) For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and  $T_J$  max. (listed under "Absolute Maximum Ratings").  $T_J = T_A + (\theta_{JA} P_D)$ .

(4) For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

(5) Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.



# Electrical Characteristics <sup>(1)</sup>

SN09C25B – MAY 2004 – REVISED OCTOBER 2004

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$										
	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$					1.0	5.0		2.0	6.0	mV
	$R_S \leq 50\Omega$		0.8	3.0							mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$										
	$R_S \leq 50\Omega$			4.0							mV
Average Input Offset Voltage Drift	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$						6.0			7.5	mV
				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	$\pm 10$			$\pm 15$			$\pm 15$			mV
Adjustment Range											
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	$\mu\text{A}$
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		M $\Omega$
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	0.5									M $\Omega$
	$V_S = \pm 20\text{V}$										
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							$\pm 12$	$\pm 13$		V
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				$\pm 12$	$\pm 13$					V
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}, R_L \geq 2\text{ k}\Omega$										
	$V_S = \pm 20\text{V}, V_O = \pm 15\text{V}$	50									V/mV
	$V_S = \pm 15\text{V}, V_O = \pm 10\text{V}$				50	200		20	200		V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$										
	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$										
	$V_S = \pm 20\text{V}, V_O = \pm 15\text{V}$	32									V/mV
	$V_S = \pm 15\text{V}, V_O = \pm 10\text{V}$				25			15			V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 5\text{V}, V_O = \pm 2\text{V}$	10									V/mV
	$V_S = \pm 20\text{V}$										
	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	$\pm 15$									V
	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	$\pm 15$									V
	$V_S = \pm 15\text{V}$										
	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$				$\pm 12$	$\pm 14$		$\pm 12$	$\pm 14$		V
	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				$\pm 10$	$\pm 13$		$\pm 10$	$\pm 13$		V
Output Short Circuit	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	25	35		25			25		mA
Current	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10		40							mA
Common-Mode	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$										
Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega, V_{CM} = \pm 12\text{V}$				70	90		70	90		dB
	$R_S \leq 50\Omega, V_{CM} = \pm 12\text{V}$	80	95								dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$										
	$V_S = \pm 20\text{V}$ to $V_S = \pm 5\text{V}$										
	$R_S \leq 50\Omega$	86	96								dB
	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$				77	96		77	96		dB
Transient Response	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain										



**Electrical Characteristics** <sup>(1)</sup> (continued)

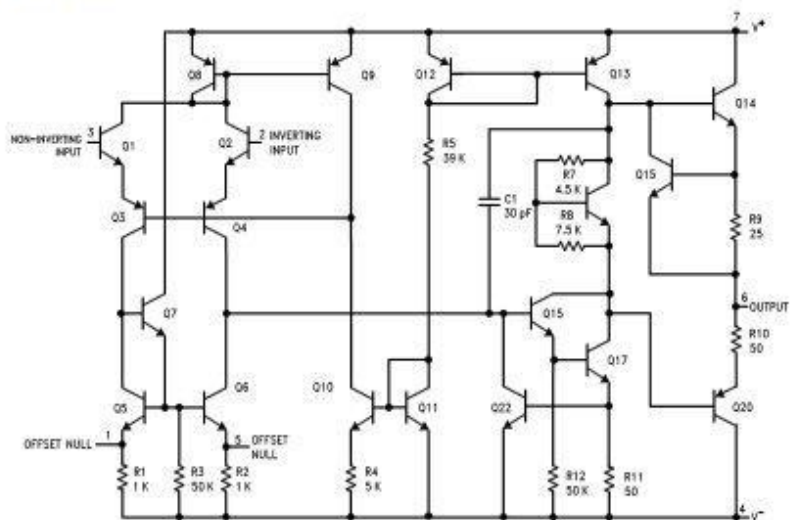
www.ti.com

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Rise Time			0.25	0.8		0.3			0.3		μs
Overshoot			6.0	20		5			5		%
Bandwidth <sup>(2)</sup>	T <sub>A</sub> = 25°C	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	T <sub>A</sub> = 25°C, Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/μs
Supply Current	T <sub>A</sub> = 25°C					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	T <sub>A</sub> = 25°C										
	V <sub>B</sub> = ±20V		80	150							mW
	V <sub>B</sub> = ±15V					50	85		50	85	mW
LM741A	V <sub>B</sub> = ±20V										
	T <sub>A</sub> = T <sub>AMN</sub>			165							mW
	T <sub>A</sub> = T <sub>AMAX</sub>			135							mW
LM741	V <sub>B</sub> = ±15V										
	T <sub>A</sub> = T <sub>AMN</sub>					60	100				mW
	T <sub>A</sub> = T <sub>AMAX</sub>					45	75				mW

(2) Calculated value from: BW (MHz) = 0.35/Rise Time(μs).

www.ti.com Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	SOIC (P)	HTSSOP (R)
$\theta_{JA}$ (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
$\theta_{JC}$ (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

### Schematic Diagram



# LM2902,LM324/LM324A,LM224/ LM224A

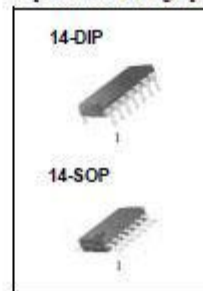
## Quad Operational Amplifier

### Features

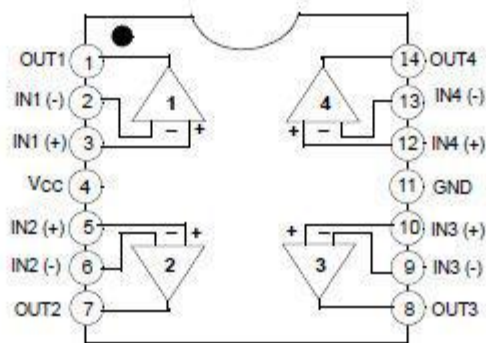
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range:  
LM224/LM224A, LM324/LM324A : 3V~32V (or  $\pm 1.5 \sim 15V$ )  
LM2902: 3V~26V (or  $\pm 1.5V \sim 13V$ )
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V to  $V_{CC} - 1.5V$
- Power Drain Suitable for Battery Operation

### Description

The LM324/LM324A, LM2902, LM224/LM224A consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide voltage range. Operation from split power supplies is also possible so long as the difference between the two supplies is 3 volts to 32 volts. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP-AMP circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.

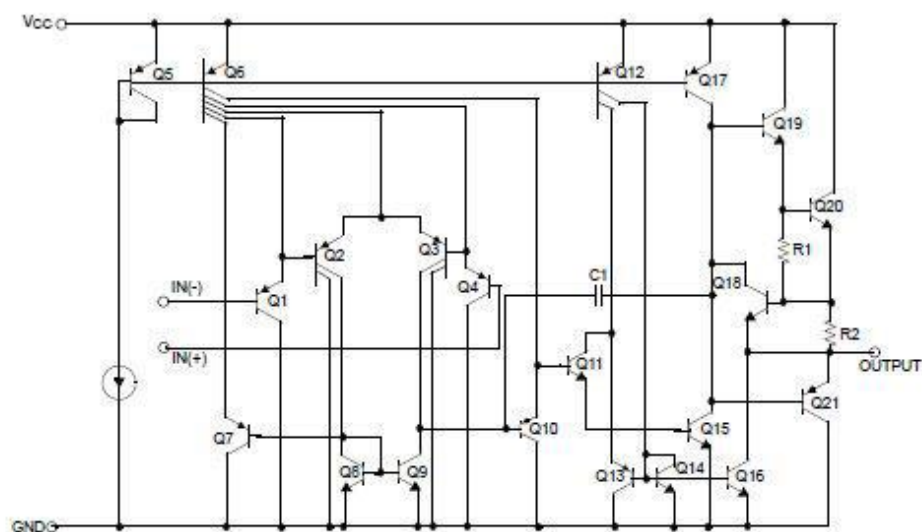


### Internal Block Diagram



## Schematic Diagram

(One Section Only)



## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM224/LM224A	LM324/LM324A	LM2902	Unit
Power Supply Voltage	VCC	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 28	V
Differential Input Voltage	V <sub>I</sub> (DIFF)	32	32	28	V
Input Voltage	V <sub>I</sub>	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +28	V
Output Short Circuit to GND V <sub>CC</sub> ≤15V, T <sub>A</sub> =25°C(one Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Power Dissipation, T <sub>A</sub> =25°C 14-DIP 14-SOP	P <sub>D</sub>	1310 640	1310 640	1310 640	mW
Operating Temperature Range	TOPR	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	°C

## Thermal Data

Parameter	Symbol	Value	Unit
Thermal Resistance Junction-Ambient Max. 14-DIP 14-SOP	R <sub>θja</sub>	95 195	°C/W

## Electrical Characteristics

(VCC = 5.0V, VEE = GND, TA = 25 °C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM224			LM324			LM2902			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V <sub>IO</sub>	V <sub>CM</sub> = 0V to V <sub>CC</sub> -1.5V V <sub>O(P)</sub> = 1.4V, R <sub>S</sub> = 0Ω	-	1.5	5.0	-	1.5	7.0	-	1.5	7.0	mV
Input Offset Current	I <sub>IO</sub>	-	-	2.0	30	-	3.0	50	-	3.0	50	nA
Input Bias Current	I <sub>BIAS</sub>	-	-	40	150	-	40	250	-	40	250	nA
Common-Mode Input Voltage Range	V <sub>I(R)</sub>	Note1	0	-	V <sub>CC</sub> -1.5	0	V <sub>CC</sub> -1.5	-	0	-	V <sub>CC</sub> -1.5	V
Supply Current	I <sub>CC</sub>	R <sub>L</sub> = ∞, V <sub>CC</sub> = 30V (all Amps)	-	1.0	3	-	1.0	3	-	1.0	3	mA
		R <sub>L</sub> = ∞, V <sub>CC</sub> = 5V (all Amps) (V <sub>CC</sub> = 26V for LM2902)	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G <sub>V</sub>	V <sub>CC</sub> = 15V, R <sub>L</sub> ≥ 2KΩ V <sub>O(P)</sub> = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	-	100	-	V/ mV
Output Voltage Swing	V <sub>O(H)</sub>	Note1	R <sub>L</sub> = 2KΩ		26	-	26	-	22	-	-	V
			R <sub>L</sub> = 10KΩ		27	28	-	27	28	-	23	24
	V <sub>O(L)</sub>	V <sub>CC</sub> = 5V, R <sub>L</sub> ≥ 10KΩ	-	5	20	-	5	20	-	5	100	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	75	-	50	75	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB
Channel Separation	CS	f = 1KHz to 20KHz	-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I <sub>SC</sub>	-	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I <sub>SOURCE</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 1V, V <sub>I(-)</sub> = 0V V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
	I <sub>SINK</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 0V, V <sub>I(-)</sub> = 1V V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	10	13	-	10	13	-	10	13	-	mA
		V <sub>I(+)</sub> = 0V, V <sub>I(-)</sub> = 1V V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(R)</sub> = 200mV	12	45	-	12	45	-	-	-	-	μA
Differential Input Voltage	V <sub>I(DIFF)</sub>	-	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	V

**Electrical Characteristics** (Continued)

(VCC = 5.0V, VEE = GND, TA = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM224A			LM324A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V <sub>IO</sub>	V <sub>CM</sub> = 0V to VCC -1.5V V <sub>O(P)</sub> = 1.4V, R <sub>S</sub> = 0 $\Omega$	-	1.0	3.0	-	1.5	3.0	mV
Input Offset Current	I <sub>IO</sub>	-	-	2	15	-	3.0	30	nA
Input Bias Current	I <sub>BIAS</sub>	-	-	40	80	-	40	100	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V <sub>I(R)</sub>	VCC = 30V	0	-	VCC -1.5	0	-	VCC -1.5	V
Supply Current (All Amps)	I <sub>CC</sub>	VCC = 30V	-	1.5	3	-	1.5	3	mA
		VCC = 5V	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G <sub>V</sub>	VCC = 15V, R <sub>L</sub> $\geq$ 2 K $\Omega$ V <sub>O(P)</sub> = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	V <sub>O(H)</sub>	Note 1 R <sub>L</sub> = 2 K $\Omega$	26	-	-	26	-	-	V
		R <sub>L</sub> = 10 K $\Omega$	27	28	-	27	28	-	V
	V <sub>O(L)</sub>	VCC = 5V, R <sub>L</sub> $\geq$ 10 K $\Omega$	-	5	20	-	5	20	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	85	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	dB
Channel Separation	CS	f = 1KHz to 20KHz	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	ISC	-	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I <sub>SOURCE</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 1V, V <sub>I(-)</sub> = 0V VCC = 15V	20	40	-	20	40	-	mA
	I <sub>SINK</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 0V, V <sub>I(-)</sub> = 1V VCC = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	10	20	-	10	20	-	mA
		V <sub>I(+)</sub> = 0V, V <sub>I(-)</sub> = 1V VCC = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 200mV	12	50	-	12	50	-	$\mu$ A
Differential Input Voltage	V <sub>I(DIFF)</sub>	-	-	-	VCC	-	-	VCC	V

**Note:**

1. VCC=30V for LM224A, LM324A