

3. 絶縁型DC-DCコンバータ電源技術

3-1 絶縁型スイッチング電源の種類と概要

3-2 フライバック・コンバータ電源

3-3 フォワード・コンバータ電源

3-4 その他のコンバータ電源

- ・ハーフブリッジ型電源
- ・フルブリッジ型電源
- ・ダブルフォワード型電源
- ・プッシュプル型電源

3. 絶縁型DC-DCコンバータ電源技術

3-1 絶縁型スイッチング電源の種類と概要

(1) 回路方式による分類

(A) 基本的な方式: AC-DCコンバータにも適用可

電源方式	電力規模
(1) フライバック・コンバータ	小電力: ~70W
(2) フォワード・コンバータ	中電力: 50W~200W
(3) ブリッジ・コンバータ	大電力: 100W~数百W
(4) プッシュ・プル・コンバータ	大電力: ~数kW

(B) 基本構成と特徴

- **メリット:**
 - 1) 電圧変換率の改善: デューティの改善
 - ・トランス巻数比で、2次電圧を低減・・・デューティの拡大
 - 2) メインスイッチの電流容量を低減可
 - ・トランス巻数比で、1次パルス電流を低減
- **デメリット:**
 - 1) メインスイッチにサージ電圧: 高耐圧素子必要
 - 2) 電圧制御が複雑・・・フォトカプラ、3次巻線の利用

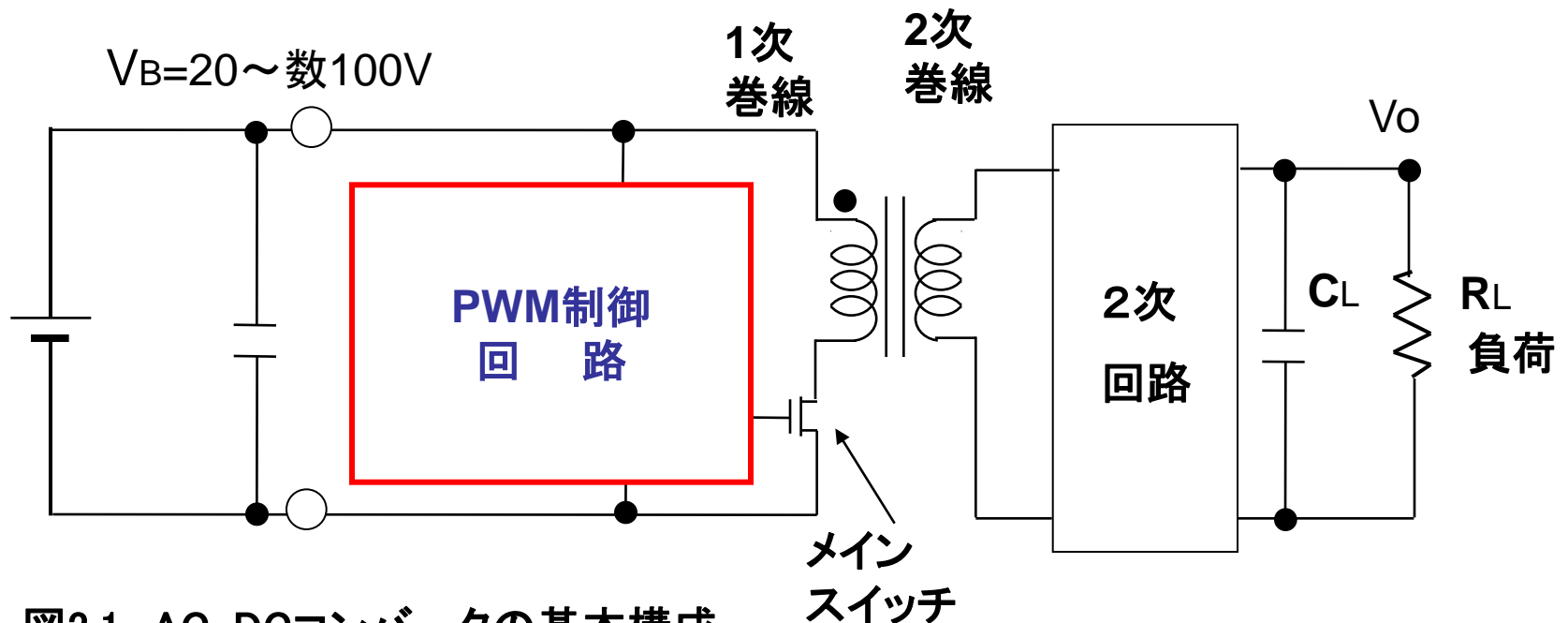
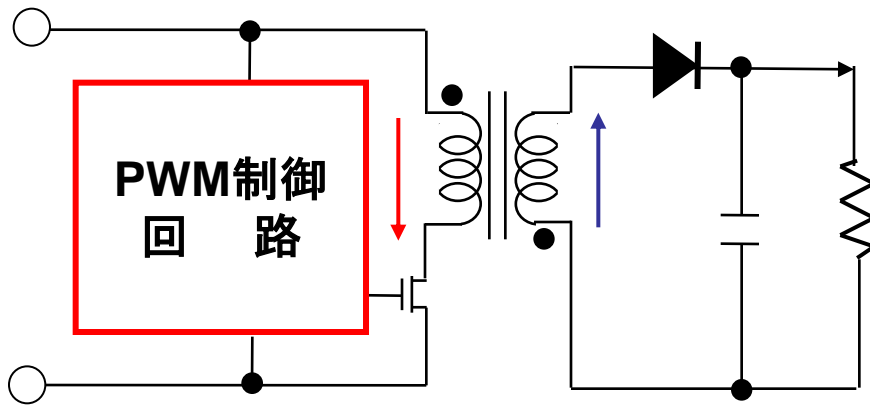
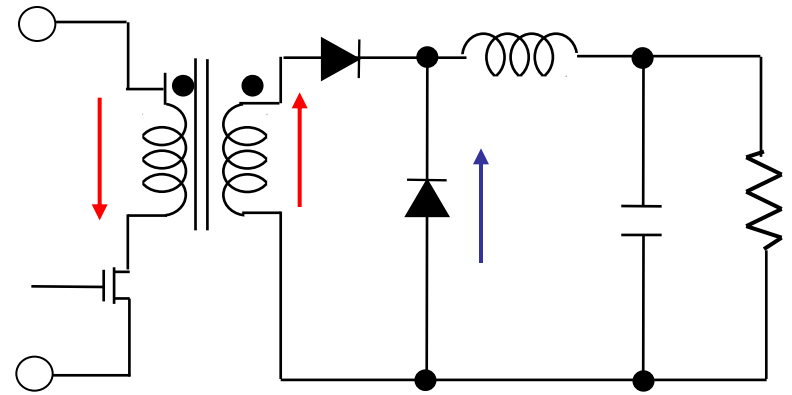


図3.1 AC-DCコンバータの基本構成

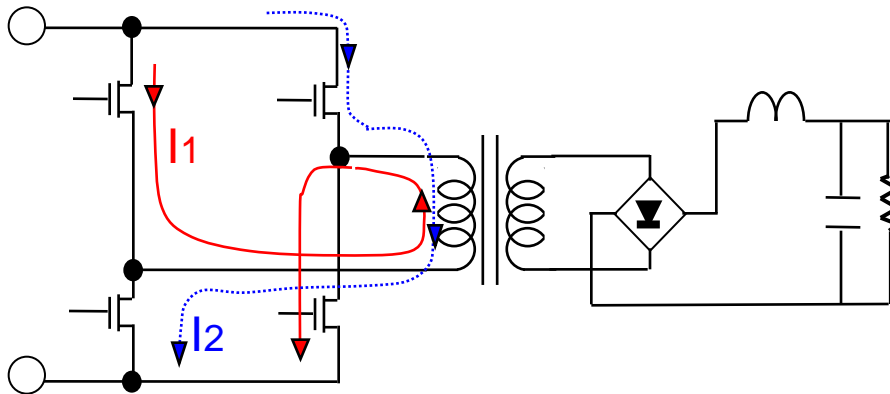
(2) 各種電源方式



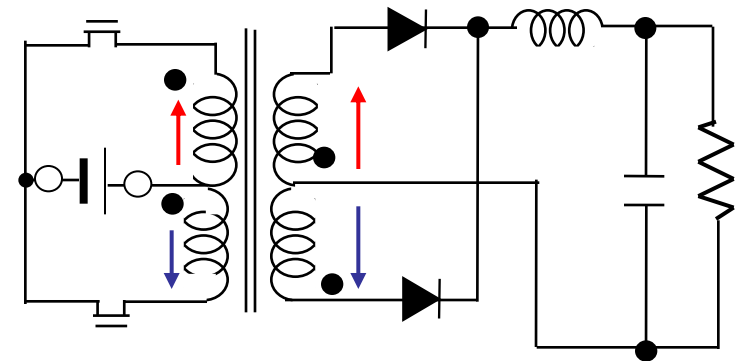
(a) フライバック方式



(b) フォワード方式



(c) フルブリッジ方式



(d) プッシュプル方式

図3.2 各種AC-DCコンバータの構成

3-2 フライバック・コンバータ電源

(1) 基本回路と動作

(A) 基本回路構成

* 構成上の特徴

- ・トランスの極性が反対
- ・2次側に整流ダイオード

* トランスの動作

1) SW ON 時 (図A)

1次側に励磁電流

2次側は逆電圧でOFF

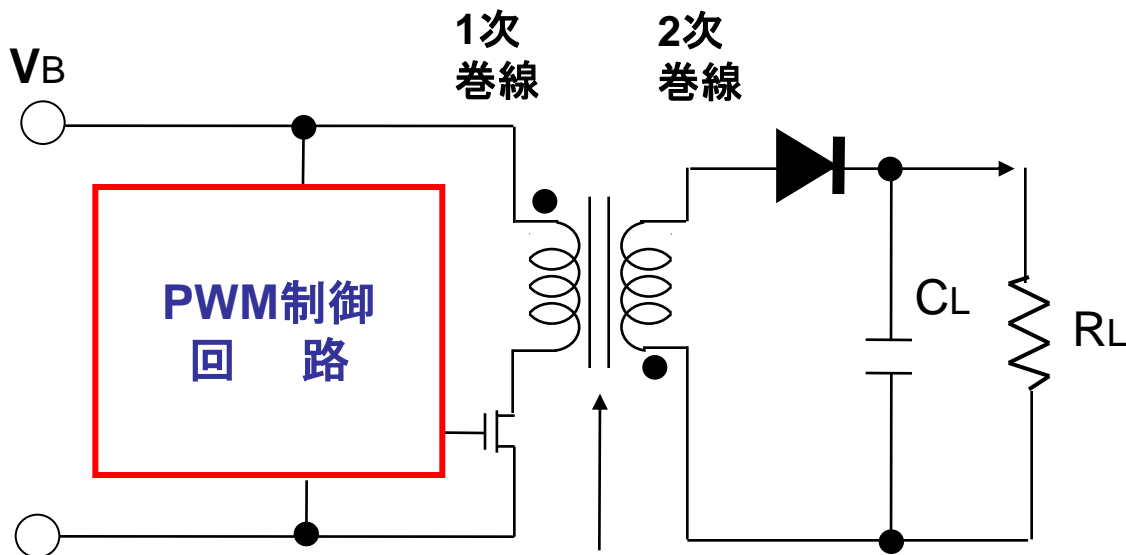
- ・エネルギーの蓄積

2) SW OFF 時 (図B)

2次側に反転電圧

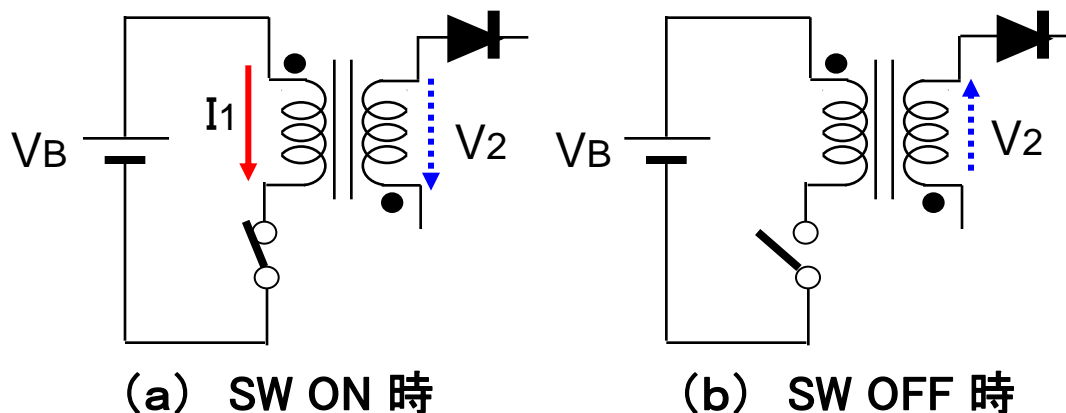
Di 導通で電流供給

- ・エネルギーの放出



フライバック・トランス (Flyback Transformer)

図3.3 フライバック・コンバータの構成



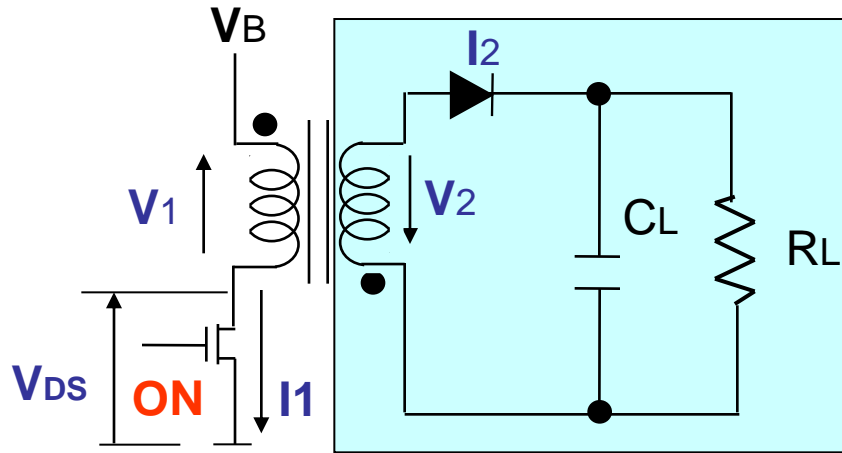
(a) SW ON 時

(b) SW OFF 時

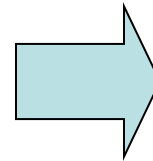
図3.4 フライバック・コンバータの基本動作

(B) 1次／2次側 電圧・電流波形

● メインSW ONの時



等価
回路



トランス:L と等価

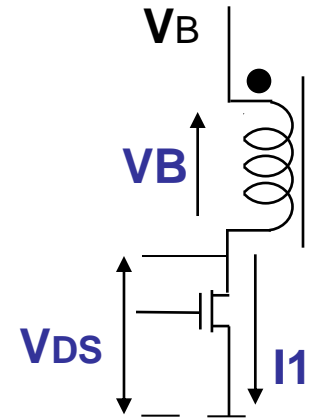


図3.5 フライバック・コンバータの動作 (SW-ON)

* メインSWがONの時、

2次側巻線には負電圧発生

∴ $I_2=0$ → 2次側回路が無いと等価

この間、トランス内に電磁エネルギーを蓄積

磁路内に微少なギャップを設ける

⇒ トランス構造が大きくなる

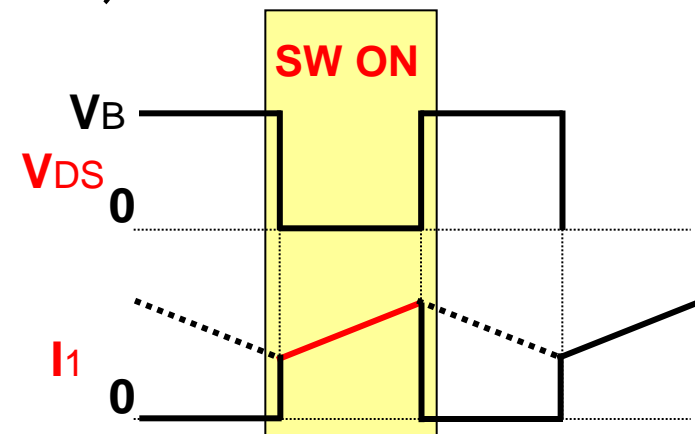


図3.6 電圧電流波形

● メインSW OFFの時

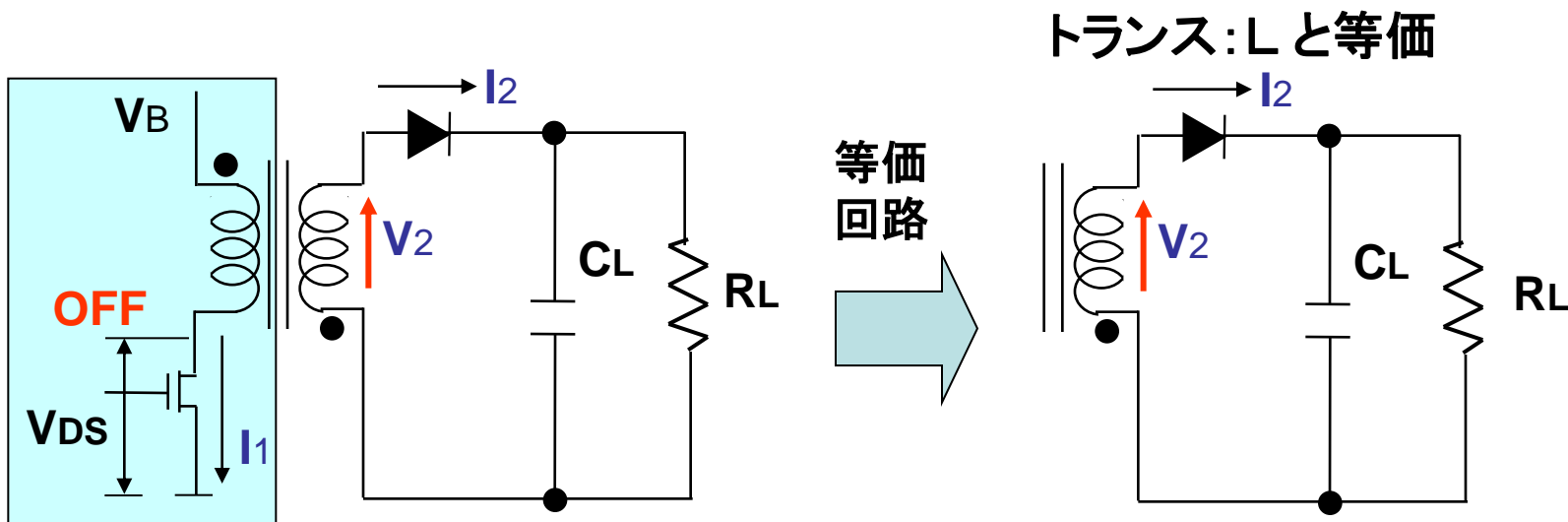


図3.7 フライバック・コンバータの動作 (SW-OFF)

- * メインSWがOFFの時、
1次側巻線が無いと等価
- * 2次側には、ダイオードDを通り、
 I_2 が流れる

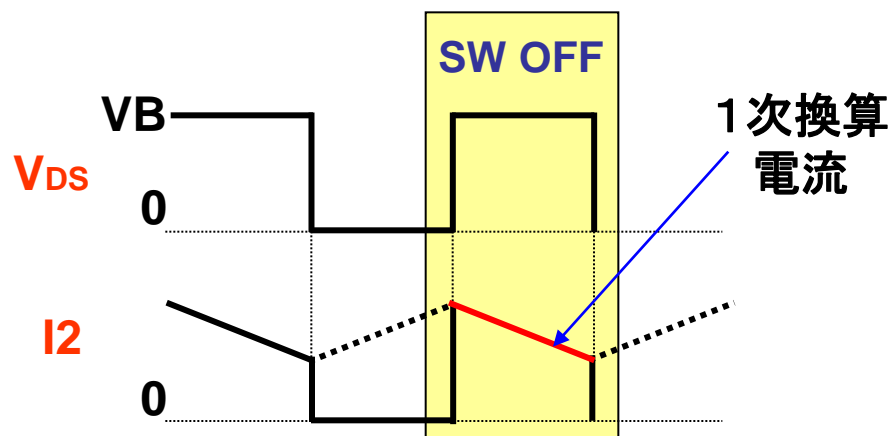


図3.8 電圧電流波形

(C) 等価回路

フライバック・トランスは L として機能

昇圧形電源と等価

$$V_i = \frac{n_2}{n_1} V_B$$

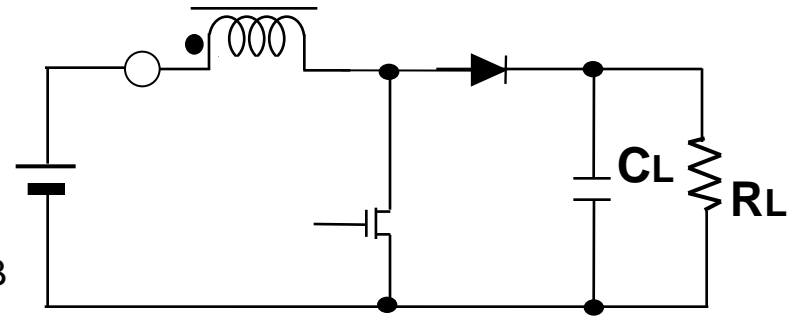


図3.9 フライバック・コンバータの等価回路

■ フライバックコンバータと昇圧形コンバータの相違点

- * 昇圧形コンバータは、メインSW ON/OFF共 Lの値は同じ
よって コイル電流は連続
- * フライバック・コンバータはトランスなので、
 - ・メインSW がON時には1次側インダクタンスで、
OFF時には2次側インダクタンスで動作
 - ・トランス内部磁束が連続: $N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2$

(2) 3次巻線の働き動作

(A) 3次巻線の動作

- * 制御回路には、起動回路が必要・・・ V_B よりRを介して供給
ただし、 V_B は通常高電圧なので常時供給では、損失が大きい
- * 3次巻線は、制御回路への電圧供給

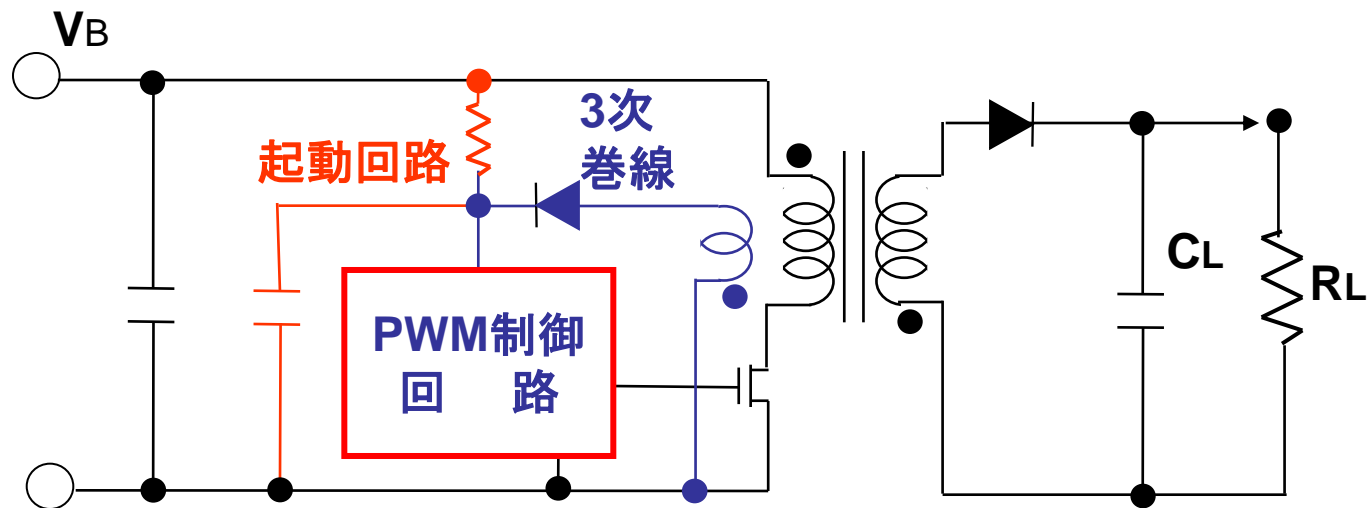
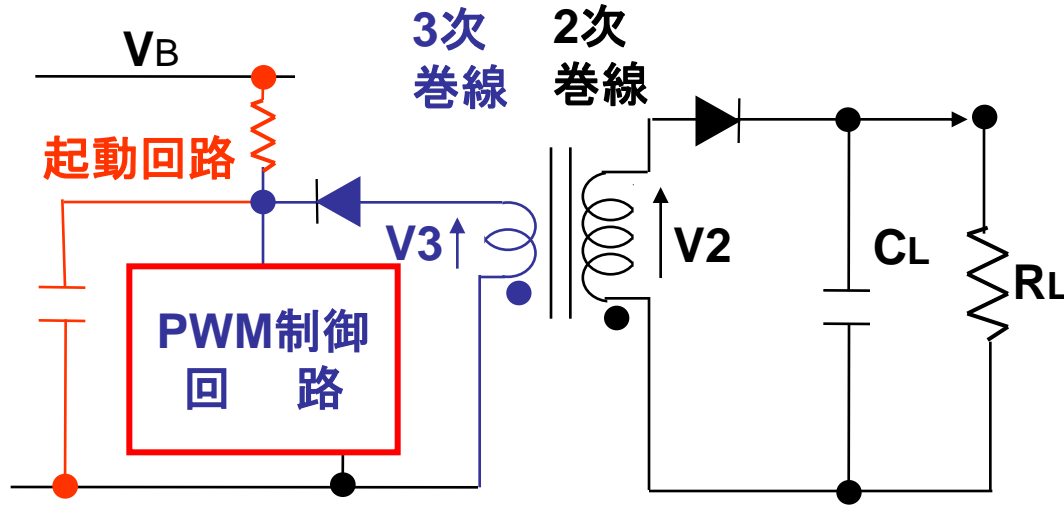


図3.10 3次巻線と起動回路

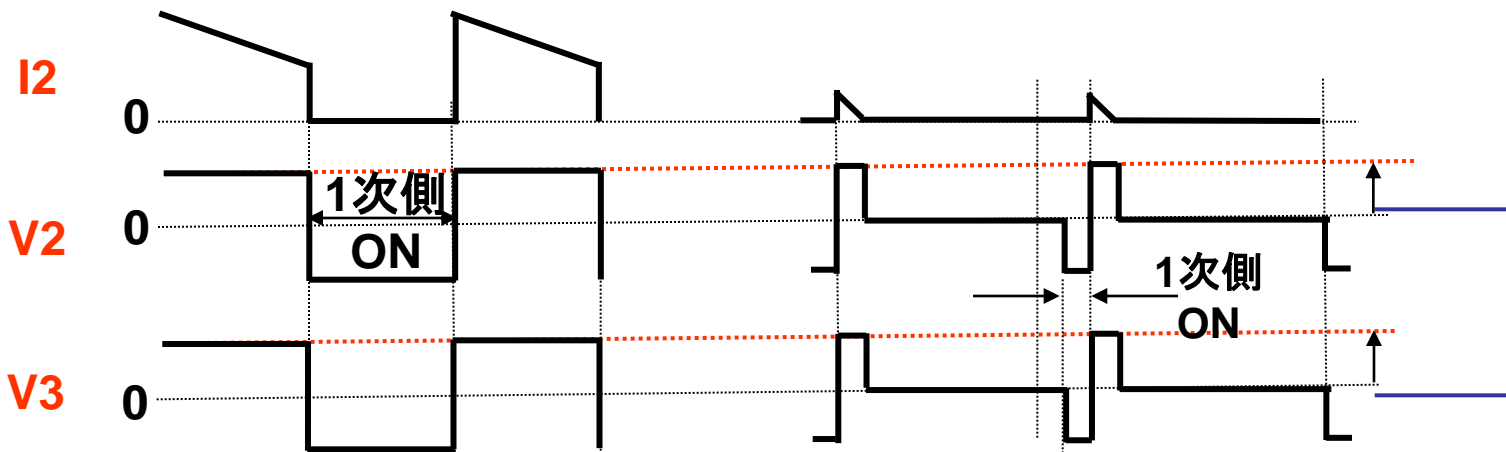
- 「制御回路」に供給する電源は、一般的に「起動回路」と「3次巻線」で得る。

(B) 2次巻線と3次巻線の電圧関係



(a) 2次-3次巻線の関係図

2次巻線と3次巻線のピーク電圧は、比例する



(b) 電流連続モード波形

(c) 電流不連続モード波形

図3.11 2次巻線と3次巻線の関係

(3) フライバック・コンバータのフィードバック例

(A) 2次回路からの負帰還方式

* 1次-2次間で絶縁必要...一般にフォトカプラ使用

* 出力電圧は、ツェナーダイオード電圧でほぼ決まる

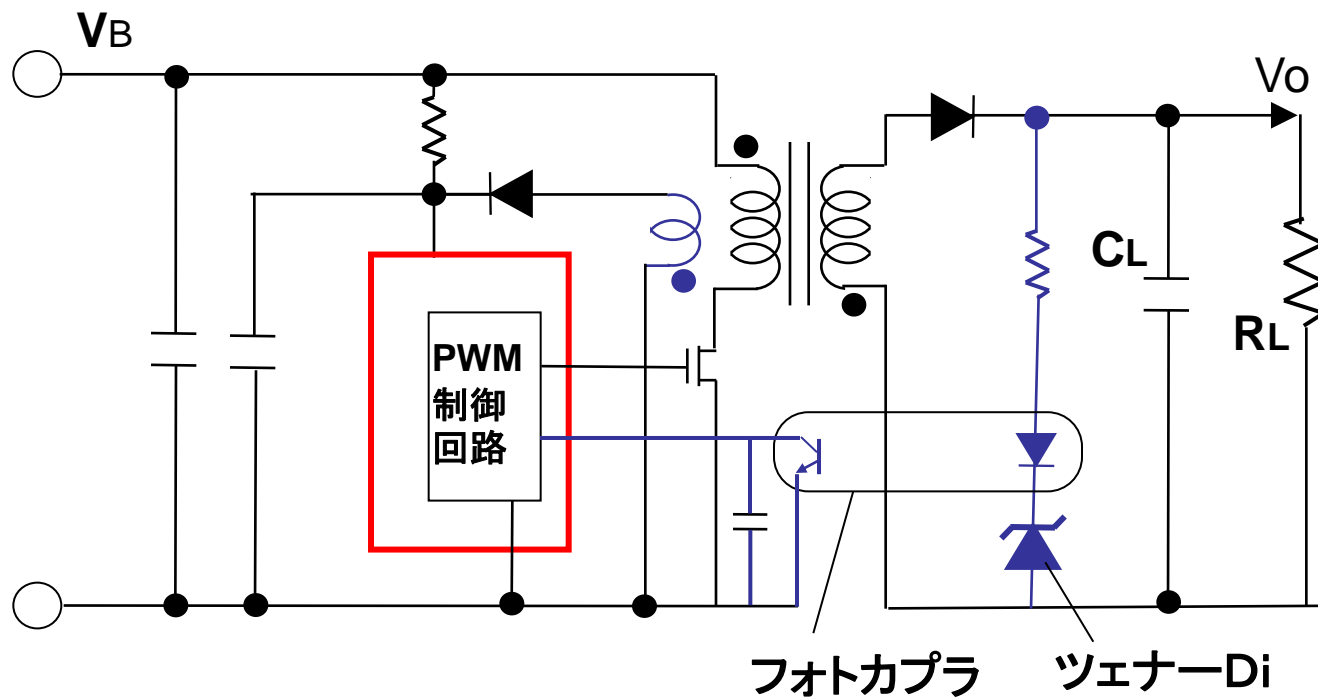


図3.12 フライバック・コンバータの負帰還回路例 (2次側帰還)

(B) 3次巻線による負帰還方式

* 1次側で回路処理・・・制御IC内に内蔵可能

* 通常のPWM制御方式と同様

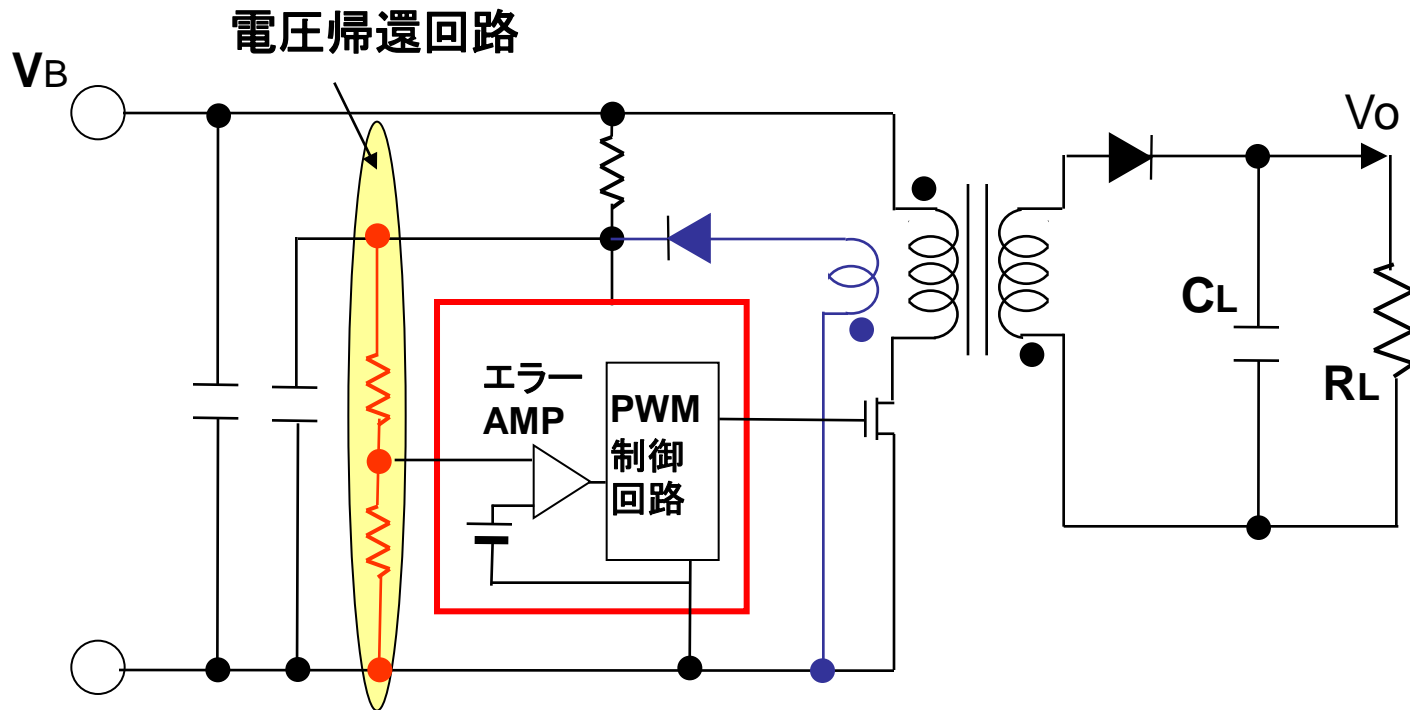


図3.13 フライバック・コンバータの負帰還回路例（3次巻線利用）

3-3 フォワード・コンバータ電源

(1) 基本回路と動作

(A) 基本回路構成

* 構成上の特徴

- ・トランスの極性は同じ
- ・2次側で **降圧形電源**を構成

* トランスの動作

1) SW ON 時

- 1次側に励磁電流
- 2次側に正極電圧 V_2 が発生
⇒ D_1 がONして電流 I_{2on} が流れる

2) SW OFF 時

- 2次側に逆電圧が発生
⇒ D_1 がOFFで、トランス電流なし
- ⇒ D_2 がONして電流 I_{2off} が流れる

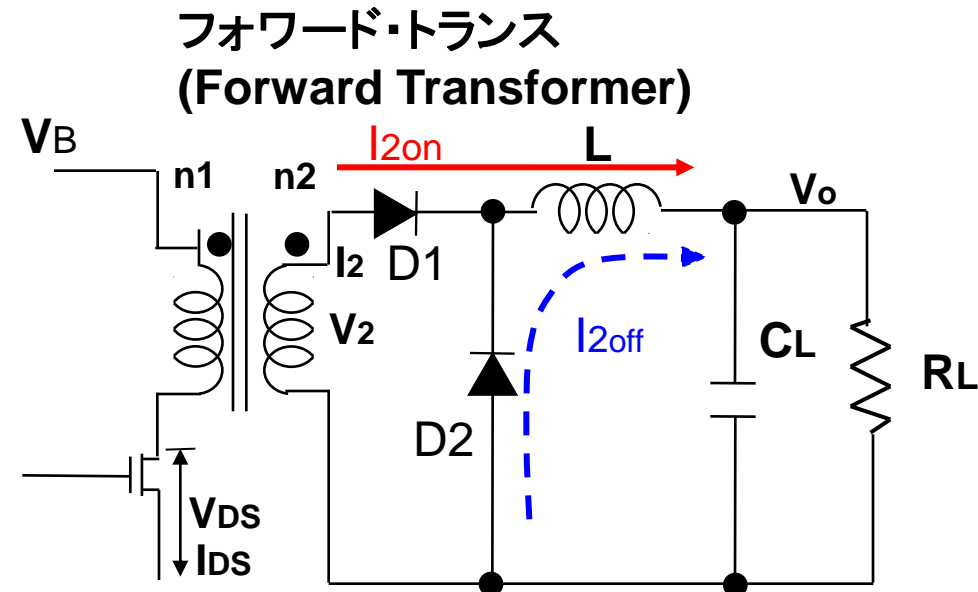


図3.14 フォワード・コンバータの基本構成

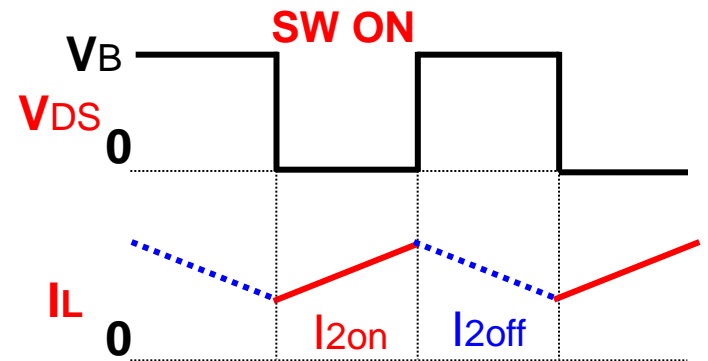


図3.15 電圧・電流波形

(B) 全体回路

●構成・動作上の特徴

- ・トランスにはON期間のみ電流
⇒ 一方向電流: 残留磁束が蓄積
⇒ **磁束リセット回路**が必要

* リセット巻線の動作

1) SW ON 時

- 側: + であり、電流 $I_r=0$

2) SW OFF 時

- 側: - であり、リセットダイオードON
よって残留磁束により電流 I_r が流れる

- リセット巻線は、フライバックトランスのように動作
- 1次巻線数 $[n1]$ と、リセット巻線数 $[nr1]$ は同じ巻数
- 残留磁束を確実にリセット ⇒ SWのデューティ < 0.5

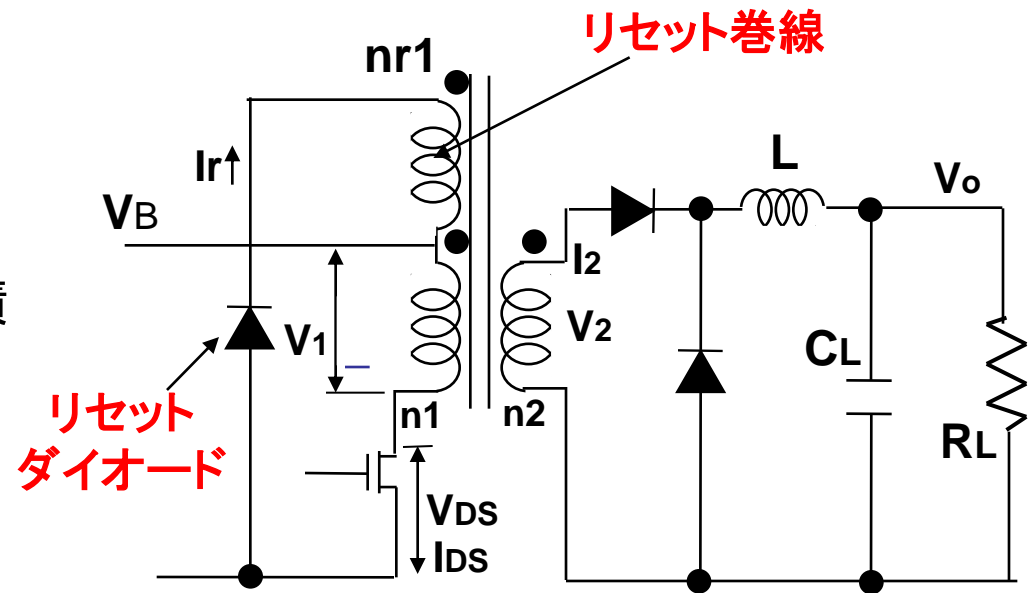


図3.16 フォワード・コンバータの全体構成

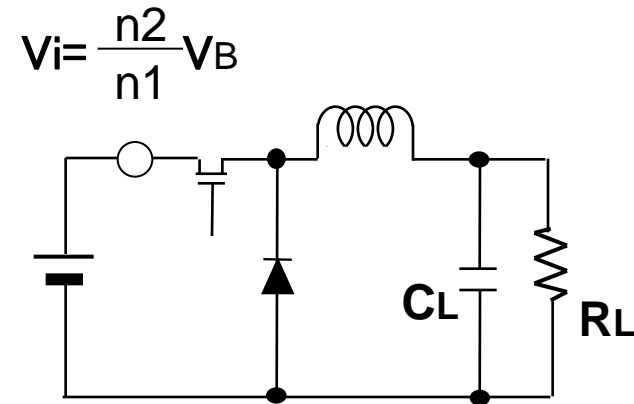


図3.17 の等価回路

(C) 1次/2次側 電圧・電流波形

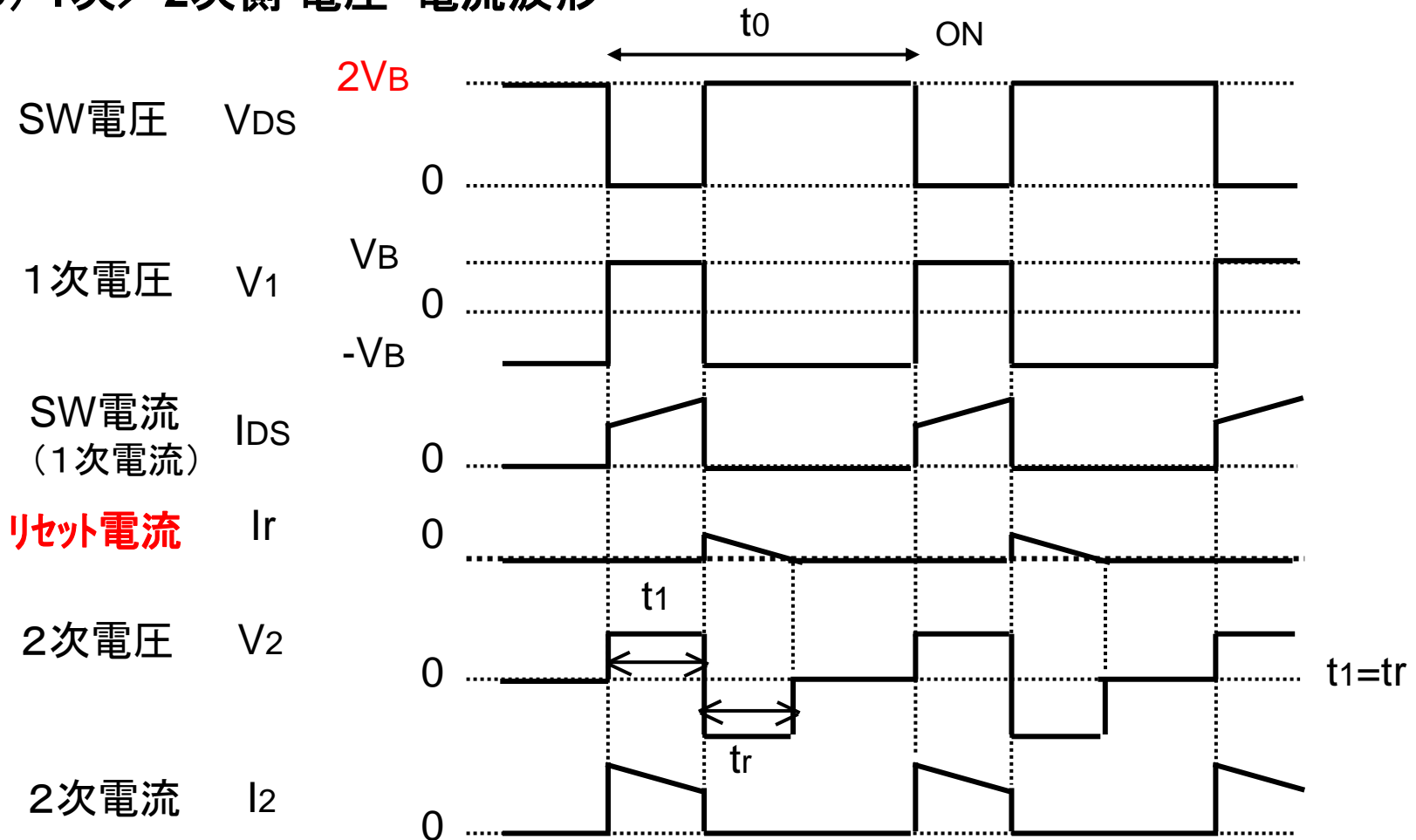


図3.18 フォワード・コンバータの動作波形

* SWストレス電圧 = $2V_B$

* 一般に、「 V_o 」と「 V_{IN} 」は比例しないので
3次巻線による電圧帰還はできない。

(2) 「フォワード型電源」と「フライバック型電源」の特徴比較

表3.1 フォワード型とフライバック型の比較表

	フォワード・コンバータ	フライバック・コンバータ
トランス鉄芯に エネルギー蓄積の 必要性	<p>必要なし</p> <p>トランスの小型・軽量可能 →中・大電力用途</p>	<p>必要あり</p> <p>トランス大・重い →小電力用途 (微小ギャップも必要)</p>
電圧帰還回路の 1次・2次絶縁 分離の必要性	<p>必要あり</p> <p>2次側の最終出力からの 電圧帰還が必要</p>	<p>必要なし→帰還回路がシンプル</p> <p>3次巻線電圧が2次側最終 電圧と比例関係</p>

3-4 その他のコンバータ電源

(1)ブリッジ型電源

(A) 基本構成

*フルブリッジ型:

2本のアームにより、ハイサイド／ローサイドSWを逆相で交互に駆動
トランス1次側には、フル電圧を印加

*ハーフブリッジ型:

中間電源 V_C に対して:ハイサイド／ローサイドSWで交互に駆動
トランス1次側には、ハーフ電圧を印加

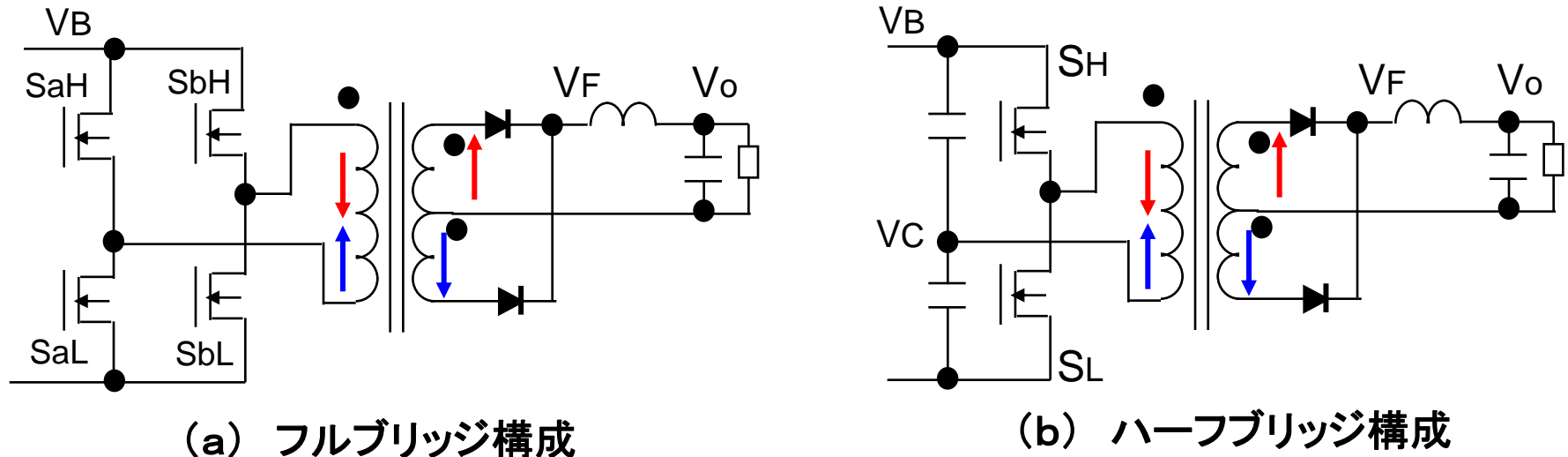


図3.19 ブリッジ型コンバータの構成

(B) フルブリッジ型コンバータの基本動作

* フルブリッジ型: 1次側印加電圧 = V_B

2本のアームにより、SaH-SbLとSbH-SaLを周期毎に交互に駆動
トランス1次側には、PWM波形が逆相で交互に印加

* 2次側には、フォワード型の交互電圧発生

* 出力電圧: $V_F = \frac{n_2}{n_1} V_B$ $V_o = 2 \cdot D \cdot \frac{n_2}{n_1} V_B$ (3-1)

* 2つのSWのデューティ (< 0.5) は同じ... 偏磁は発生しない

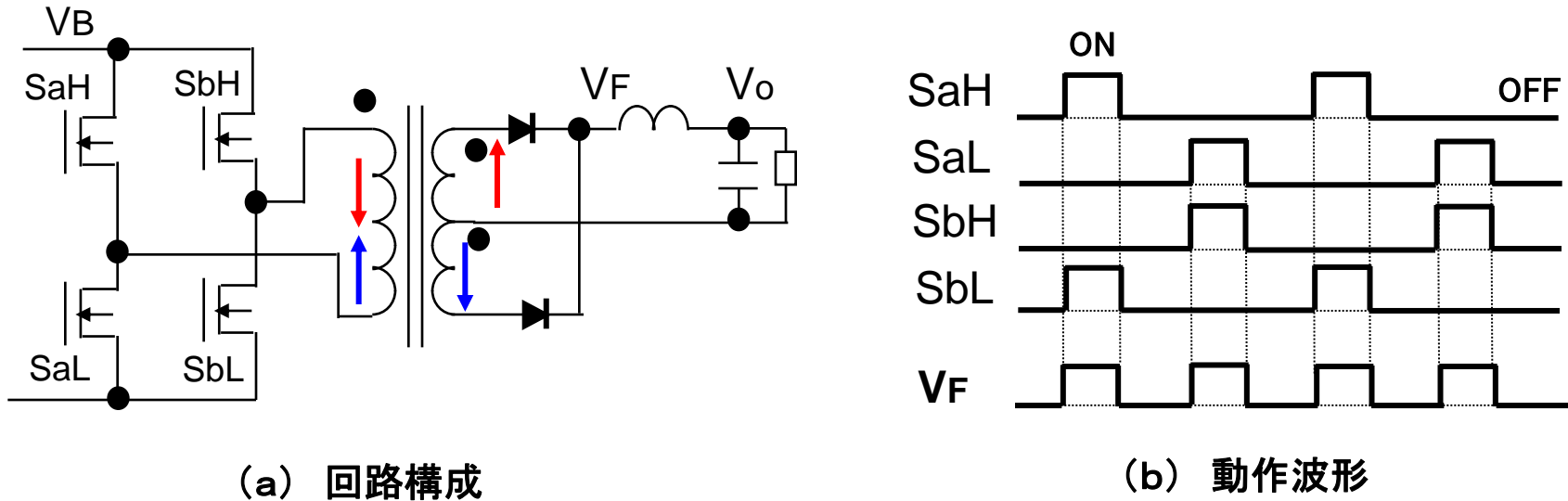


図3.20 フルブリッジ型コンバータの動作

(C) ハーフブリッジ型コンバータの基本動作

* ハーフブリッジ型:

中間電源 V_C に対して:ハイサイド/ローサイドSWで交互に駆動
(アームの片側を、コンデンサ電源 V_C に置換え)

* 2次側出力波形は、フルブリッジと同等。ただし、電圧は半分

* 出力電圧: $V_F = \frac{n_2}{n_1} \frac{V_B}{2}$ $V_o = 2 \cdot D \frac{n_2}{n_1} \frac{V_B}{2} = D \frac{n_2}{n_1} V_B$ (3-2)

* V_C の電圧バランスが課題:コンデンサ容量ばらつき...偏磁発生

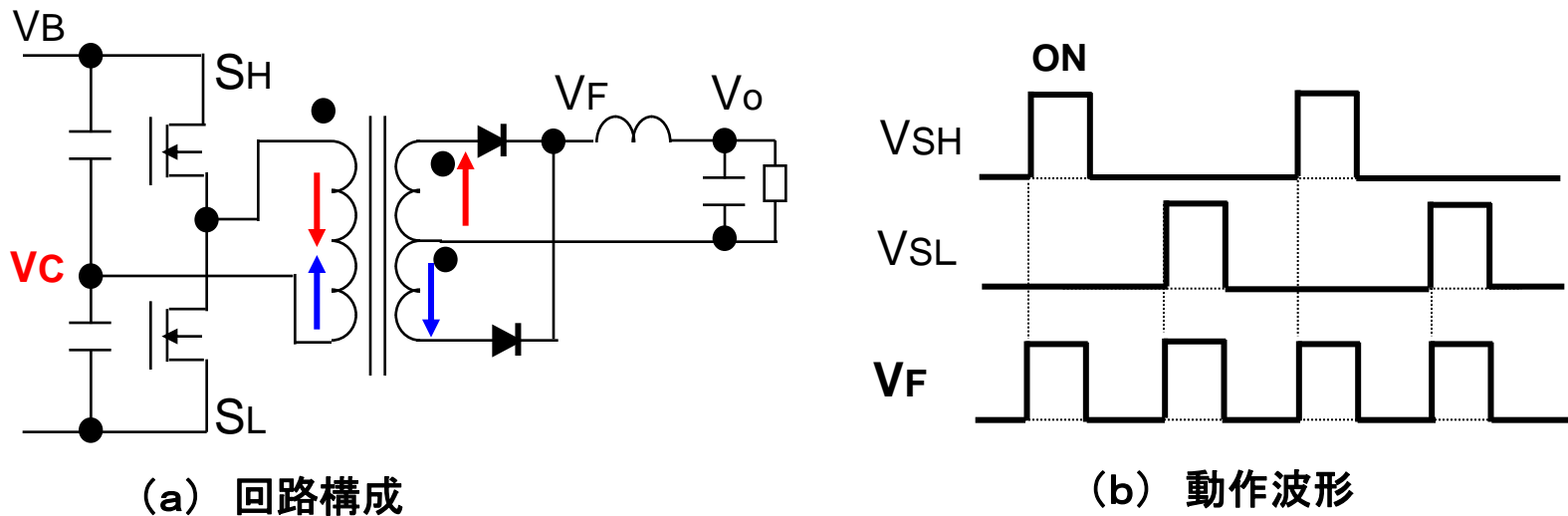
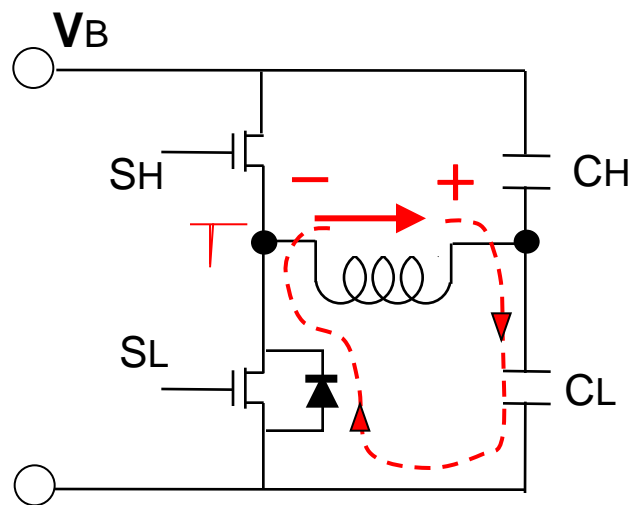


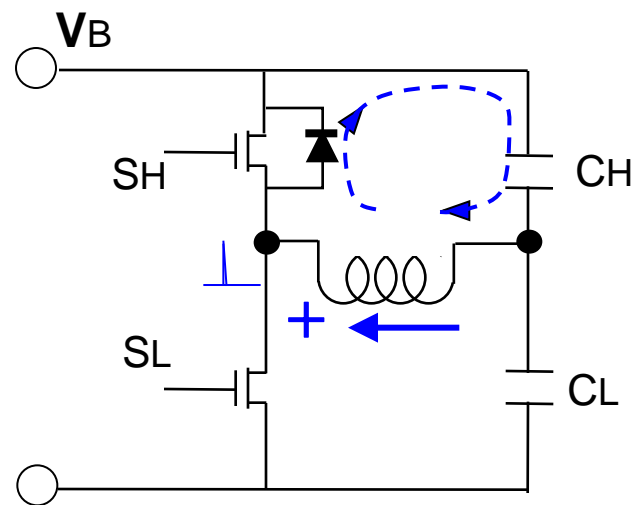
図3.21 ハーフブリッジ型コンバータの動作

(D)1次側サージ電圧の吸収（ハーフブリッジの場合）

- ・SH がOFFすると、図の極性でコイルにサージ電圧発生
⇒ コンデンサCL と、SL のボディ・ダイオードにより サージ電圧を吸収
- ・同様に、SL がOFFすると、コイルに逆極性のサージ電圧発生
⇒ コンデンサCH と、SH のボディ・ダイオードにより サージ電圧を吸収



(a) SH :OFF時



(b) SL :OFF時

図3.22 ブリッジ・コンバータのサージ電圧

(2) プッシュ・プル型電源

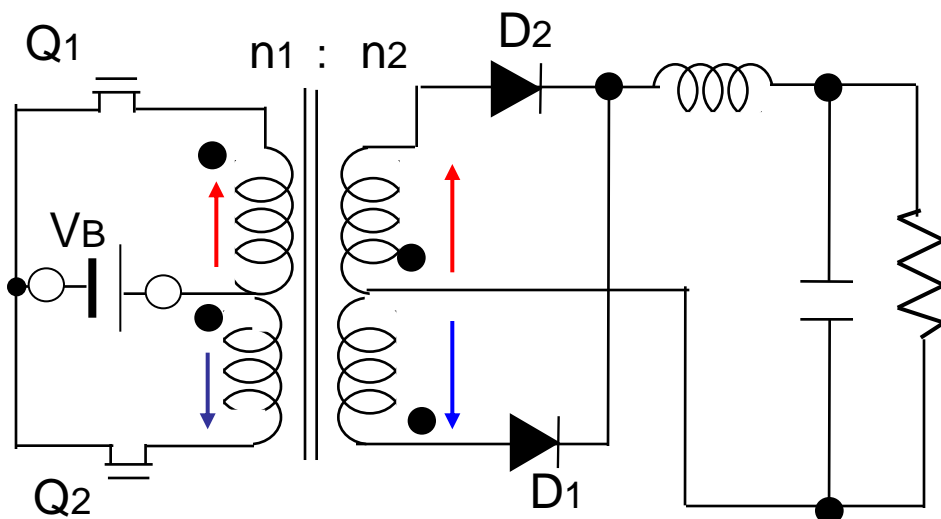
●基本構成

* 2つの1次巻線は同じ巻数、2つの2次巻線も同じ巻数

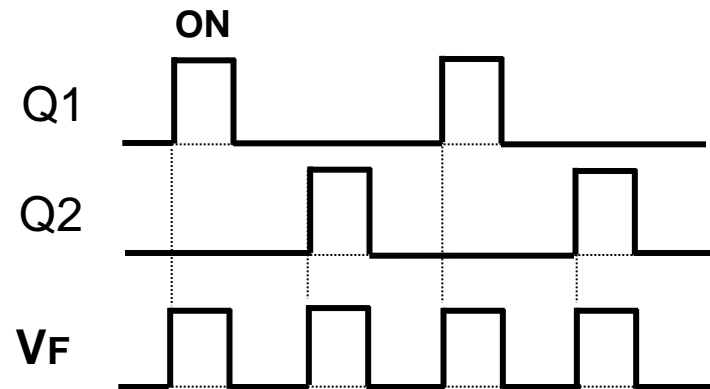
* 1次巻線を交互に逆方向に同期間励磁

* Q1 が ON で D1 が導通、Q2 が ON で D2 が導通

* 出力電圧: $V_o = 2 \cdot D \frac{n_2}{n_1} V_B$ (3-3)



(a) 回路構成



(b) 動作波形

図3.23 プッシュプル・コンバータの動作

(3) 2次回路の各種構成例

a) 2次巻線の簡単化

⇒ 全波整流ダイオード・ブリッジ使用

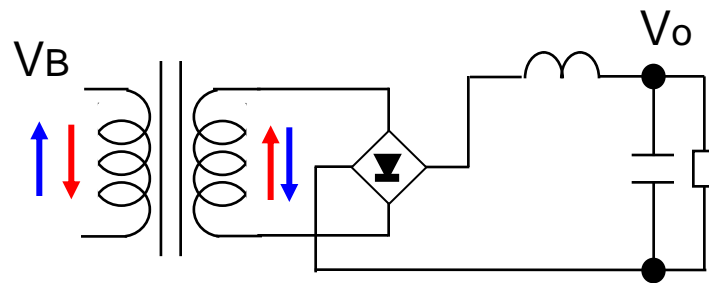
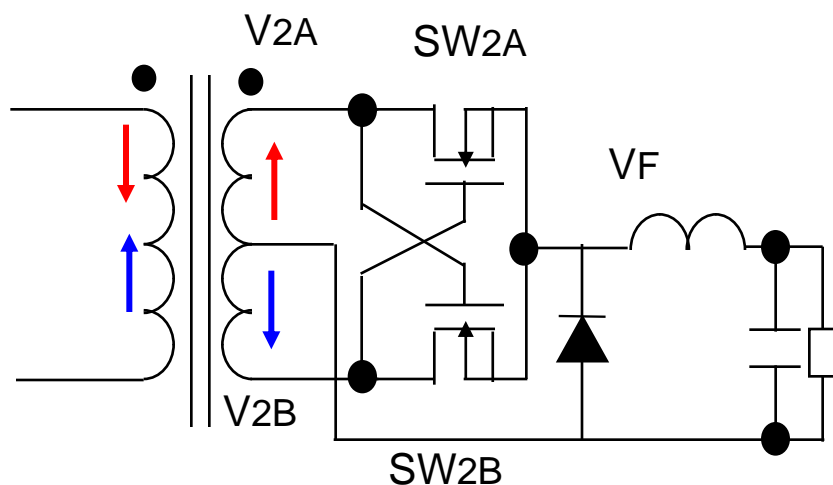


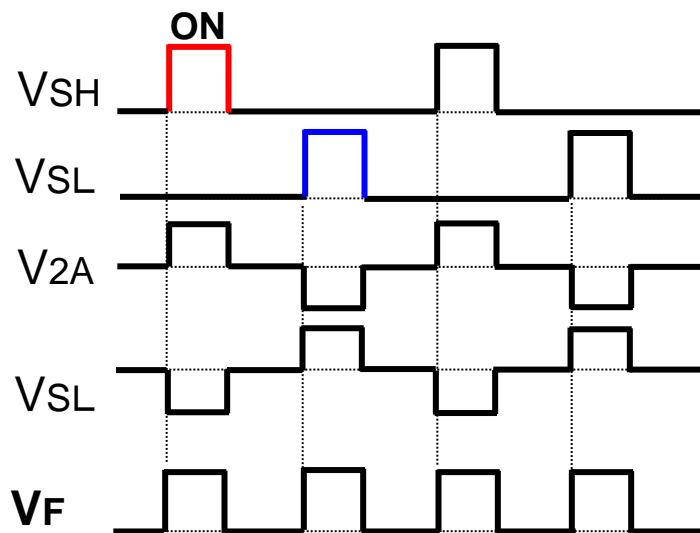
図3.24 全波整流方式

b) 2次回路の自己同期整流回路

2次側の2重構成により、互いの出力
電圧でMOSゲートを相互にドライブ



(a) 自己同期整流方式の回路構成



(b) 動作波形

図3.25 自己同期整流方式の動作