

Basic Boost Converter — Step-Up 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

本論文では、電圧を効率的に昇圧する DC-DC コンバータの一種である昇圧コンバータの基本動作について調査した。PSIM シミュレーションを用い、25 V の入力を開ループ PWM 制御のもとで昇圧し、電圧利得と過渡特性を評価した。さらに、デューティ比 0.3、0.5、0.7 でシミュレーションを行い、デューティ比が出力電圧、波形応答、安定性に与える影響を解析した。結果として、インダクタンス、キャパシタンス、およびスイッチング周波数がコンバータの動的応答、リップル、全体性能を決定する主要因であることを確認した。

はじめに

昇圧コンバータ (Boost Converter) は、低い DC 電圧を高い電圧に変換する基本的なトポロジの一つである。スイッチのオン期間にインダクタにエネルギーを蓄積し、オフ期間にそのエネルギーをダイオードを介して出力側に供給することで動作する。本研究では、PSIM 上で昇圧コンバータをシミュレーションし、デューティ比、インダクタンス、キャパシタンスが出力電圧、立ち上がり特性、および波形の滑らかさにどのように影響するかを解析した。

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。

$$V_L = V_{in}$$

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。

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

平均出力電圧:

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

ここで、 D はデューティ比を表す。

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

回路パラメータ

パラメータ	記号	値	説明
入力電圧	(Vin)	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)	20 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、波形の観察が容易で、適度なリップルと安定動作を両立できるように設定した。

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。

PSIM によるシミュレーション回路を図 1 に示し、各デューティ比における出力電圧およびインダクタ電流波形を図 2 と図 3 に示す。

$D = 0.3$ のとき、出力電圧は約 36 V で安定。

$D = 0.5$ のとき、出力電圧は約 50 V に到達。

$D = 0.7$ のとき、出力電圧は約 82 V まで上昇。

インダクタ電流はデューティ比の増加に伴って上昇し、高デューティ時にピーク値が大きくなった。電圧リップルは中程度であり、高いデューティ比では立ち上がり時間がやや長くなった。

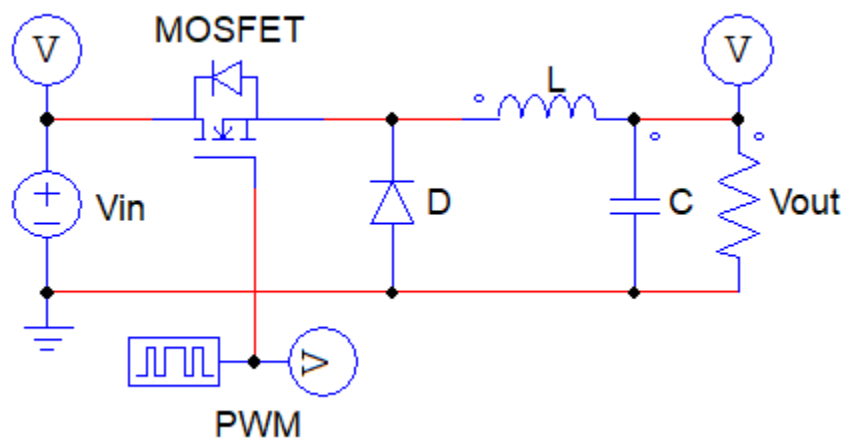


図 1

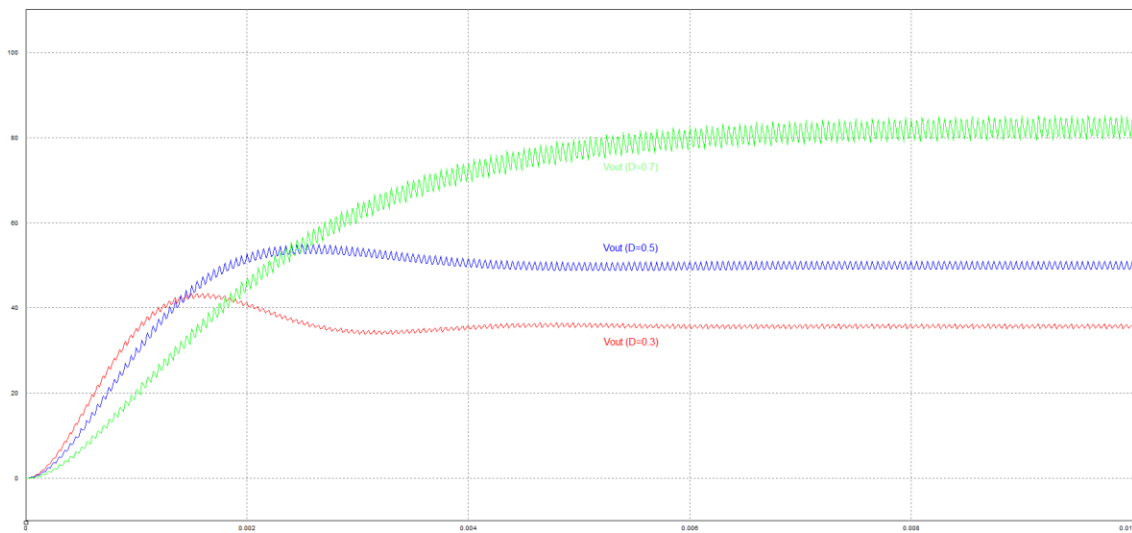


図 2. デューティ比 $D = 0.3$ 、 0.5 、 0.7 における出力電圧波形の比較

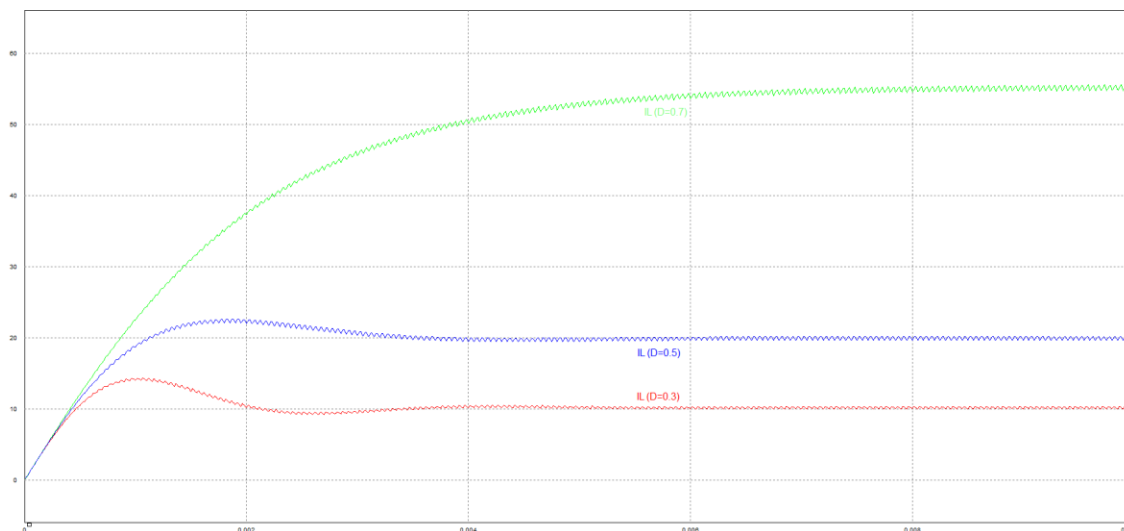


図 3. デューティ比 $D = 0.3$ 、 0.5 、 0.7 におけるインダクタ電流波形の比較

結果の考察

結果から、デューティ比と出力電圧の関係が明確に確認された。

デューティ比が高くなるほど、オン期間中にインダクタが蓄えるエネルギー量が増え、オフ期間に放出されるエネルギーも大きくなり、結果的に出力電圧が上昇した。

一方で、デューティ比が 0.6 を超えると、充電時間の延長とエネルギー伝達量の増加により、過渡的なオーバーシュートおよびインダクタ電流のストレスが顕著になった。

さらに、インダクタンスおよびキャパシタンスを変更して確認したところ、

- 大きなインダクタ ($L = 5 \text{ mH}$) は電流リップルとオーバーシュートを低減するが、応答が遅くなる。
- 大きなコンデンサ ($C = 200 \text{ }\mu\text{F}$) は電圧リップルを抑制するが、整定にわずかな遅れを生じる。
- スイッチング周波数を上げると減衰性が改善され、起動応答が滑らかになることが分かった。

これらの波形解析により、デューティ比 0.3 、 0.5 、 0.7 におけるエネルギー伝達特性と PWM 比への依存性が明確に示された。

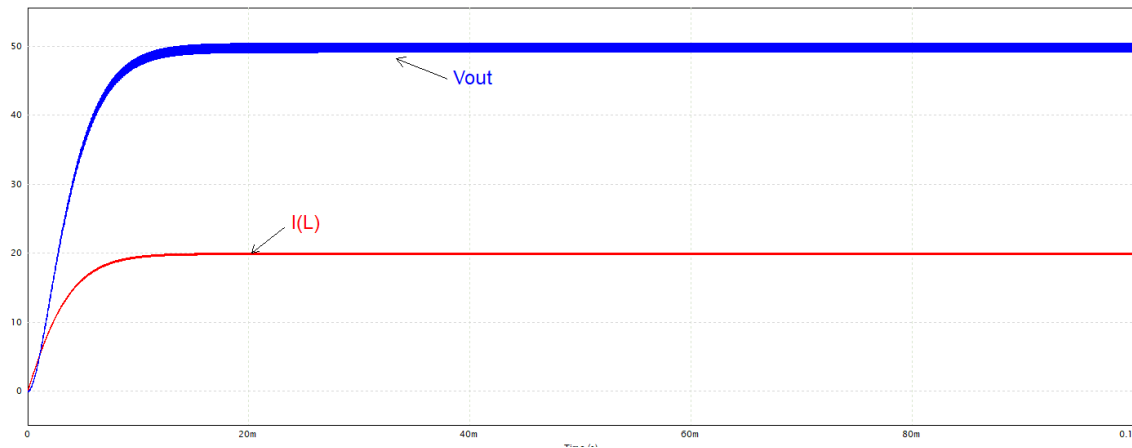


図 4

結論

本研究では、昇圧コンバータの基本的な昇圧動作を確認し、デューティ比が出力電圧および過渡特性に与える影響を実証した。

入力 25 V 時において、デューティ比 0.3、0.5、0.7 でそれぞれ約 36 V、50 V、82 V の出力が得られた。

高デューティ比では電圧利得が増す一方で、インダクタ電流のストレスとオーバーシュートも増加することが分かった。

インダクタ、コンデンサ、スイッチング周波数の最適化により、起動特性および出力電圧の安定性を大幅に改善できる。

今後は、閉ループ制御およびソフトスタート制御を導入することで、さまざまな負荷条件や入力変動下でも安定した立ち上がりを実現する予定である。