



**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 ampop's: 741 e 339. Mostrando como trabalhar com os mesmos. 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

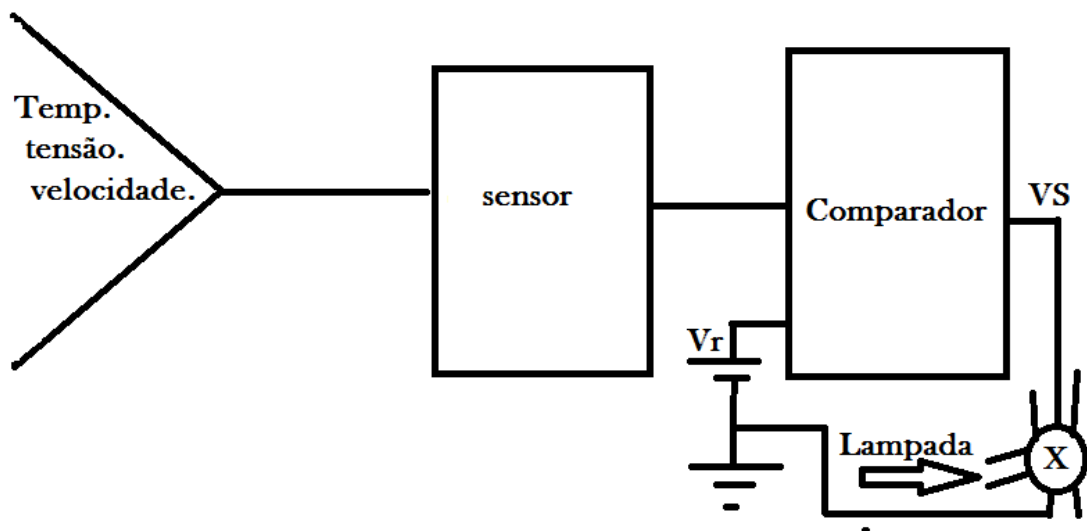
- Analisar, projetar e montar amplificadores operacionais: comparadores; inversor e não inversora e comparadores de histerese.
- Analisar teoria, simulação e prática.
- Otimizar o conhecimento na utilização do osciloscópio digital.
- Analisar as formas de onda de saída e entrada do circuito.
- Entender melhor o funcionamento dos comparadores.
- Entender melhor o funcionamento dos comparadores com histerese.

Etapa 1: Introdução Teórica

Comparadores com ampop's

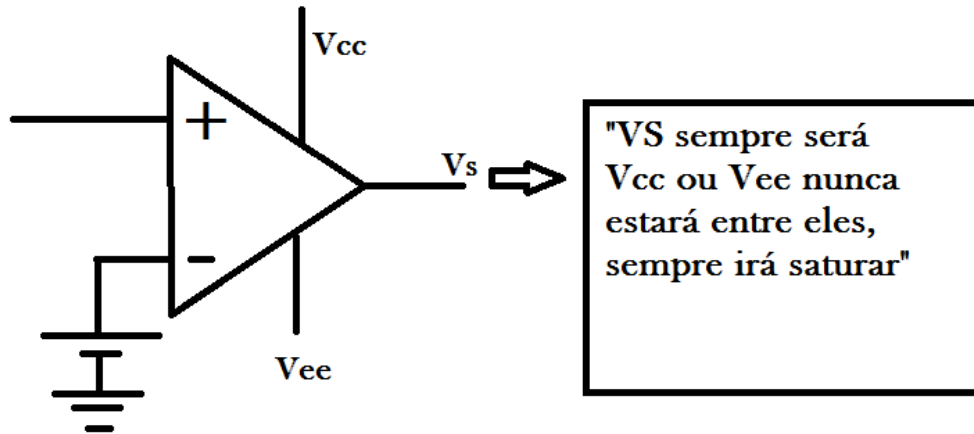
Os comparadores são circuitos que podem operar em malha aberta ou malha fechada, e que invariavelmente estão saturados em V_{cc} ou V_{ee} são utilizados para monitorar uma grandeza (tensão (V), Corrente (I), temperatura ($^{\circ}C$, $^{\circ}F$, $^{\circ}K$), Velocidade (V) e etc... A partir de uma tensão (V_R) de referencia.

Figura 1 (apresentação como funciona um comparador.)



Comparador não-inversor.

Figura 2(esquemático do comparador não-inversor e explicação do funcionamento de um comparador não-inversor)

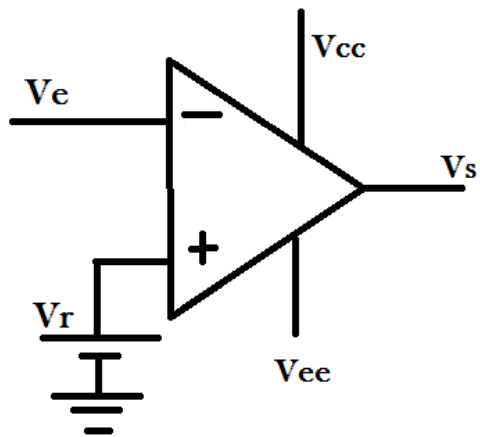


$$V_e > V_R \rightarrow V_s = v_{cc}$$

$$V_e < V_r \rightarrow V_s = V_{ee}$$

Comparador inversor.

Figura 3(esquemático de um comparador inversor)

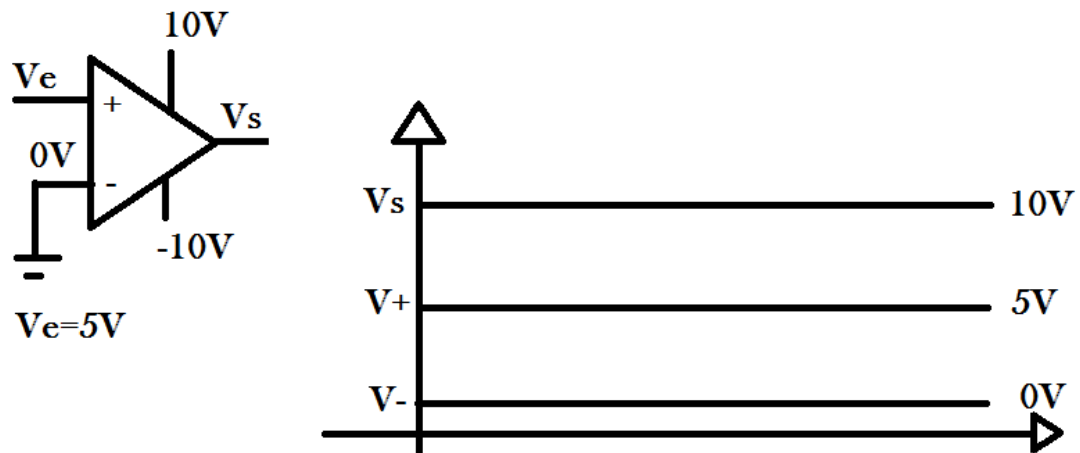


$$V_e > V_r \rightarrow V_s = V_{ee}$$

$$V_e < V_r \rightarrow V_s = V_{cc}$$

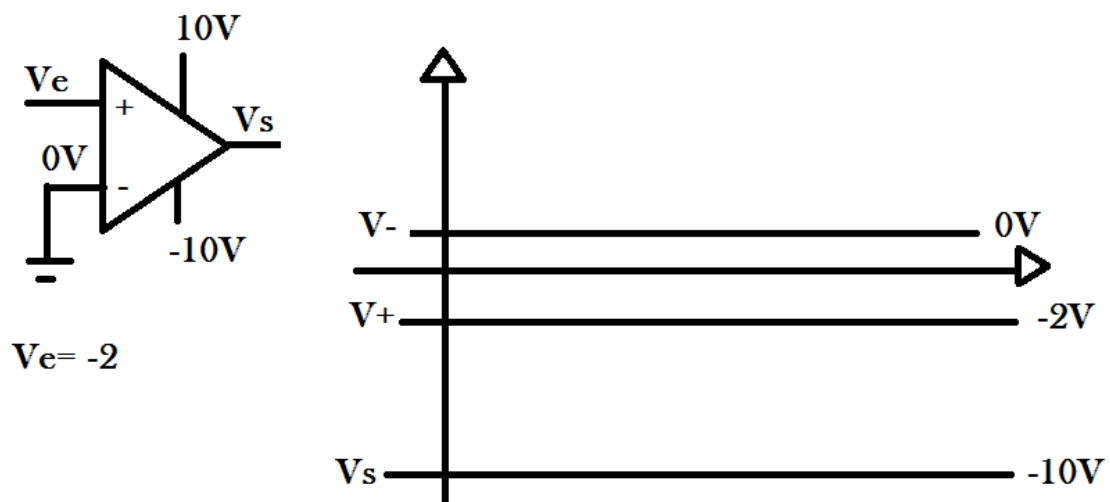
Este é são alguns exemplos para o melhor entendimento do conteúdo.

Figura 4 (Este é o exemplo numero 1 demonstrando como funciona o ampop comparador.)



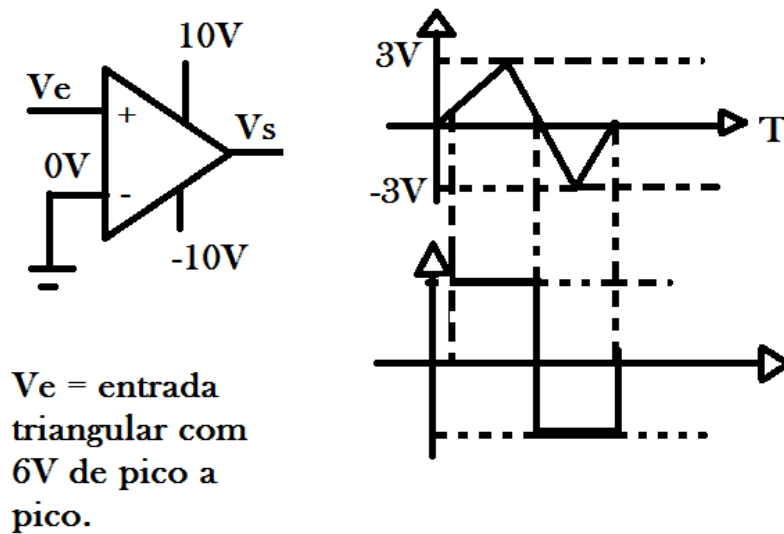
Como podemos observar na figura 4 o comparador tem como entrada na entrada v_- e na entrada v_+ e como explica a figura 2 sempre que a entrada v_+ for maior que a entrada v_- o ampop ira saturar em V_{cc} no caso 10V.

Figura 5 (Este é o exemplo numero 2 demonstrando o funcionamento do comparador.)



Neste exemplo da figura 5 podemos observar que a entrada v_- é $= 0V$, a entrada v_+ é $= -2V$ e o comparador e como explica a figura 2 sempre que a entrada v_+ for menor que a entrada v_- o ampop ira saturar em V_{ee} no caso $-10V$.

Figura 6 (Este é o exemplo numero 3 demonstrando como funciona o ampop comparador.)



Como podemos observar na figura 6 é exatamente o que está ocorrendo na figura 5 e 4 quando v_+ maior de v_- V_s satura e vai para V_{cc} e quando V_+ menor que V_- V_s satura e vai para V_{ee} . A única diferença é que a entrada neste caso da figura 6 é triangular com 6V de pico a pico e o gráfico mostrará a saturação quando a tensão de nos 2 momento em V_{cc} quando V_+ maior de V_- e em V_{ee} quando v_+ menor que v_- .

Comparador com histerese.

Comparador de histerese pode ser chamado também de comparador de dois níveis.

Nós exemplos anteriores da figura 6, 5 e 4 foi apresentado o comparador com malha aberta este comparador é simples projeto e montagem todavia, em seu funcionamento podem ocorrer problemas. Este problemas estão associados na pratica, ao funcionamento dos sensores.

-susceptibilidade a ruídos.

-sensibilidade dos sensor.

susceptibilidade a ruídos.

O sensores, por trabalharem com níveis de tensão e corrente muito pequenos, são muito sensíveis a ruídos aparecem normalmente no momento de comparação na transição entre Vcc e Vee.

Comparador de 2 níveis de histerese

Como vimos anteriormente, os circuitos comparadores comuns apresentam sérios problemas na ocorrência de ruídos elétricos. Com o intuito de solucionar essas ocorrências indesejadas criou-se os comparadores com histerese, também conhecidos como “*Schmitt Trigger*” ou regenerativo.

Diferentemente dos comparadores comuns que vimos até agora, o regenerativo tem uma realimentação da saída para a entrada não inversora.

A forma de comparação é bem semelhante aos comparadores comuns, porém, neste modo não comparamos a entrada com apenas um nível de tensão, e sim com uma faixa. Por exemplo, se estivermos controlando o nível de uma caixa d’água através de um circuito não regenerativo, ao atingir o valor máximo que neste caso adotaremos 500

litros, um sensor vai “mandar” desligar a bomba, mas o reservatório vai esvaziar e em pouquíssimo tempo, quando o sensor detectar que atingiu 499,9 litros a bomba deverá ser acionada de novo, isso vai ocasionar um “liga/desliga” muito freqüente e indesejado para o circuito. O gráfico genérico de um comparador comum da *figura 34* mostra um processo de comparação semelhante.

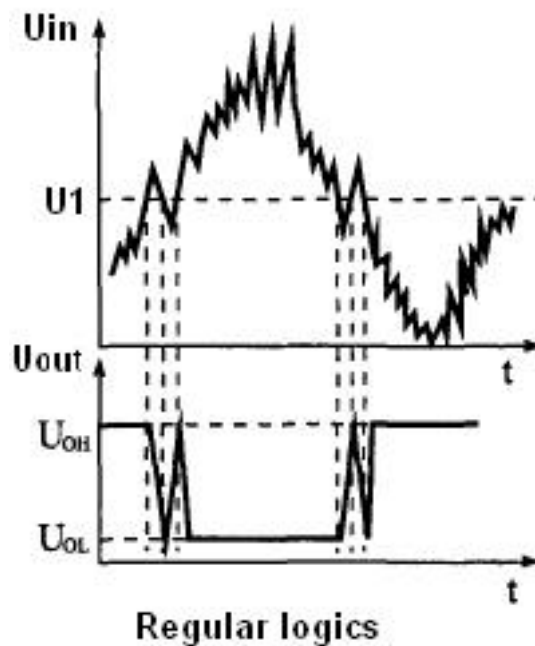


Figura 7 – Gráfico de um comparador de nível 1.

Onde: (**Uin**) representa a variação de tensão na entrada; o eixo horizontal (**t**) representa o tempo; (**U1**) se refere a tensão de comparação; (**Uout**) o nível de saída; (**Uoh**) a saturação positiva e (**Uol**) a saturação negativa.

Já nos circuitos comparadores com histerese, criamos uma faixa de tensão na qual a entrada deve ser comparada. Por exemplo, para resolver o problema do controle da caixa d’água citado acima seria necessário criar dois valores de tensão que representassem 500l (caixa cheia) para desligar a bomba, e 300l (nível baixo) para ligar a bomba. A *figura 35* de um gráfico genérico para um comparador regenerativo demonstra um processo semelhante.

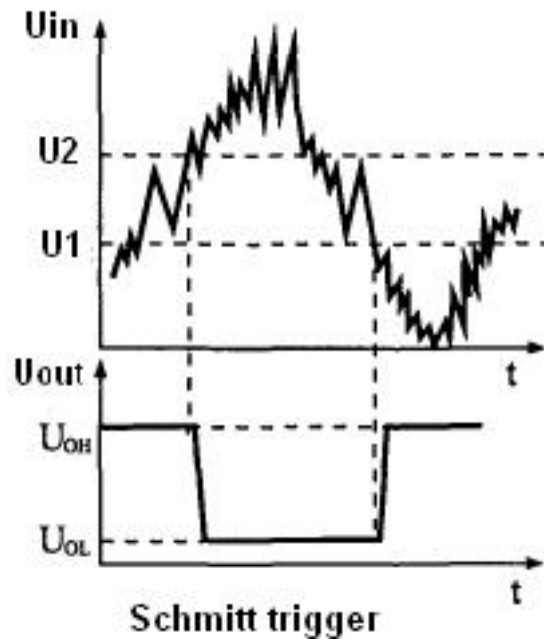


Figura 8 – Gráfico de um comparador de 2 níveis.

Onde: (**Uin**) representa a variação de tensão na entrada; o eixo horizontal (**t**) representa o tempo; (**U1**) se refere a tensão de comparação inferior; (**U2**) a tensão de comparação superior; (**Uout**) o nível de saída; (**Uoh**) a saturação positiva e (**Uol**) a saturação negativa.

Os comparadores Schmitt trigger podem ser de dois tipos, inversores e não inversores, assim como os comparadores comuns.

1.1.1. Inversores.

Utilizam realimentação positiva, mas a entrada chega ao circuito pela inversora, e o conjunto de resistores da realimentação e da entrada não inversora é ligado a tensão central, como mostra a *figura 36*.

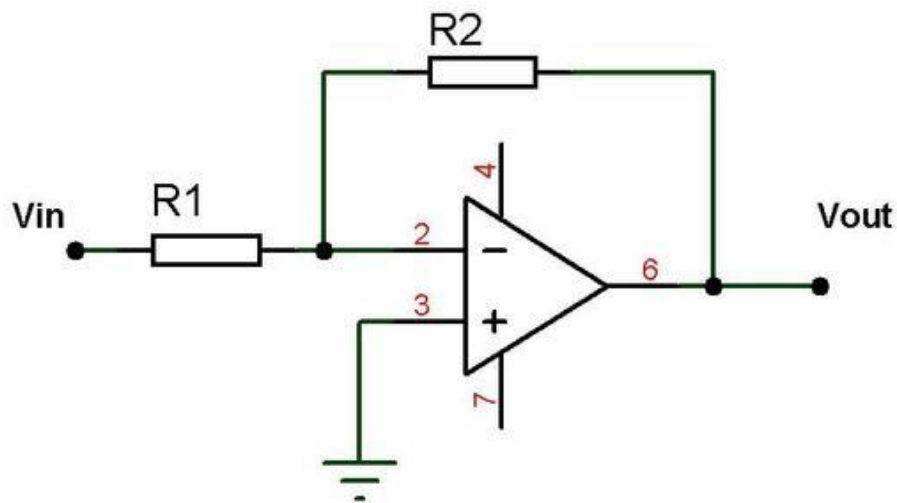


Figura 9 – Comparador de 2 níveis inversor.

O equacionamento da faixa de histerese (V_{sup} e V_{inf}), no caso dos inversores é:

$$V_{sup} = \frac{R1}{R1 + R2} \cdot (+V_{sat})$$

$$V_{inf} = \frac{R1}{R1 + R2} \cdot (-V_{sat})$$

Onde: (**V_{sup}**) é a tensão de comparação superior; (**V_{inf}**) a tensão de comparação inferior; (**$R1$**) resistor da entrada, (**$R2$**) resistor da realimentação e (**V_{sat}**) o valor da tensão saturada.

Podemos também analisar a curva de histerese (*figura 37*) desse circuito, que mostra a relação entre entrada e saída, esse gráfico pode ser obtido se colocarmos o osciloscópio no modo “XY”.

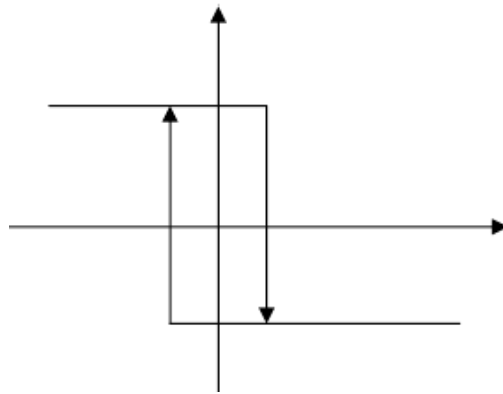


Figura 37 – Curva de histerese de um comparador regenerativo inversor.

1.1.2. Não Inversores.

Utilizam realimentação positiva, mas a entrada chega ao circuito pela não inversora, além do conjunto de resistores da realimentação e da entrada não inversora. A entrada inversora é ligada a tensão central, como mostra a figura 38.

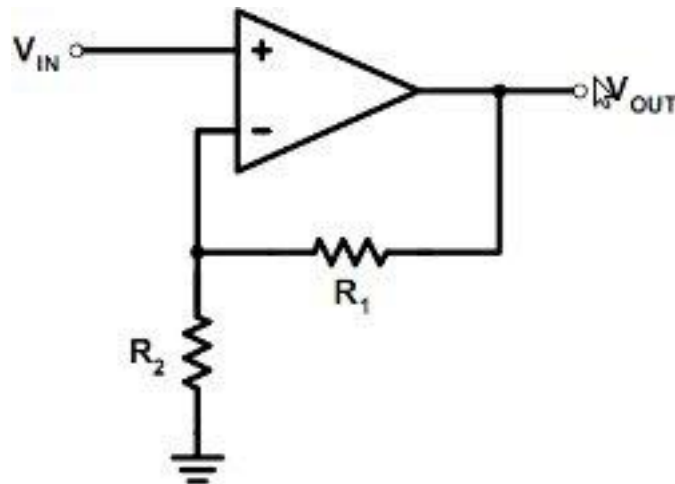


Figura 10 – Comparador regenerativo não inversor.

O equacionamento da faixa de histerese (V_{sup} e V_{inf}), no caso dos inversores é:

$$V_{sup} = \frac{R_I}{R_{FB}} \cdot (+V_{sat})$$

$$V_{inf} = \frac{R_I}{R_{FB}} \cdot (-V_{sat})$$

Onde: (**Vsup**) é a tensão de comparação superior; (**Vinf**) a tensão de comparação inferior; (**RI**) resistor da entrada, (**RFB**) resistor da realimentação e (**Vsat**) o valor da tensão saturada.

A curva de histerese para os não inversores é o contrário da vista anteriormente para os comparadores inversores, como mostra a *figura 39*.

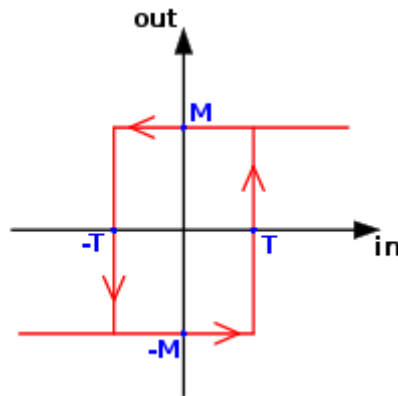


Figura 11 – Curva de histerese de um comparador regenerativo não inversor.

Etapa 2 Simulações utilizando o protheus.

Estas são as simulações e pratica com o ampop 741.

Figura 12 (simulação usando do comparador inversor com nível 0V)

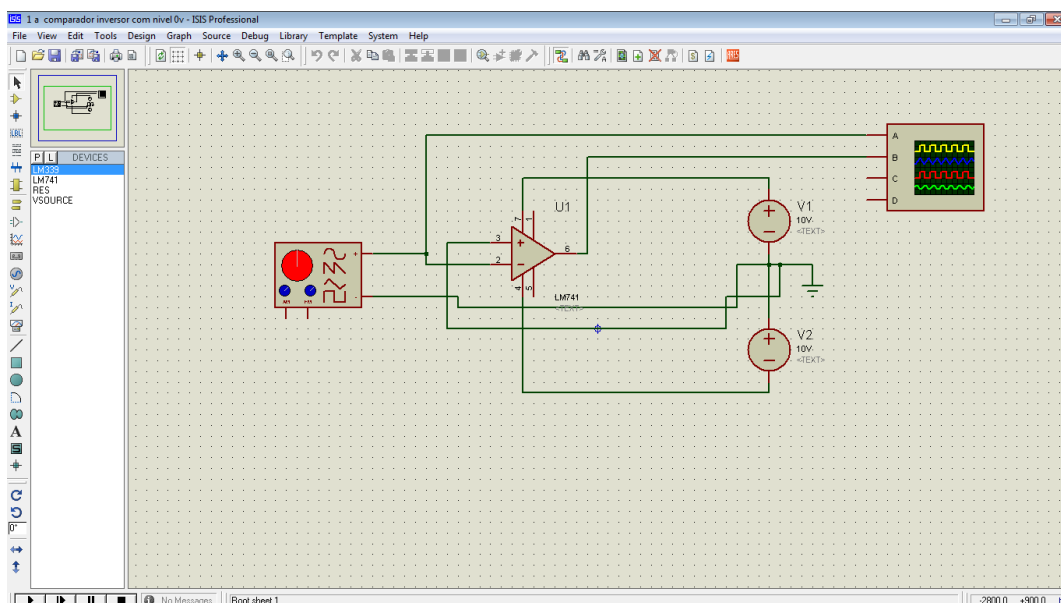
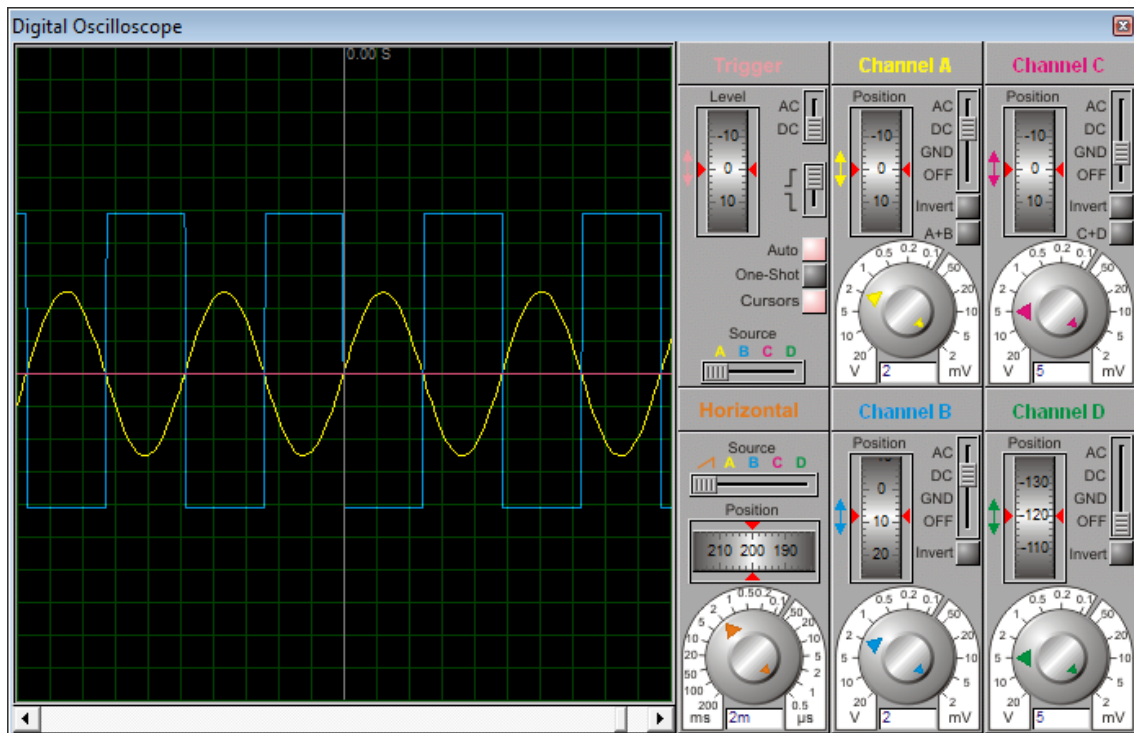


Figura 13 (esquemático do osciloscópio do Protheus usando do comparador inversor com nível 0V.)



A figura 12 e 13 mostra na simulação ocorre praticamente o que acontece na teoria quando v_+ maior de v_- Vs satura e vai para V_{cc} e quando V_+ menor que V_- Vs satura e vai para V_{ee} mas como existe uma limitação do ampop ele satura em 8.90V e -9.0V.

Figura 14 (montagem usando o ampop do comparador inversor com nível 0V.)

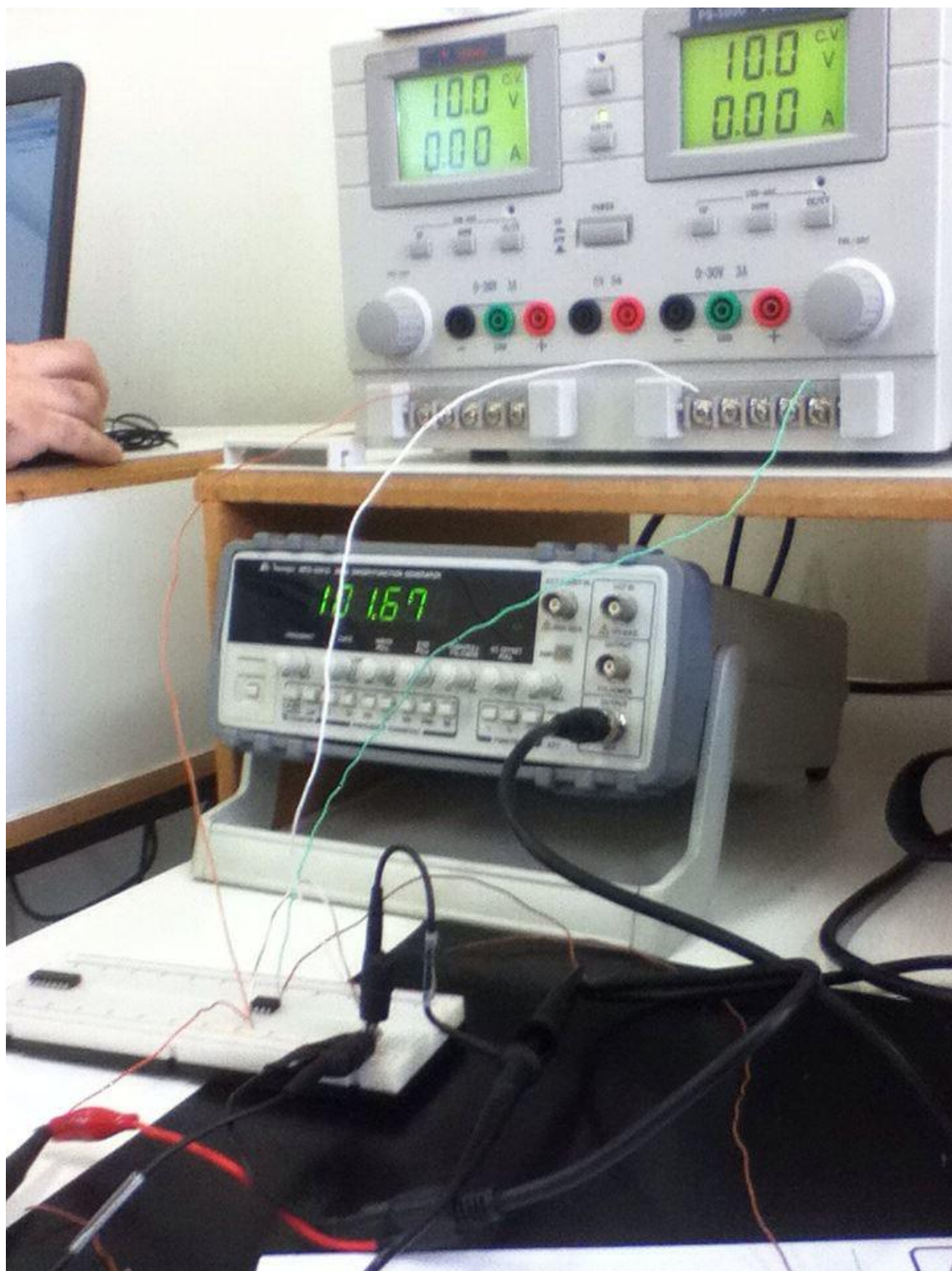
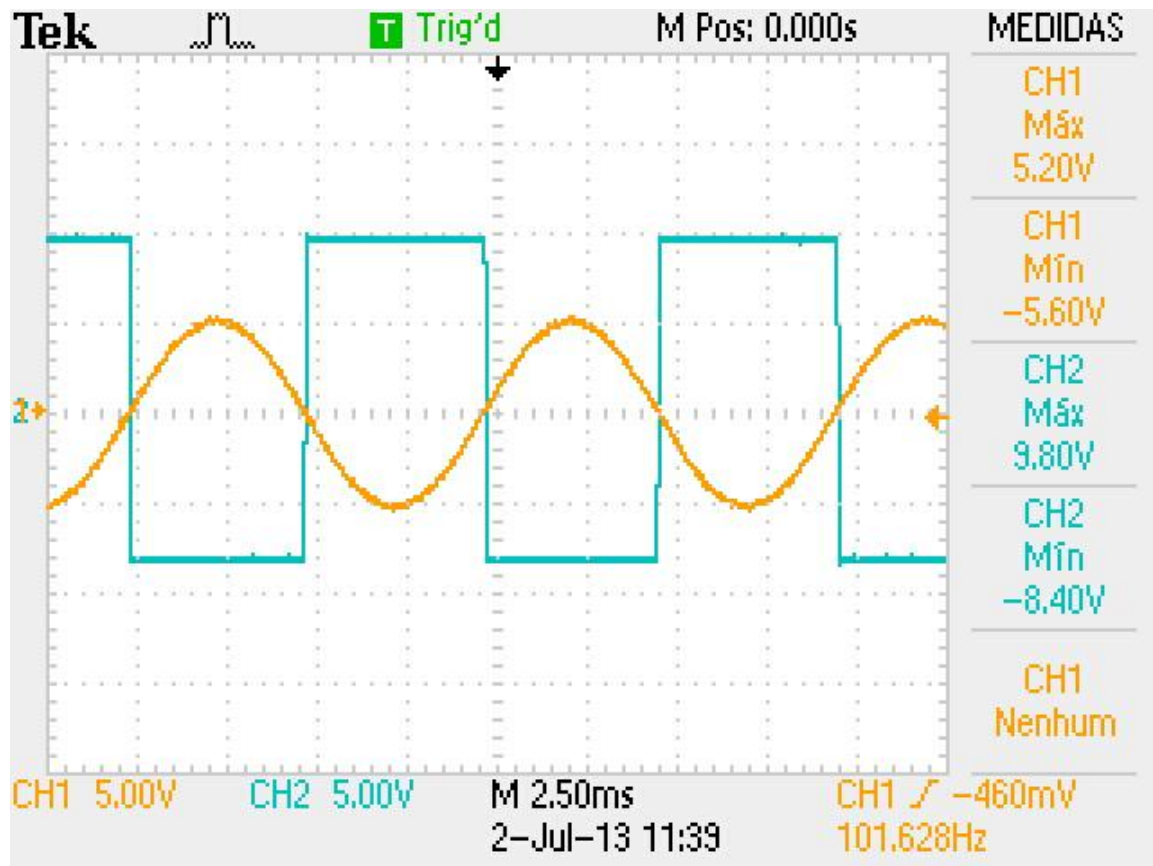


Figura 15 (gráfico no osciloscópio do ampop comparador inversor com nível 0V.)



Podemos observar que existe diferença entra a teoria e a pratica teoricamente o ampop deveria saturar em 10V e -10 V mas não isso que ocorre por um limitação do mesmo ele satura em 9.80V e -8.40V.

Figura 16 (simulação usando o Comparador inversor com nível 2,5V.)

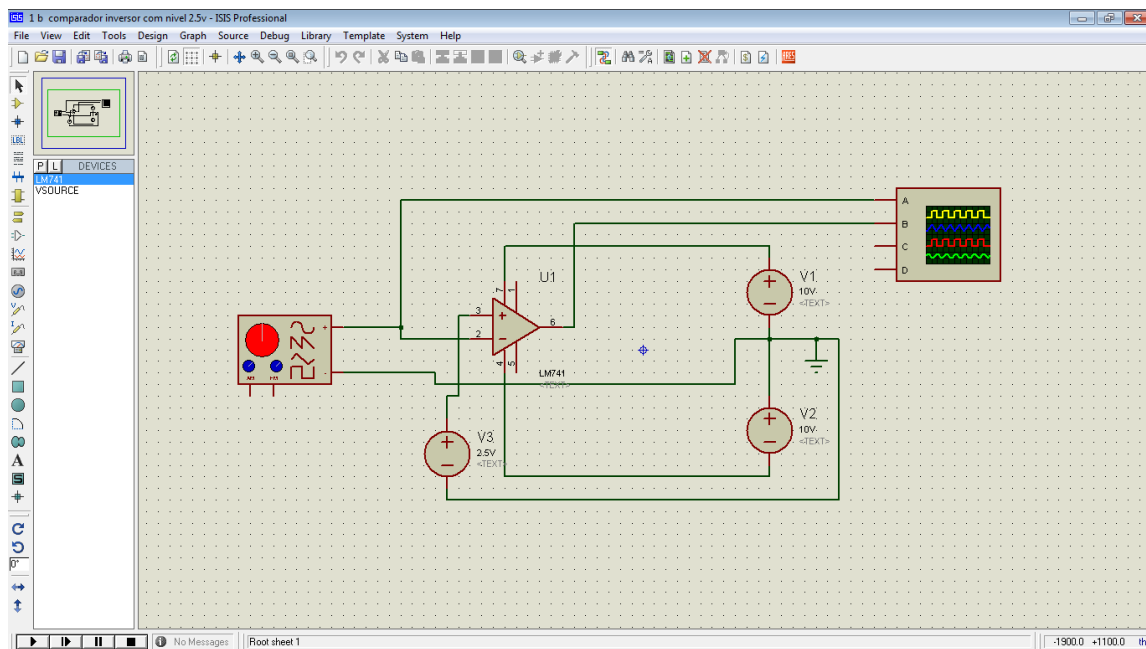
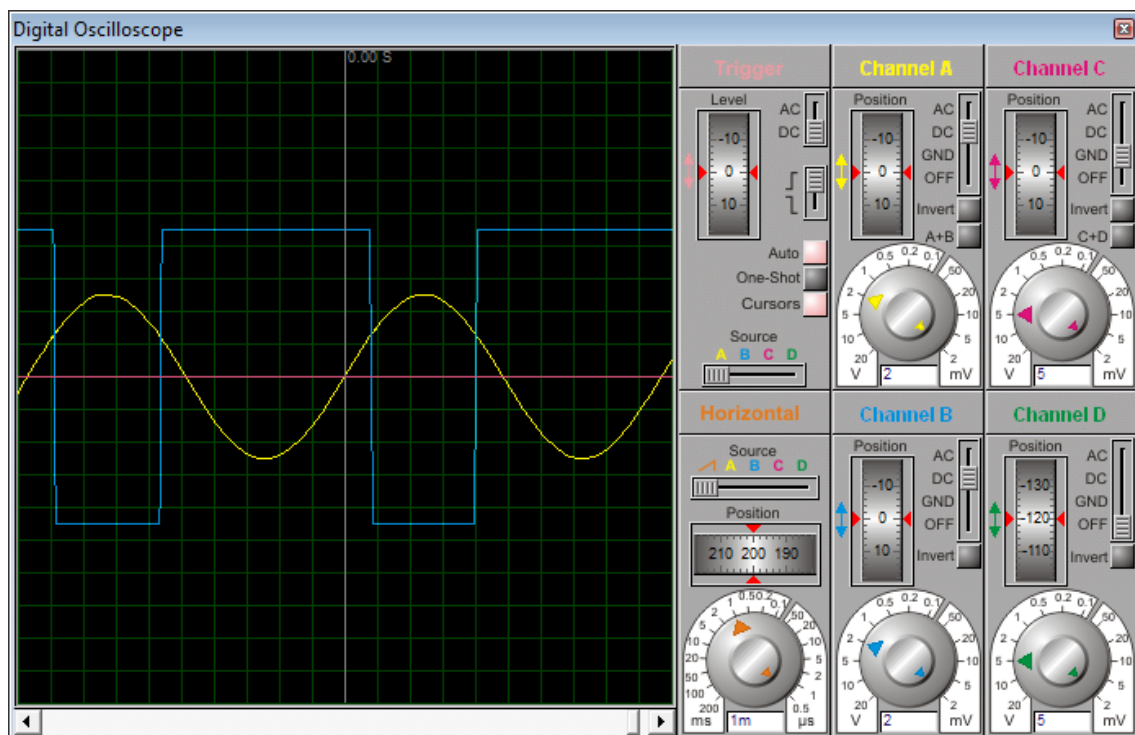


Figura 17 (esquemático do osciloscópio do Protheus usando o Comparador inversor com nível 2,5V.)



A figura 16 e 17 mostra novamente que na simulação ocorre praticamente o que acontece na teoria quando v_+ maior de v_- V_s satura e vai para V_{cc} e quando V_+ menor que V_- V_s satura e vai para V_{ee} mas como existe uma limitação do amop ele satura em 8.90V e -9.0V.

Figura 18 (montagem usando o usando o Comparador inversor com nível 2,5V.)

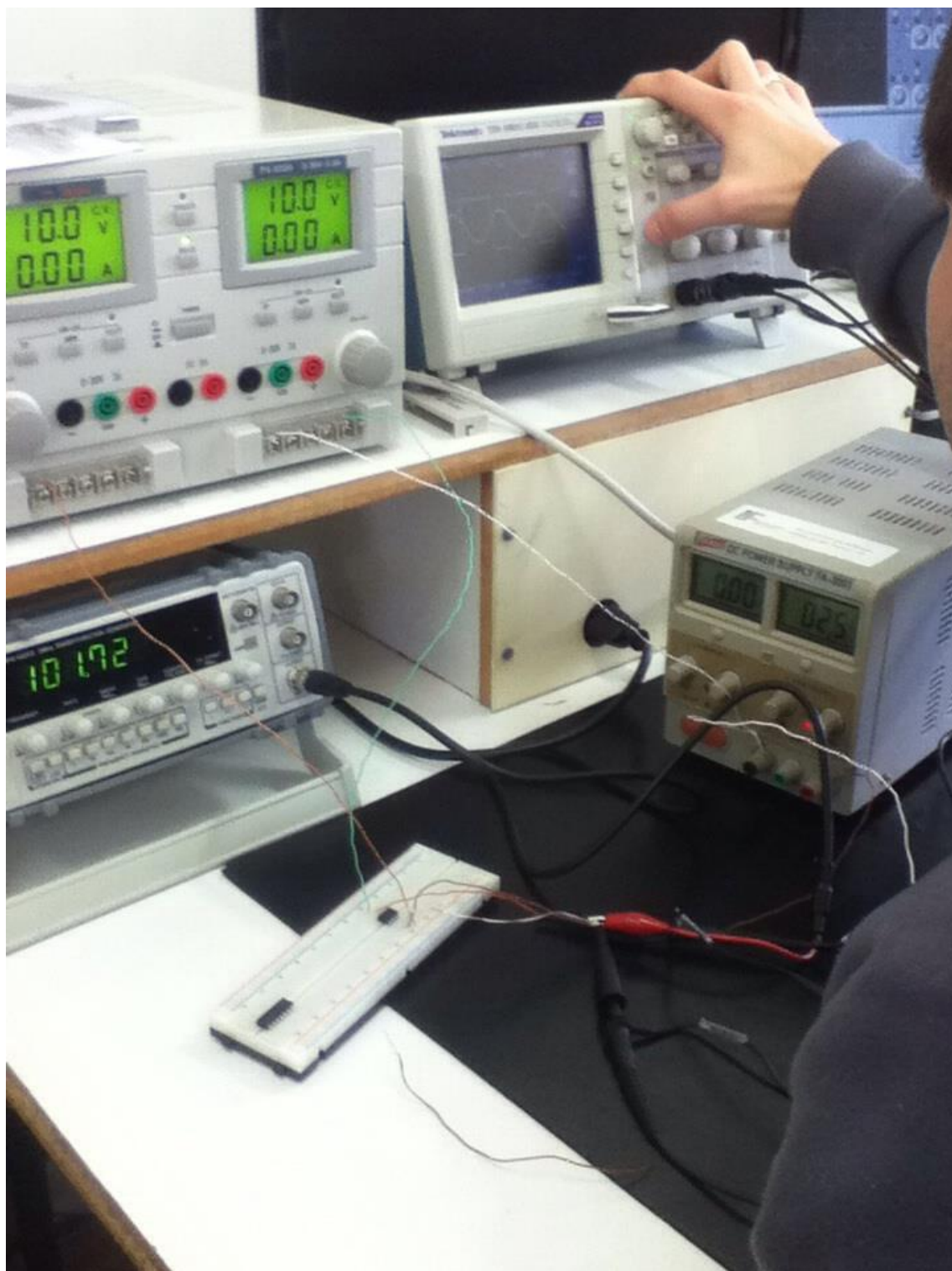
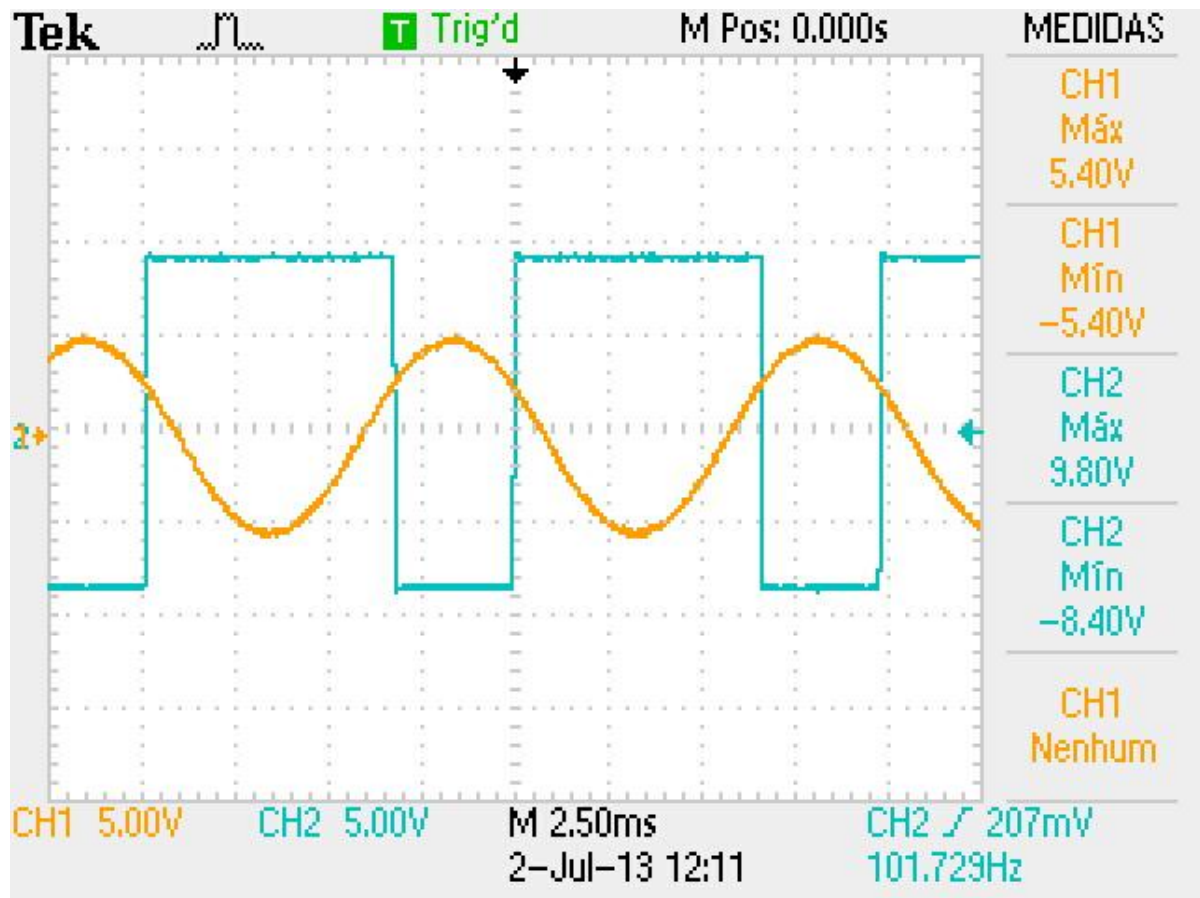


Figura 19(gráfico no osciloscópio do ampop Comparador inversor com nível 2,5V.)



Podemos observar que existe diferença entre a teoria e a prática teoricamente o ampop deveria saturar em 10V e -10 V mas não isso que ocorre por uma limitação do mesmo ele satura em 9.80V e -8.40V.

Figura 20(simulação do comparador não-inversor com nível 0V).

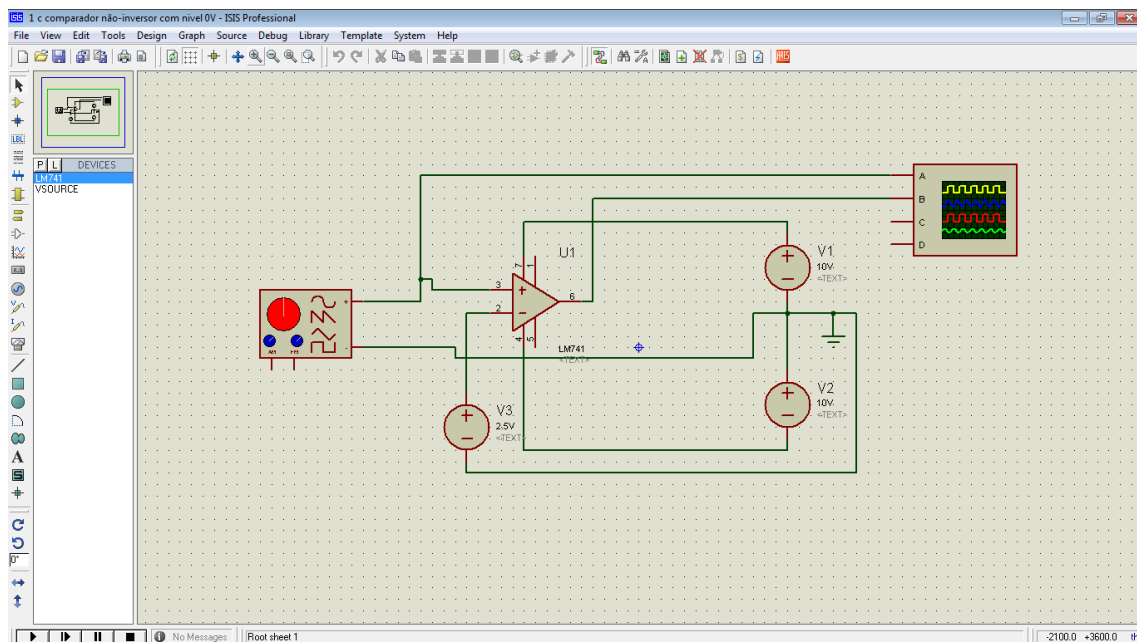
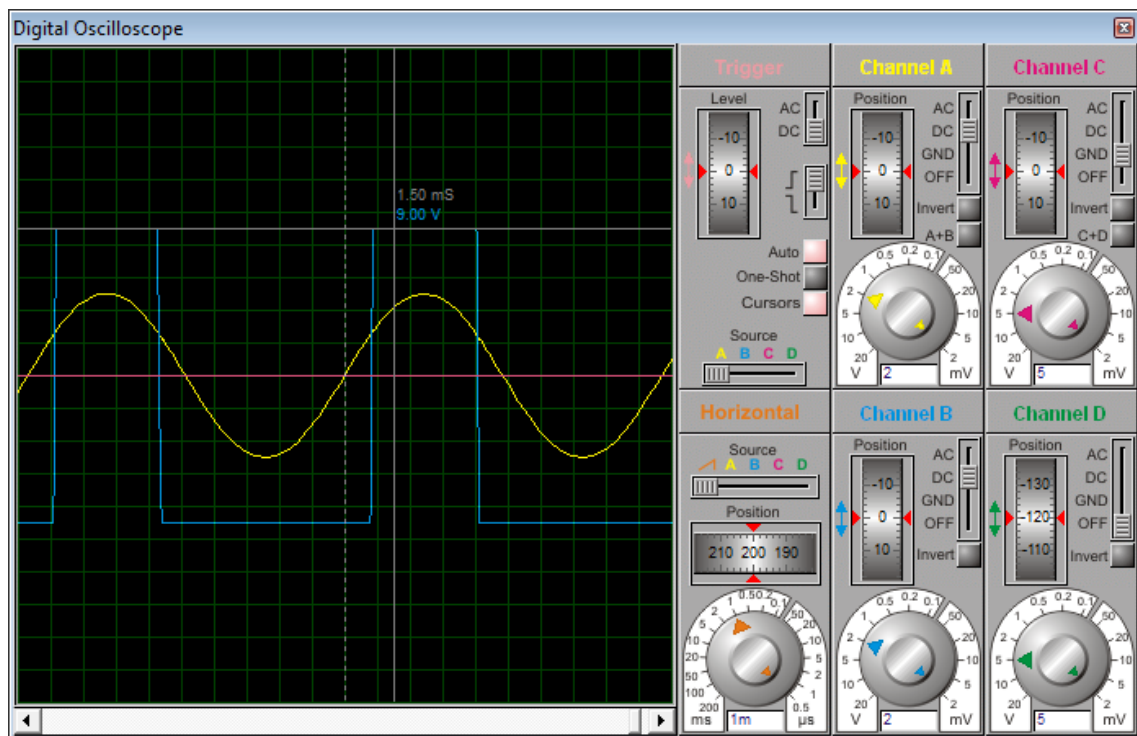
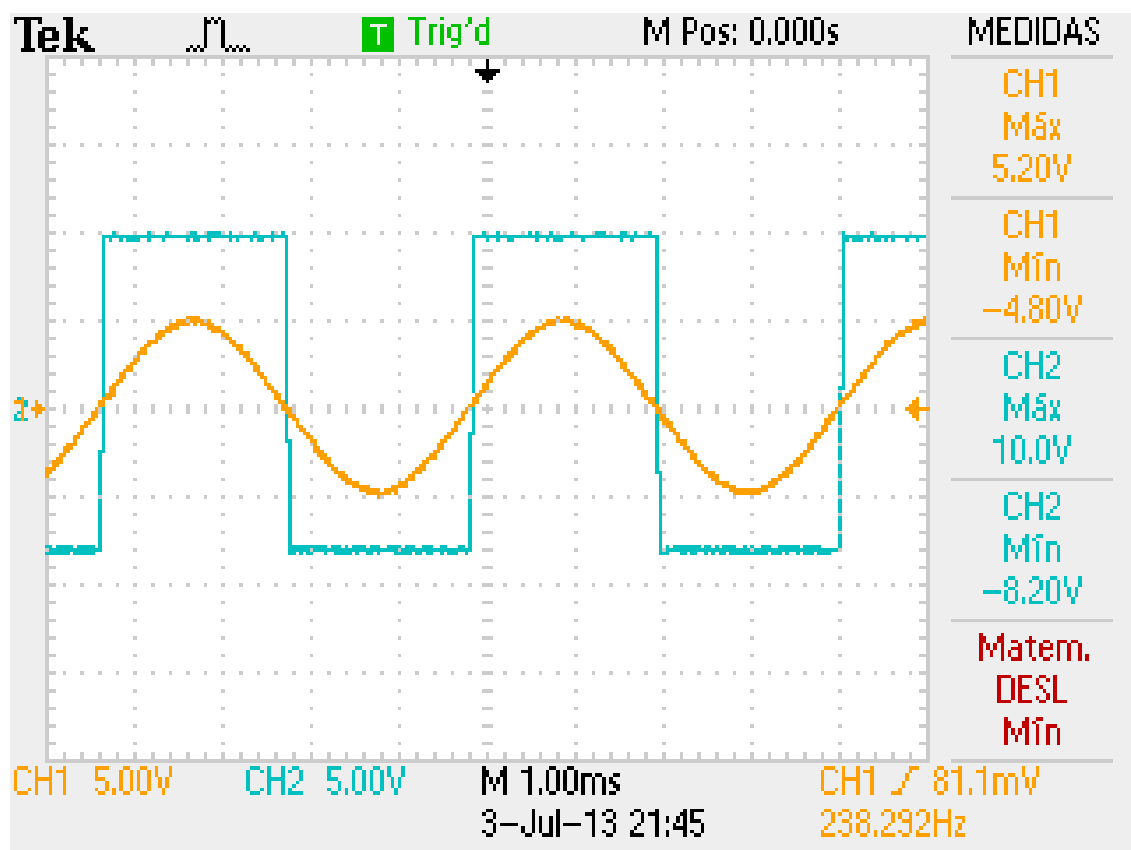


Figura 21(esquemático do osciloscópio do Protheus comparador não-inversor com nível 0V).



A figura 19 e 21 mostra novamente que na simulação ocorre praticamente o que acontece na teoria quando v_+ maior de v_- V_s satura e vai para V_{cc} e quando V_+ menor que V_- V_s satura e vai para V_{ee} mas como existe uma limitação do ampop ele satura em 9.0V e -8.9V.

Figura 22(gráfico no osciloscópio do ampop Protheus comparador não-inversor com nível 0V).



Podemos observar que existe diferença entra a teoria e a pratica teoricamente o ampop deveria saturar em 10V e -10 V mas não isso que ocorre por um limitação do mesmo ele satura em 10V e -8.20V.

Figura 23(simulação do comparador não-inversor com nível 2,5V.)

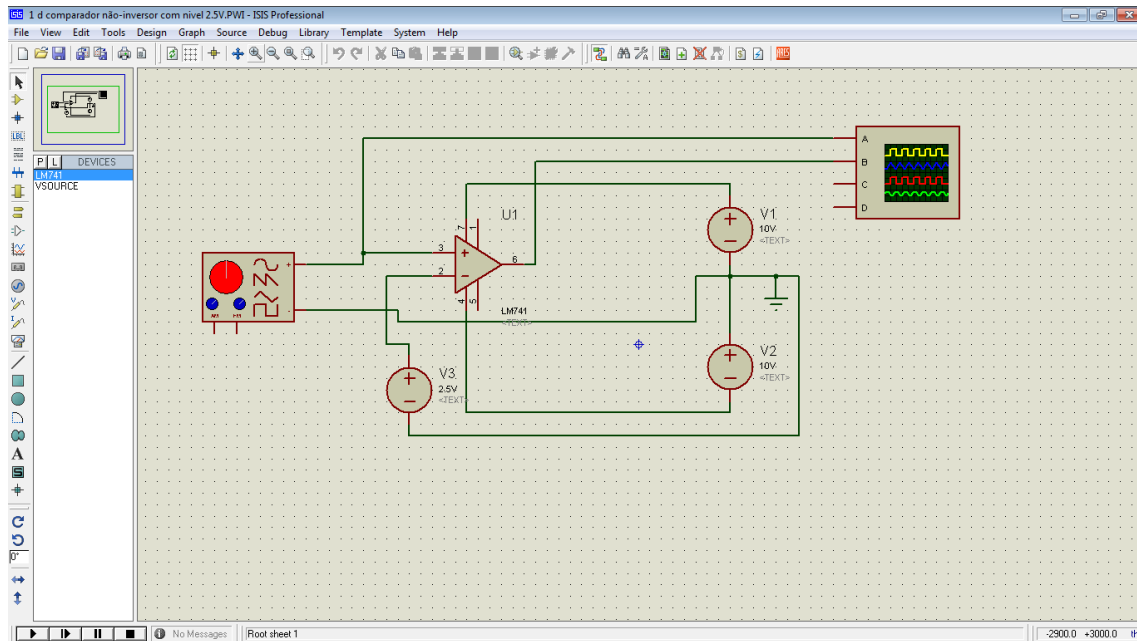
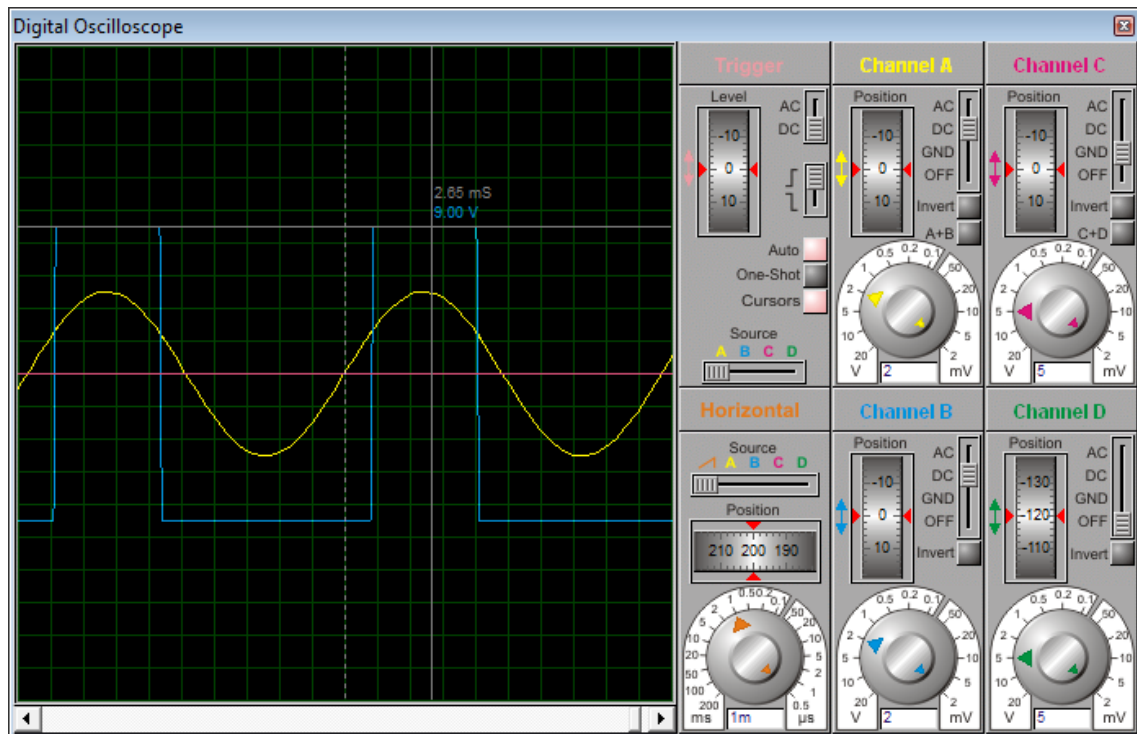
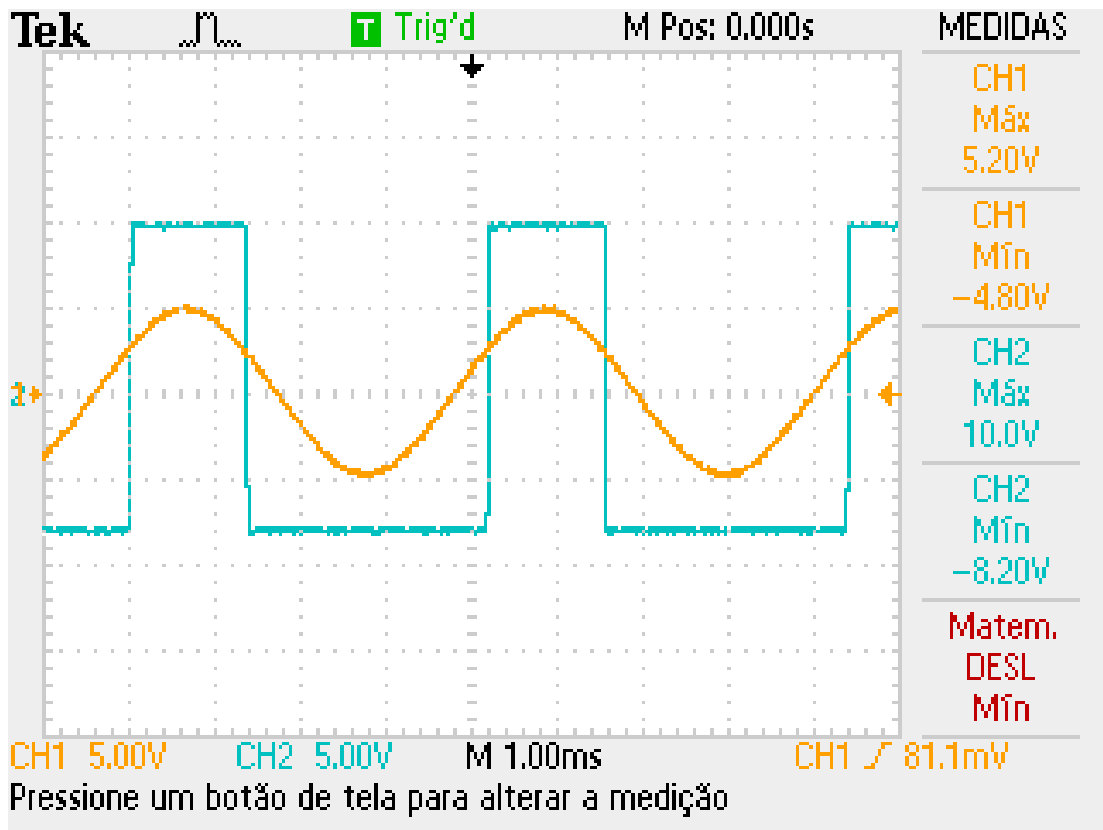


Figura 24(esquemático do osciloscópio do Protheus do comparador não-inversor com nível 2,5V.)



A figura 23 e 24 mostra novamente que na simulação ocorre praticamente o que acontece na teoria quando v_+ maior de v_- Vs satura e vai para V_{cc} e quando V_+ menor que V_- Vs satura e vai para V_{ee} mas como existe uma limitação do ampop ele satura em 9.0V e -9.0V.

Figura 25(gráfico no osciloscópio do ampop Protheus do comparador não-inversor com nível 2,5V.)



Podemos observar que existe diferença entra a teoria e a pratica teoricamente o ampop deveria saturar em 10V e -10 V mas não isso que ocorre por um limitação do mesmo ele satura em 10V e -8.20V.

Estas são as simulações e pratica com o ampop 339.

Figura 26(simulação do comparador inversor com nível 0V.)

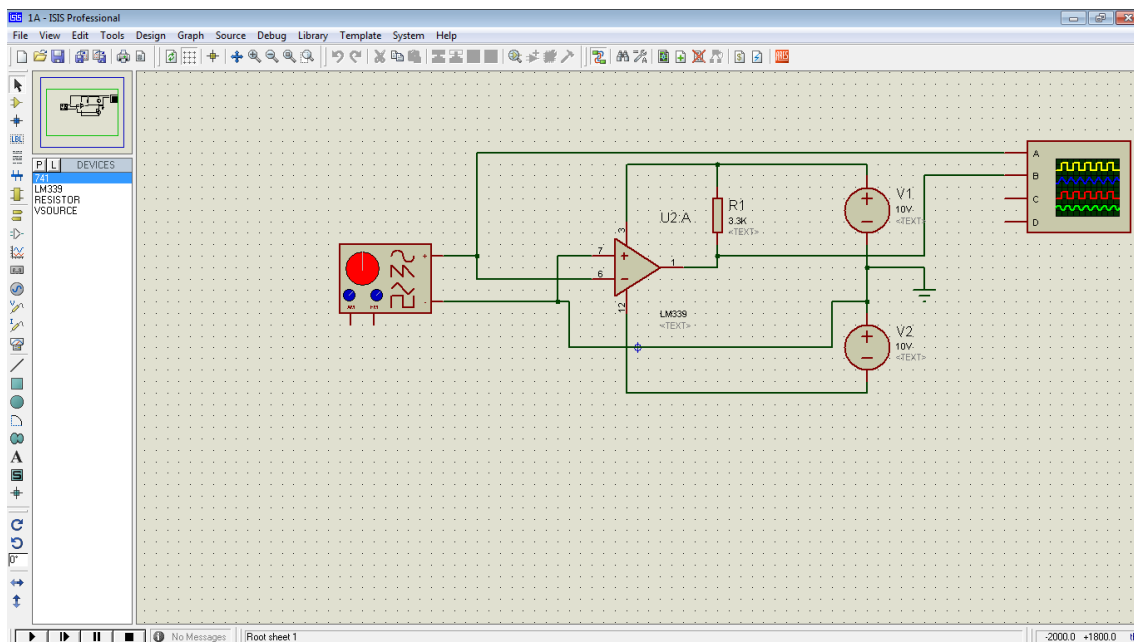
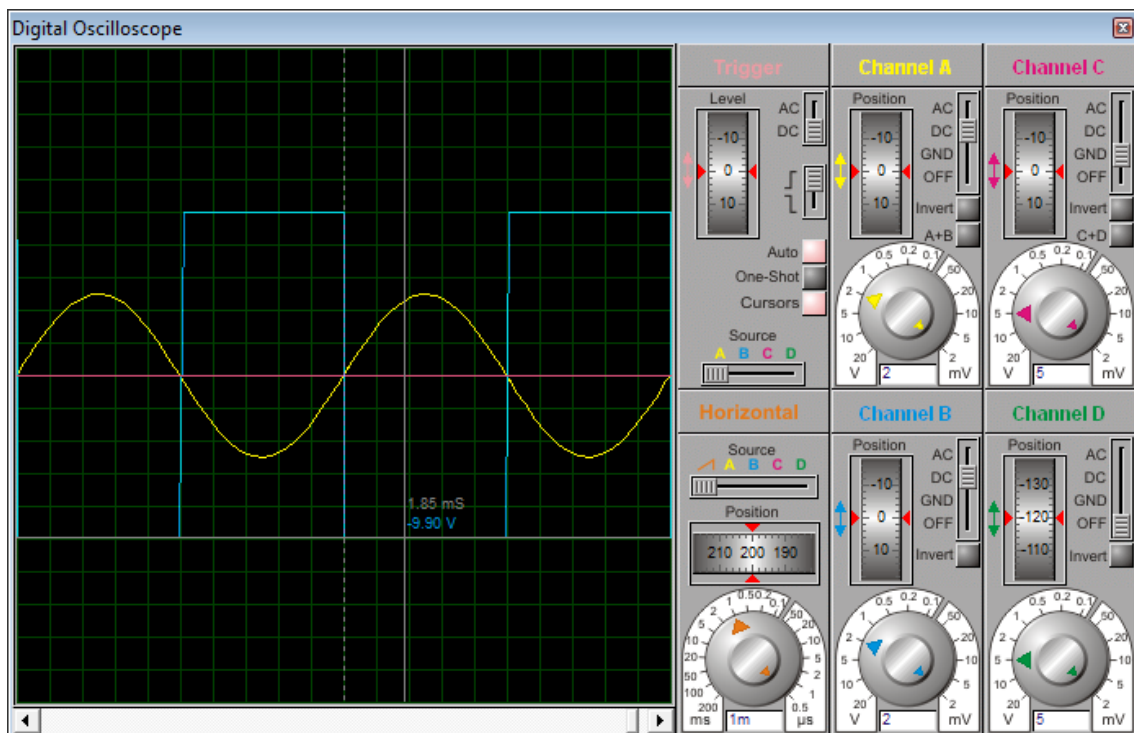
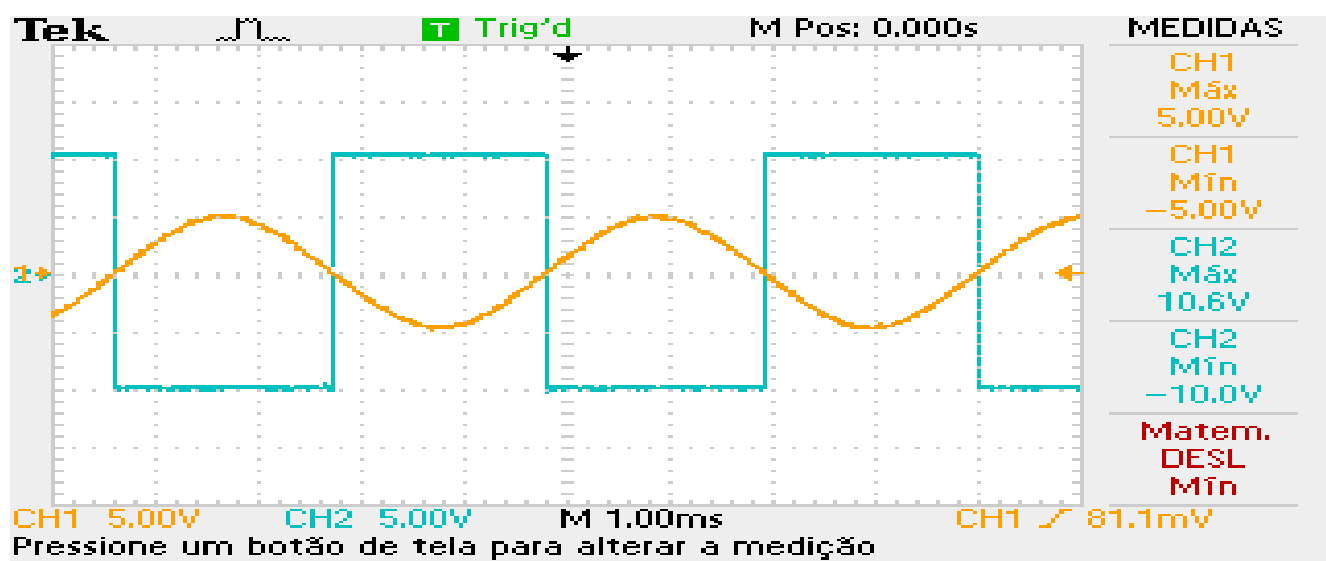


Figura 27(esquemático do osciloscópio do Protheus do comparador inversor com nível 0V.)



A figura 26 e 27 mostra novamente que na simulação ocorre praticamente o que acontece na teoria quando v_+ maior de v_- Vs satura e vai para V_{cc} e quando V_+ menor que V_- Vs satura e vai para V_{ee} mas como existe uma limitação do ampop ele satura em 10V e -9.90V.

Figura 28(gráfico no osciloscópio do ampop Protheus do comparador inversor com nível 0V.)



Podemos observar que entre a teoria a pratica neste caso não existe diferença o ampop deveria saturar em 10V e -10 V e ocorre praticamente isto ele satura em 10.6V e -10V.

Figura 29(simulação do comparador inversor com nível 2,5V.)

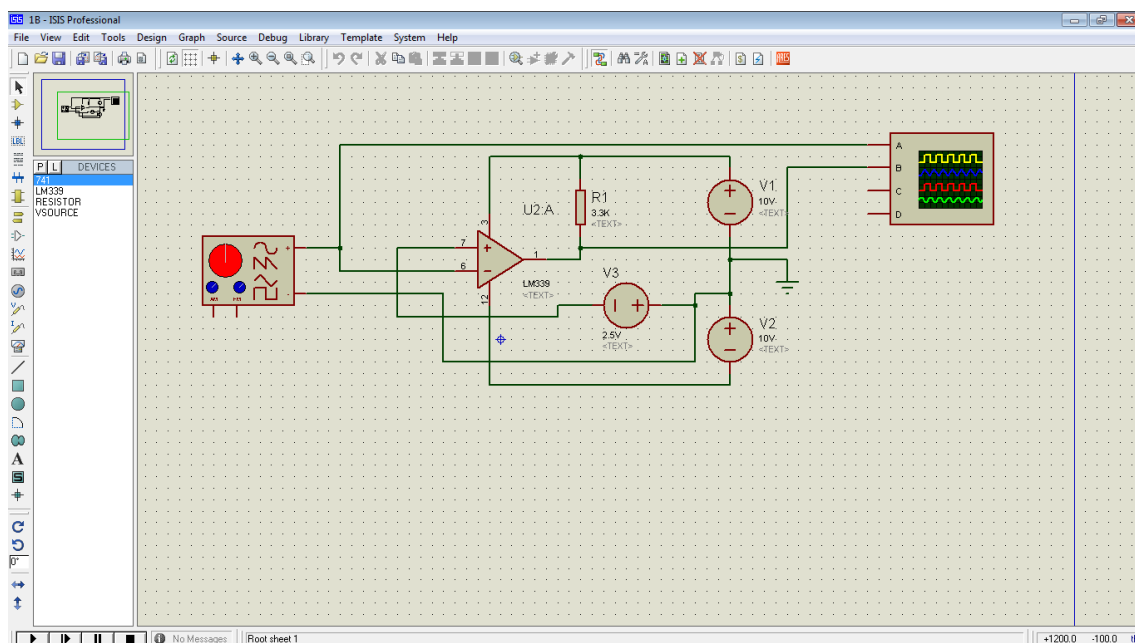
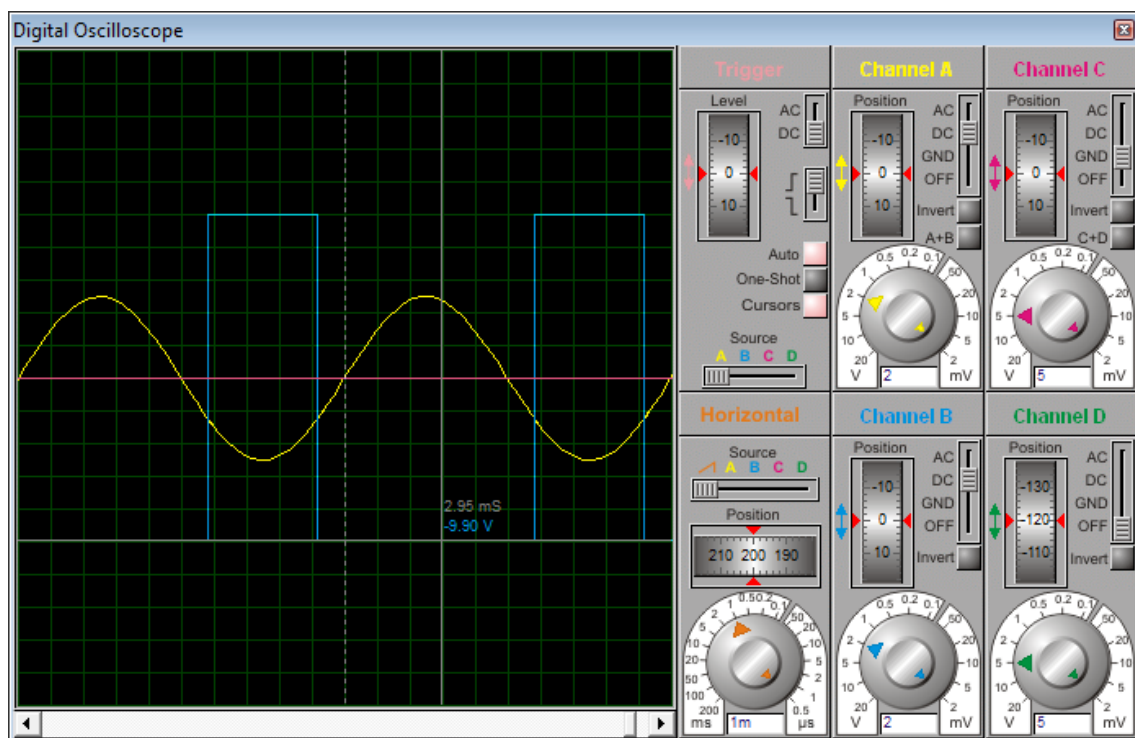


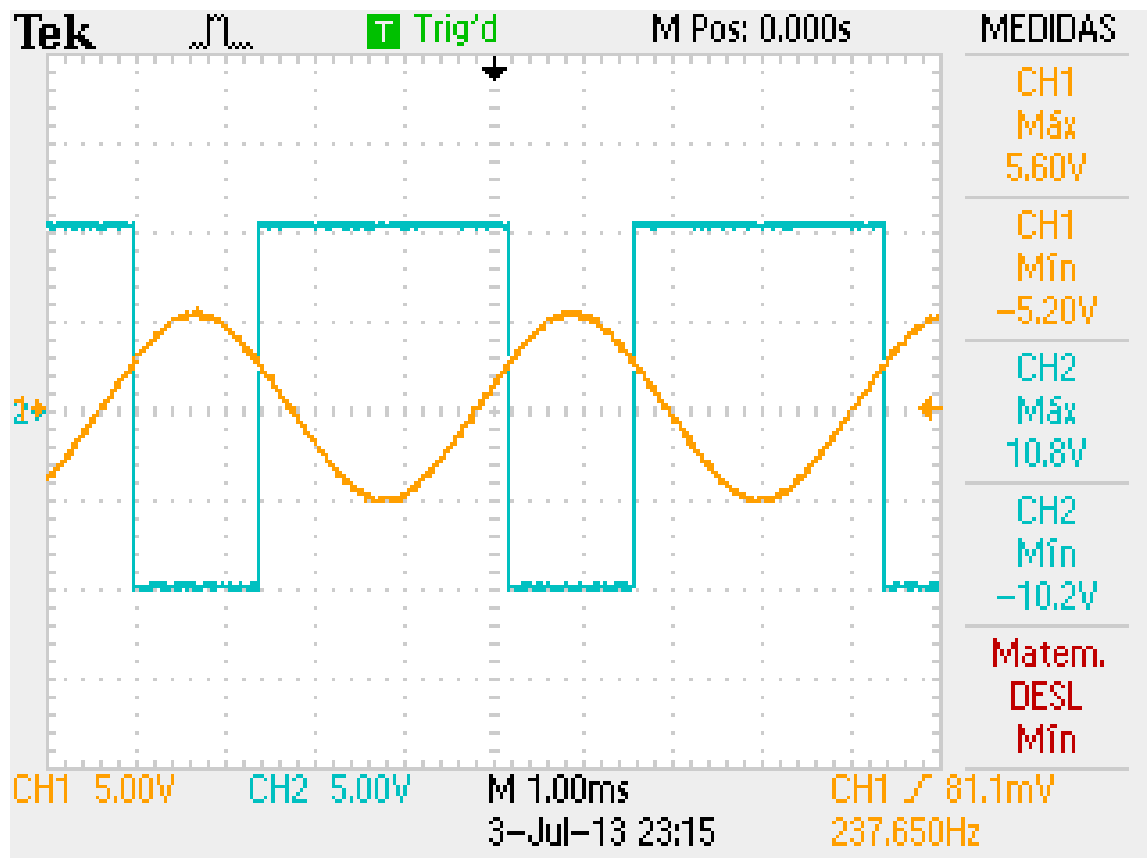
Figura 30(esquemático do osciloscópio do Protheus do comparador inversor com nível 2,5V.)



A figura 29 e 30 mostra novamente que na simulação ocorre praticamente o que acontece na teoria quando v_+ maior de v_- Vs satura e

vai para V_{cc} e quando V_+ menor que V_- satura e vai para V_{ee} mas como existe uma limitação do ampop ele satura em 10V e -9.90V.

Figura 31(gráfico no osciloscópio do ampop Protheus do comparador inversor com nível 2,5V.)



Podemos observar que entre a teoria a pratica neste caso não existe diferença o ampop deveria saturar em 10V e -10 V e ocorre praticamente isto ele satura em 10.8V e -10.2V.

Figura 32(simulação do comparador não-inversor com nível 0V.)

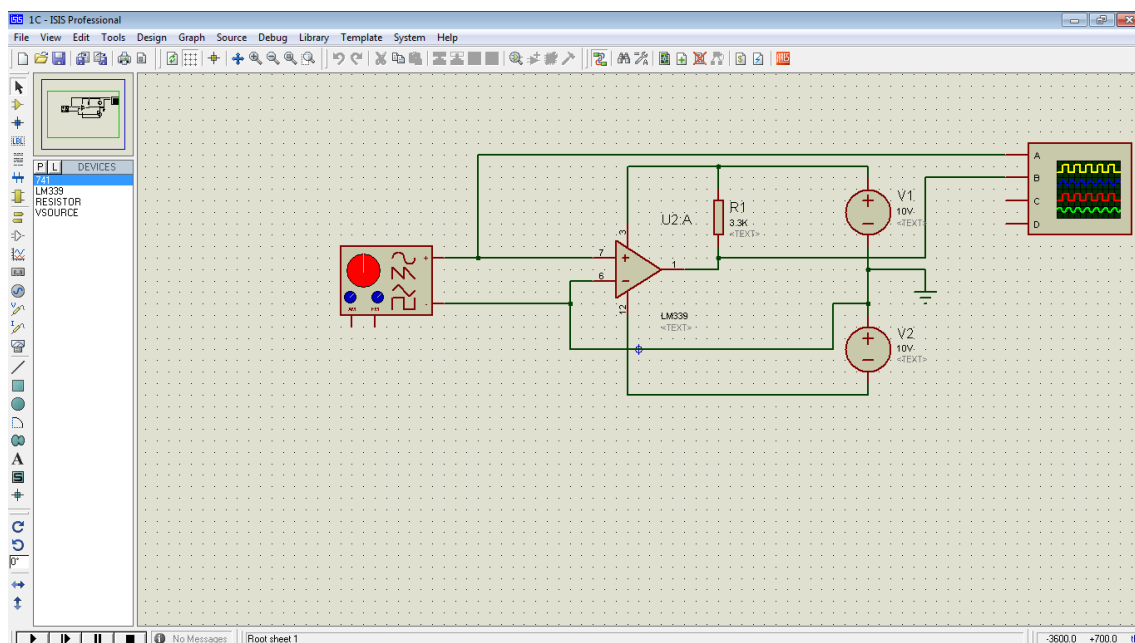
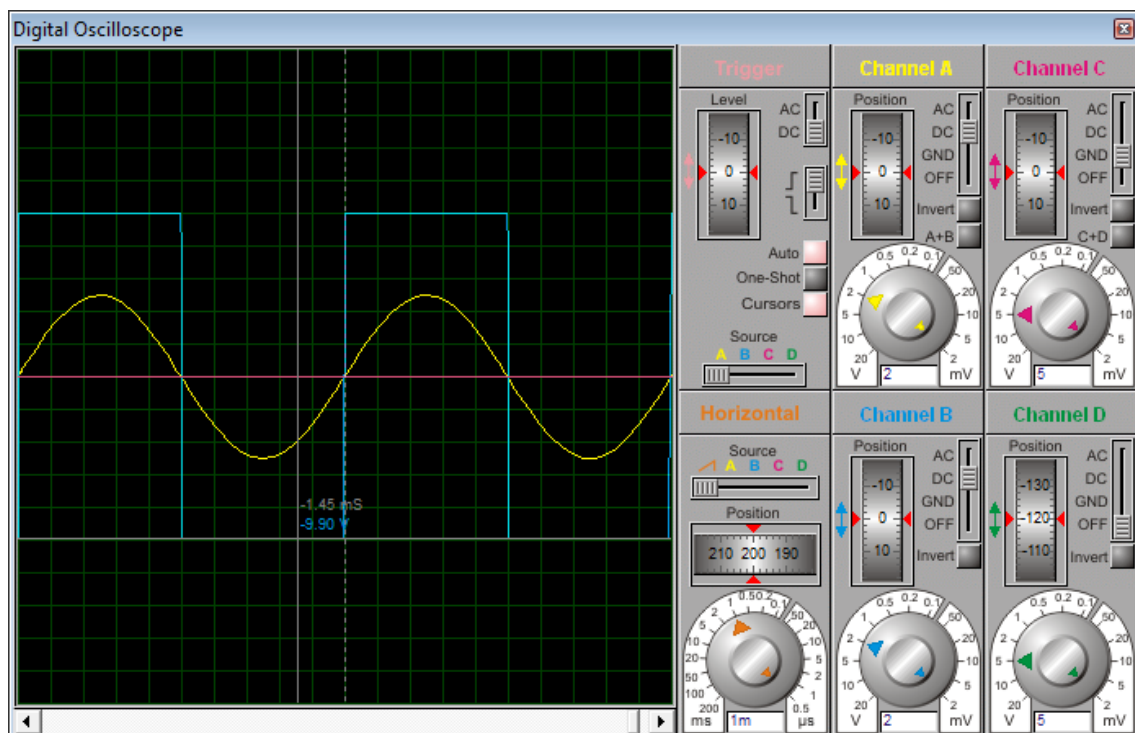
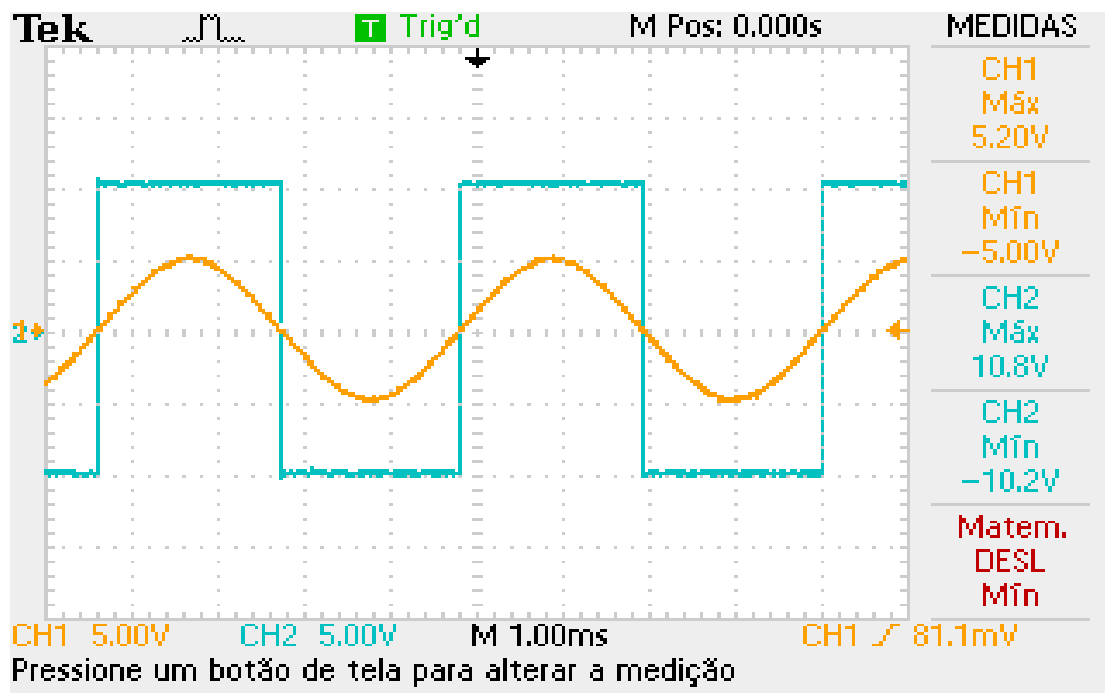


Figura 33(esquemático do osciloscópio do Protheus do comparador não-inversor com nível 0V.)



A figura 32 e 33 mostra novamente que na simulação ocorre praticamente o que acontece na teoria quando v_+ maior de v_- V_s satura e vai para V_{cc} e quando V_+ menor que V_- V_s satura e vai para V_{ee} mas como existe uma limitação do ampop ele satura em 9.9V e -9.90V.

Figura 34(gráfico no osciloscópio do ampop Protheus do comparador não-inversor com nível 0V.)



Podemos observar que entre a teoria a pratica neste caso não existe diferença o ampop deveria saturar em 10V e -10 V e ocorre praticamente isto ele satura em 10.8V e -10.2V.

Figura 35 (simulação do comparador não-inversor com nível 2,5V.)

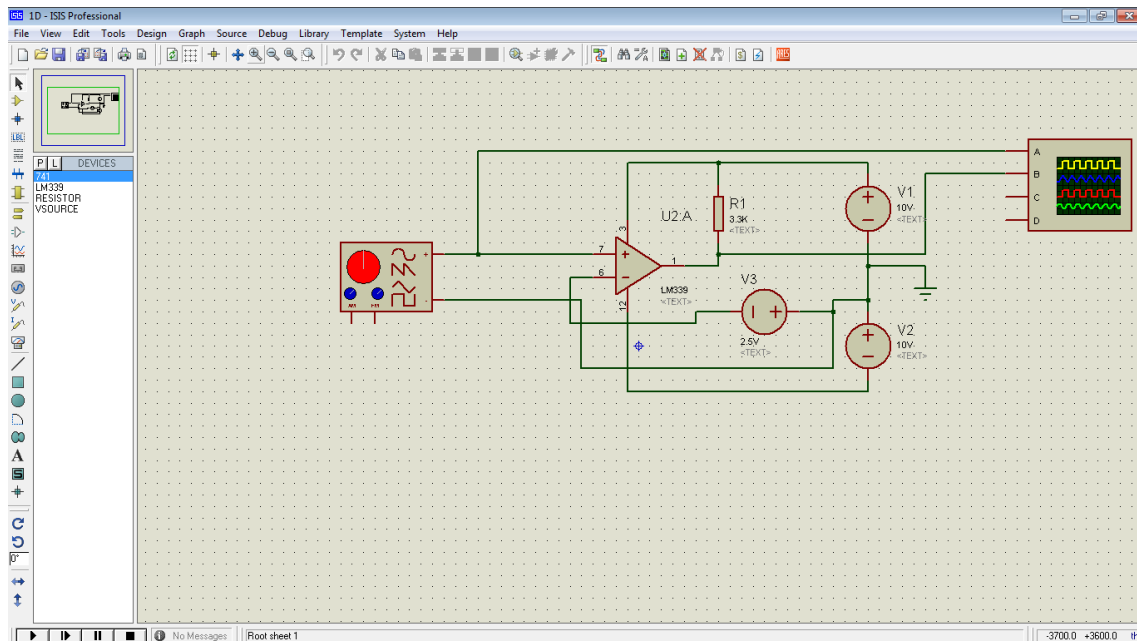
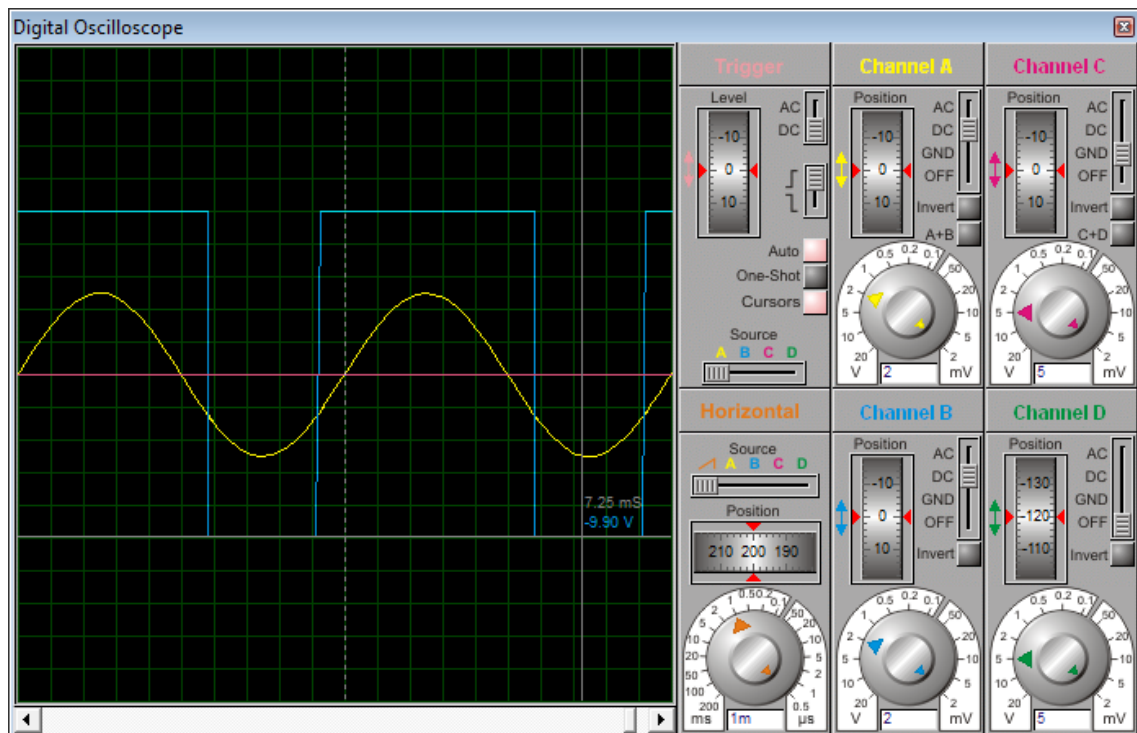
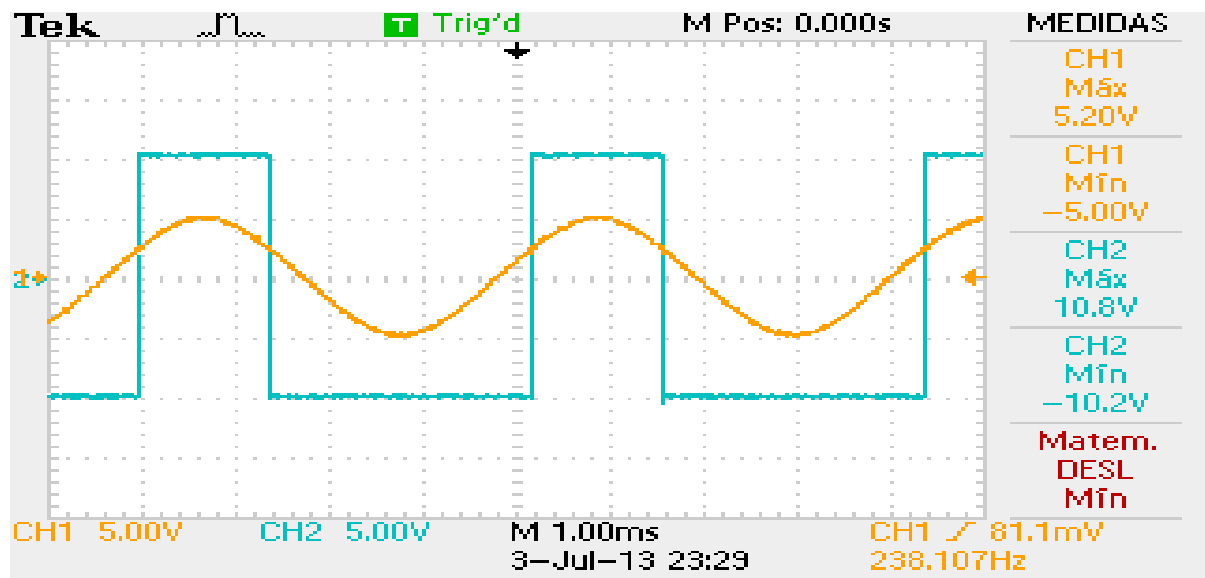


Figura 36(esquemático do osciloscópio do Protheus do comparador não-inversor com nível 2,5V.)



A figura 37 e 38 mostra novamente que na simulação ocorre praticamente o que acontece na teoria quando v_+ maior de v_- V_s satura e vai para V_{cc} e quando V_+ menor que V_- V_s satura e vai para V_{ee} mas como existe uma limitação do ampop ele satura em 10V e -9.90V.

Figura 39(gráfico no osciloscópio do ampop Protheus do comparador não-inversor com nível 2,5V.)



Podemos observar que entre a teoria a pratica neste caso não existe diferença o ampop deveria saturar em 10V e -10 V e ocorre praticamente isto ele satura em 10.8V e -10.2V.

Estas são as simulações e pratica com o ampop 741 de histerese.

Figura 40 (simulação do comparador não-inversor com nível de tensão em 0 V, Vsup 2V e Vinf-2V.)

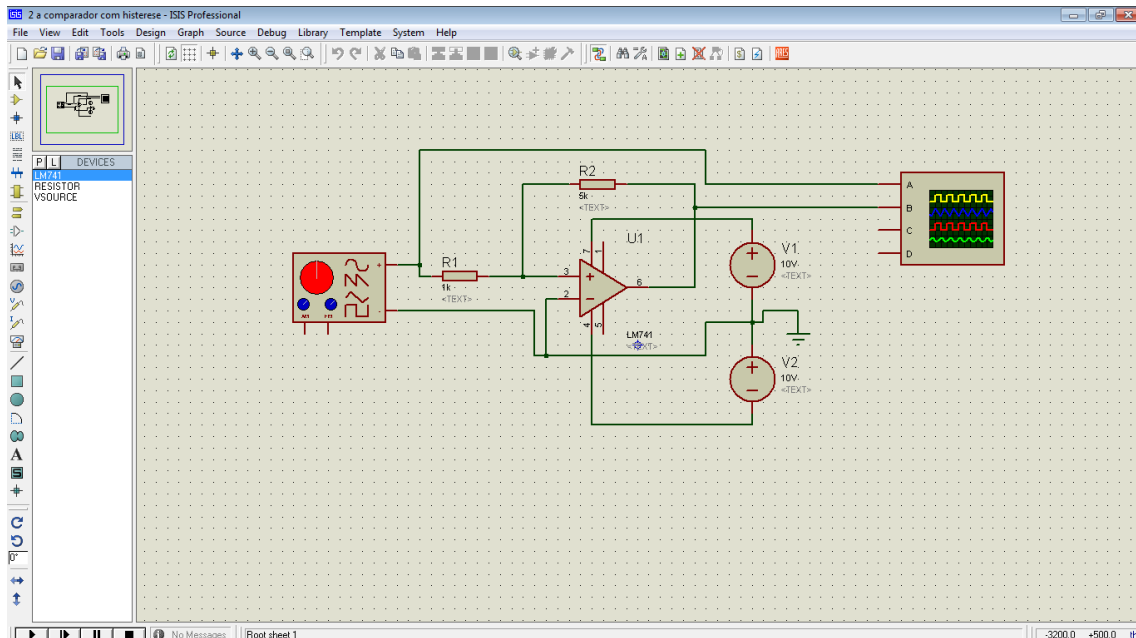
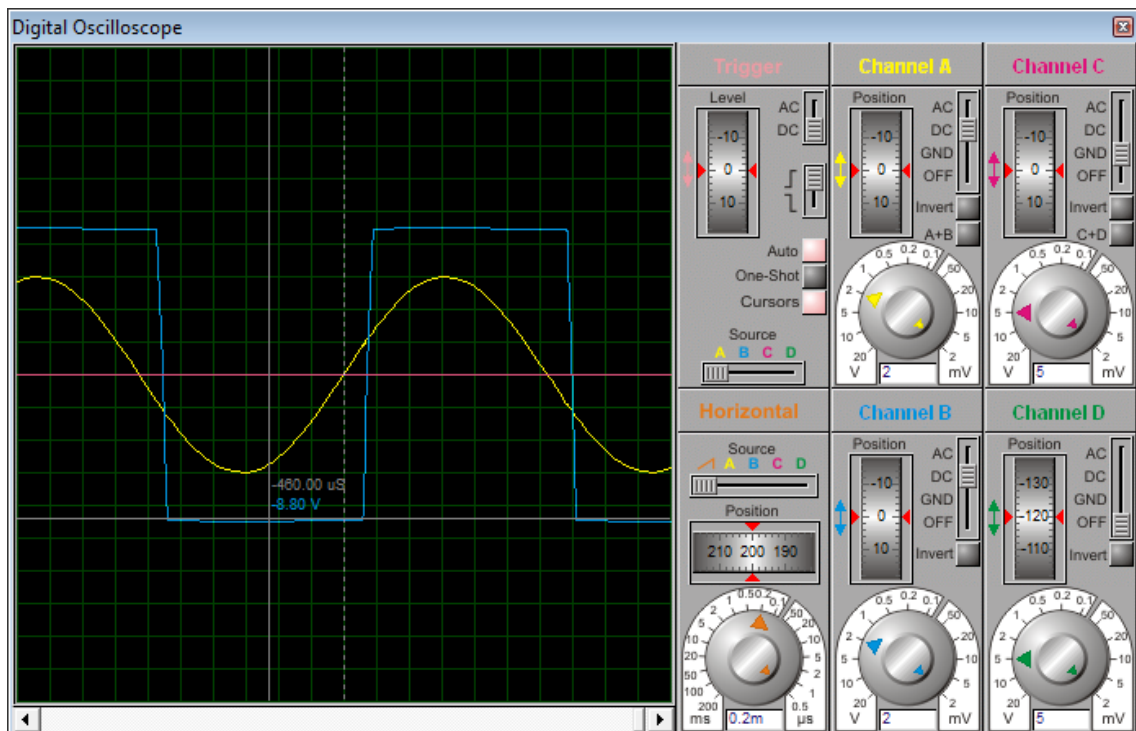


Figura 41(esquemático do osciloscópio do Protheus do comparador não-inversor com nível 0V.)



A figura40 e 41 mostra novamente que na simulação ocorre praticamente

o que acontece na teoria quando v_+ maior de v_- V_s satura e vai para V_{cc} e quando V_+ menor que V_- V_s satura e vai para V_{ee} mas como existe uma limitação do ampop ele satura em 9V e -8.80V.

Figura 42(gráfico no osciloscópio do ampop Protheus do comparador não-inversor com nível 0V.)

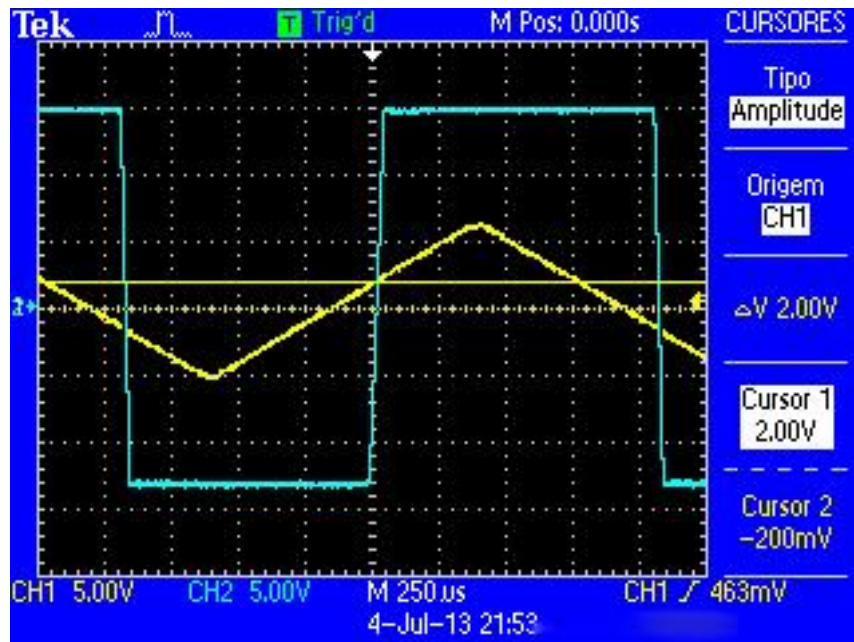
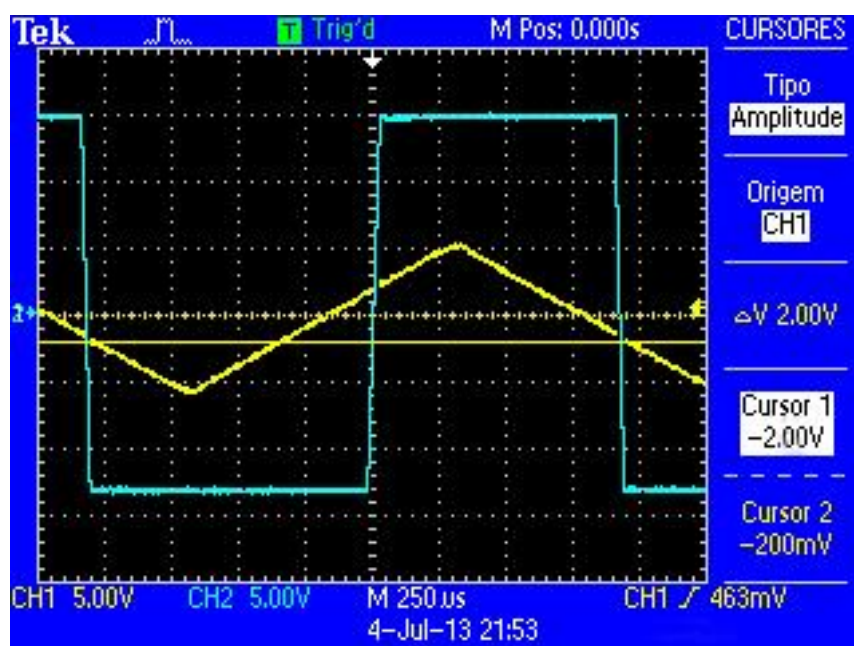
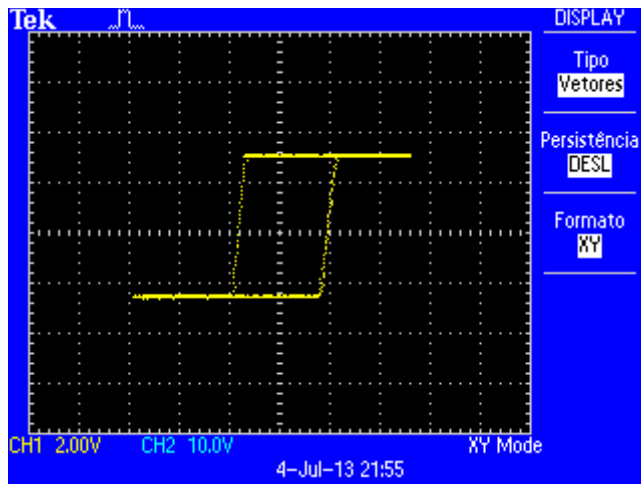


Figura 43(gráfico no osciloscópio do ampop Protheus do comparador não-inversor trocando em 2V e -2V.)



Como podemos analisar na figura 35 e 36 o ampop 741 com histerese está com uma entrada de positiva de 2V e uma entrada negativa de -2V. e está trocando em 2 a sua forma de onda na saída mostrando como se forma a saturação do amplificador operacional.

Figura 44(gráfico no osciloscópio no modo x-y do ampop Protheus do comparador não-inversor mostrando a curva de histerese em 2.)



A figura 44 está mostrando como é a curva x-y. nota-se que quando ultrapassados -2V ou 2V ocorre a comparação, em relação a saída para (+Vsata) ou (-Vsata). A leve inclinação na linha na linha vertical ocorre pelo atraso do lm 741, que originalmente não tem uma função de comparador, mas pode ser um amplificador operacional e ser usado como tal.

Figura 45 (simulação do comparador com histerese não-inversor com tensão central de 2V, Vsup= 3V e Vinf=1V.)

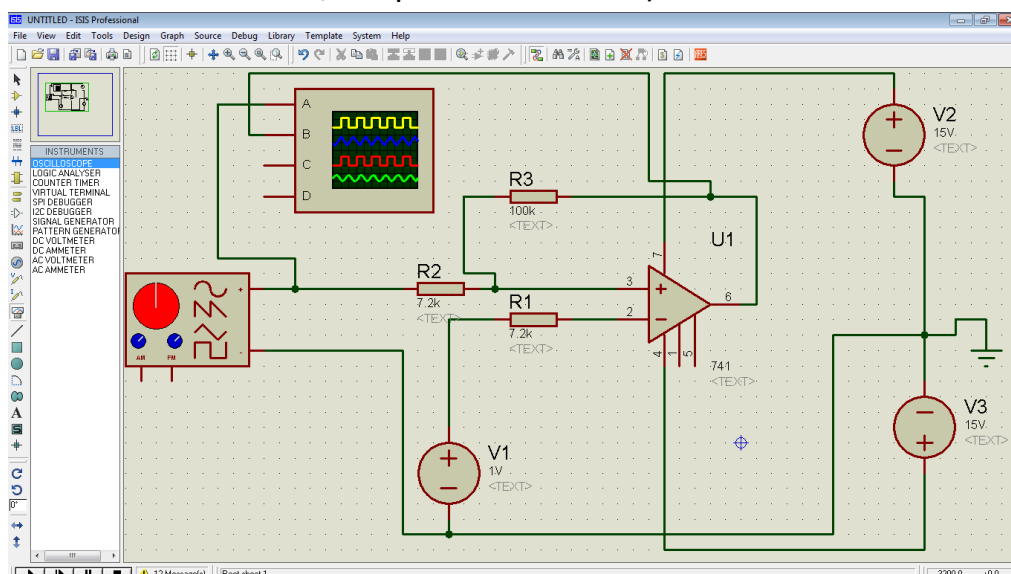


Figura 46(esquemático do osciloscópio do Protheus do comparador inversor com nível central de 2V.)

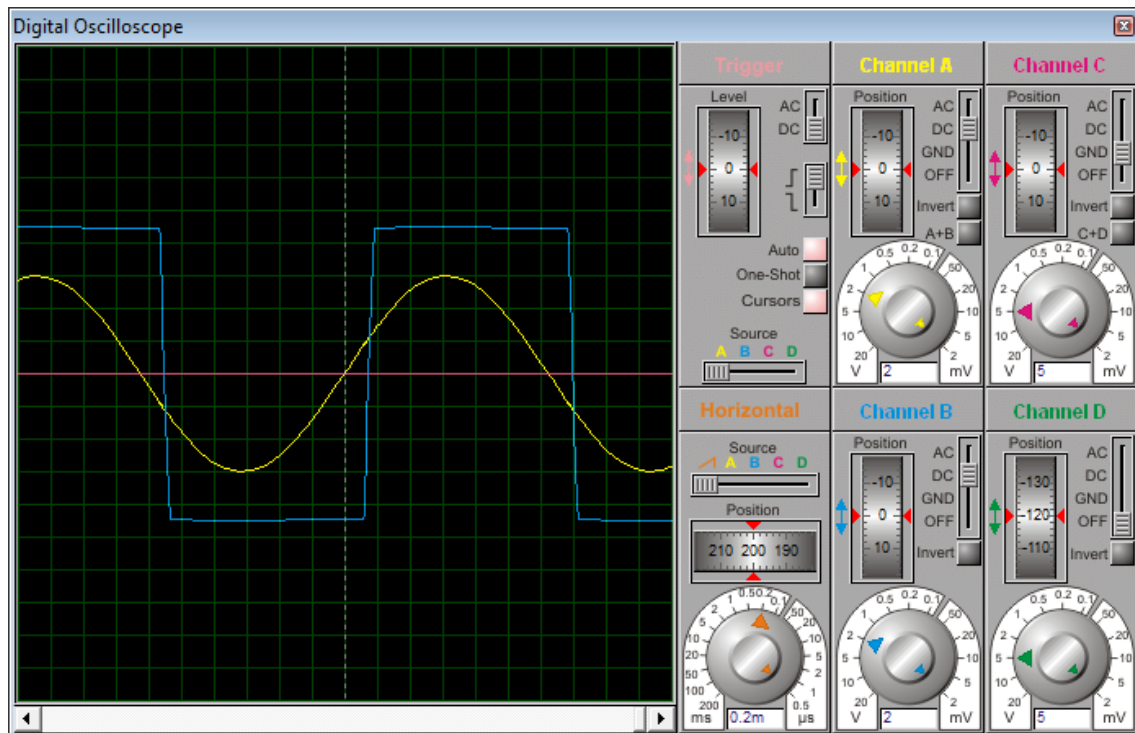
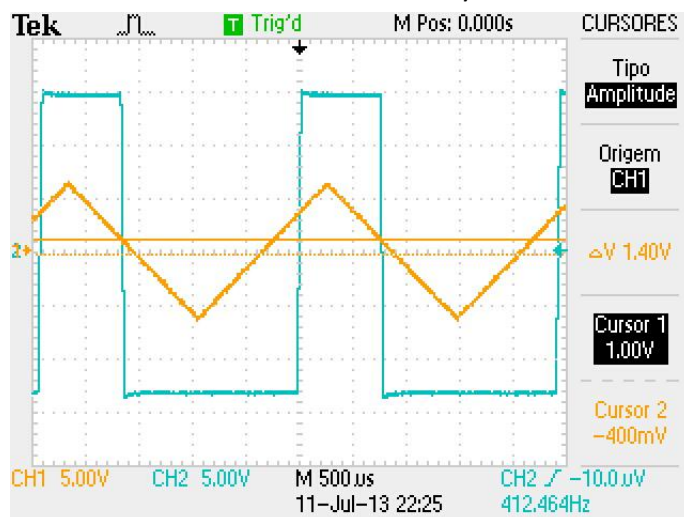
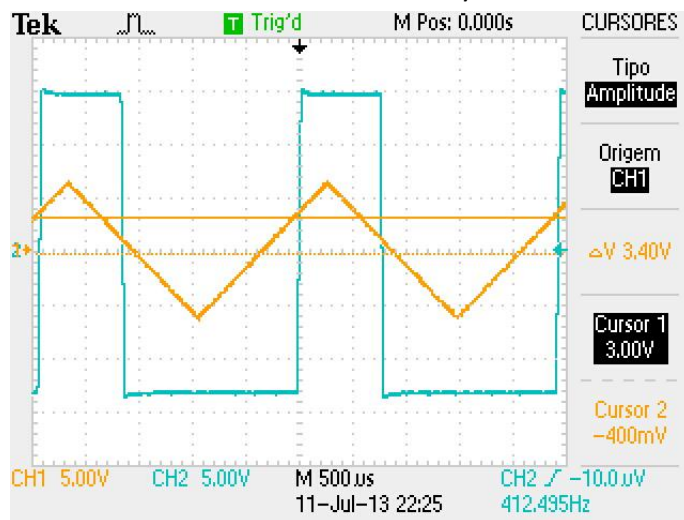


Figura 47(gráfico no osciloscópio do ampop Protheus do comparador não-inversor com nível central 2V.)



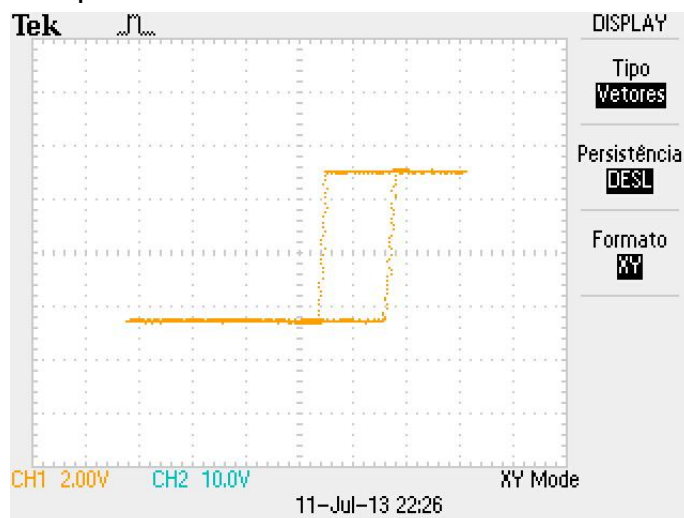
Como podemos ver no curva de sair o ampop está trocando o nível de saturação em 3V e 1V.)

Figura 48(gráfico no osciloscópio do ampop Protheus do comparador não-inversor com nível central 2V.)



Como podemos analisar o amplificador operacional está fazendo a troca do nível de saturação em 3V e 3V.

Figura 49 (gráfico no osciloscópio no modo x-y do ampop Protheus do comparador não-inversor mostrando a curva de histerese em 3.)



nota-se que quando ultrapassados -3V ou 3V ocorre a comparação, em relação a saída para (+Vsata) ou (-Vsata). A leve inclinação na linha na linha vertical ocorre pelo atraso do Im 741, que originalmente não tem uma função de comparador, mas pode ser um amplificador operacional e ser usado como tal.

Estas são as simulações e pratica com o ampop 339 de histerese.

Figura 50 (simulação do comparador não-inversor com nível de tensão em 0 V, V_{sup} 2V e V_{inf} -2V.)

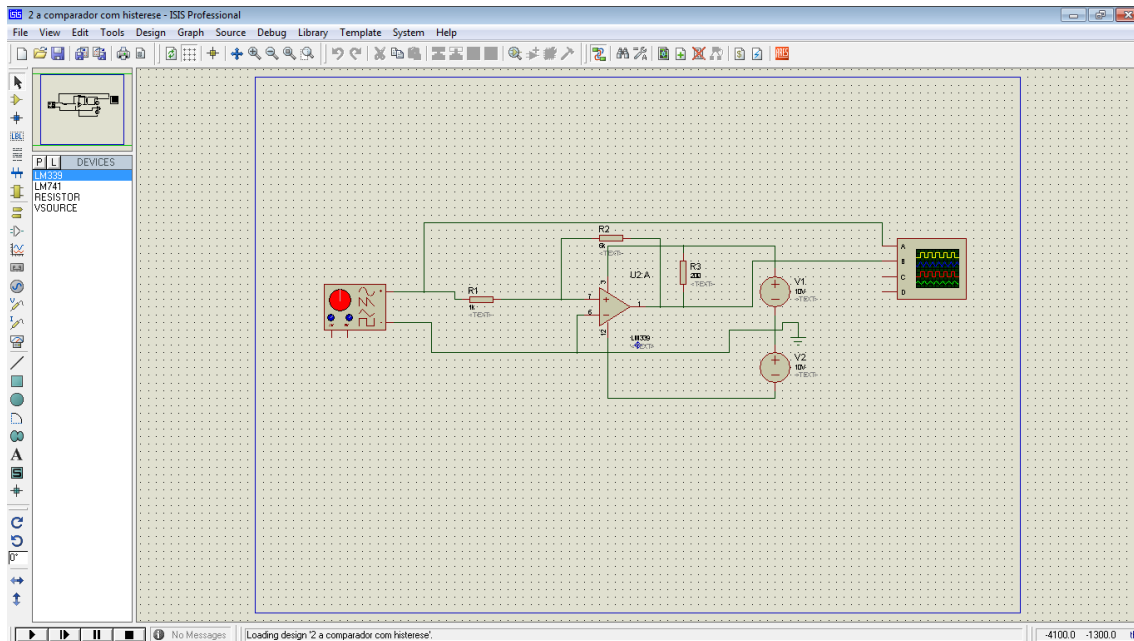


Figura 51(esquemático do osciloscópio do Protheus do comparador não-inversor com nível 0V.)

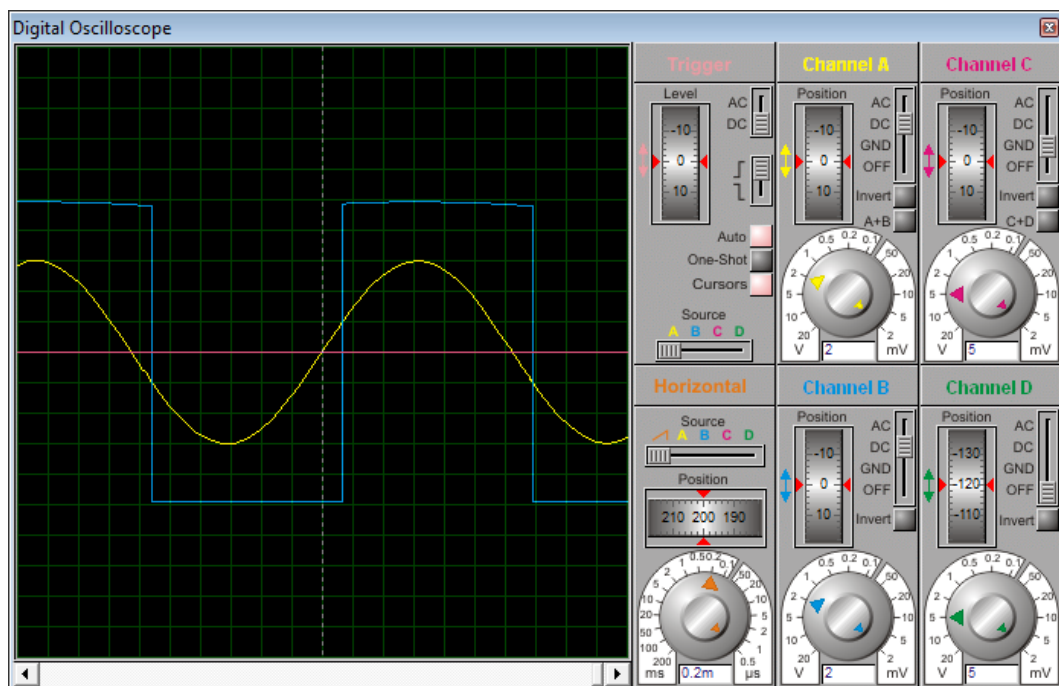
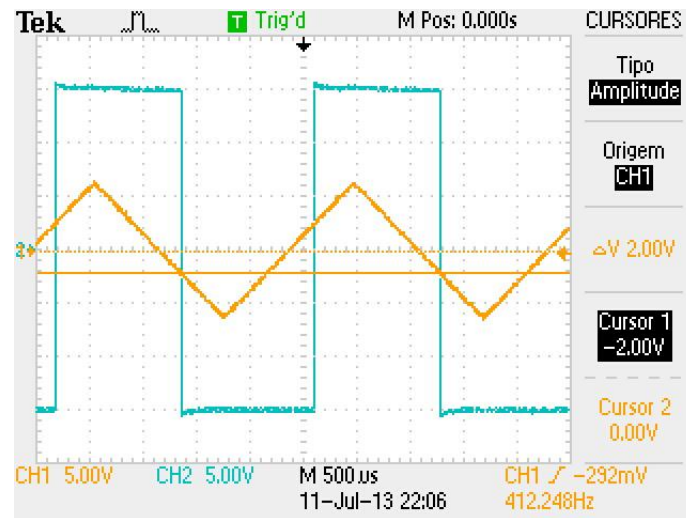
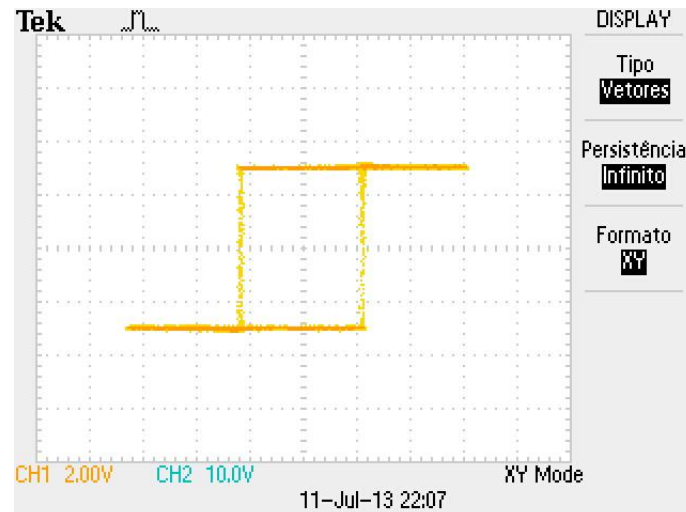


Figura 52(gráfico no osciloscópio do ampop Protheus do comparador não-inversor com nível 0V.)



Este ampop está mudando a sua curva de saturação em 2V e -2V.

Figura 53 (gráfico no osciloscópio no modo x-y do ampop Protheus do comparador não-inversor mostrando a curva de histerese em 2.)



nota-se que quando ultrapassados -2V ou 2V ocorre a comparação, em relação a saída para (+Vsata) ou (-Vsata). A leve inclinação na linha na linha vertical ocorre pelo atraso do Im 339, que originalmente não tem uma função de comparador, mas pode ser um amplificador operacional e ser usado como tal.

Figura 54 (simulação do comparador não-inversor com nível de tensão em 0 V, V_{sup} 2V e V_{inf} -2V.)

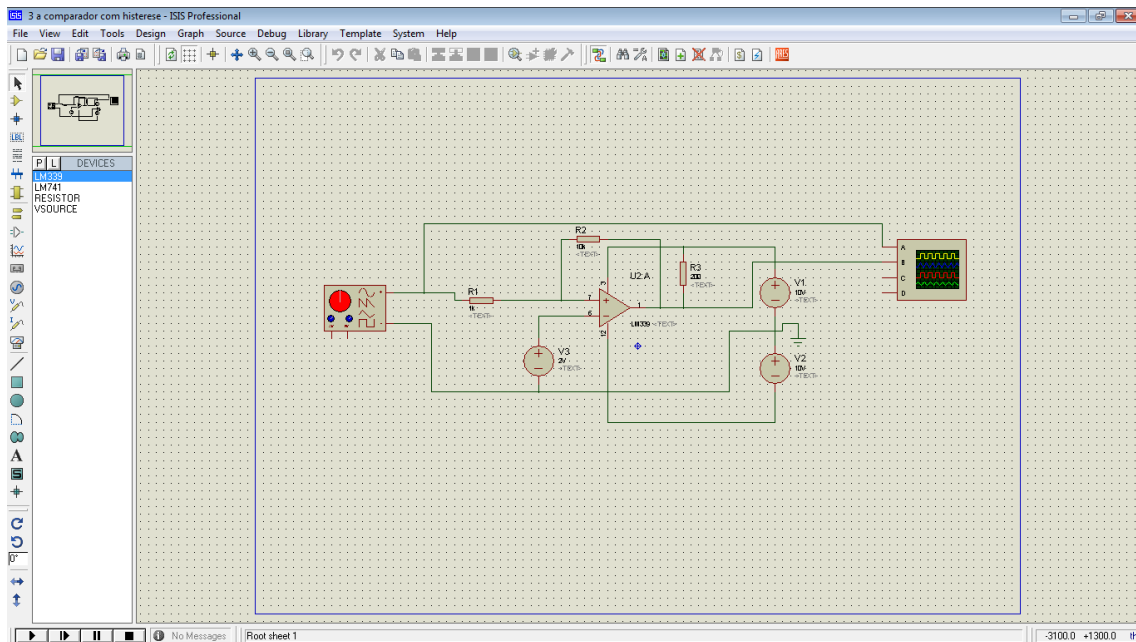


Figura 55(simulação do comparador com histerese não-inversor com tensão central de 2V, V_{sup} = 3V e V_{inf} =1V.)

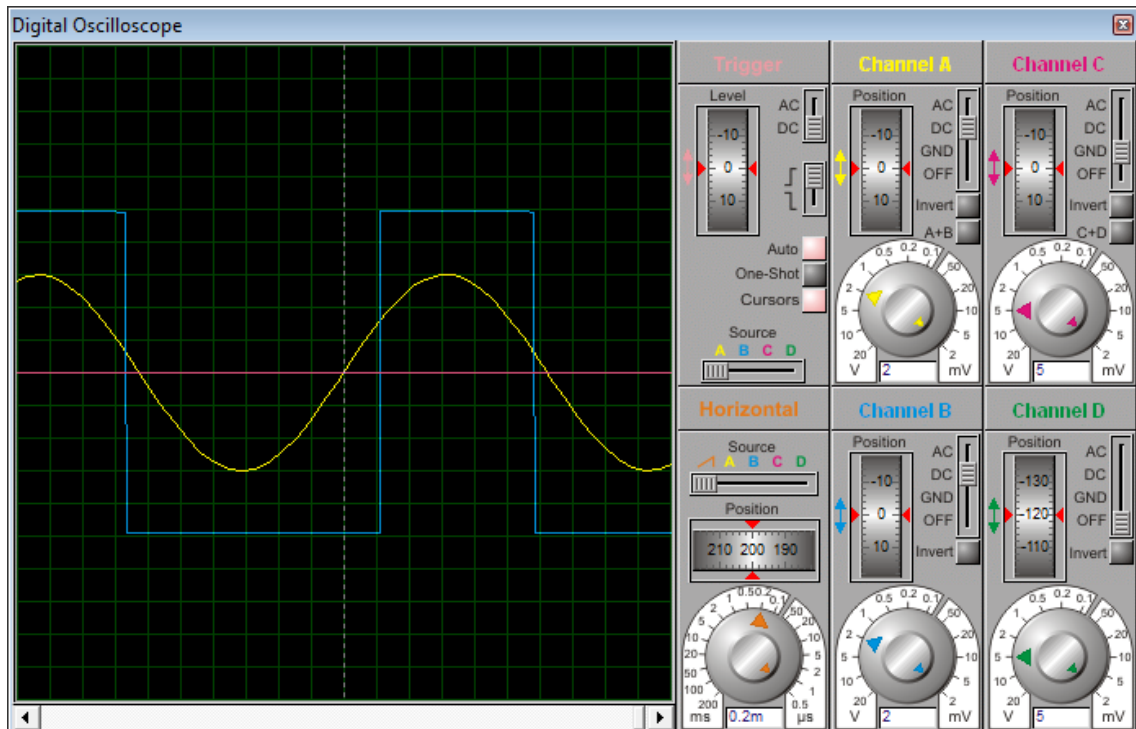
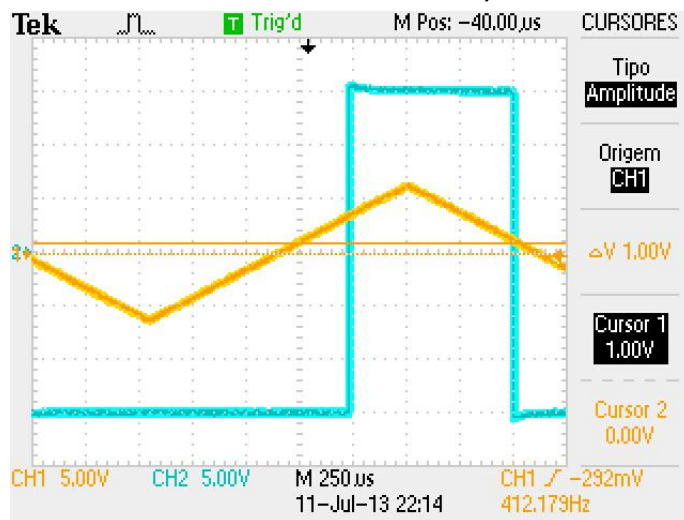
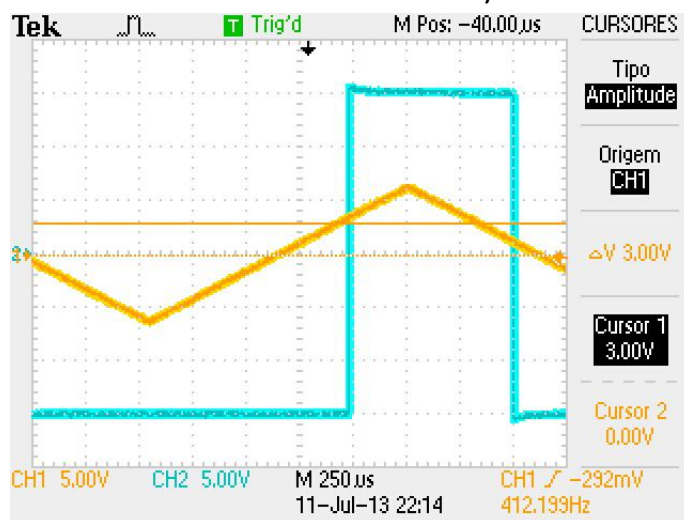


Figura 56(gráfico no osciloscópio do ampop Protheus do comparador não-inversor trocando em 2V e -2V.)



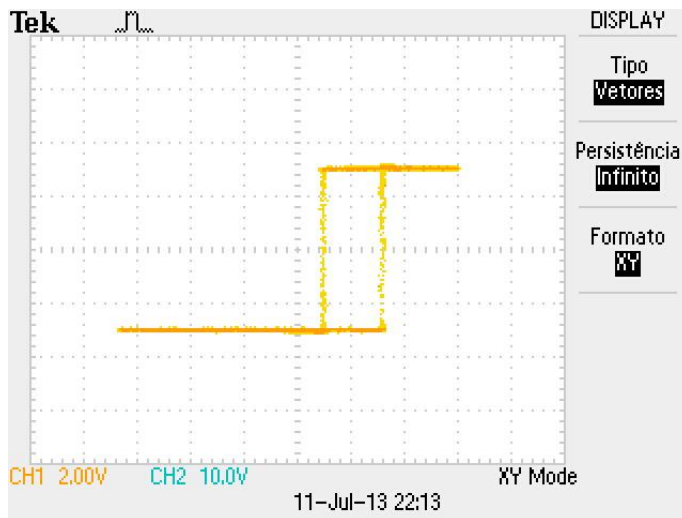
Esta forma de onda do ampop está trocando em 3V e em 1V.

Figura 57(gráfico no osciloscópio do ampop Protheus do comparador não-inversor trocando em 2V e -2V.)



Está forma de onda do ampop está trocando de 3V e em 3V.

Figura 58 (gráfico no osciloscópio no modo x-y do ampop Protheus do comparador não-inversor mostrando a curva de histerese em 3.)



Na curva de histerese da figura a cima, notamos a relação da entrada com a saída do circuito (*figura 58*). Escala vertical de 10V por divisão e horizontal de 2V por divisão, saída em azul e entrada em amarelo, nota-se que quando ultrapassados -3V ou 3V ocorre a comparação, em relação a saída para (+V_{sata}) ou (-V_{sat}). A leve inclinação na linha na linha vertical ocorre pelo atraso do Im 339, que originalmente não tem uma função de comparador, mas pode ser um amplificador operacional e ser usado como tal.

CONCLUSÃO

No relatório foram abordadas algumas estruturas utilizando amplificadores operacionais, tais como circuito comparador inversor, circuito comparador não-inversor, circuito comparador de 2 níveis não inversor, circuito comparador de 2 níveis inversor e circuito não inversor com histerese.

Todos os objetivos foram alcançados, pois foi possível analisar, projetar e montar os circuitos solicitados; calcular o valor de saída de cada circuito; analisar a teoria, simulação, prática e compara-los e analisar as formas de onda de saída e entrada dos circuitos.

Durante a teoria e simulação não foi encontrado nenhum problema, já na prática devido ao mal contato dos fios na matriz de contato alguns resultados não ficaram muito exatos, e também encontrou-se problema ao configurar o osciloscópio digital, atrasando um pouco a montagem dos circuitos.

ANEXOS

1- data sheet do lm 741



LM741

www.ti.com

SNV5C255 – MAY 2004 – REVISED OCTOBER 2004

LM741 Operational Amplifier

Check for Samples: LM741

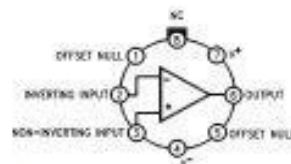
DESCRIPTION

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

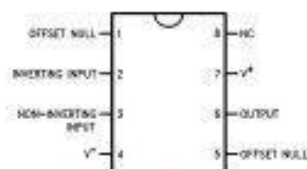


Figure 2. Dual-In-Line or S.O. Package



Figure 3. Ceramic Flatpak

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

2- data sheet do lm 339

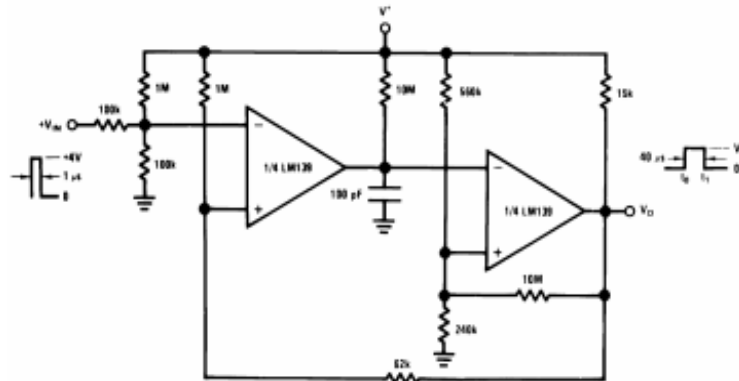
LM139-N, LM239-N, LM2901-N, LM3302-N, LM339-N



SNOSBJ3D – NOVEMBER 1999 – REVISED MARCH 2013

www.ti.com

One-Shot Multivibrator with Input Lock Out



Connection Diagrams

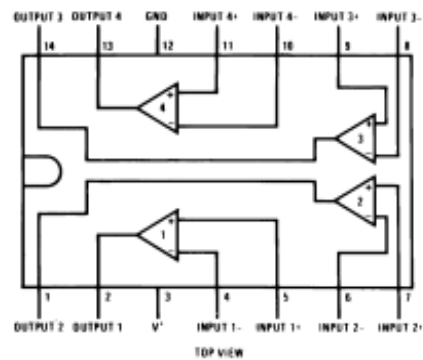


Figure 1. CDIP, SOIC, PDIP Packages – Top View
See Package Numbers J0014A, D0014A, NFF0014A



Figure 2. CLGA Package
See Package Numbers NAD0014B, NAC0014A



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.