

Eletrônica para Computação

SSC0180

Augusto Fernandes Ildefonso

ICMC - USP

Aulas

Atualizado até Aula 09 – 07/05/2024

Aula 1 – 06/03/2024 – Introdução a Disciplina

Aula 2 – 13/03/2024 – Overclock (Aquecimento e Refrigeração)

Aula 3 – 20/03/2024 – Transistores TBJ e MOSFET (Portas AND, OR e NOT)

Aula 4 – 02/04/2024 – Transistores TBJ e MOSFET (Operação)

Aula 5 – 09/04/2024 – Capacitores e CMOS

Aula 6 – 16/04/2024 – Capacitores e Fan-Out

Aula 7 – 23/04/2024 – Transformador

Aula 8 – 30/04/2024 – Retificadores

Aula 9 – 07/05/2024 – Tensão Ripple

Fórmulas

1ª Lei de Ohm

$$U = R \cdot i$$

$U \rightarrow$ Tensão [V] (Volt)

$R \rightarrow$ Resistência [Ω] (Ohm)

$i \rightarrow$ Corrente [A] (Ampere)

Potência

$$P = i \cdot U$$

$P \rightarrow$ Potência [W] (Watt)

$i \rightarrow$ Corrente [A] (Ampere)

$U \rightarrow$ Tensão [V] (Volt)

Resistência

Em série

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$R_{eq} \rightarrow$ Resistência equivalente [Ω] (Ohm)

Em paralelo

$$1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$$

Overclock

O clock do computador gera pulsos para sincronizar as operações internas do processador. Ele controla os registradores e a memorização dos valores.

Então, o overclock consiste em aumentar a frequência de operação da CPU, ou seja, ela irá realizar as operações mais rápido. Isso é feito através do aumento da velocidade de memorização das operações nos registradores. Esse aumento da velocidade ocorre pois ao realizar o overclock, mexe-se na margem de segurança do clock, diminuindo-a, o que aumenta a frequência.

Entretanto há um limite, pois ao aumentar a velocidade de memorização pode ser que ocorra a memorização do resultado da operação antes que ela tenha de fato terminado. Assim, o que foi memorizado é lixo. Para evitar isso é necessário aumentar a tensão de operação, para que os transistores consigam operar mais rapidamente. Desse modo, o limite para a realização do overclock torna-se a tensão máxima de operação dos transistores e capacitores.

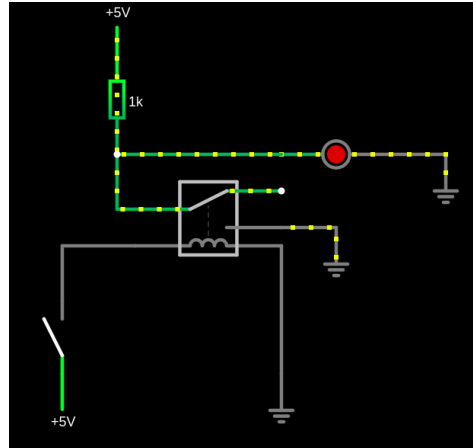
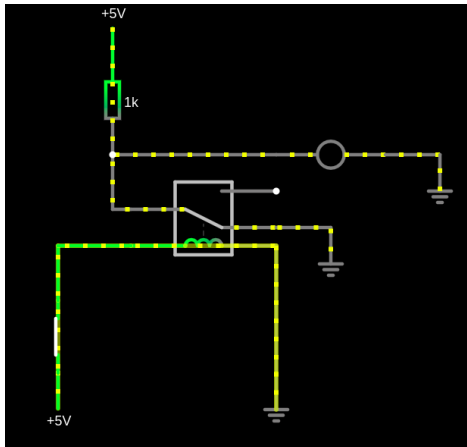
Ao realizar o overclock, há o aumento da temperatura da CPU e, por isso, é necessário um sistema de refrigeração que aguarde diminuir essa alta temperatura. Então, o aumento de temperatura é um dos problemas, e também limite, do quanto é possível realizar o overclock.

Antes dos transistores

Antes do uso dos transistores, outros mecanismos eram usados para montar as portas lógicas. São eles: relés e válvulas.

Relé

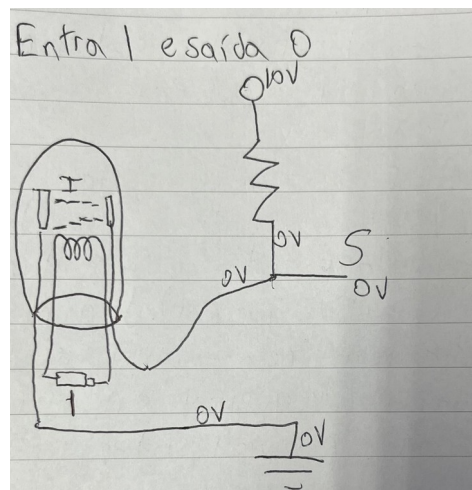
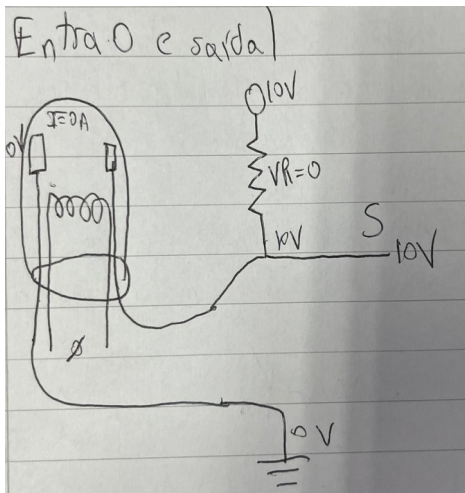
Porta NOT usando relé:



A primeira figura tem entrada 1 e saída 0, e o relé está ligado. Na segunda figura o relé está desligado e tem entrada 0 e saída 1.

Válvula

Porta NOT usando válvula:

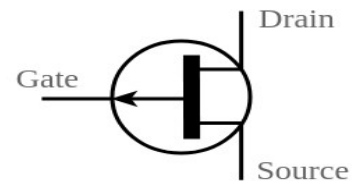


Transistores

Os transistores são divididos em PNP e NPN. Eles possuem funcionamento opostos. Então enquanto o NPN permite a passagem de corrente quando tem entrada 1 na Base, o PNP permite a passagem quando tem entrada 0 na Base. Além disso, no NPN o emissor fica ligado ao ground, já no PNP o coletor fica ligado ao ground. Vale ressaltar que em ambos os tipos você liga o que você quer controlar no coletor. Então terá uma diferença de posição no circuito quando usar um NPN ou PNP.

Transistor de efeito de campo MOS (MOSFET)

O princípio básico de funcionamento dos transistores é aplicar uma tensão entre dois terminais para controlar a passagem de corrente no terceiro terminal. Para o curso de Ciência da Computação trabalharemos sempre com a tensão em 0V ou extremamente grande, de modo a garantir que o transistor está 100% ligado.

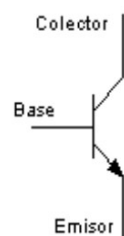


Existem dois tipos de transistores principais: o transistor bipolar de junção (TBJ) e o transistor de efeito de campo metal-óxido-semicondutor. A diferença entre eles é que o TBJ possui uma resistência interna baixa, o que facilita a queima do componente, por isso deve ser acompanhado de um resistor na base. Já o MOSFET possui uma resistência interna alta, de modo que não é necessário um transistor na sua base. Além disso, o MOSFET tem ganhado popularidade pois ele pode ser produzido em dimensão muito pequena, diferente do TBJ, o que o torna atraente para a produção de circuitos integrados (CI), além de uma fabricação simples. O MOSFET conta também com uma operação que necessita de pouca potência, projetistas que estão conseguindo criar funções analógicas e digitais exclusivamente com transistores. Tudo isso tem tornado possível integrar um número muito grande de transistores e implementá-los em CIs muito sofisticados, como memórias e processadores.

Para que ele ligue totalmente é necessário ligar, no gate, no mínimo 2,5V. E ele desliga quando a tensão é 1,7V.

Transistor bipolar de junção (TBJ ou BJT)

O seu funcionamento se assemelha ao MOSFET, vale ressaltar que o coletor recebe os elétrons e o emissor é por onde eles saem. Porém, o TBJ possui uma ótima performance sob condições ambientais severas, o que faz dele o dispositivo dominante em eletrônica automotiva. Antigamente ele era popular no projeto de circuitos discretos, mas foi sendo substituído pelo MOSFET. Ele também é muito utilizado em circuitos de alta frequência.



Os transistores MOSFET e TBJ podem ser combinados no circuito para garantir as vantagens dos dois: a alta impedância de entrada e o baixo consumo de potência do MOSFET e a operação em altas frequências e capacidade de drenar altas correntes dos transistores TBJ. Essa tecnologia é conhecida como BiMOS ou BiCMOS.

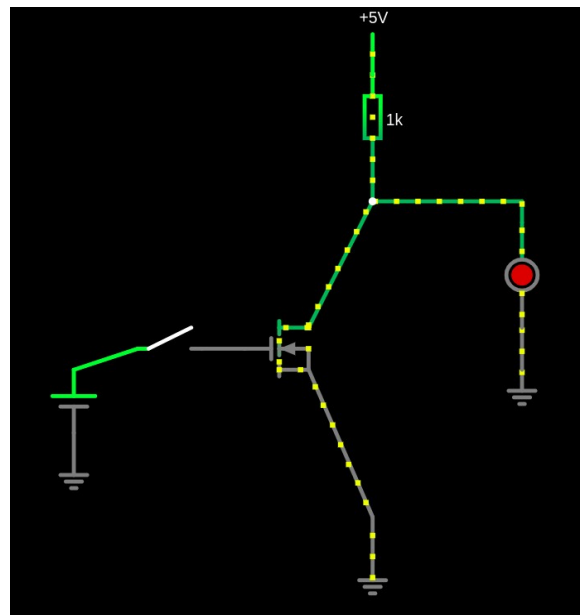
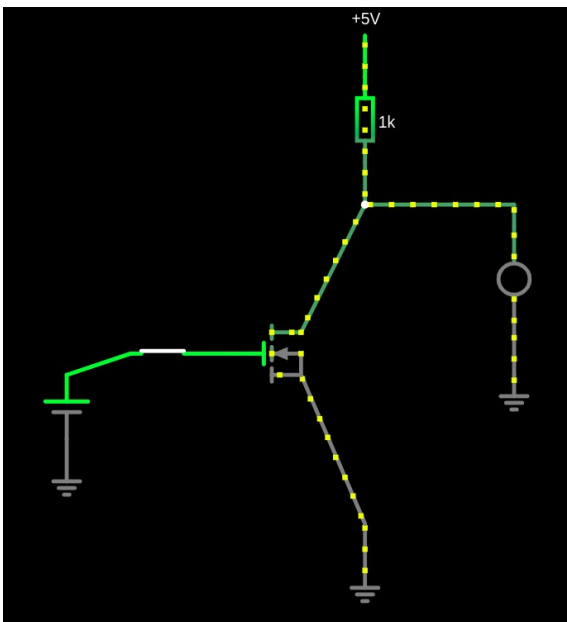
Para o curso de Ciência de Computação, nos interessará o MOSFET NPN.

Circuitos lógicos digitais nMOS

Para contruir qualquer circuito lógico, primeiro é necessário construir o seguinte circuito (considerando um resistor NPN):



Porta NOT

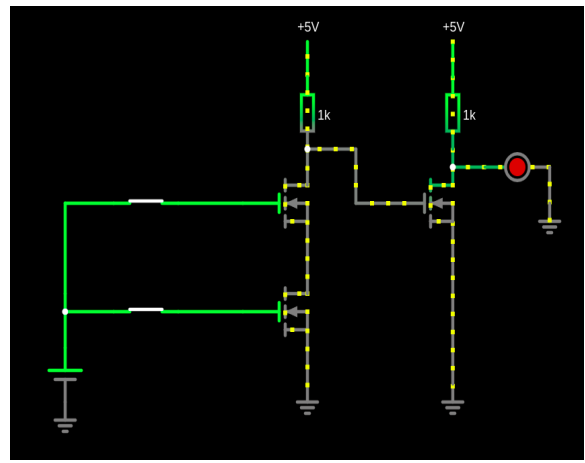
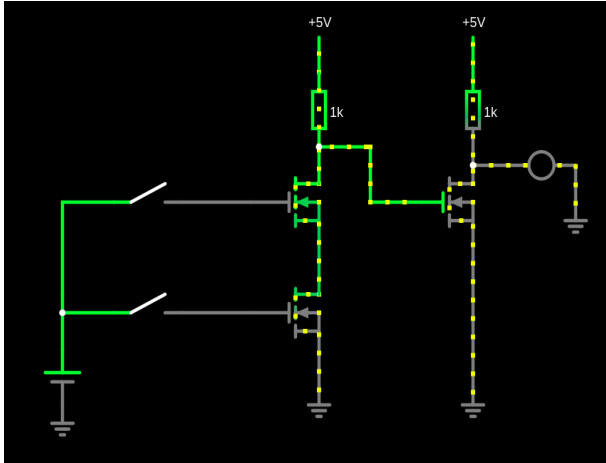


A primeira figura possui entrada 1 e saída 0. Já a segunda figura possui entrada 0 e saída 1.

Porta AND

Para montar a porta lógica E é necessário colocar os dois transistores em série.

O circuito da porta AND é composto por uma porta NOT e uma porta NAND, pois ao colocar os dois transistores em série eles vão resultar em uma porta NAND e então é necessário negar essa porta para obter o AND, por isso liga-se uma porta NOT na saída da porta NAND.

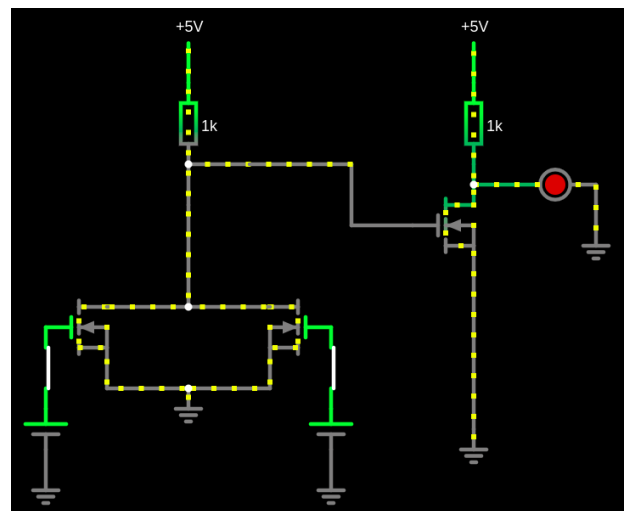
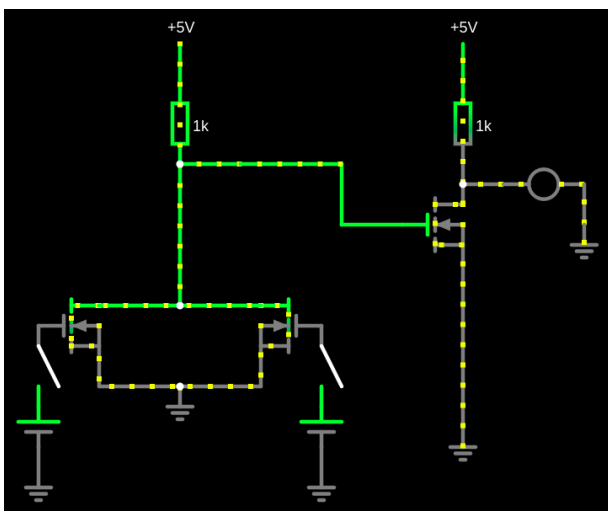


A primeira figura possui entrada 0 e 0 e saída 0. Já a segunda figura possui entrada 1 e 1 e saída 1.

Porta OR

Para montar a porta lógica OU é necessário colocar os dois transistores em paralelo.

O circuito da porta OR é composto por uma porta NOT e uma porta NOR, pois ao colocar os dois transistores em paralelo eles vão resultar em uma porta NOR e então é necessário negar essa porta para obter o OR, por isso liga-se uma porta NOT na saída da porta NOR.



A primeira figura possui entrada 0 e 0 e saída 0. Já a segunda figura possui entrada 1 e 1 e saída 1.

Um destaque importante é que nos circuitos foram usados o transistor NPN, por isso, as portas obtidas são todas as inversas das que queremos. Se fosse usado o PNP, como ele tem

funcionamento oposto ao NPN, seriam obtidas diretamente as portas de interesse. Porém não se faz isso, pois há outras complicações.

Capacitores

O capacitor é um dispositivo que armazena cargas elétricas. Quando o capacitor está sendo alimentado, ele carrega e quando é cortada a alimentação ele descarrega. Um dos usos do capacitor é para causar um delay no circuito.

O capacitor quando está descarregado age como um curto-circuito e quando ele está carregado ele age como um “buraco”, dado que não passa corrente.

Para calcular a tensão que do capacitor, primeiro “retira” ele do circuito. Em seguida acha a resistência equivalente do circuito e a partir dela descobre a tensão no ponto que o capacitor está e essa é a tensão do capacitor.

Para associar os capacitores devemos dividir no caso para carregar e no caso para descarregar. Para carregar, não há porque colocá-los em série, mas ao colocá-los em paralelo eles formam um “grande capacitor”. Já para descarregar, se colocar em série, somam-se as tensões deles, já se estiver em paralelo, não há a soma das tensões, mas eles (o conjunto de capacitores) vão demorar mais para descarregar totalmente.

Ele descarrega mais rápido do que carrega, pois ao carregar as cargas passam por um resistor que dificulta a passagem, já para descarregar ele as cargas só passam pelo transistor, que age como um curto-circuito, então não oferece uma resistência à passagem das cargas.

Para que o capacitor carregue mais rápido pode-se diminuir a resistência do resistor, com isso haverá o aumento da corrente e, conseqüentemente da temperatura. Assim, surge um limite para essa diminuição, de modo que o capacitor não queime.

Além disso, um fio possui uma capacitância. Ela é diretamente proporcional ao comprimento do fio. Ela depende também da área do fio.

Um detalhe importante é que o capacitor eletrolítico possui uma perna positiva e uma negativa, então é necessário verificar o lado certo ao ligá-lo no circuito para que o capacitor não exploda.

O tempo que leva para carregar um transistor é o mesmo que o tempo que leva para descarregar o transistor. Geralmente o tempo que leva para carregar totalmente o capacitor é $5 \cdot (R / C)$.

CMOS

Sobre o CMOS

É um novo tipo de circuito, muito utilizado em circuitos digitais. Ele é constituído de um transistor NPN e PNP.

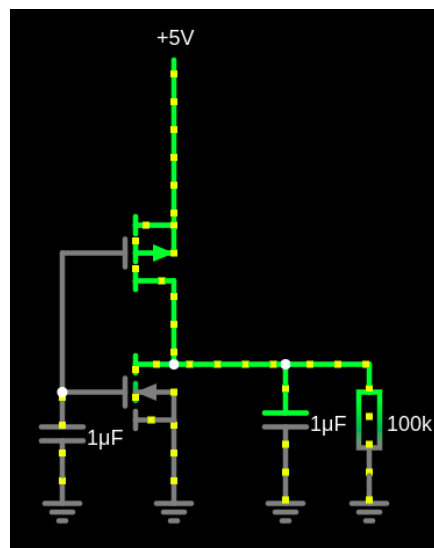
A diferença principal do funcionamento dele para o nMOS é que ele não esquenta devido ao resistor, igual o nMOS, e sim porque quando os transistores estão entre o estado de ligado e desligado (esse estado existe devido aos capacitores inerentes ao transistor que impedem que essa mudança seja instantânea), ambos podem estar ligados, formando um curto-circuito, o que torna a corrente praticamente infinita, causando o aquecimento. Porém, isso ocorre por um curto intervalo de tempo, o que torna possível usá-lo em circuitos com muitos transistores e que precisam funcionar rapidamente.

Uma outra vantagem dele é que os circuitos formados por ele são mais rápidos, como não há um resistor no source, quando os transistores ligam forma um curto-circuito, que praticamente não oferece resistência.

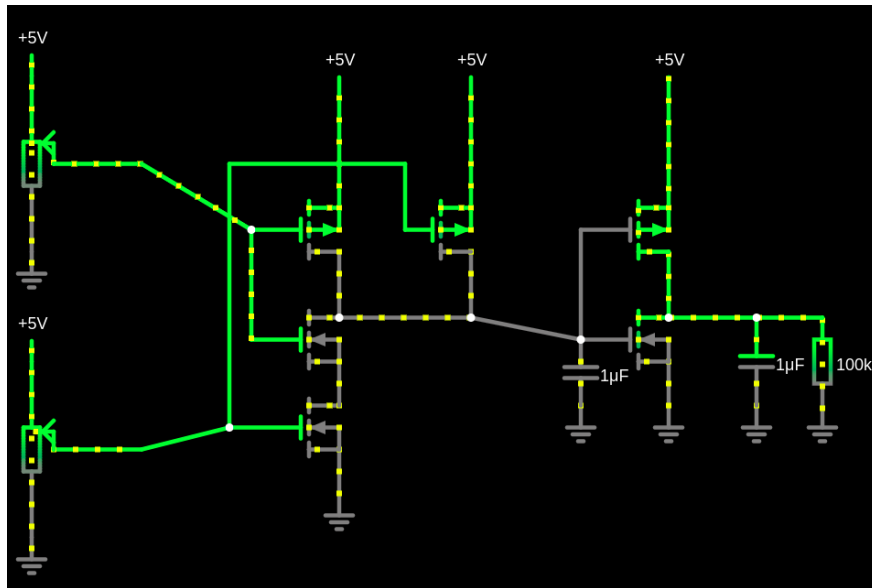
Para montar as portas lógicas, o transistor PNP assume o formato complementar do NPN, por isso seu nome: Complementary metal-oxide-semiconductor. Então se os transistores NPN estiverem em série, os PNP estarão em paralelo.

Portas lógicas com o CMOS

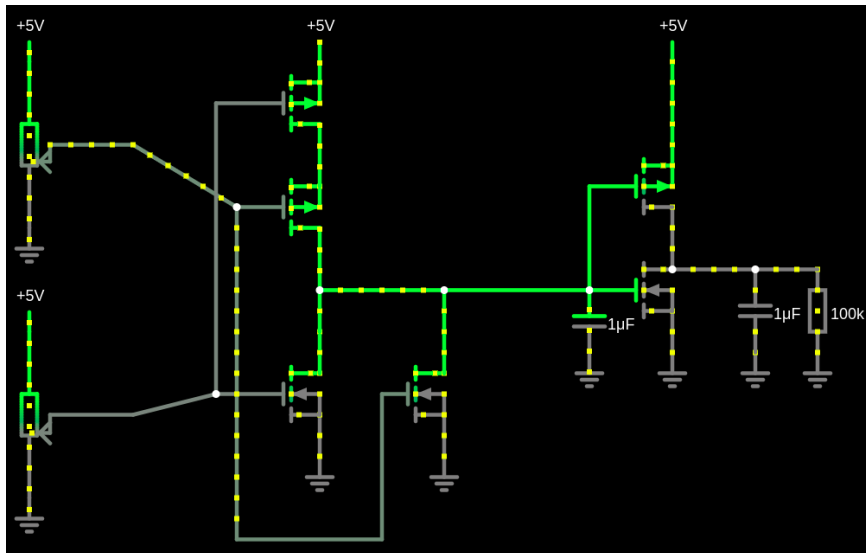
Porta NOT



Porta AND



Porta OR



Fan-Out

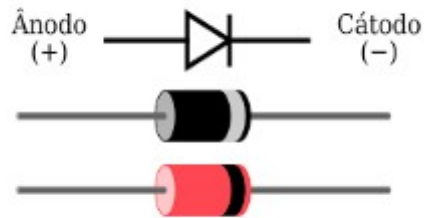
O tempo de fan-out é o tempo que demora para, ao mudar o estado lógico da entrada, a saída mudar. O tempo aumenta conforme o número de portas aumenta.

Transformador

O valor da tensão é proporcional ao número de voltas do fio, então quanto mais voltas, maior a tensão. Além disso, as potências dos dois lados do transformador são as mesmas.

Diodo

O diodo é um componente que só permite a passagem da corrente em um único sentido. Ele possui uma queda de tensão de aproximadamente 0,3V (germânio) e 0,7 V (silício). A resistência do diodo é quase zero.



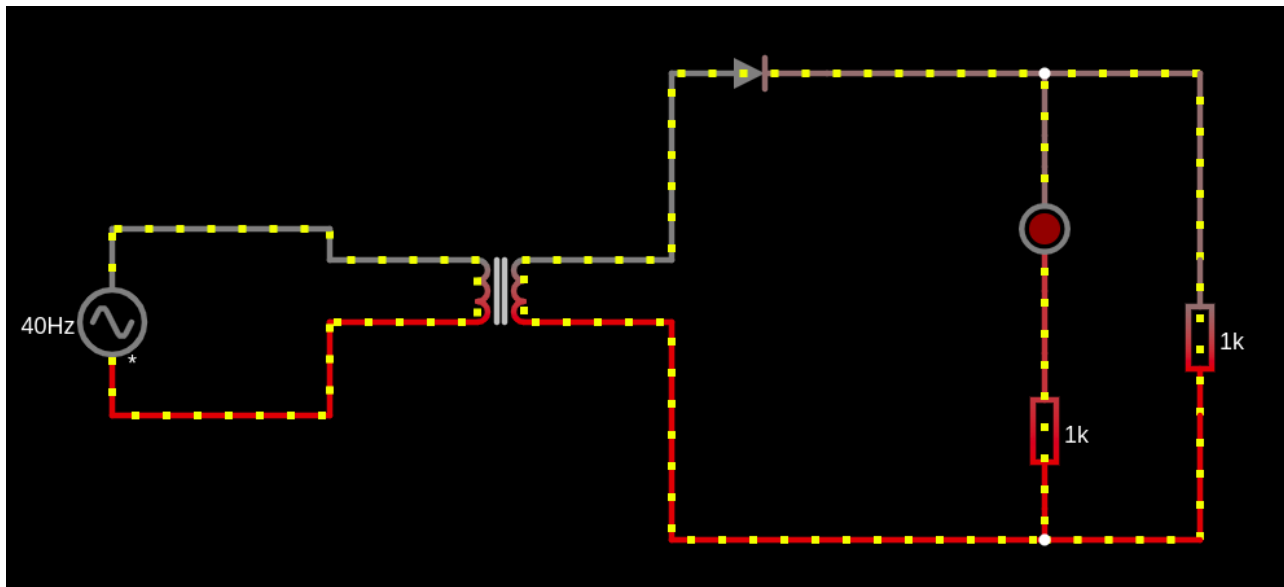
Ele só permite a passagem da corrente depois que a tensão no ânodo é maior do que a queda de tensão interna do diodo.

Ele bloqueia a corrente até um certo limite de tensão (2000 V ou mais), superado esse limite ele permite a passagem da corrente.

Retificadores

Retificador de Meia Onda

Mantém a parte positiva da onda e corta a parte negativa. Utiliza um diodo só.

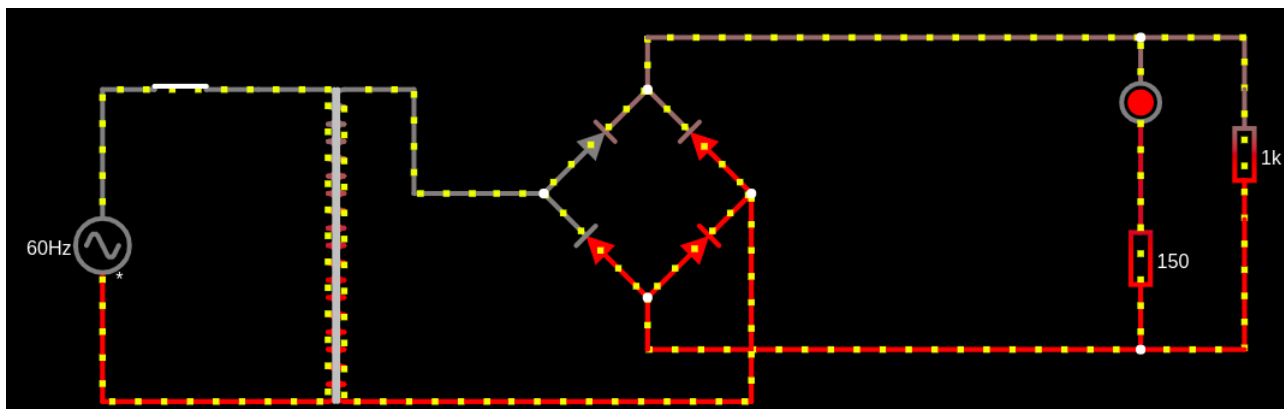


Retificador de Onda Completa

Ele mantém a parte positiva e transforma a parte negativa em positiva.

Retificador de Onda Completa em Ponte

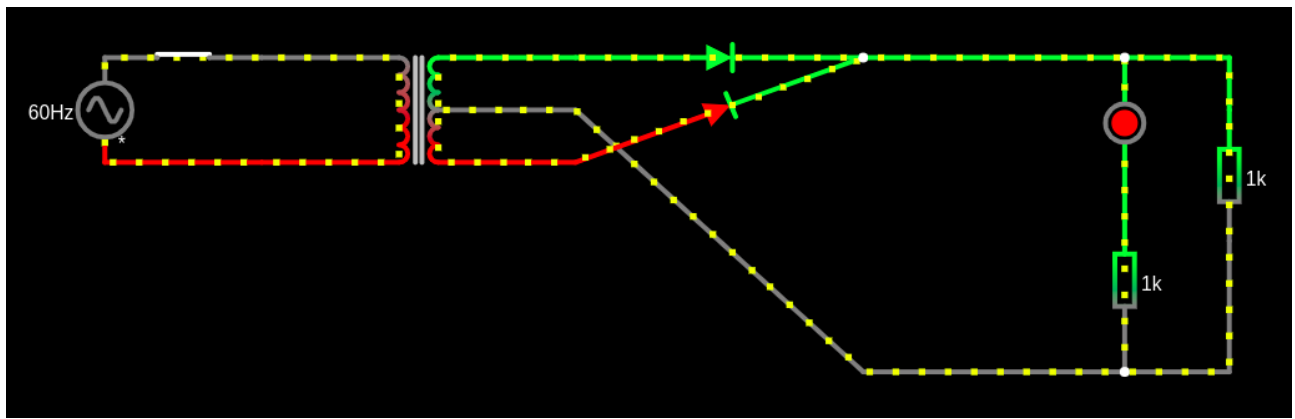
Utiliza 4 diodos em formato de diamante (ponte de diodo).



Tanto faz o modo como liga o transformador porque a corrente é alternada então não tem um positivo, além de que sempre há um caminho para a corrente passar, então tanto faz.

Retificador de Onda Completa com Tap Central

Utiliza 2 diodos. Nele é necessário um transformador com tap central. Sempre vai ser uma metade só do transformador que está ligada.



Tensão Ripple

O ripple é a ondulação residual da tensão após sofrer o processo de retificação e filtragem, que por não serem completos, deixam o resíduo de ondulação.

Quando calculamos o ripple queremos calcular o valor mínimo do ripple.

Será calculado o ripple para até 20% porque se não as fórmulas irão errar muito.

O problema do ripple é que queremos uma tensão abaixo do ripple porque ela é mais estável.

As fórmulas fáceis são para ripples de até 10%.

Ripple para meia onda

$$\text{Ripple} = V_s / (f \cdot C \cdot R)$$

V_s = Tensão máxima/pico [V]

f = Frequência [Hz] (60 Hz para a fonte)

C = Capacitância [F]

R = Resistência [Ω]

Ripple para onda completa

$$\text{Ripple} = V_s / (2 \cdot f \cdot C \cdot R)$$

Fórmula mais precisa

$$\text{Ripple} = V_s \cdot (1 - e^{(-1/f \cdot R \cdot C)})$$