

Basic Buck Converter — 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

要旨

本研究では、降圧型コンバータ（Buck Converter）の基本動作および回路定数が電圧制御や過渡応答に与える影響を検討した。

PSIM シミュレーションを用いて、異なるデューティ比条件下での出力動作を解析し、デューティ比と出力電圧の関係を確認した。その結果、インダクタンスやキャパシタンス、起動条件がオーバーシュートやリップルに与える影響を明らかにし、安定した DC-DC コンバータ設計のための基礎的な指針を示した。

はじめに

本実験では、DC-DC 降圧コンバータの基本的な電圧降下動作を確認し、回路設計がコンバータの動作全体に与える影響を調べた。

主に以下の 2 点に焦点を当てた。

1. 閉ループ PWM 制御下でデューティ比 ($D = 0.3, 0.5, 0.7$) を変化させた際の出力電圧およびインダクタ電流の応答。
2. インダクタンス (L) およびキャパシタンス (C) が、起動時の電圧制御、リップル、および過渡応答に与える影響。

入力電圧を 50V とし、抵抗負荷を接続したモデルを PSIM で構築し、波形の違いを観察した。

これらの比較を通じて、設計パラメータとコンバータ性能の関係を明確にし、今後の閉ループ制御およびハードウェア設計の基礎知識を得ることを目的とした。

基本原理

動作モード

スイッチ ON 時:

入力電圧がインダクタに印加され、磁界にエネルギーが蓄えられる。

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

スイッチ OFF 時:

インダクタに蓄えられたエネルギーがダイオードを介して負荷に供給され、電流は連続的に流れ続ける。

$$V_L = -V_{out}$$

平均出力電圧:

$$V_{out} = D * V_{in}$$

ここで、 D はデューティ比を表す。

例: $V_{in} = 50V$ 、 $D = 0.5$ の場合、 $V_{out} \approx 25V$.

回路パラメータ

パラメータ	記号	値	説明
入力電圧	(V_{in})	50 V	電源電圧
負荷抵抗	(R)	5 Ω	負荷を模擬
インダクタ	(L)	1 mH	電流リップルを抑制
コンデンサ	(C)	100 μF	電圧リップルを平滑化
スイッチング周波数	(f_s)	5 kHz	リップルと損失を決定
デューティ比	(D)	0.3 / 0.5 / 0.7	目標出力比

これらのパラメータは、出力電圧リップルを 10% 未満に抑えつつ、安定した動作と波形の確認を目的として選定した。

シミュレーション結果

PSIM によるシミュレーション回路を図1 に示し、出力電圧およびインダクタ電流の波形を図2、図3 に示す。

- 平均出力電圧は約 25V で安定した。
- デューティ比を 0.3、0.5、0.7 に変化させると、出力電圧は D に比例して増加した。
- $L=1mH$ 、 $C=100\mu F$ の場合、起動時にオーバーシュートが発生した。
- L を 5mH に増加し、 C を 30~50μF に減少させると、電圧はオーバーシュートなしで滑らかに立ち上がった。
- これらの結果から、デューティ比と回路定数が波形挙動に明確な差を与えることが確認された。

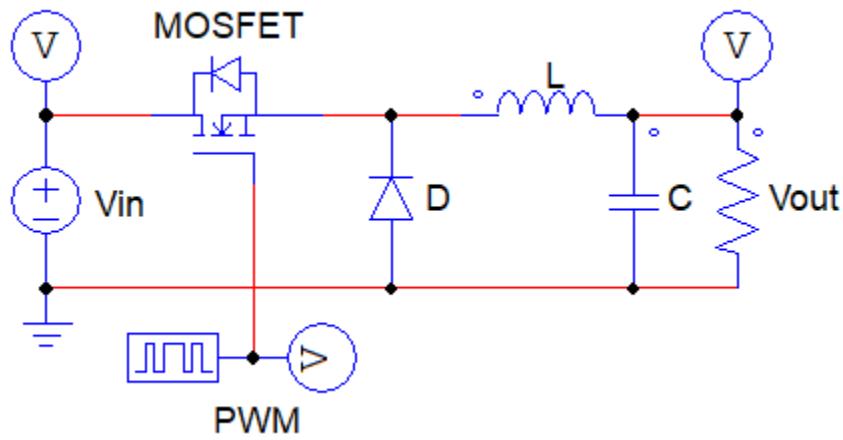


図 1

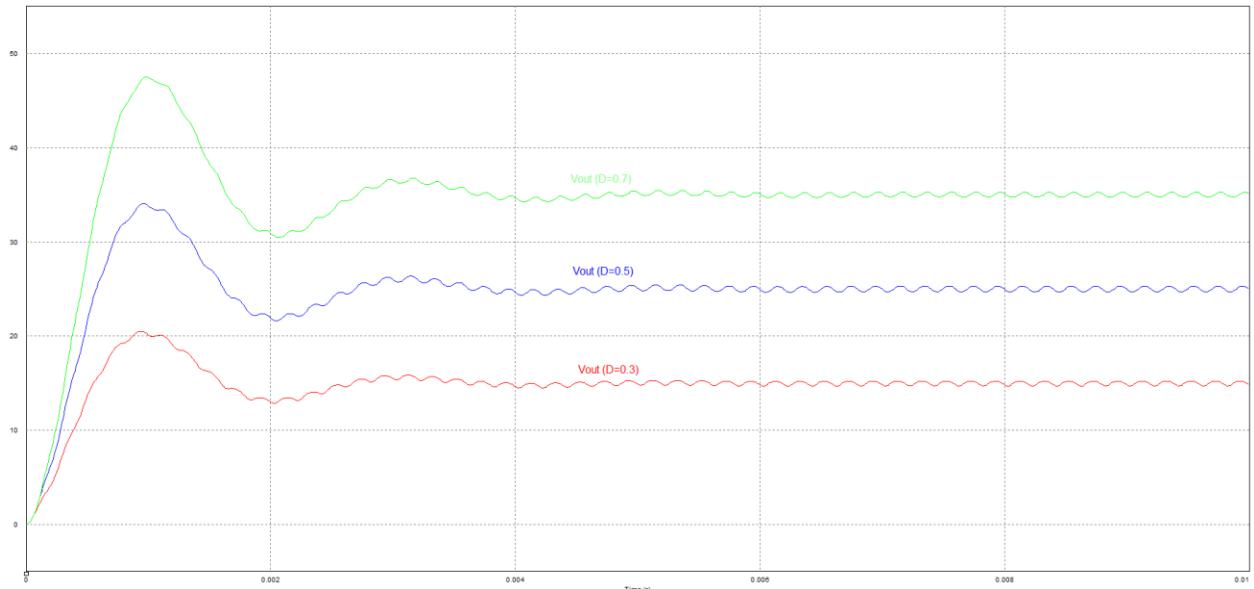


図 2. デューティ比 $D = 0.3, 0.5, 0.7$ における出力電圧波形の比較

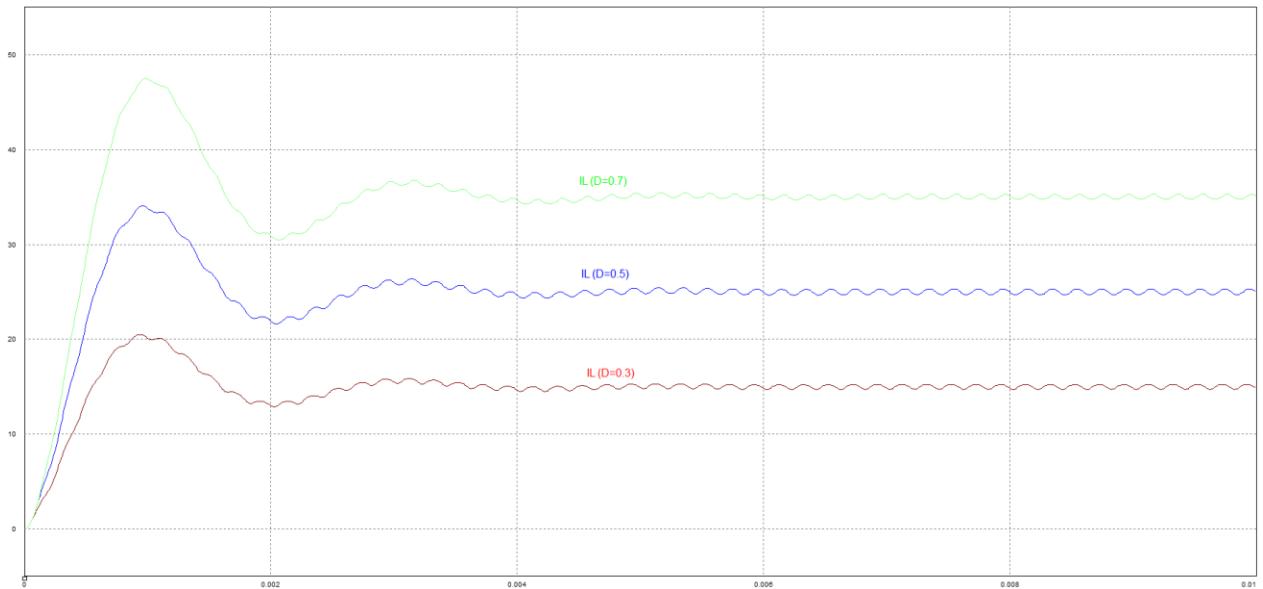


図3. デューティ比 $D = 0.3, 0.5, 0.7$ におけるインダクタ電流波形の比較

結果の考察

デューティ比が 0.3 から 0.7 に増加するにつれて出力電圧が比例的に上昇することが確認された。

3つの波形を 1 つのウインドウで比較し、 $D=0.3$ では低く安定した出力電圧、 $D=0.5$ および $D=0.7$ では高い電圧とやや大きいリップルが観察された。

起動時には、 $L=1\text{mH}$ ・ $C=100\mu\text{F}$ の条件で明確なオーバーシュートが発生したが、 L を 5mH 、 C を $50\mu\text{F}$ に変更するとオーバーシュートが消失し、電圧が滑らかに上昇した。

これらの結果から、デューティ比および部品定数の変化が波形形状と過渡特性に直接影響を与えることが明確となった。

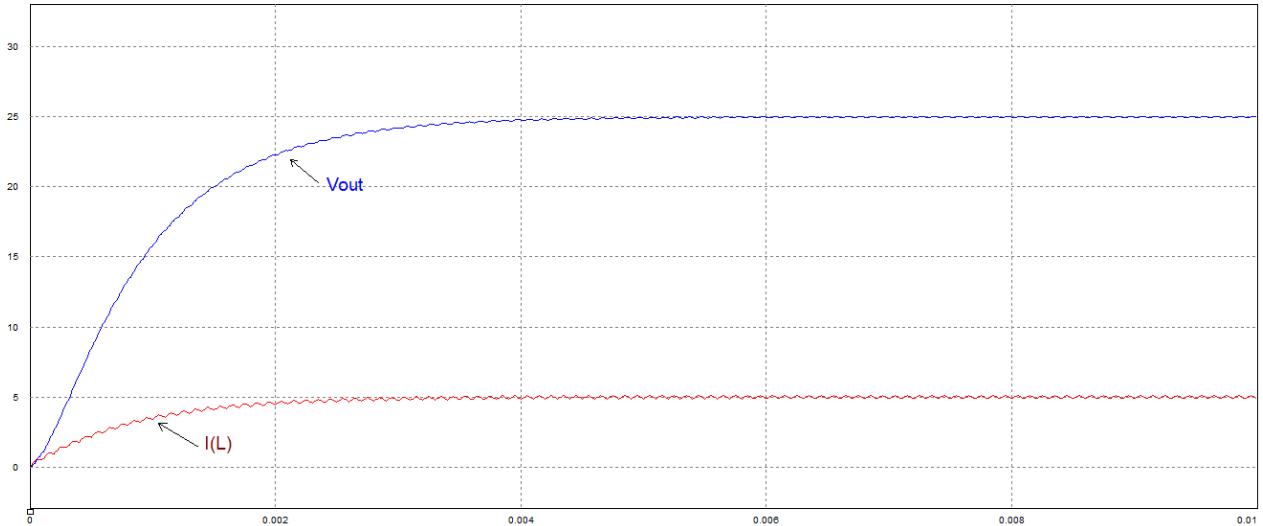


図4

結論

PSIM シミュレーションにより、降圧型コンバータの基本動作を確認した。出力電圧はデューティ比に応じて変化し、 $D=0.3, 0.5, 0.7$ の違いが明確に示された。

起動試験では、インダクタンスとキャパシタンスの値を変更することで電圧上昇パターンが変化することを確認した。

小さいインダクタンスと大きいキャパシタンスではオーバーシュートが発生し、大きいインダクタンスと小さいキャパシタンスでは滑らかな立ち上がりを示した。

以上の結果より、異なる動作条件下でのコンバータ出力応答が明確に理解された。