

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

小山高専/群馬大学

小堀 康功

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

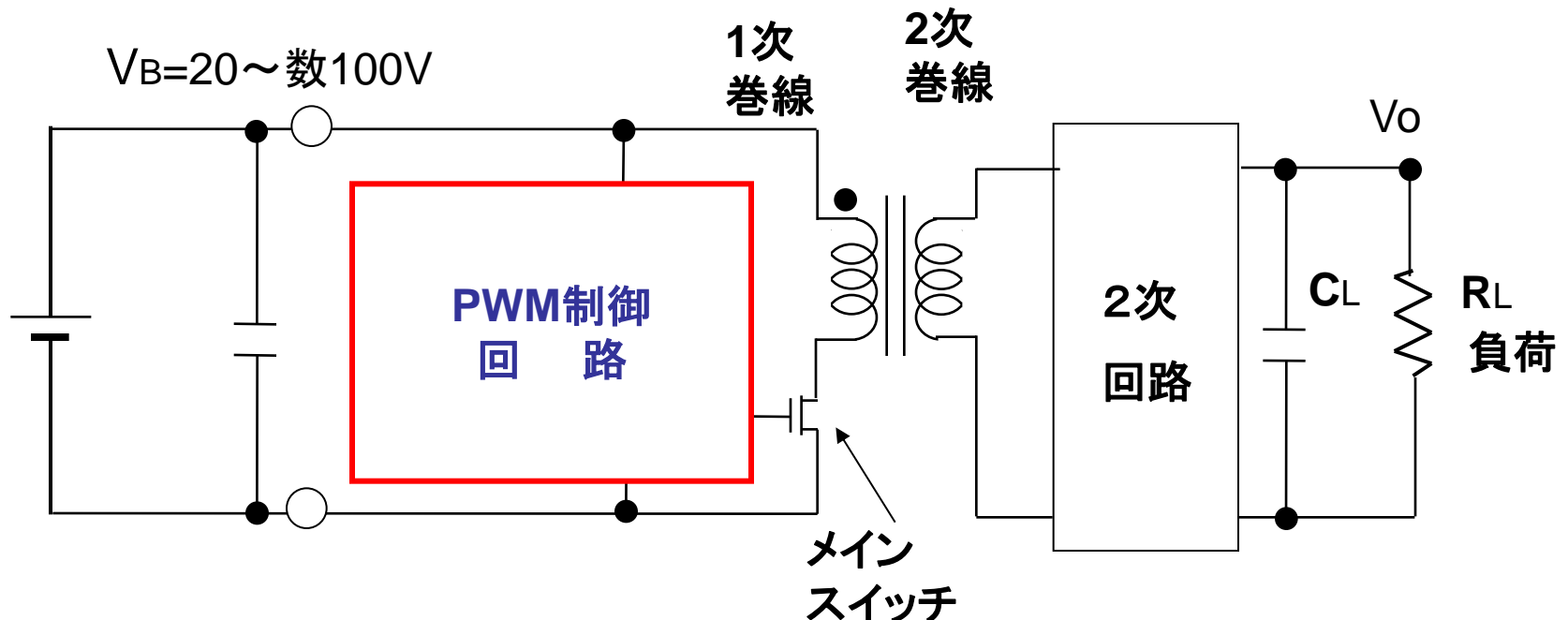
(1) 回路方式による分類

(A) 基本的な方式: AC-DCコンバータにも適用可

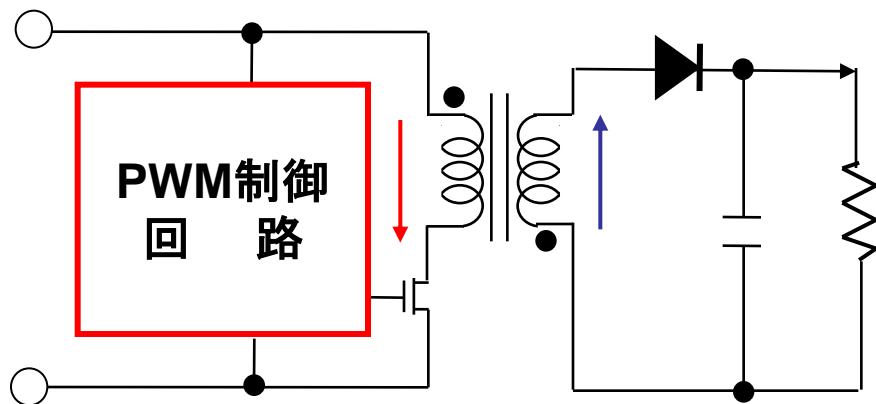
電源方式	電力規模
(1) フライバック・コンバータ電源	小電力: ~70W
(2) フォワード・コンバータ電源	中電力: 50W~200W
(3) ハーフ・ブリッジ電源	大電力: 100W~数百W
(4) プッシュ・プル電源	大電力: ~数kW

(B) 基本構成と特徴

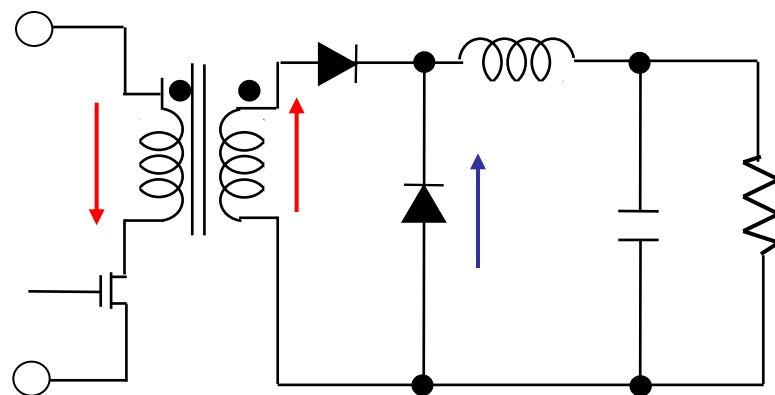
- **メリット:**
 - 1) 電圧変換率の改善: デューティの改善
 - ・トランス巻数比で、2次電圧を低減・・・デューティの拡大
 - 2) メインスイッチの電流容量を低減可
 - ・トランス巻数比で、1次パルス電流を低減
- **デメリット:**
 - 1) メインスイッチにサージ電圧: 高耐圧素子必要
 - 2) 電圧制御が複雑・・・フォトカプラ、3次巻線の利用



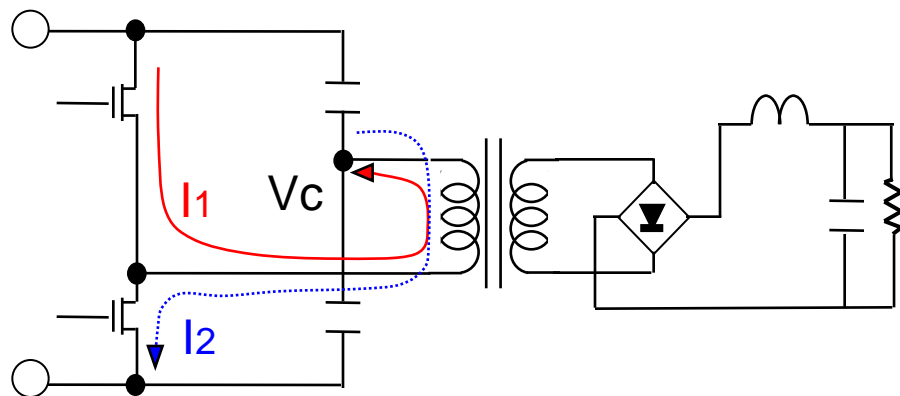
(2) 各種電源方式



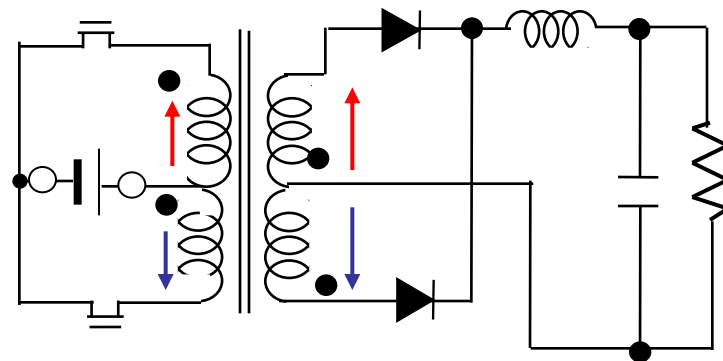
(a) フライバック方式



(b) フォワード方式



(c) ハーフブリッジ方式
(CをSWにすると、フルブリッジ)



(d) プッシュプル方式

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

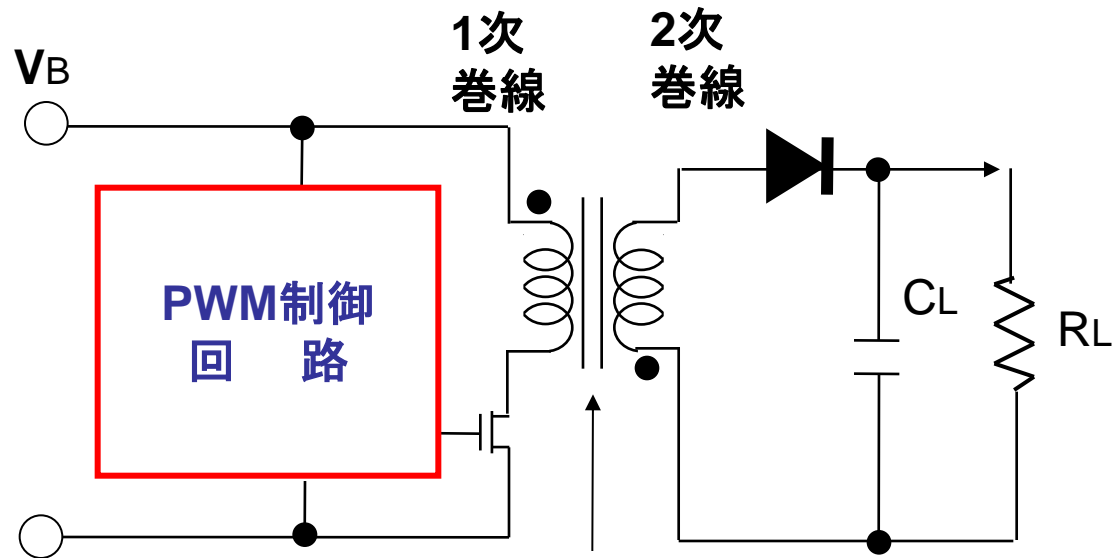
- ・エネルギーの蓄積

2) SW OFF 時 (図B)

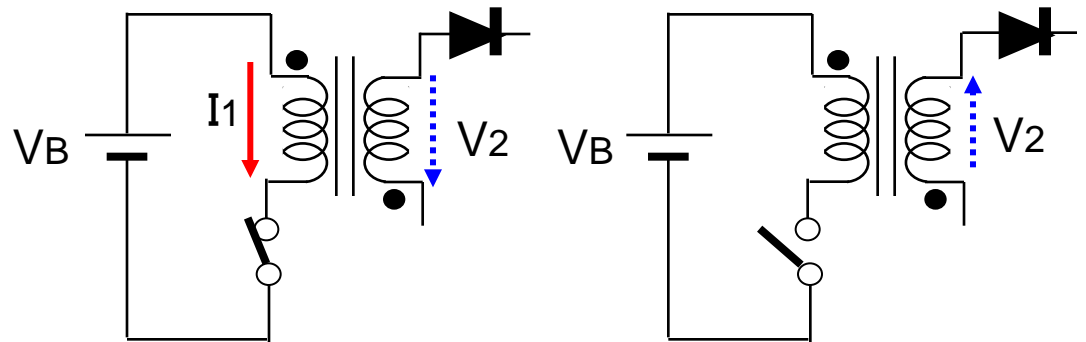
2次側に反転電圧

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)

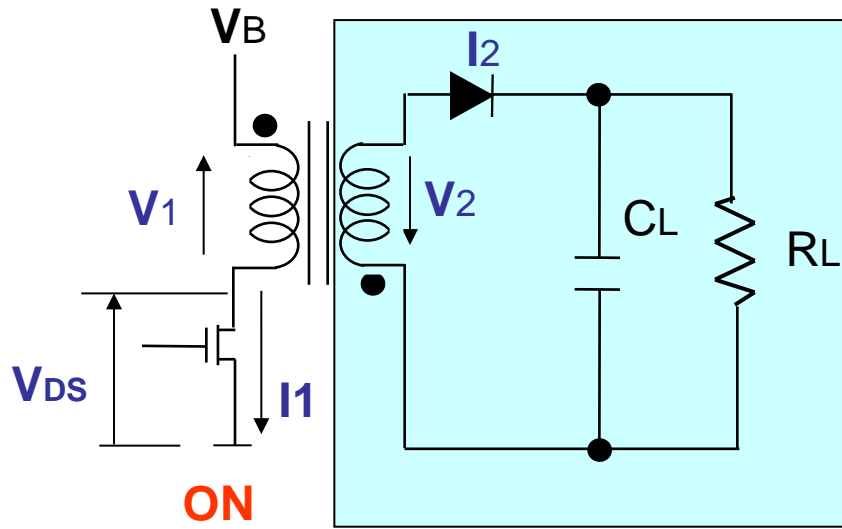


図A SW ON 時

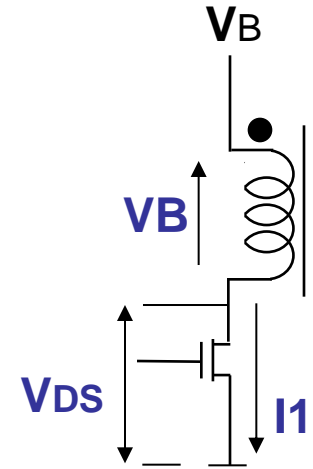
図B SW OFF 時

(B) 1次/2次側 電圧・電流波形

● メインSW ONの時



等価回路
→



* メインSWがONの時、

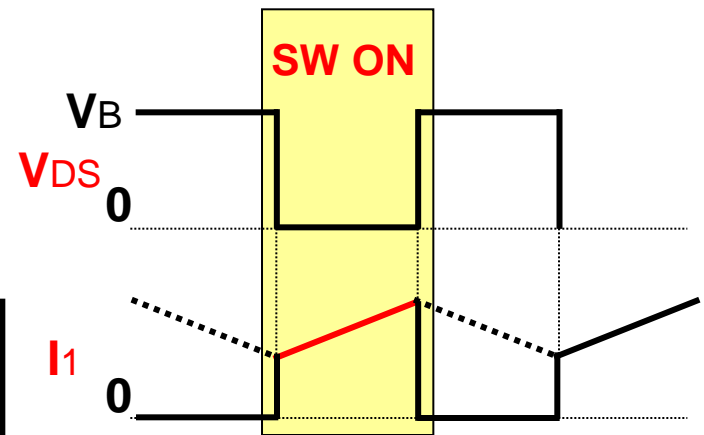
2次側巻線には負電圧発生

∴ $I_2=0$ → 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

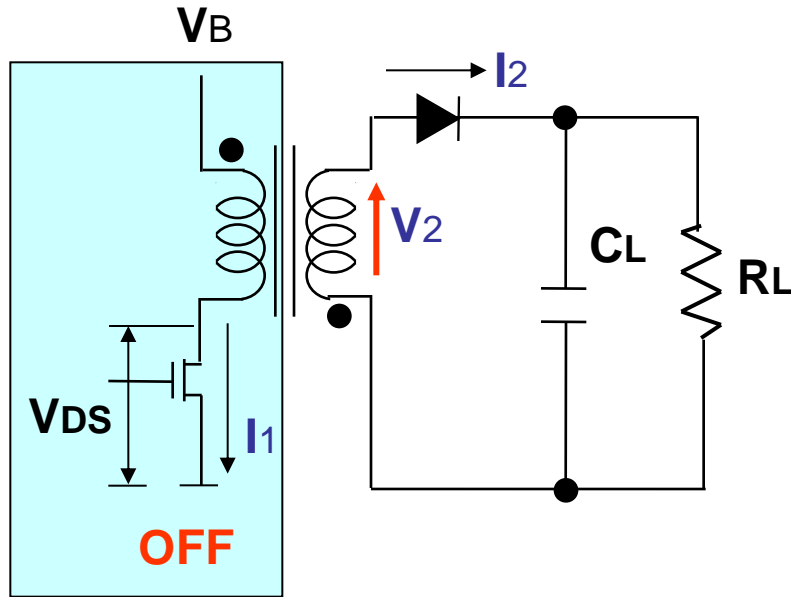
磁路内に微少なギャップを設ける

⇒ トランス構造が大きくなる



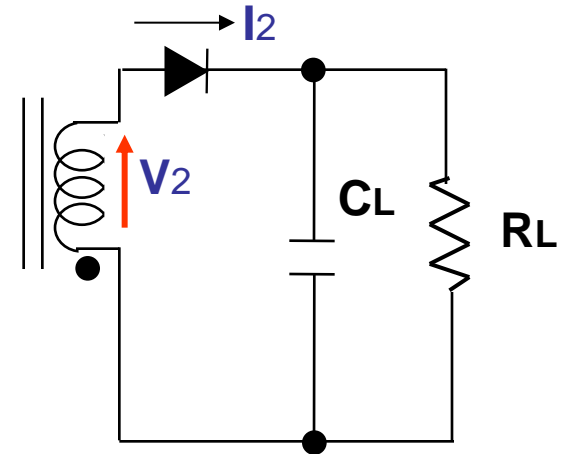
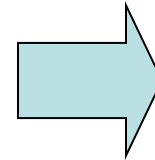
電流・電圧波形

● メインSW OFFの時

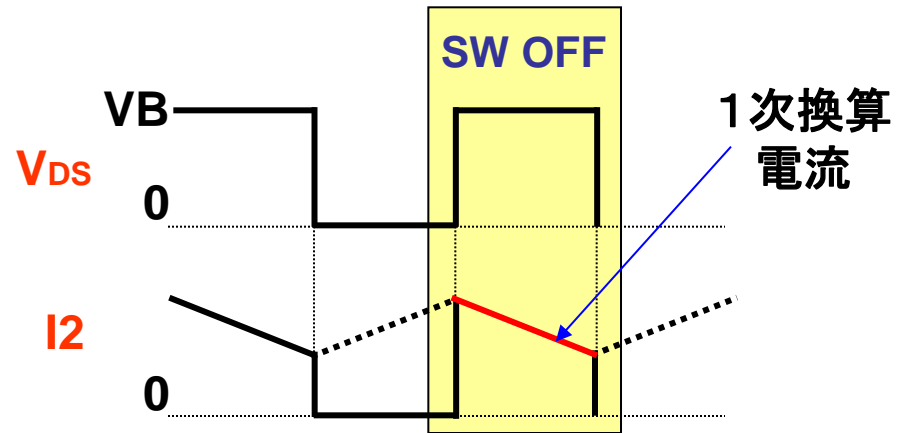


トランス:Lと等価

等価回路



- * 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



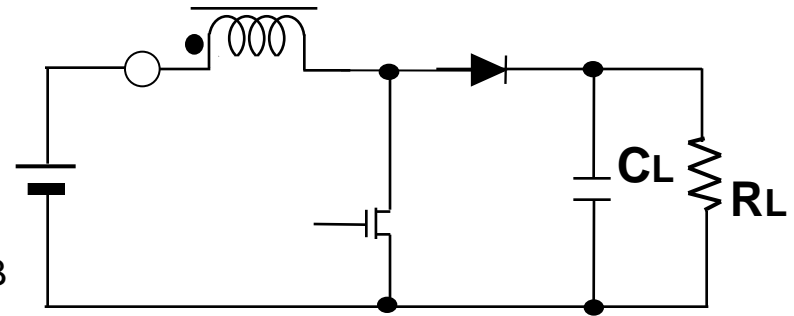
電流・電圧波形

(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

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



等価回路

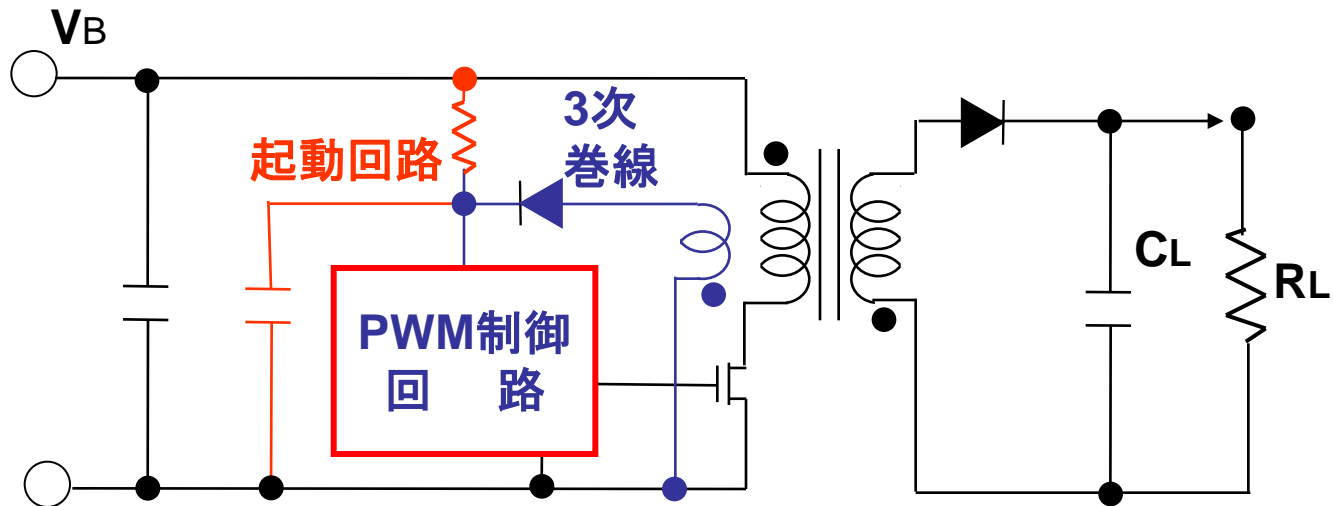
■ フライバックコンバータと昇圧形コンバータの相違点

- * 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

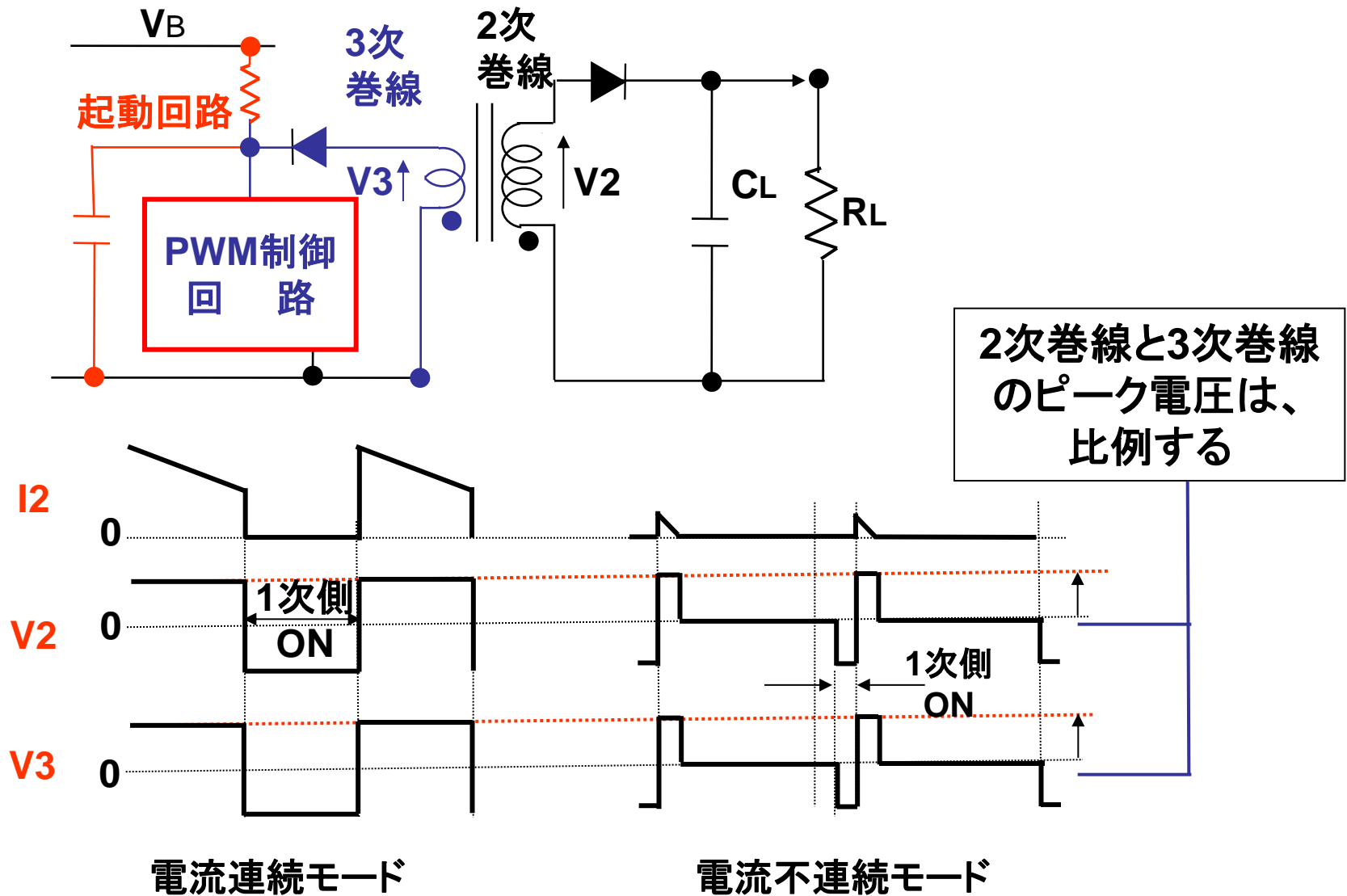
- * 制御回路には、起動回路が必要・・・ V_B よりRを介して供給
ただし、 V_B は通常高電圧なので常時供給では、損失が大きい
- * 3次巻線は、制御回路への電圧供給



- 「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

■ メインSW OFFの時

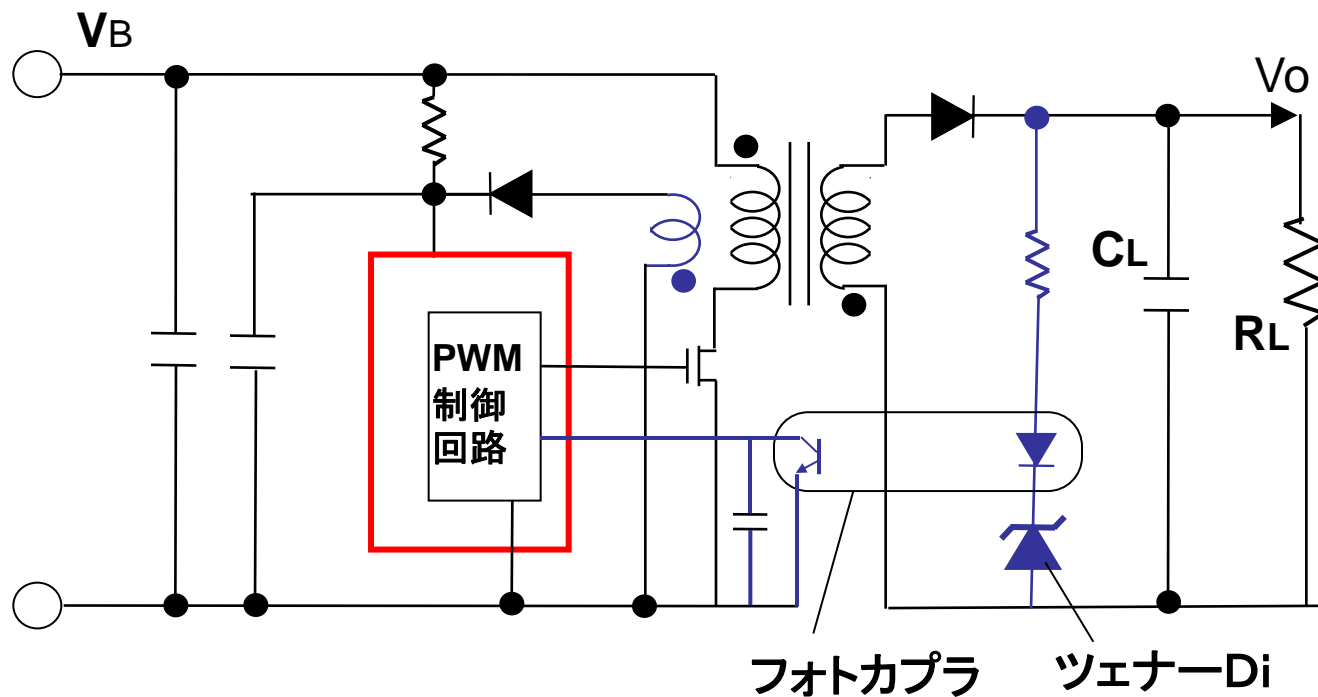


(3) フライバック・コンバータのフィードバック例

(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

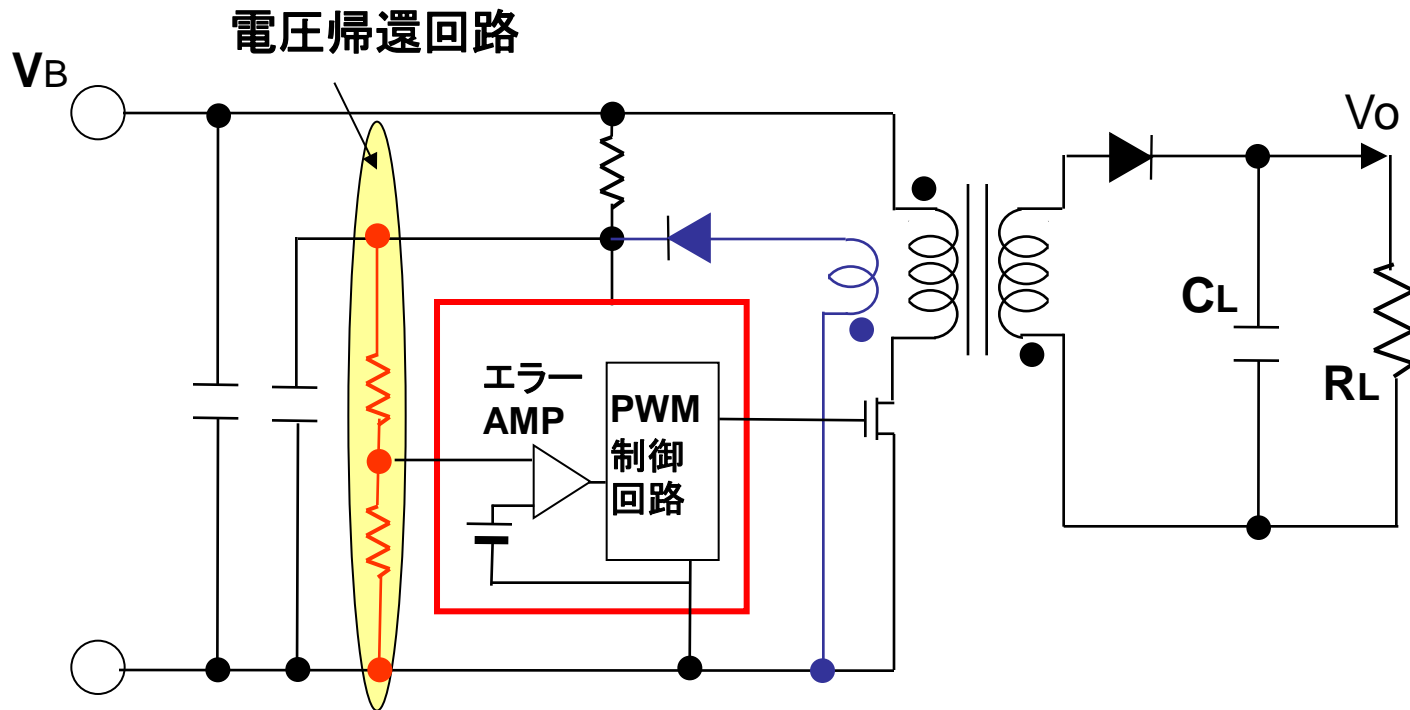


フライバック・コンバータの負帰還回路例 (2次側帰還)

(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



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

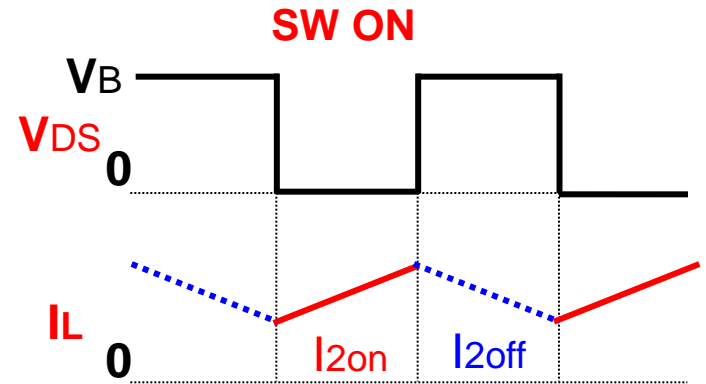
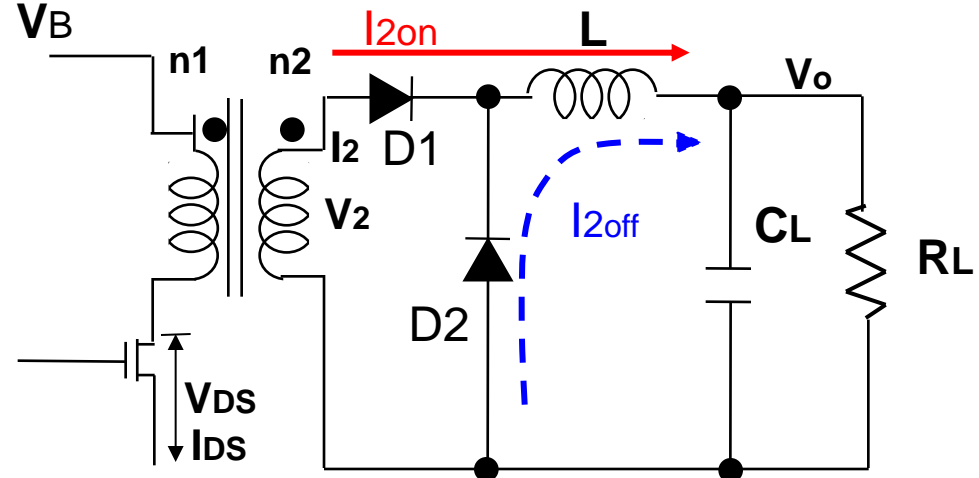
1) SW ON 時

- 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

フォワード・トランス
(Forward Transformer)



電流・電圧波形

(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

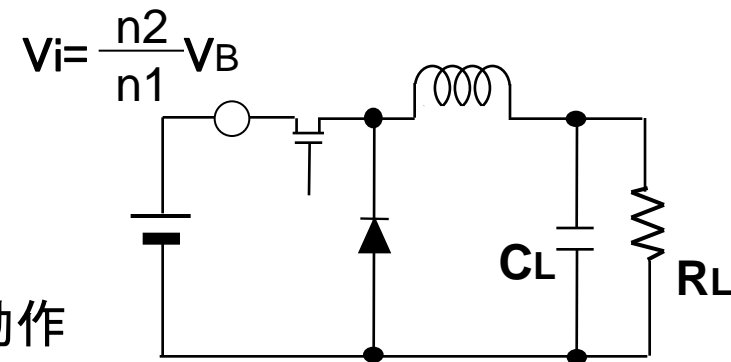
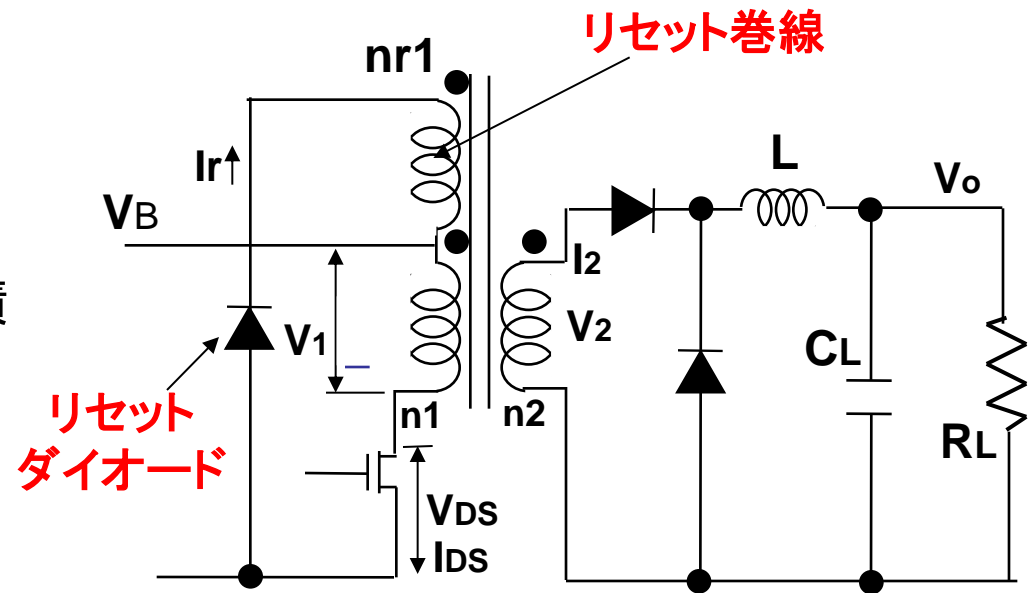
1) SW ON 時

- 側: + であり、電流 $I_r=0$

2) SW OFF 時

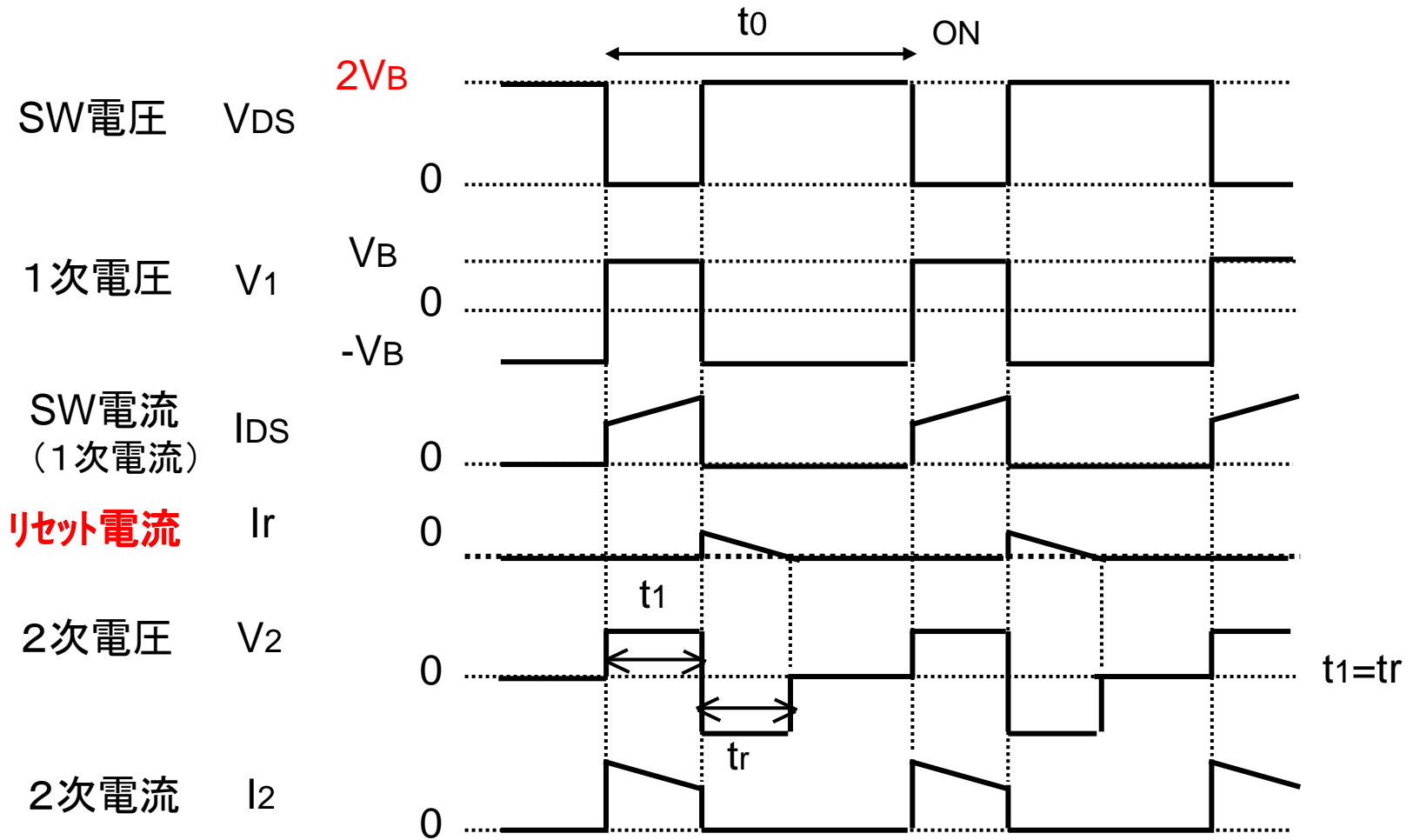
- 側: - であり、リセットダイオードON
よって残留磁束により電流 I_r が流れる

- 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



等価回路

(C) 1次/2次側 電圧・電流波形



* 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) 「フォワード形電源」と「フライバック形電源」の特徴比較

	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) ハーフブリッジ型電源

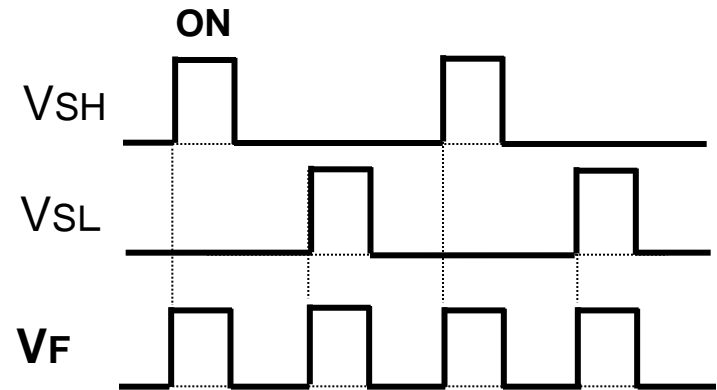
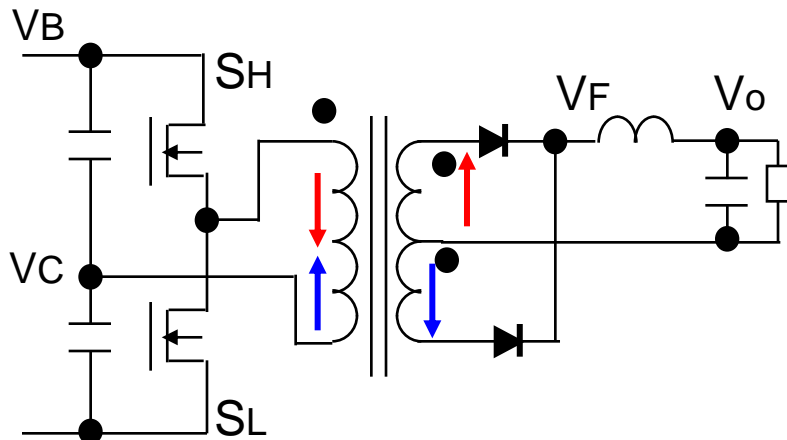
(A) 基本構成・動作

* 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
(ハーフブリッジ:H型構成の片側のみスイッチの構成)

* 1次側を交互駆動 \Rightarrow 2次側:フォワード電源動作

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

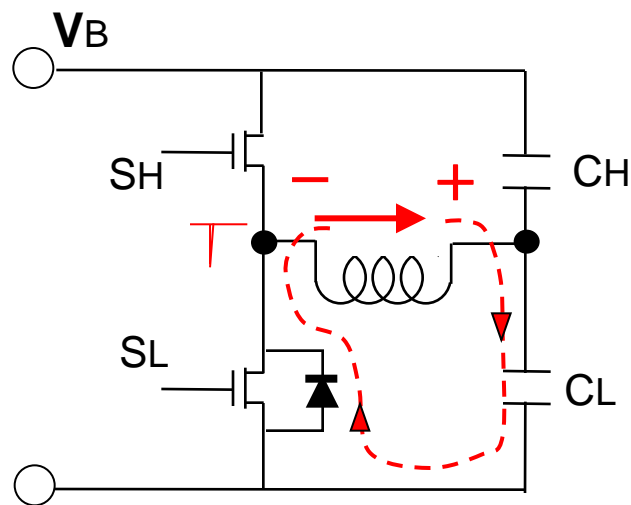
* 2つのSWのデューティ(< 0.5)は同じ...偏磁は発生しない



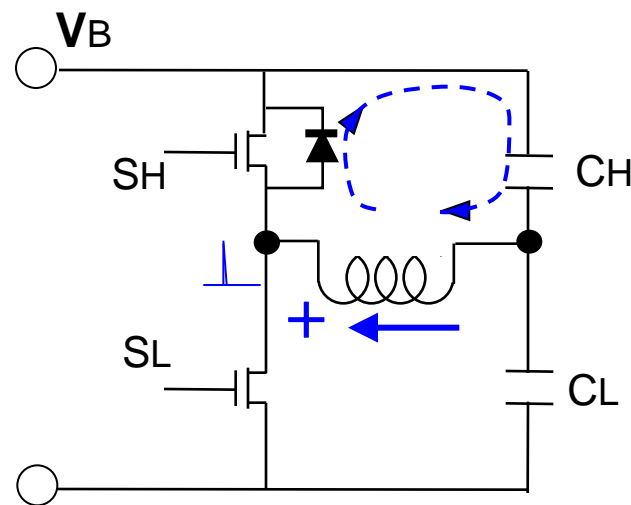
電圧波形

(B)1次側サージ電圧の吸収

- ・ S_H 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 C_L と、 S_L のボディ・ダイオードにより サージ電圧を吸収
- ・同様に、 S_L 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 C_H と、 S_H のボディ・ダイオードにより サージ電圧を吸収



(A) S_H :OFF時



(B) S_L :OFF時

サージ電圧の吸収

(C) 構成例

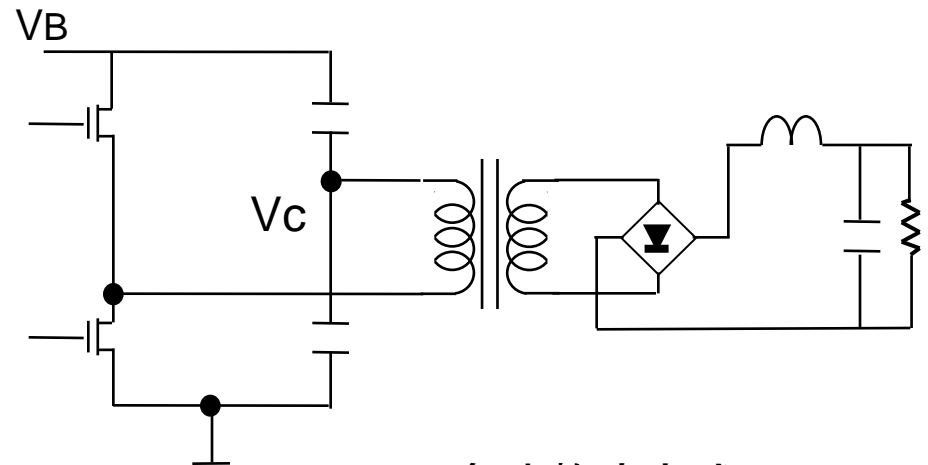
a) 2次側回路に全波整流方式を採用

◆フルブリッジ構成では

- ・コンダクタはばらつきが大きい $\Rightarrow V_c$ の電圧がずれる
- ・トランスの直流電流差が発生 \Rightarrow 偏磁

◆2次側回路例1

- ・全波整流回路
 \Rightarrow 2次側 巻線1つ



(a) 全波整流方式1

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SWゲートを相互にドライブ

* 2次側の動作: SW:NMOS $\Rightarrow V_G > 0$ でON

・V_{SH}:ON のとき(赤矢印)

$$V_{2A} > 0, V_{2B} < 0,$$

ゲート電圧: $V_{GB} = V_{2A} > 0 \Rightarrow SW_{2B}:ON$

$V_{GA} = V_{2B} < 0 \Rightarrow SW_{2A}:OFF$

・V_{SL}:ON のとき(青矢印)

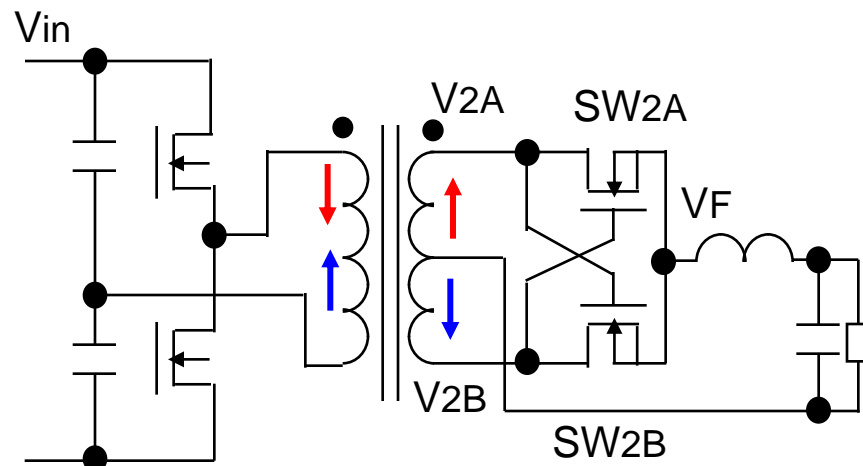
$$V_{2A} < 0, V_{2B} > 0,$$

$V_{GB} = V_{2A} < 0 \Rightarrow SW_{2B}:OFF$

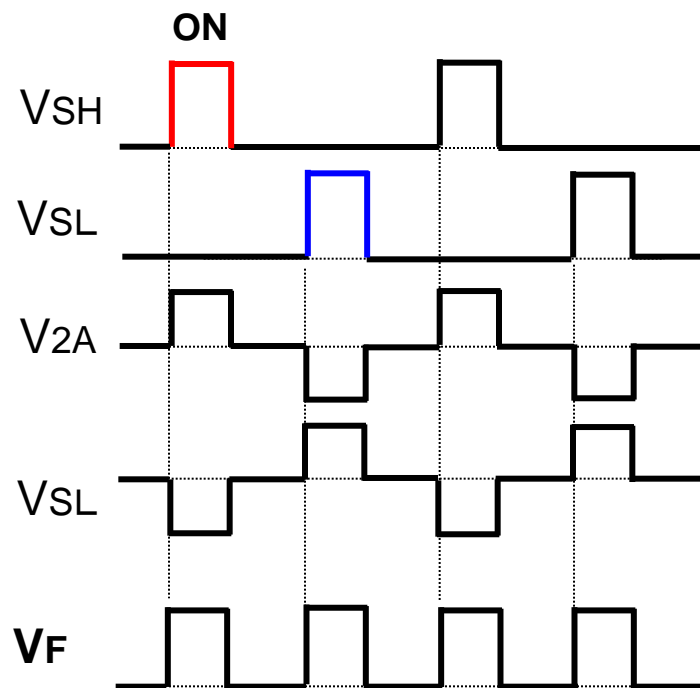
$V_{GA} = V_{2B} > 0 \Rightarrow SW_{2A}:ON$

・V_{SH}:OFF、V_{SL}:OFF のとき、

$$V_{2A} = V_{2B} = 0 \Rightarrow SW_{2A} = SW_{2B}:OFF$$



(b) 自己同期整流方式



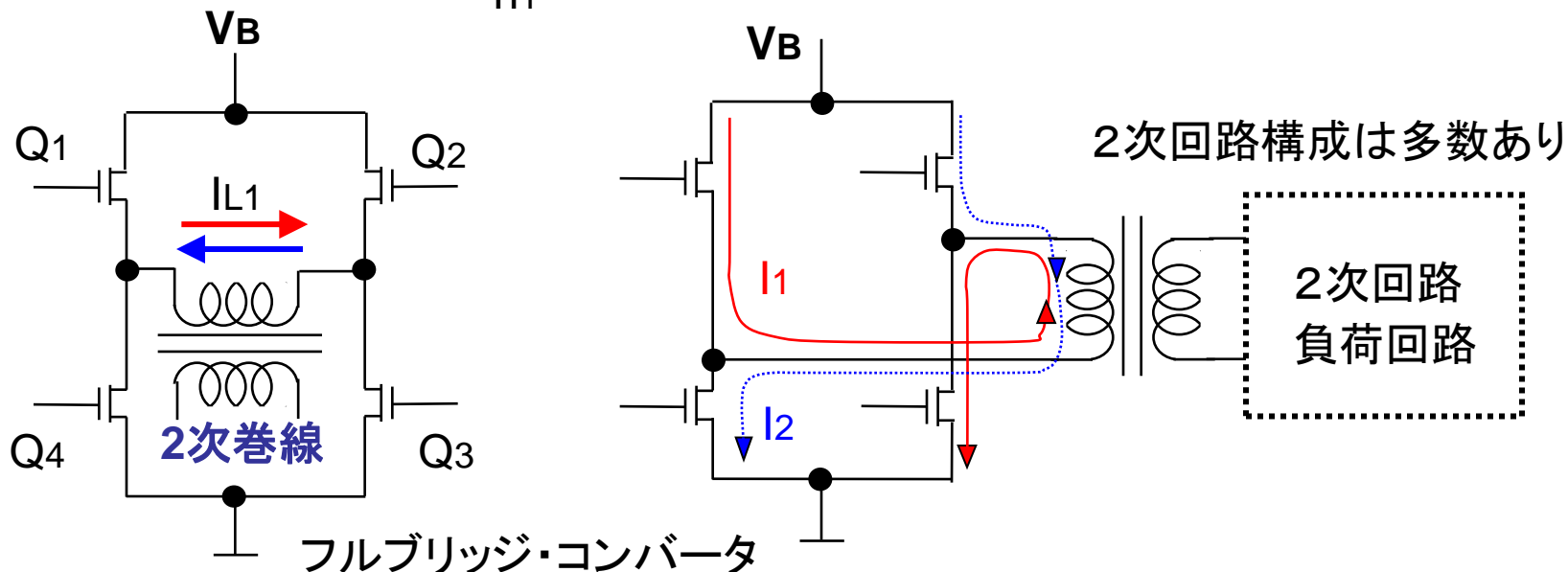
(c) 電圧・電流波形

(2)フル・ブリッジ型電源

● 基本構成・動作

- * トランスの1次側両端を、4個のSWで駆動
- * Q1 とQ3 が同時にON/OFFし、Q2 とQ4 が同時にON/OFFし、これらのON期間は互いに等しく、交互に繰り返される。
- * SWの耐圧は半分、電流はハーフブリッジの半分
- * サージ電圧は、反対側Qのボディ・ダイオードでクランプ

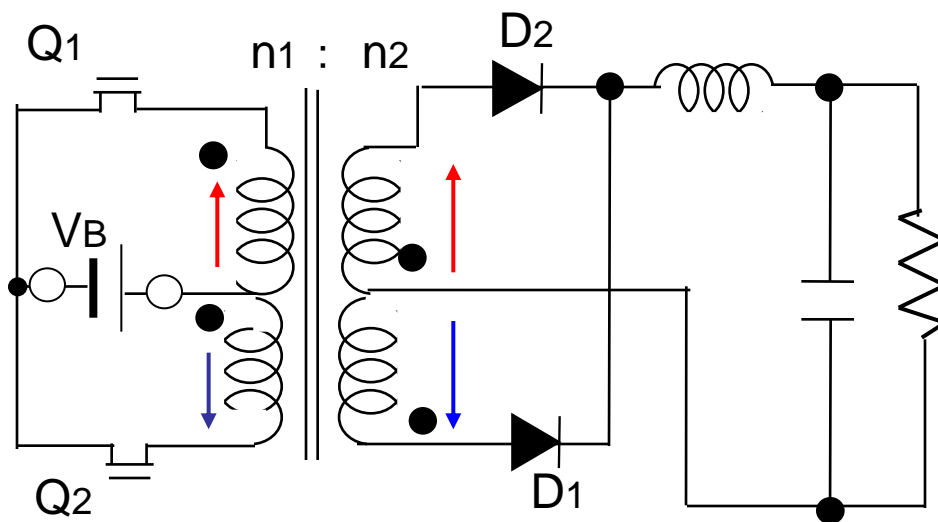
* 出力電圧: $V_o = 2 \cdot D \frac{n_2}{n_1} V_B$ (3-4)



(3) プッシュ・プル型電源

●基本構成

- * Q1 とQ2 を交互に、少し間を空けてON/OFF
- * 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
- * サージ電圧は、反対側 Qのボディ・ダイオードでクランプ
- * 出力電圧: $V_o = 2 \cdot D \frac{n_2}{n_1} V_B$ (3-5)



プッシュプル・コンバータ