

Basic Buck-Boost Converter — Step-Up/Step-Down DC–DC Conversion

This paper is part of the Power Electronics Learning Portfolio, a self-study documentation series.

Mini Research Paper by Altanbaatar Enkhsuld

November 2025

概要

本稿では、Buck-Boost コンバータの動作を検討した。本回路は、入力電圧より高い電圧も低い電圧も生成でき、かつ出力極性が入力側に対して反転する特徴を持つ。

PSIM シミュレーションでは、入力 25 V を与え、デューティ比を 0.3～0.7 の範囲で変化させた。

デューティ $D = 0.3$ の場合、出力は約 -11 V となり、降圧的な挙動を示した。

$D = 0.7$ の場合は約 -58 V に達し、昇圧動作を示した。

本研究の目的は、両動作領域における立ち上がり波形、オーバーシュート、さらにはインダクタンスおよびキャパシタンスの影響を比較することである。

はじめに

Buck-Boost コンバータは、Buck（降圧）と Boost（昇圧）を兼ね備えた構成であり、入力電圧より高いまたは低い出力電圧を得ることができる。ただし、出力極性は入力グラウンドに対して反転する。

この特性により、単一電源から柔軟な電圧調整が必要となるポータブル機器や車載用途などに適している。

本研究では、PSIM 上で Open-loop PWM 駆動によりコンバータを実装した。入力電圧は 25 V に固定し、デューティ比を 0.3～0.7 に変化させた。電圧・電流波形を解析し、同一 LC 条件が Buck 領域と Boost 領域でどのように異なる挙動を示すかを観察した。

動作原理

MOSFET がオンのとき、インダクタに電流が流れ、磁気エネルギーとして蓄積される。

$$V_L = V_{in}$$

MOSFET がオフになると、インダクタの極性が反転し、蓄積したエネルギーがダイオードを介して出力コンデンサおよび負荷に供給される。

$$V_L = V_{in} + V_{out}$$

定常状態の電圧関係は次式で表される。

$$V_{out} = -\frac{D}{1-D}V_{in}$$

ここで D はデューティ比である。負符号は、出力極性が入力グラウンドに対して反転していることを示す。

回路パラメータ

パラメータ	記号	値	説明
入力電圧	V_{in}	25 V	DC 電源
負荷抵抗	R	5 Ω	負荷
インダクタンス	L	5 mH	電流変化を規定
キャパシタンス	C	200 μF	出力リップルを低減
スイッチング周波数	f_s	20 kHz	リップルと応答性に影響
デューティ比	D	0.3 / 0.7	降圧・昇圧の試験点

同一条件のもとで Buck と Boost の両動作を直接比較できるように設定した。

シミュレーション結果

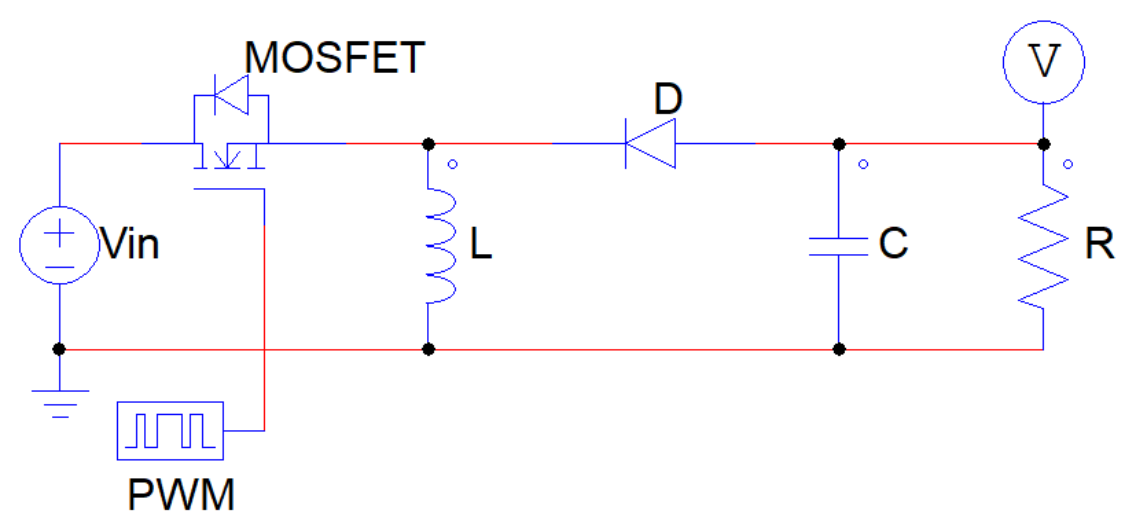


図 1

(a) 降圧動作 ($D = 0.3$)

デューティ 0.3 のとき、出力は約 -11 V に安定し、理論値と一致した。

立ち上がりは速かったが、開始直後にわずかなオーバーシュートが見られた。インダクタ電流の平均値は約 3 A

であった（図 2）。

オーバーシュートは、インダクタに蓄積されたエネルギーが目標電圧到達後もコンデンサに流れ込んだことにより生じたものである。

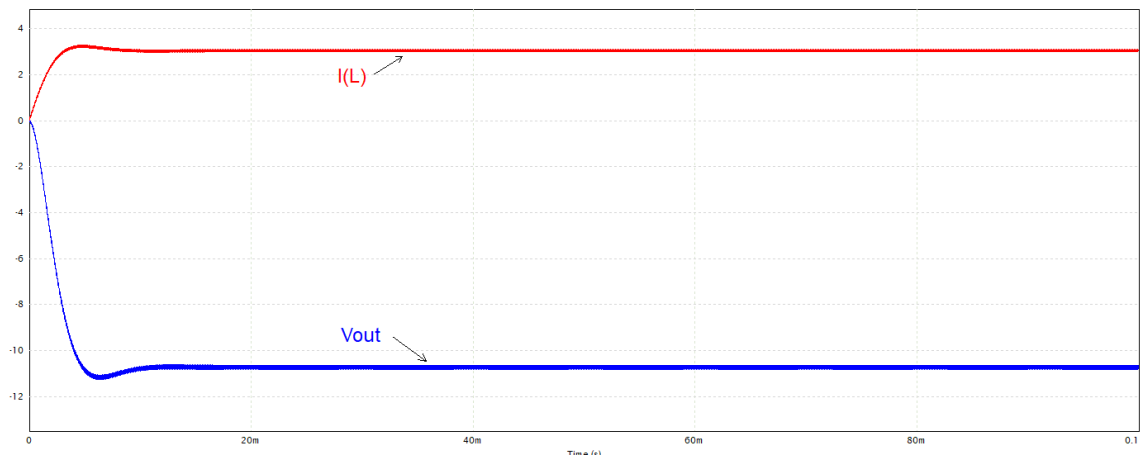


図 2 降压動作

(b) 昇圧動作 ($D = 0.7$)

デューティ の場合、出力は約 -58 V に達した。

立ち上がりは滑らかで、ほとんどオーバーシュートが見られなかった。リップルも非常に小さかった（図 3）。インダクタ平均電流は約 38 A となり、高デューティ比では電力バランスを保つために電流が大幅に増加することが確認できた。

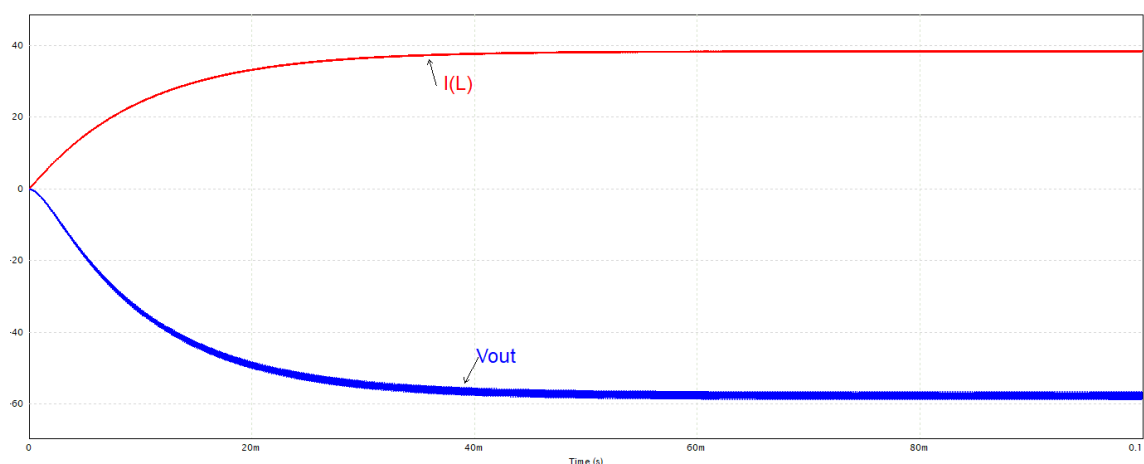


図 3

考察

同一の $L \cdot C \cdot R$ を用いたことで、2 つの動作領域に明確な応答差が現れた。

降圧領域では入力からコンデンサへ直接エネルギーが供給されるため立ち上がりが速く、オーバーシュートが発生しやすい。

一方、昇圧領域ではインダクタ → ダイオード → コンデンサという経路となり、自然なダンピングが働き、立ち上がりは滑らかで安定した。

この結果、LC だけでは降圧・昇圧の両動作に対して最適な過渡応答を同時に得ることは難しいことがわかった。

安定した立ち上がりを実現するためには、ソフトスタートを含む閉ループ電圧制御が必要となる。

結論

PSIM シミュレーションにより、Buck-Boost コンバータの昇圧・降圧両方の動作特性が確認された。

$D = 0.3$ では -11 V 付近で小さなオーバーシュートを伴う応答、

$D = 0.7$ では -58 V で滑らかかつ単調な立ち上がりが得られた。

本研究の結果、単純なパッシブ素子の選定のみでは両動作において同等の安定性を確保することは困難であることが明らかとなった。

今後の課題として、ソフトスタート機能を持つ閉ループ制御を導入し、降圧動作のオーバーシュートを抑えつつ昇圧動作の応答性を損なわない手法を検討する予定である。