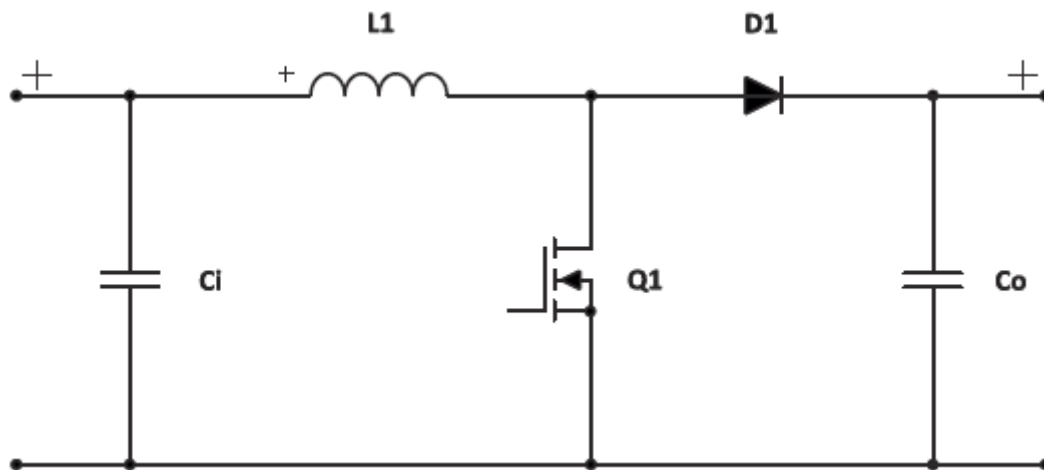


A versão que utilizo é LTspice XVII(x64), para Windows, atualizada em 3/12/2019. Os artigos anteriores da série podem lhe auxiliar num melhor acompanhamento. No décimo segundo artigo veremos os conceitos básicos de um conversor Boost (Step-Up).

Um conversor Boost tem um nível de tensão de saída mais alto do que a entrada, portanto, Step-Up significa essa elevação de potencial. A energia é transferida para a saída quando o dispositivo chaveador/comutador não está conduzindo. No site da Texas Instruments, <https://www.ti.com/seclit/ug/slyu036/slyu036.pdf>, podemos baixar um manual de topologias de fontes que agregado ao LTspice enriqueceria nosso conteúdo.

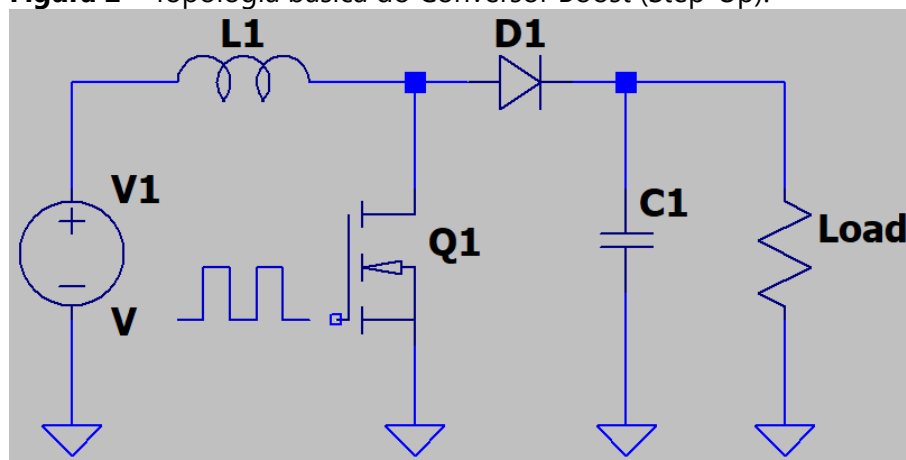
Figura 1 – Topologia de um Conversor Boost (Step-Up).



A topologia básica do conversor Boost (Step-Up) podemos ver na figura 2. O comutador (Q_1) chaveará conforme o PWM (Modulação por Largura de Pulso). O comutador (Q_1) é uma chave que fecha e abre. Quando fecha cria uma malha de carga do indutor, ver figura 7.

Quando abre cria outra malha, onde a fonte de alimentação (V_1), mais o indutor (L_1), são geradores que alimentarão a carga do capacitor (C_1) e a carga (Load), ver figura 8. Nessa malha o diodo (D_1) garante o fluxo de corrente, somente no sentido da carga.

Figura 2 – Topologia básica do Conversor Boost (Step-Up).



Comportamento elétrico do Indutor

A equação que rege o comportamento elétrico do indutor é mostrada a seguir. Significa que uma variação de corrente no tempo através do indutor gera um potencial em suas extremidades:

$$V(t) = -L * \frac{dI(i)}{dt} .$$

Na figura 3, estou aplicando um sinal de tensão sobre o indutor que está dividido em três etapas:

1º aplicamos um degrau de 0 (V) para 5 (V), durante 350 (nS) – processo de carga

2º aplicamos um degrau de 5 (V) para 0 (V), durante 350 (nS) – processo de armazenamento

3º aplicamos um degrau de 0 (V) para -5 (V), durante 350 (nS) – processo de descarga

No processo de carga, o indutor é uma carga para a fonte. No processo de descarga, o indutor é um gerador, por esse motivo que a corrente na carga é linear crescente e na descarga é linear decrescente (inverte o sentido de circulação). A curva de carga e descarga completa é exponencial, mas, como aqui o tempo é de curta duração a variação é uma rampa.

Figura 3 – Simular o comportamento do indutor (carga, armazenamento e descarga).

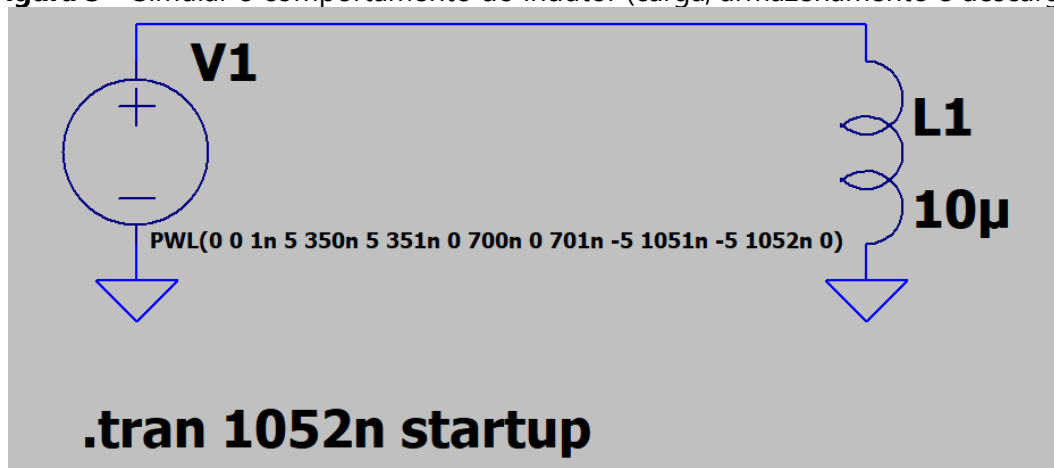
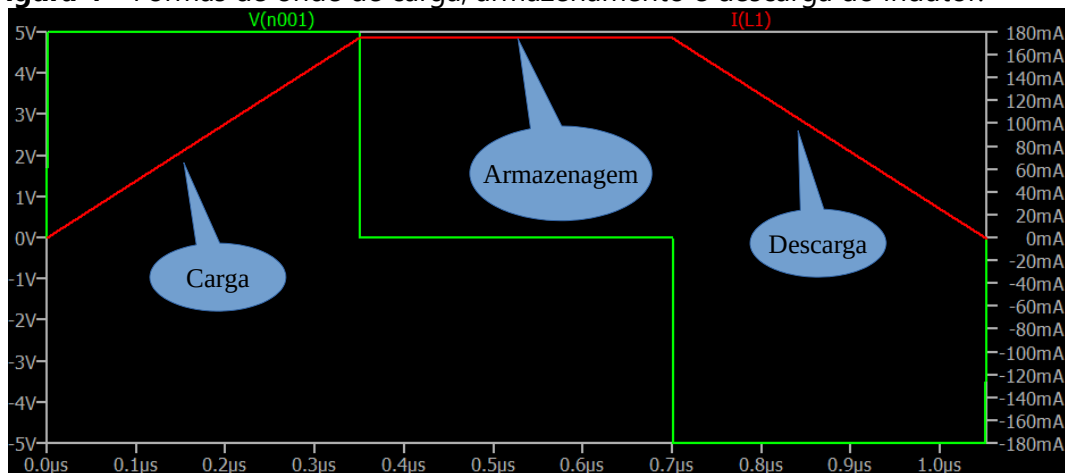


Figura 4 – Formas de onda de carga, armazenamento e descarga do indutor.



Comportamento elétrico do Capacitor

A equação que rege o comportamento elétrico do capacitor é mostrada a seguir. Significa que uma variação de tensão no tempo sobre do capacitor gera uma corrente (movimentação de cargas):

$$I(t) = C * \frac{dV(t)}{dt} .$$

Na figura 5, estou aplicando um sinal de corrente no capacitor que está dividido em três etapas:

1º aplicamos um degrau de 0 (mA) para 300 (mA), durante 350 (nS) – processo de carga

2º aplicamos um degrau de 300 (mA) para 0 (mA), durante 350 (nS) – processo de armazenamento

3º aplicamos um degrau de 0 (mA) para -300 (mA), durante 350 (nS) – processo de descarga

No processo de carga, o capacitor é uma carga para as fontes (fonte de entrada, mais o indutor como gerador). No processo de descarga, o capacitor é um gerador, por esse motivo que a tensão na carga é linear crescente e na descarga é linear decrescente (inverte o sentido de circulação). A curva de carga e descarga completa é exponencial, mas, como aqui o tempo é de curta duração a variação é uma rampa.

Figura 5 - Simular o comportamento do capacitor (carga, armazenamento e descarga).

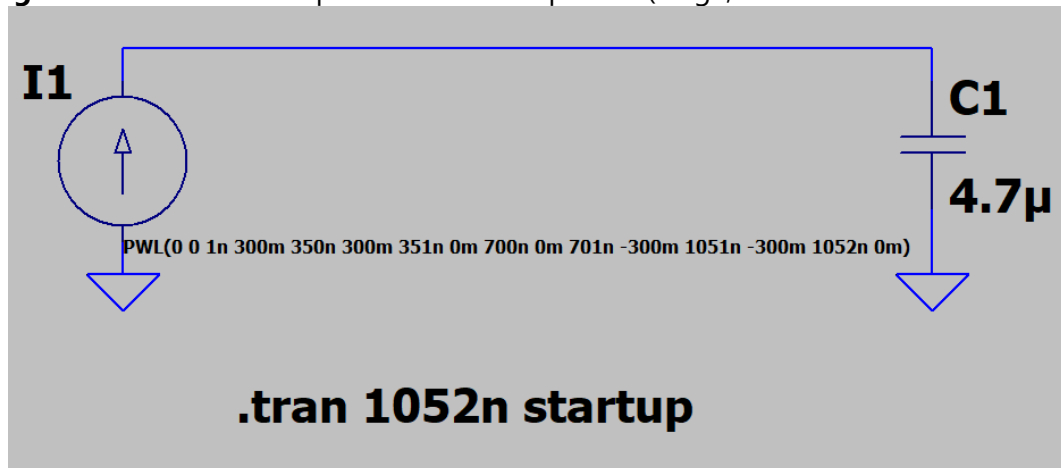
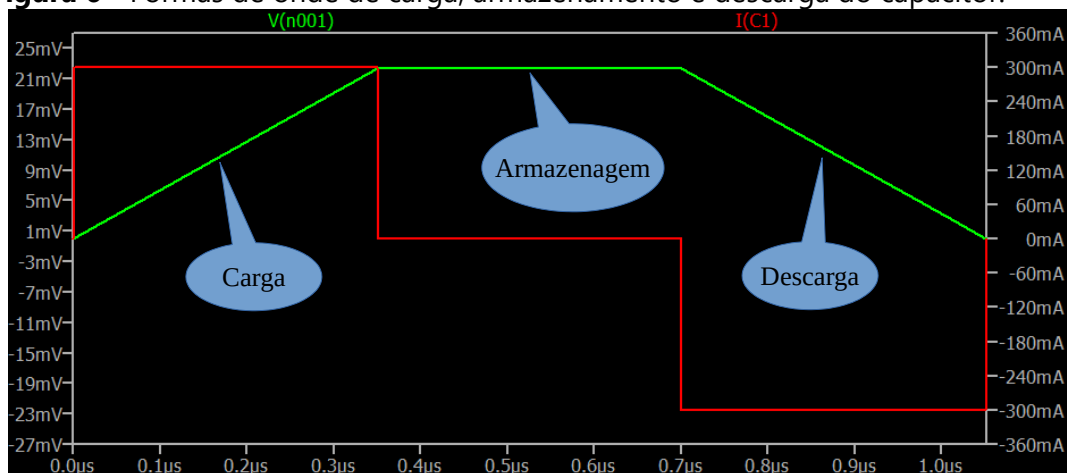


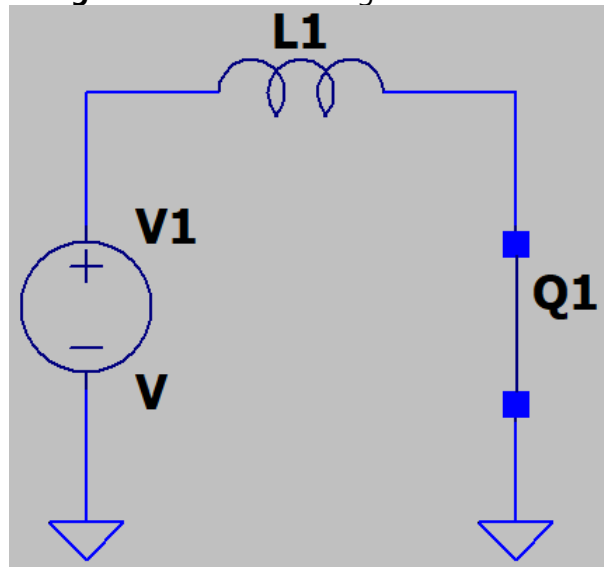
Figura 6 - Formas de onda de carga, armazenamento e descarga do capacitor.



Processo de carga do indutor no Conversor Boost

Conforme a figura 7, se estamos aplicando uma tensão constante sobre o indutor, então, uma corrente linear crescente fluirá através do indutor, e armazenaremos energia nesse dispositivo. A equação que foi dada explica esse comportamento porque se derivarmos uma corrente linear crescente, teremos uma constante.

Figura 7 – Malha de carga do indutor



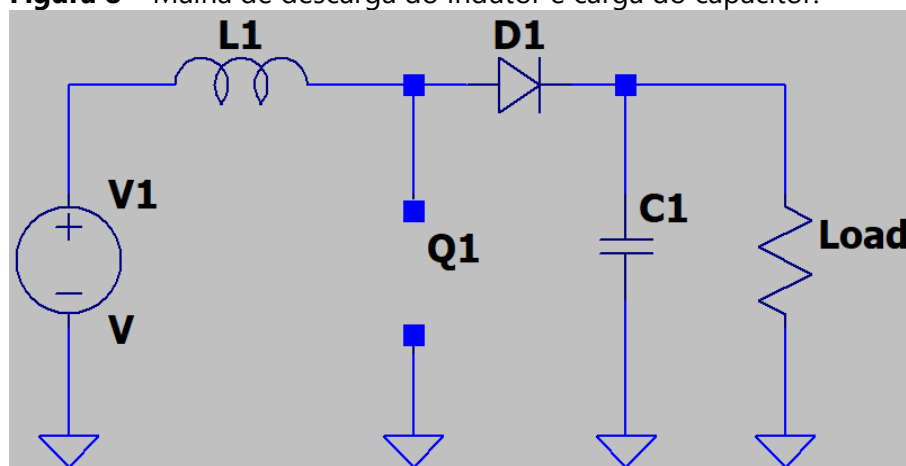
Processo de descarga do indutor e carga do capacitor no Conversor Boost

Conforme a figura 8, após termos armazenado energia no indutor, então, abriremos o comutador. Nessa malha a fonte e o indutor são geradores, por isso, que a tensão de saída se eleva (Step-Up), e o capacitor e a resistência de saída (Load) são cargas.

Processo de descarga do indutor e descarga do capacitor no Conversor Boost

O diodo (**D1**) bloqueia fluxo reverso permitindo somente o fluxo da carga do capacitor e alimentação da carga, e também quando o indutor estiver descarregando e o potencial no anodo for menor do que no catodo, portanto, nesse momento ocorre a descarga do capacitor, atuando como gerador sobre a carga mantendo a estabilidade do conversor Boost.

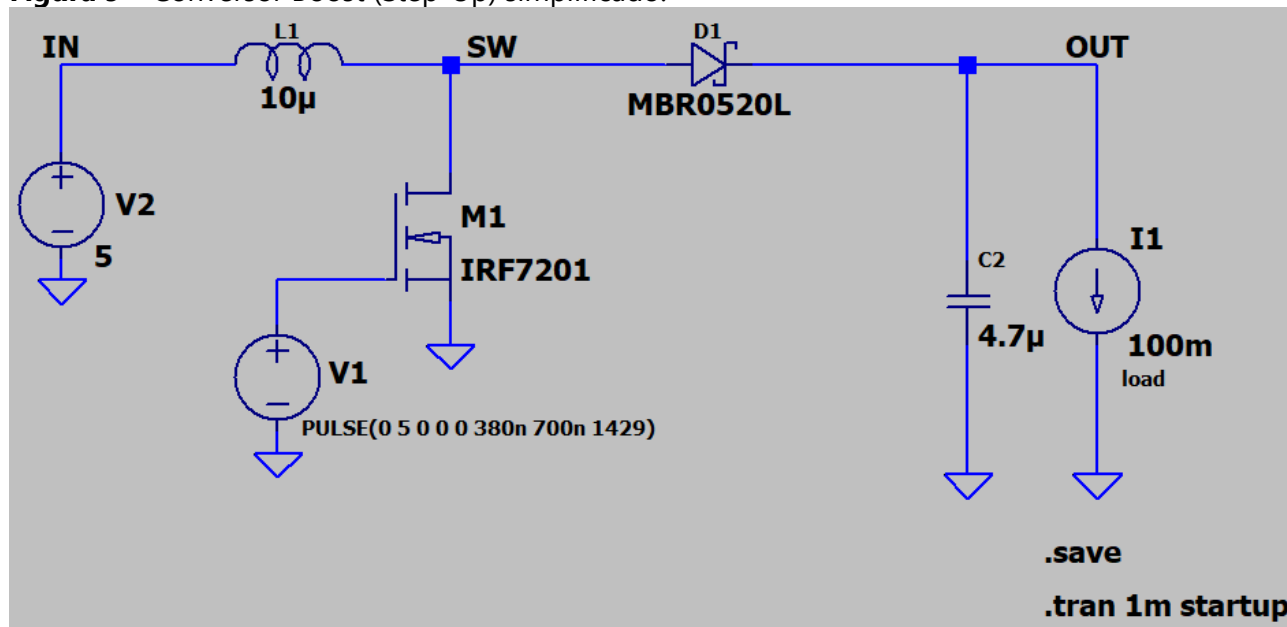
Figura 8 – Malha de descarga do indutor e carga do capacitor.



Conversor Boost (Step-Up) – Malha Aberta

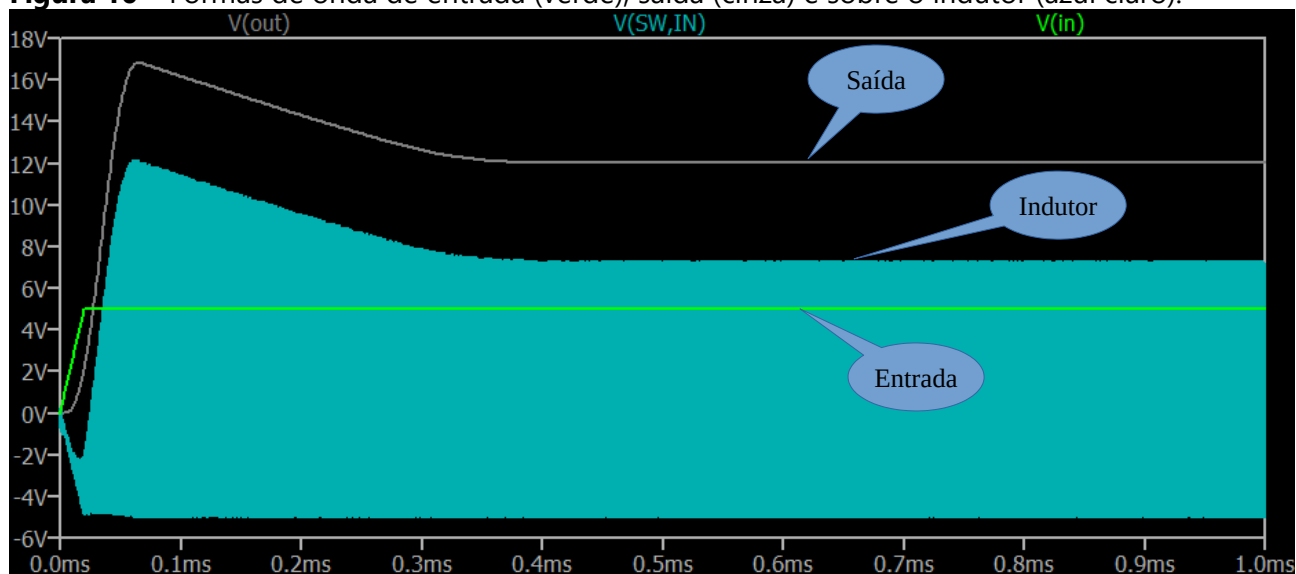
Agora vamos simular um circuito com base no artigo anterior, porém, sem utilizar o LT1618, portanto, perderemos toda a parte de regulação de corrente e tensão das malhas fechadas, mas, vamos focar nos comportamentos que vimos nesse artigo.

Figura 9 – Conversor Boost (Step-Up) simplificado.



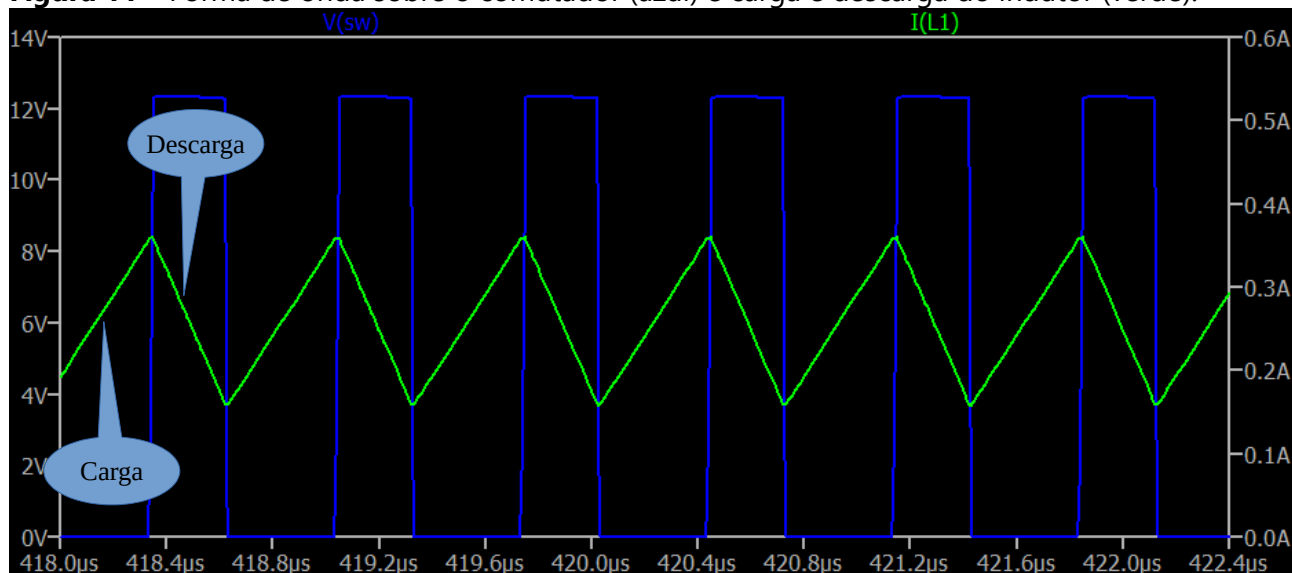
Estamos alimentando com 5 (V) e temos aproximadamente 12 (V) na saída. A frequência de (V1) é 1,45 (MHz), com duty cycle de 54,2% (380ns/700ns). Observe que a tensão de saída tem o mesmo perfil da tensão sobre o indutor, apenas deslocada de 5 (V), que é a tensão de entrada, portanto, a topologia Boost (Step-Up) a tensão de saída é uma série da fonte de entrada com a tensão sobre o indutor (como gerador), por isso, elevamos a tensão.

Figura 10 – Formas de onda de entrada (verde), saída (cinza) e sobre o indutor (azul claro).



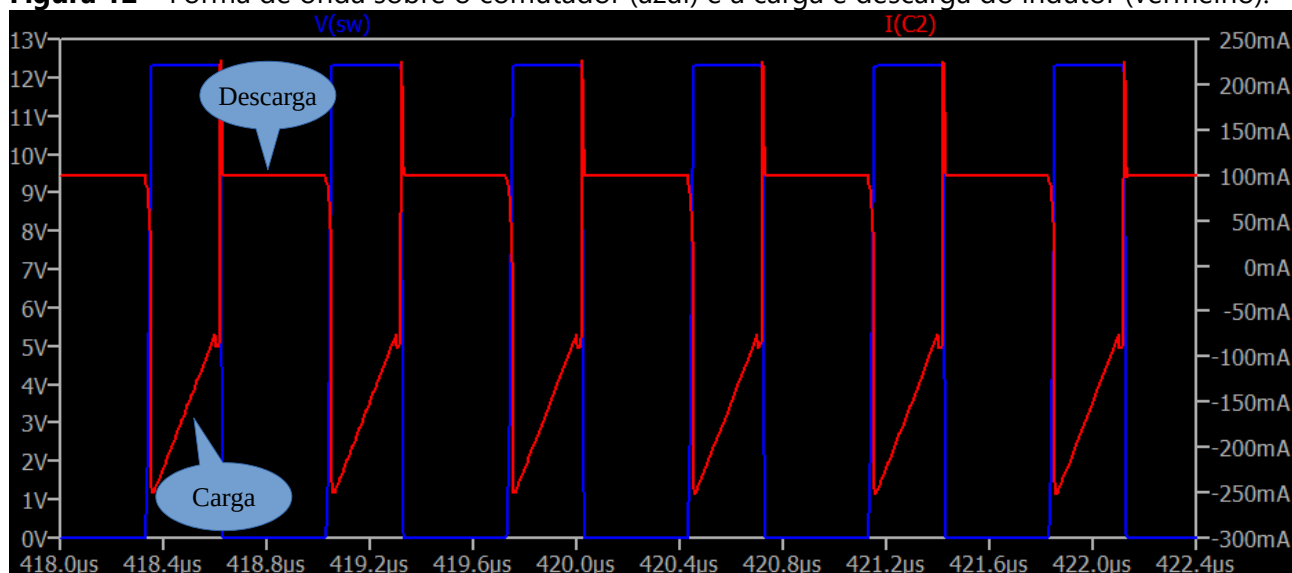
Agora vamos dar um zoom no gráfico e analisar o chaveamento (azul) e a carga e descarga do indutor (verde). Quando o comutador está fechado, o processo de carga acontece, que é a parte crescente da curva (verde). Quando o comutador está aberto, o processo de descarga acontece, que é a parte decrescente da curva (verde).

Figura 11 – Forma de onda sobre o comutador (azul) e carga e descarga do indutor (verde).



Para finalizar vamos dar um zoom no gráfico e analisar o chaveamento (azul) e a carga e descarga do capacitor (vermelho). Quando o comutador está fechado, o processo de descarga acontece, que é a parte constante da curva em 100 (mA). Quando o comutador está aberto, o processo de carga acontece, que é a parte decrescente da curva (vermelho).

Figura 12 – Forma de onda sobre o comutador (azul) e a carga e descarga do indutor (vermelho).



Como tudo na vida é "no pain no gain" para aprender eletrônica não basta somente ler artigos e acabou. Tem que praticar, transpirar, analisar e solidificar o conhecimento. Bem, é uma dica de quem já sentiu e sente muita dor, pode acreditar.