

パワーエレクトロニクス工学論

8. AC-DCコンバータ技術

8-1 商用電源からの変換技術

8-2 非絶縁型ダイレクトAC-DC電源

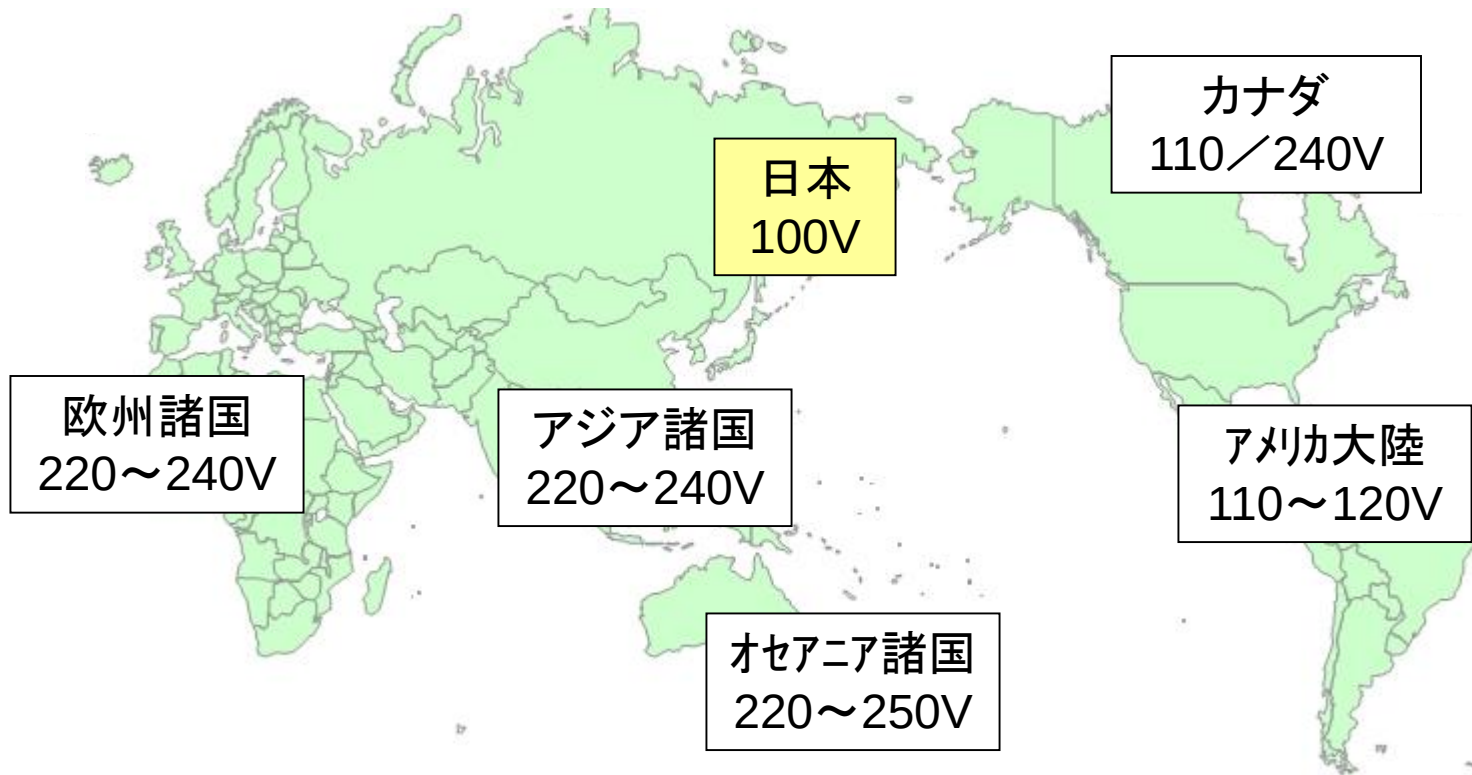
8-3 力率改善(PFC)電源

8-4 ダイレクトLED駆動電源

8. AC-DCコンバータ技術

8-1 商用電源からの変換技術

(1) 世界の商用電圧(単相) ➡ グローバル対応: **85~265V_{rms}**



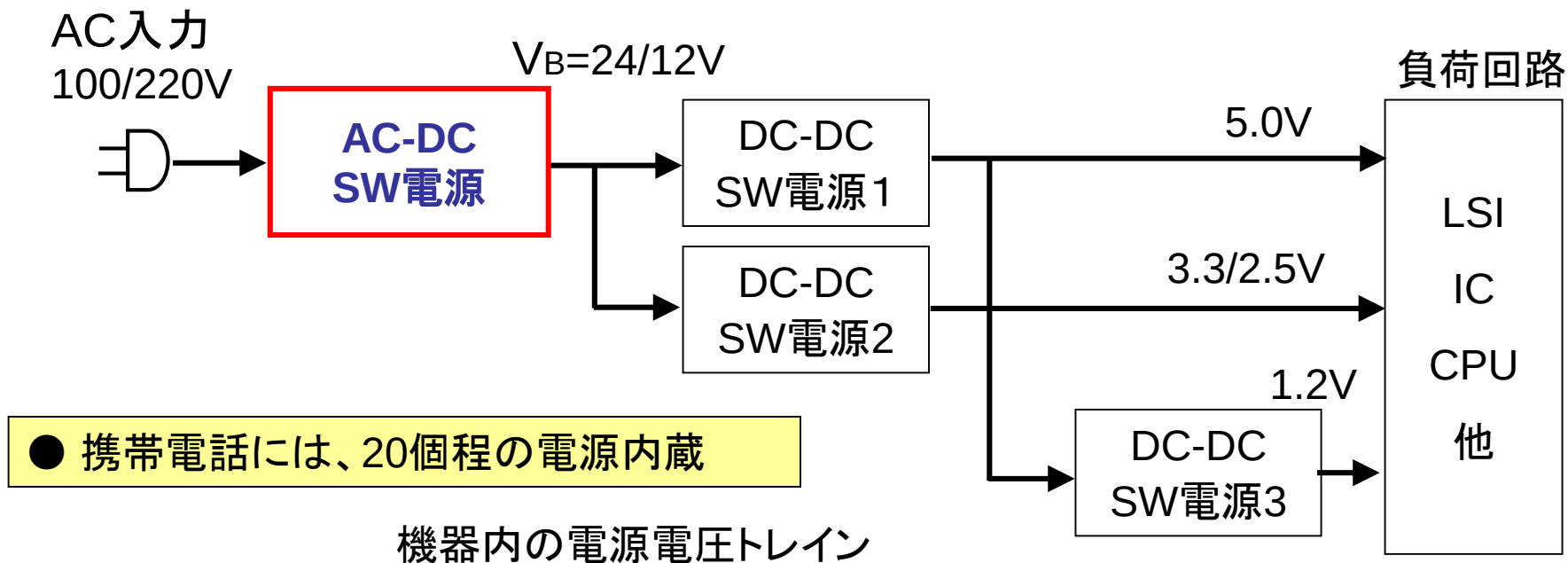
世界の商用電源電圧

(2) システム電圧構成

●商用電源の特長

- * ノイズ大 ……送電線は張り巡らされた アンテナ
- * 電圧サージ大 ……落雷による数千Vのサージ
- * 瞬断 ……電圧は頻繁に停電 (数ms~100ms)
- * 感電危険性 ……人向け機器では、絶縁対策

● 電源電圧の流れ



(A) AC入力部の構成

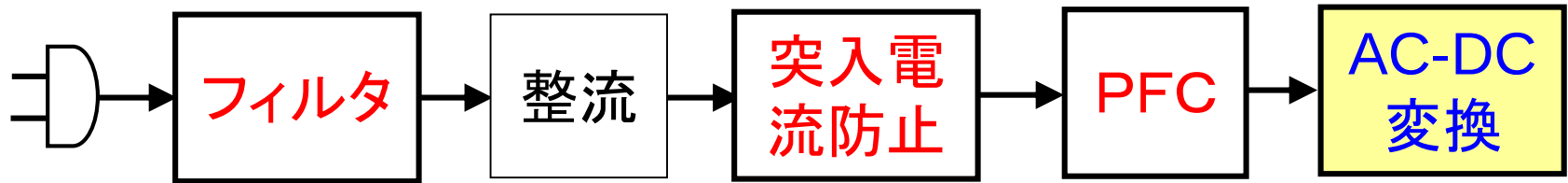
* 雷サージ対策＋ノイズ対策＋ダイオード・ブリッジ

フィルタ

整流

＋突入電流対策＋力率改善回路＋AC-DC変換

PFC



(B) フィルタの構成と特徴

● 雷サージ対策: 1000V以上の高電圧パルス入力 ⇒ 低電圧

【サージ・アブソーバ】

* リミッタ方式……バリスタ、ツェナーダイオード等

* 放電方式 ……マイクロ・ギャップ等

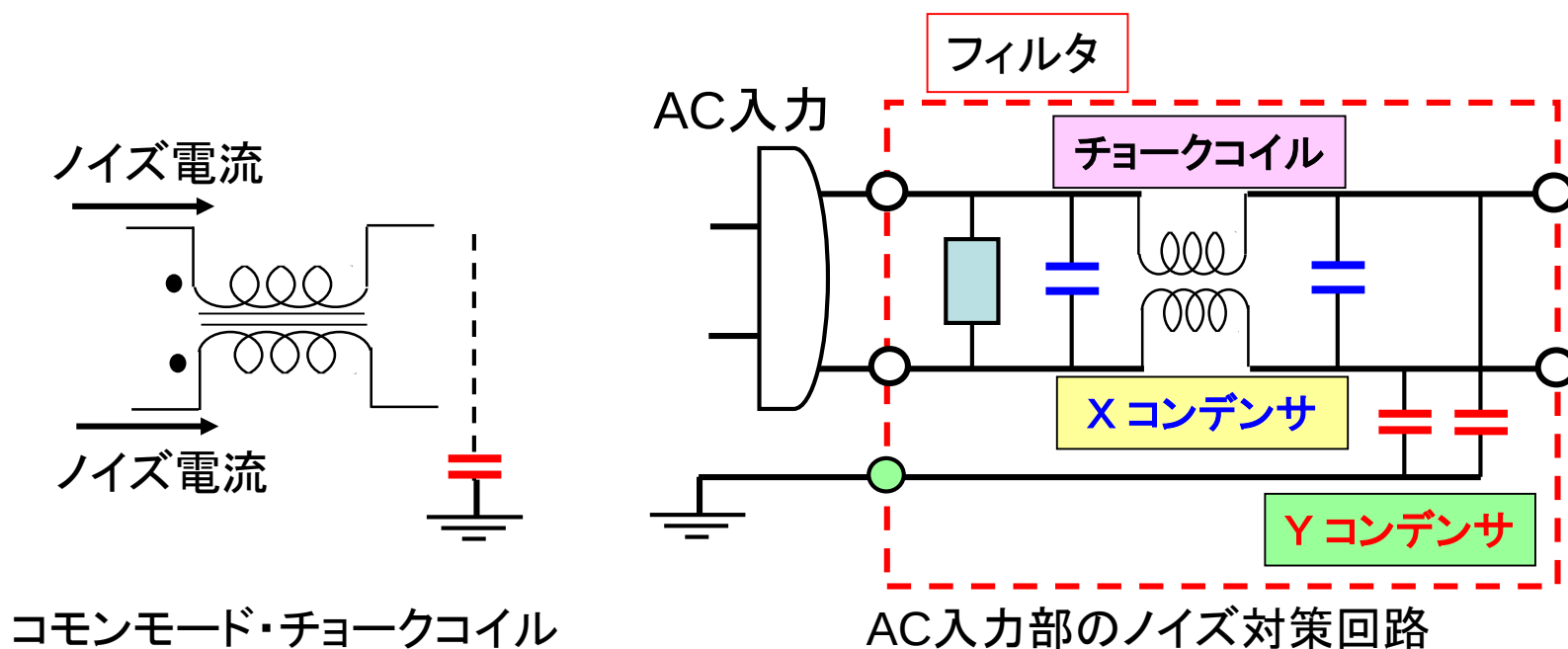
● ノイズ対策:

【ノイズの種類】

- * ノーマルモード・ノイズ : 信号線間のノイズ
- * コモンモード・ノイズ : 信号線と地球間とのノイズ

【ノイズ対策部品】

- * Xコンデンサ: 線間に挿入
- * Yコンデンサ: アース間、フレーム間に挿入: 容量値に**規制有り**
- * コモンモード・チョークコイル: 大地へ流れるノイズを阻止



(C) 突入電流制限回路(素子による対策)

● ダイオード・ブリッジ整流器

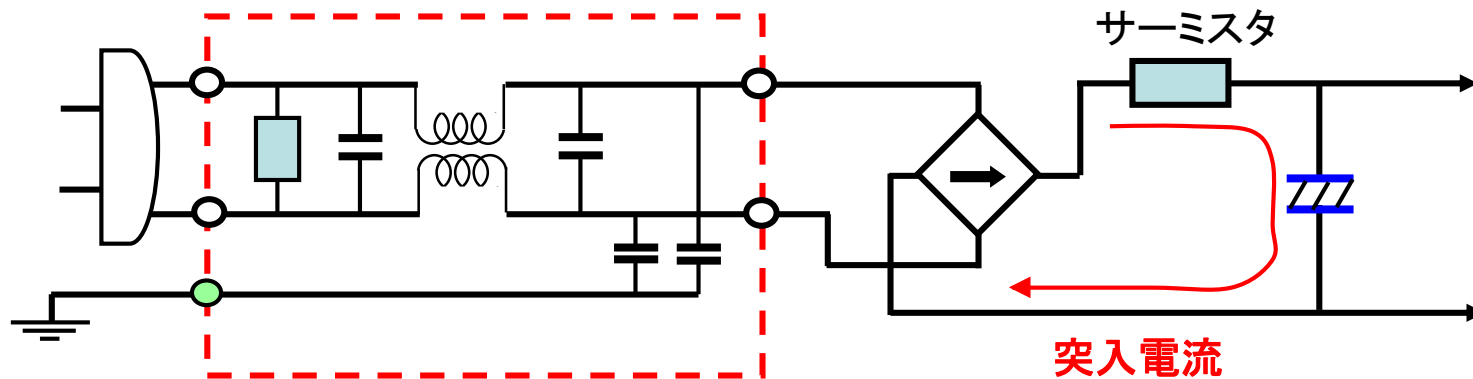
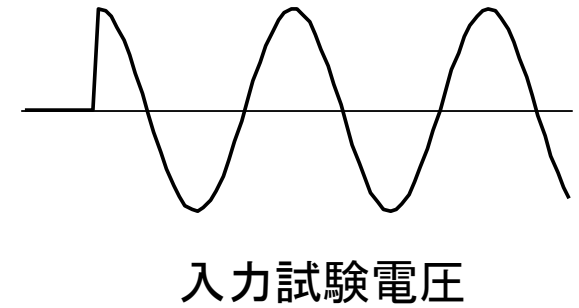
- * 整流電流: 大きなピーク電流
- * コンデンサ・インプット型回路

● 突入電流試験方法

- * コンデンサ電圧=0V時に、最大電圧(位相=90°)を印加
- * 定格電流の 数10～数100倍の電流

● 保護回路: ブリッジ出力と平滑コンデンサの間に挿入

- * サーミスタ方式: 低温時(始動時)高抵抗
電流により徐々に高温となり、抵抗値が低下
- * サイリスタ方式など



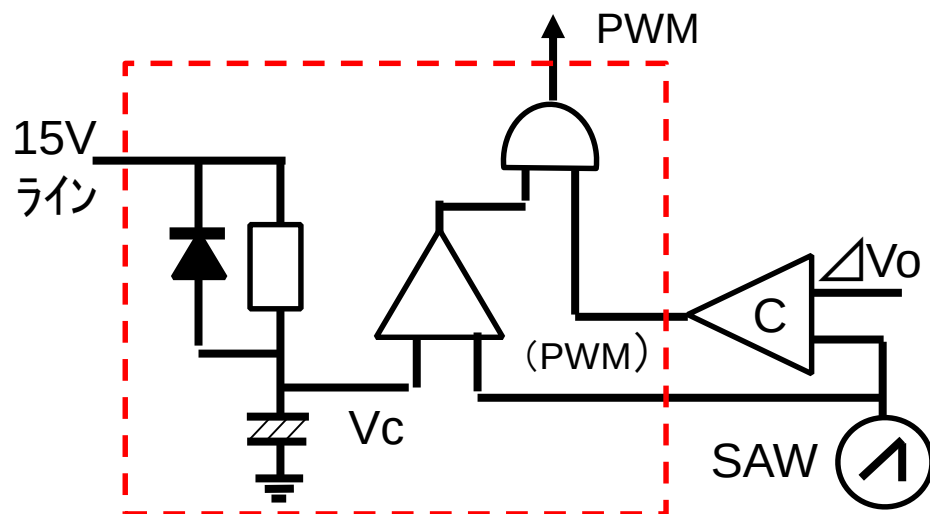
ダイオード・ブリッジ整流器とコンデンサ・インプット型電源

(D)突入電流制限方式(ソフトスタート回路)

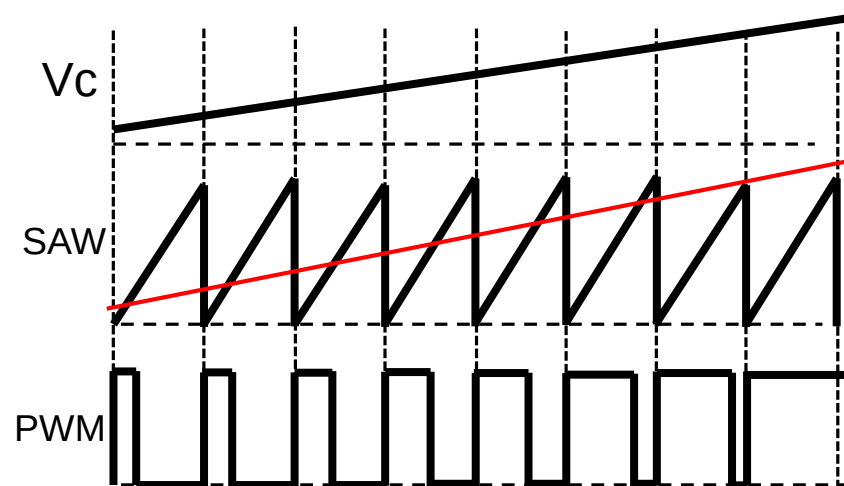
- * PWM信号のデューティDを、ANDゲートにより制限
- * 制御方式: 1) 出力 V_o 電圧を直接比較して、制御パルスのDを可変
2) 起動時に、時間経過で制御パルスのDを徐々に拡大
この場合、時定数により制御時間の調整可能

●回路構成例:

- * 方式(1): 出力電圧 V_o と鋸歯状波SAWを直接比較
- * 方式(2): コンデンサ電圧 V_c とSAWの比較方式(CR時定数、電流源方式)



ソフトスタート回路の一例(方式1)

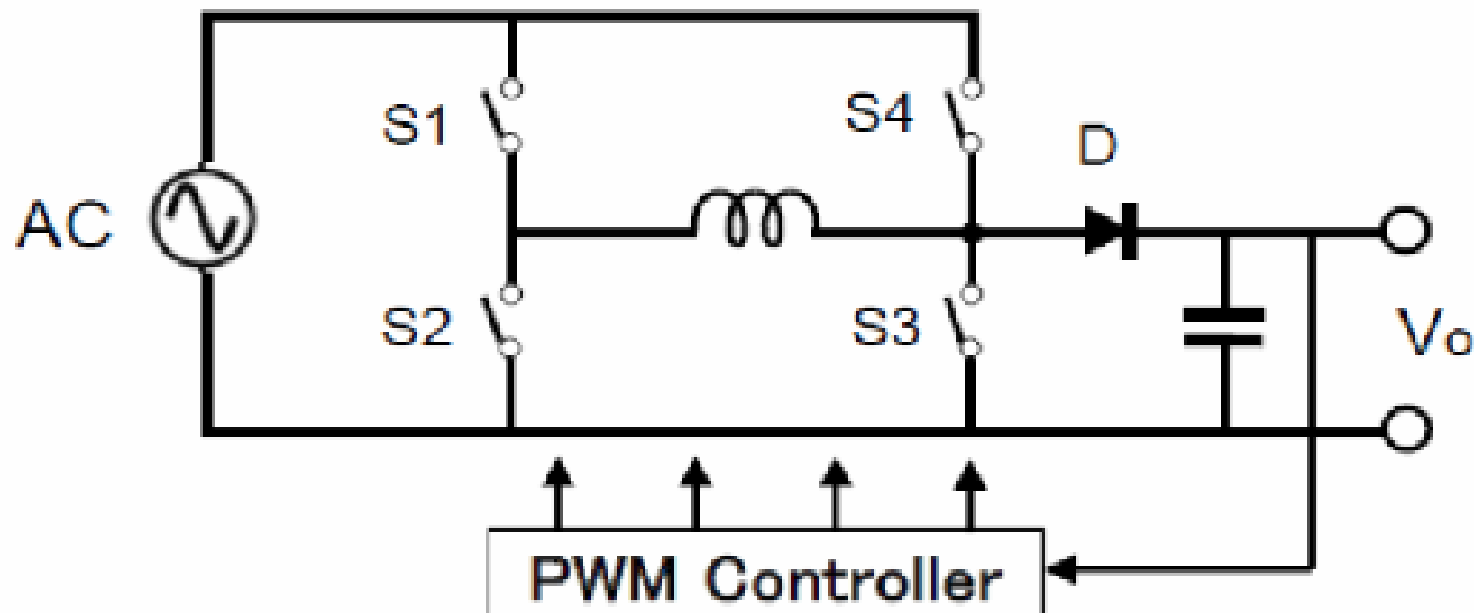


タイミングチャート

8-2 非絶縁型ダイレクトAC-DC電源

(A) 新方式AC-DCダイレクト電源(PFC回路無し)

- 構成: 4-SW によるアーム構成(サーボモータ駆動と類似)
- 制御: * 入力電圧極性に合わせてSWをコントロール
インダクタ電流と、ダイオード電流の方向を統一(正負電圧可能)
* 出力電圧に応じて、2つのSWをPWM制御



ダイレクトAC-DCコンバータの構成

●動作:

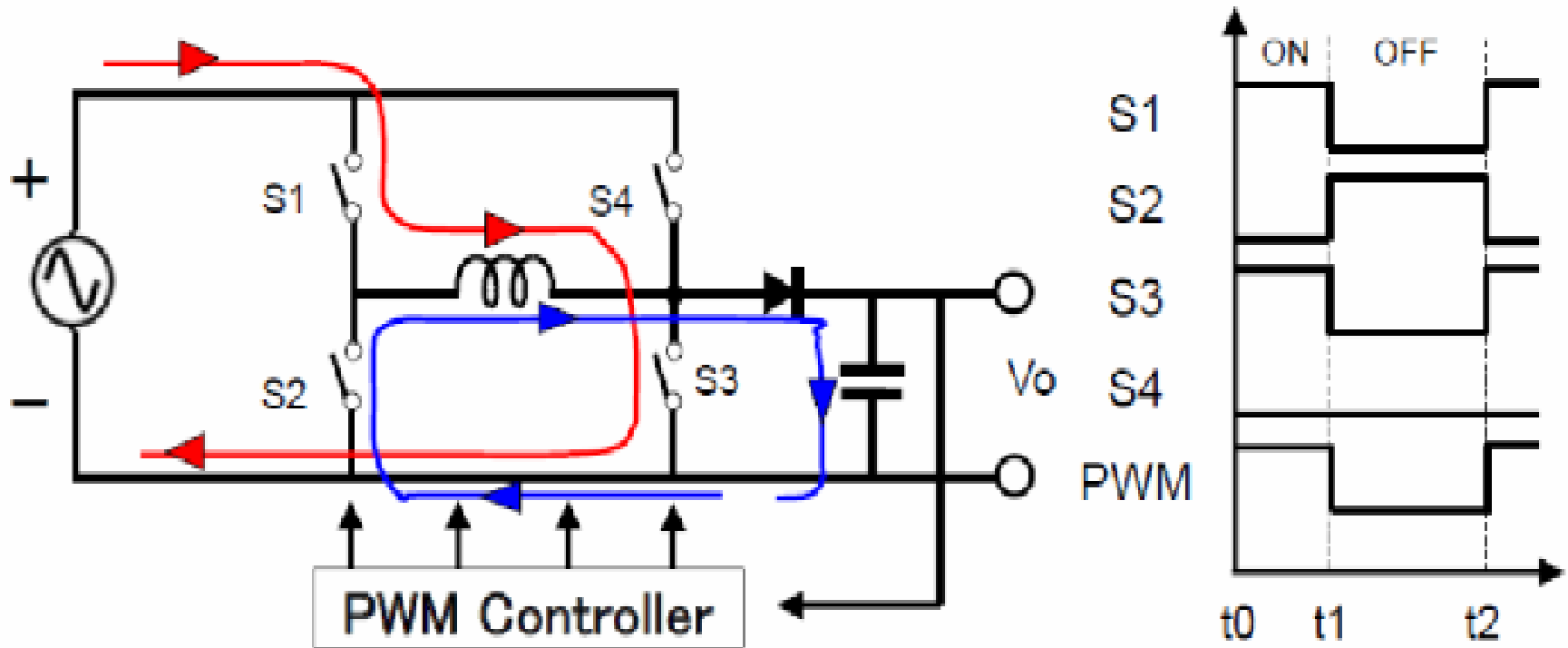
A) $V_i > 0$ のとき:

* PWM=H の時: $S1 \cdot S3 = \text{ON}$ 、 $S2 \cdot S4 = \text{OFF}$

⇒ 赤線のように、Lにエネルギーを充電

* PWM=L の時: $S2 = \text{ON}$ 、 $S1 \cdot S3 \cdot S4 = \text{OFF}$

⇒ 青線のように、Lより放電し、コンデンサに充電



インダクタの充放電電流 ($V_i > 0$)

スイッチ動作図

●動作:

B) $V_i < 0$ のとき:

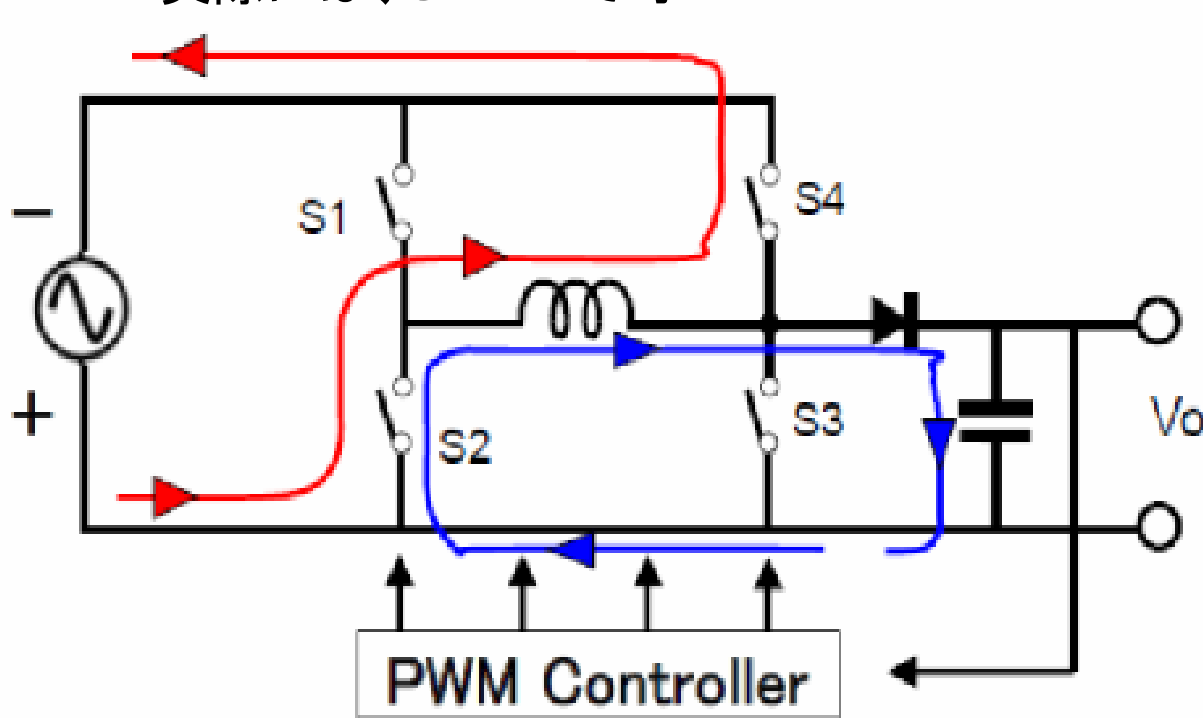
* PWM=H の時: $S2 \cdot S4 = \text{ON}$

⇒ 赤線のように、Lにエネルギー充電

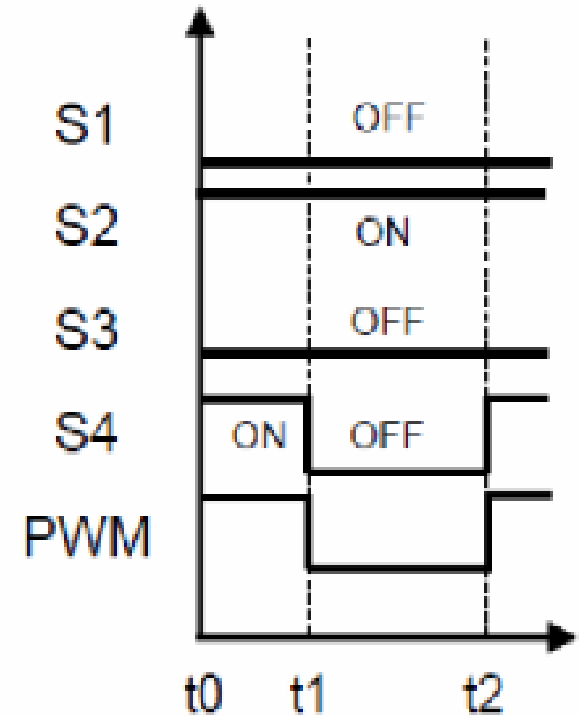
* PWM=L の時: $S2 = \text{ON}$ ($V_i > 0$ と同じ)

⇒ 青線のように、Lより放電し、コンデンサに充電

* 実際には、 $S2 = D_i$ で可



インダクタの充放電電流 ($V_i < 0$)



スイッチ動作図

●シミュレーション結果:

* 回路条件: $V_i=100\text{ Vrms}$ 、 $V_o=50\text{ V}$ 、 $I_o=0.5\text{ A}$
 $L=220\text{ }\mu\text{H}$ 、 $C=220\text{ }\mu\text{F}$ 、 $F_{ck}=200\text{ kHz}$

* シミュレーション結果:

- ・出力電圧リプル: $\Delta V_o=5\text{ mVpp}$ ($\Delta V_o/V_o=0.01\%$)
- ・過度応答: オーバーシュート= $\pm 15\text{ mVop}$

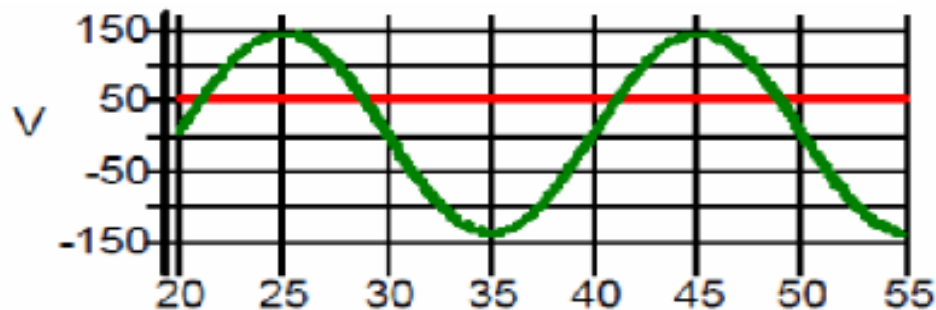


Fig.2-4 Waveform of Input & Output V

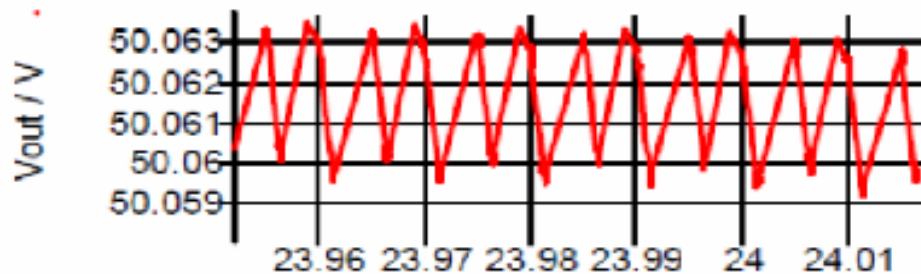
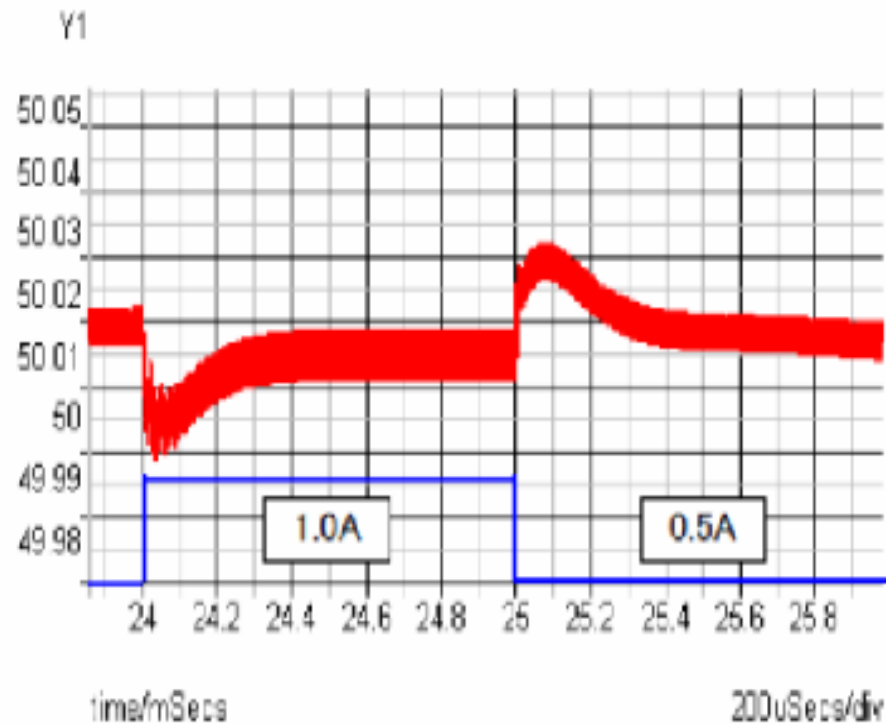


Fig. 2-5 Output Voltage Ripple



過渡応答特性

(1) 力率の概要

(A) 力率とは

* 力率の定義式: $\frac{\text{有効電力}}{\text{皮相電力}}$

(B) 力率改善の必要性

- * ピーク電流の比率 > 有効(実効)電流のピーク値
- * 電力設備の大型化、許容電流の数倍のピーク電流 ⇒ 機器破損

(C) 力率低下の要因

- * L負荷では、位相ずれ: 正弦波入力に対する、電流の位相ずれ
- * パルス性電流による整流: コンデンサ・インプット型電源、力率≒0.4
- * 力率1.0 の電流とは、抵抗負荷時の電流

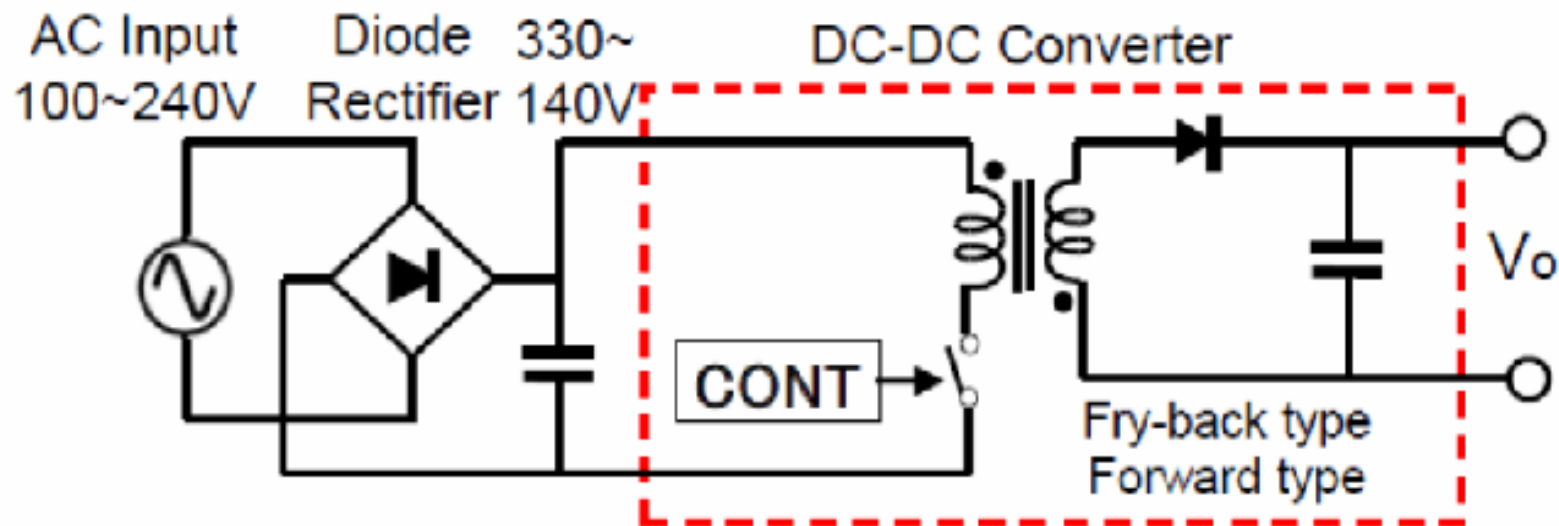
(D) 力率の仕様値:

- * PFC回路により、力率 > 0.98 に改善 (通常 0.9 以上)

(E) 従来回路例 (PFC無し)

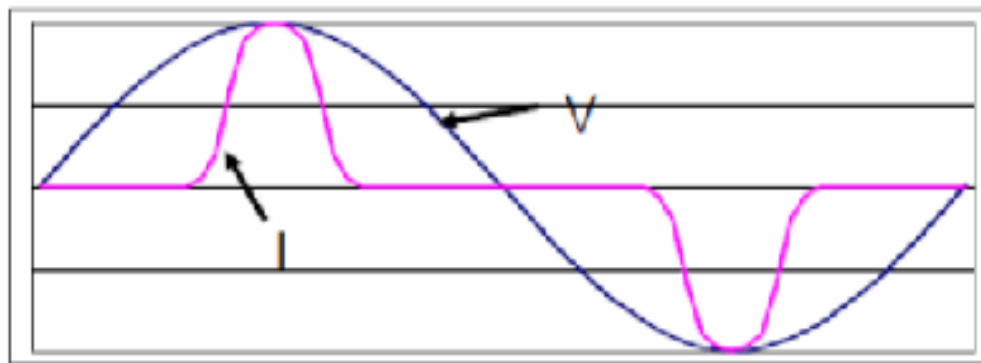
* コンデンサ・インプット型

コンデンサへの充電電流がパルス状 $\Rightarrow$ 低力率



従来のAC-DCコンバータ(絶縁型)

- 入力電圧のピーク付近でコンデンサに充電電流がパルス状に流れる



入力電圧・電流波形

(2) PFC電源(昇圧形回路構成)

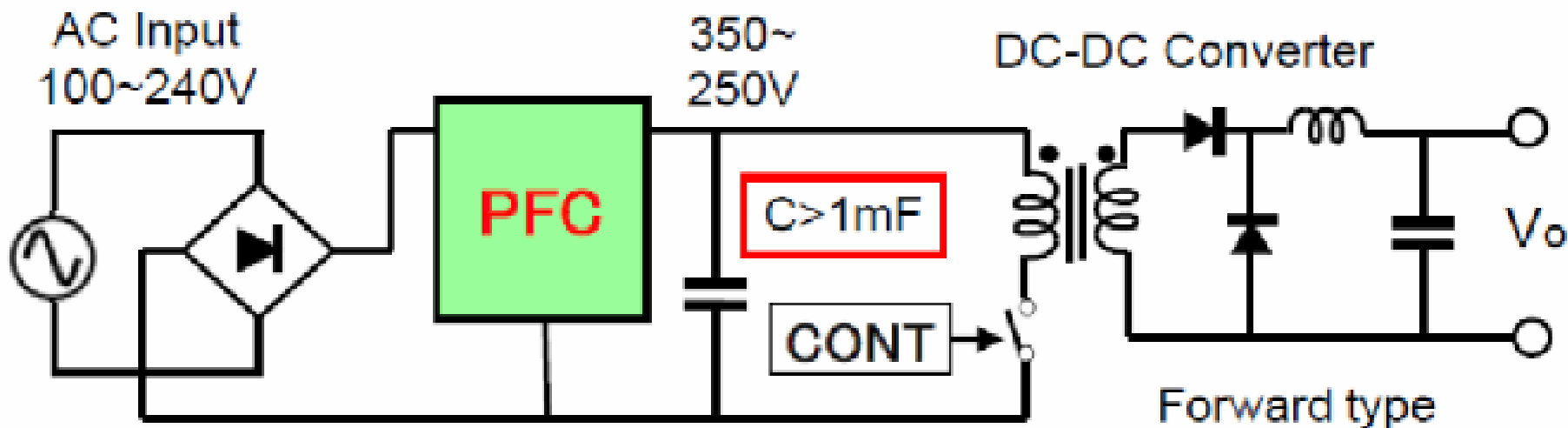
(A) 従来のPFC回路例

* ダイオード・ブリッジ整流 + PFC回路 + DC-DCコンバータ

* PFC電圧: **グローバル化**を考慮して設定

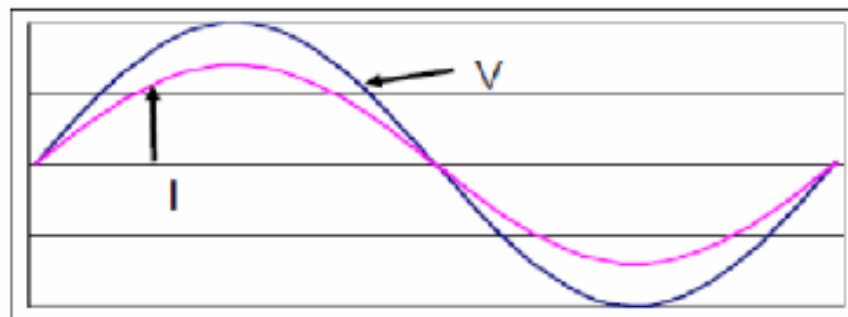
AC入力: 240 Vrms $\Rightarrow$ 340 Vop より、 **$V_{PFC} > 350\text{ V}$** に設定

* 特徴: ・負荷変動により、電圧変化 ・低電圧出力時、効率低下



一般的なPFC電源の構成(絶縁型)

入力電圧・電流波形 $\Rightarrow$



(B)一般的なOFC電源

BCM: Boundary Conduction Mode
CCM: Continuous Conduction Mode

(1) BCM-PFC回路

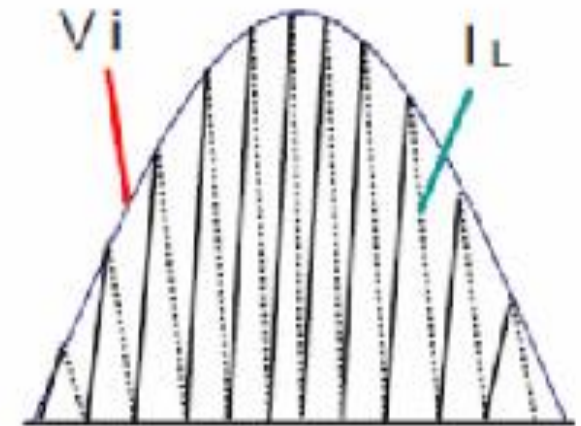
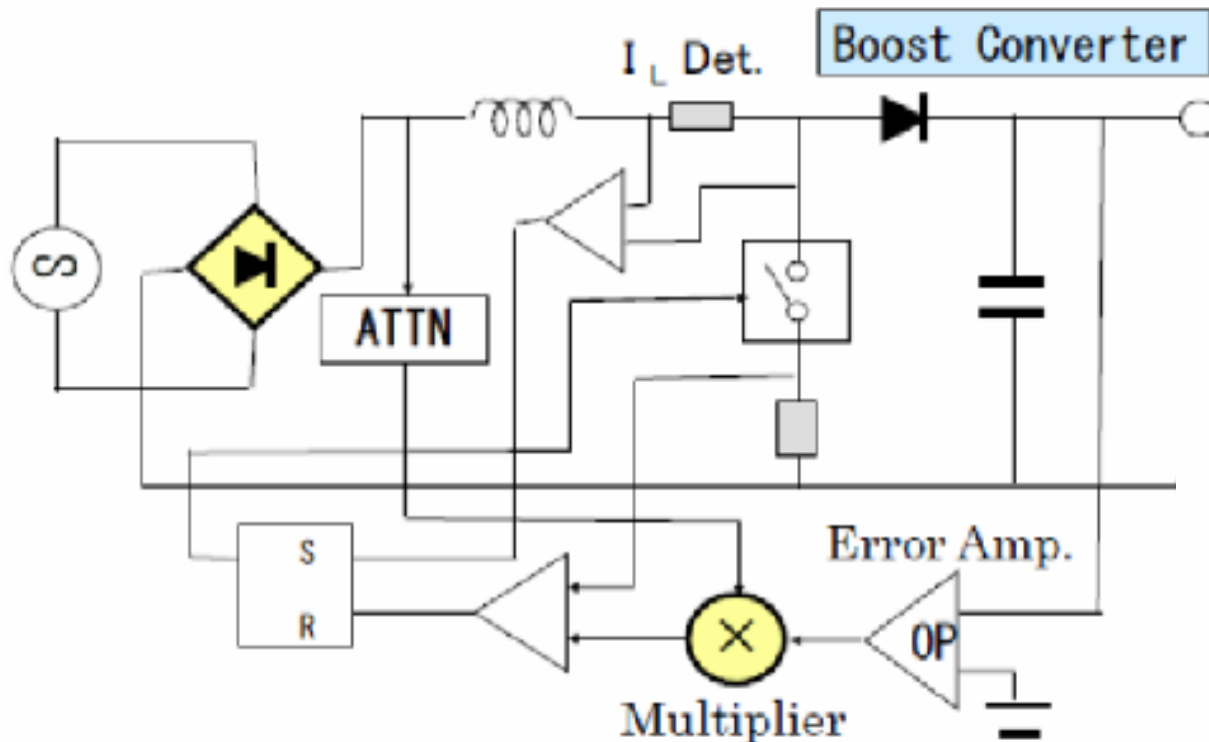
* 基本電流波形

三角波状電流のピーク包絡線＝正弦波：入力電圧に相似、LPF必要

* 特徴： 回路構成は簡単、小電力向き

* 基本構成：昇圧形電源＋絶縁型AC/DC降圧電源（CCMも同様）

・追加回路: 1・オペアンプ + 掛算器 + 2比較器



PFC電源の構成(BCM構成)

入力電圧・電流波形

(2) CCM-PFC回路

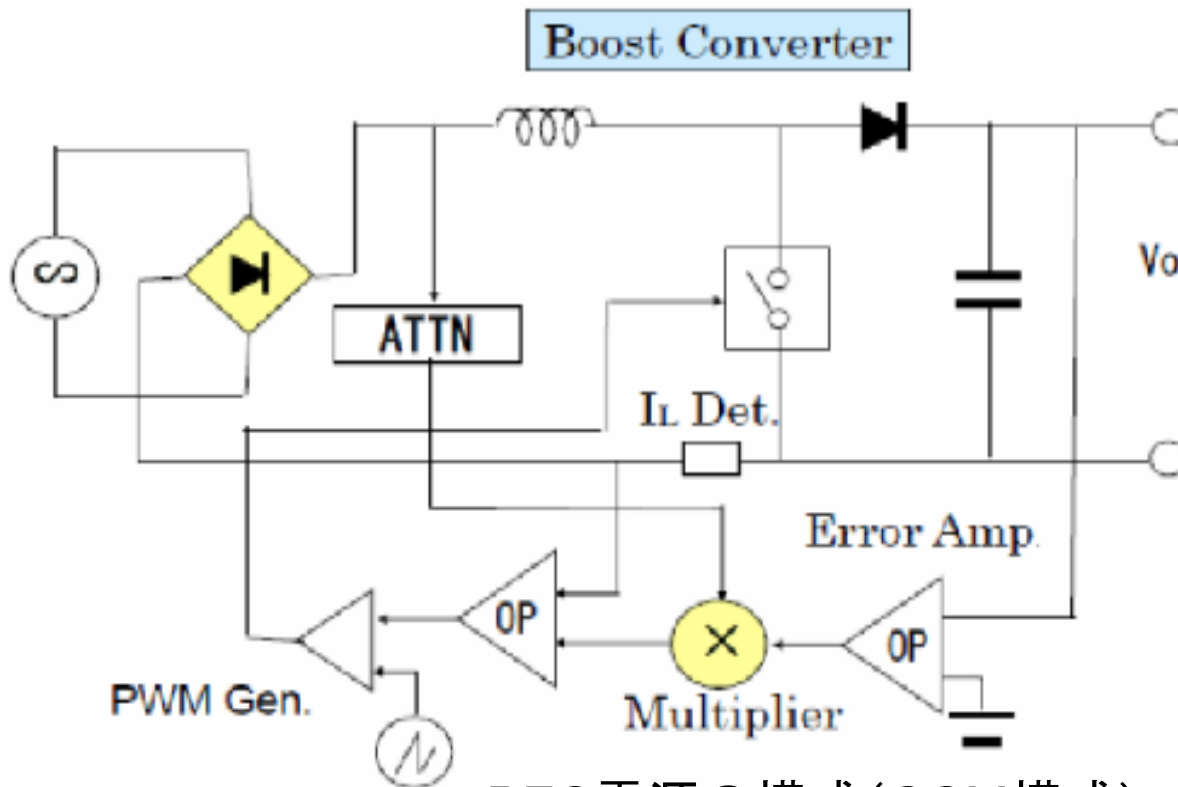
* 基本電流波形

コイル電流波形≒正弦波:LPF不要

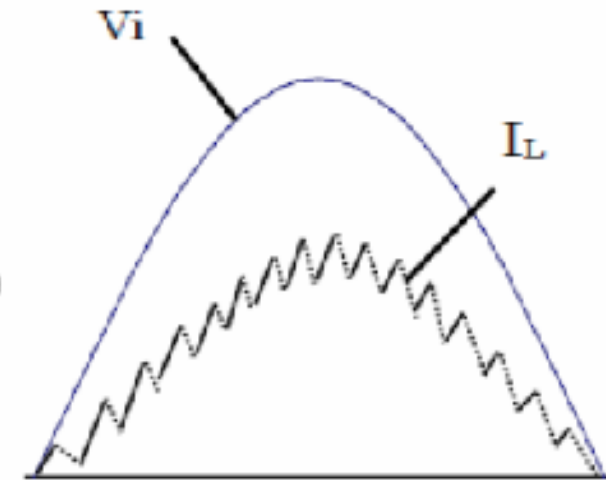
* 特徴:回路構成複雑、大電力向き

* 基本構成:基本昇圧部はDCMと同様

追加回路:2・オペアンプ+掛算器+比較器



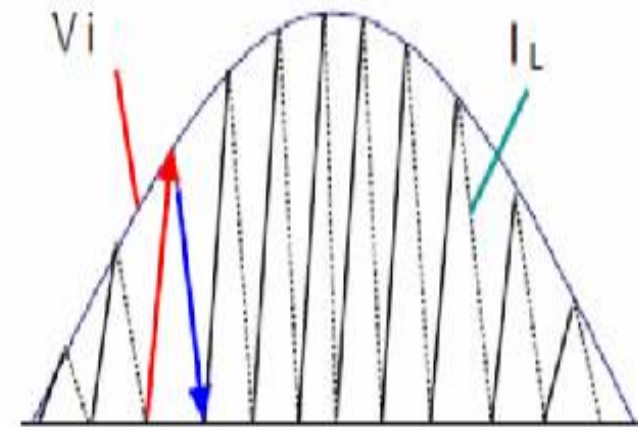
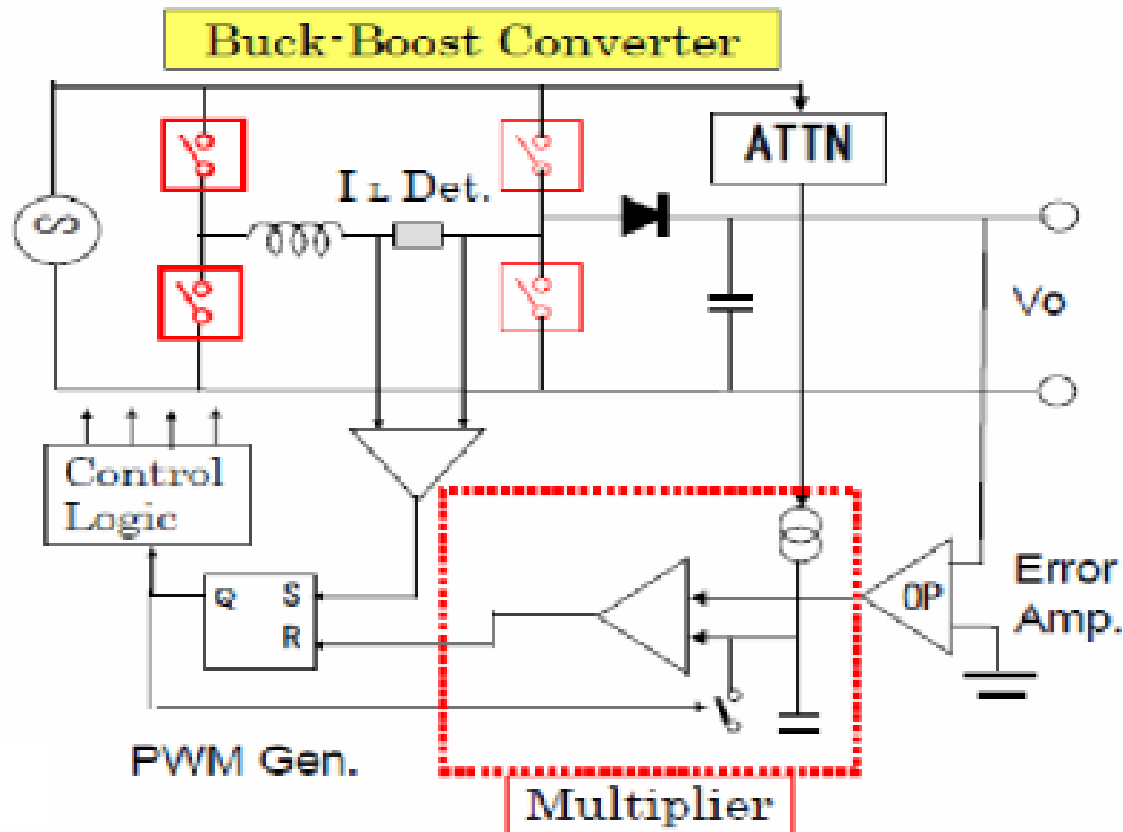
PFC電源の構成(CCM構成)



入力電圧・電流波形

(3)新ダイレクト方式 簡易PFC回路(BCM方式)

- * 構成: Hブリッジ+ダイオード+簡易掛算回路 $\Rightarrow$ 複雑な掛算器 不要
- * 動作: 基本動作は従来と同様
 - ・新掛算器: 電流源+コンデンサ積分とコンパレータによる近似掛算
 - ・RS-FFによるPWM制御

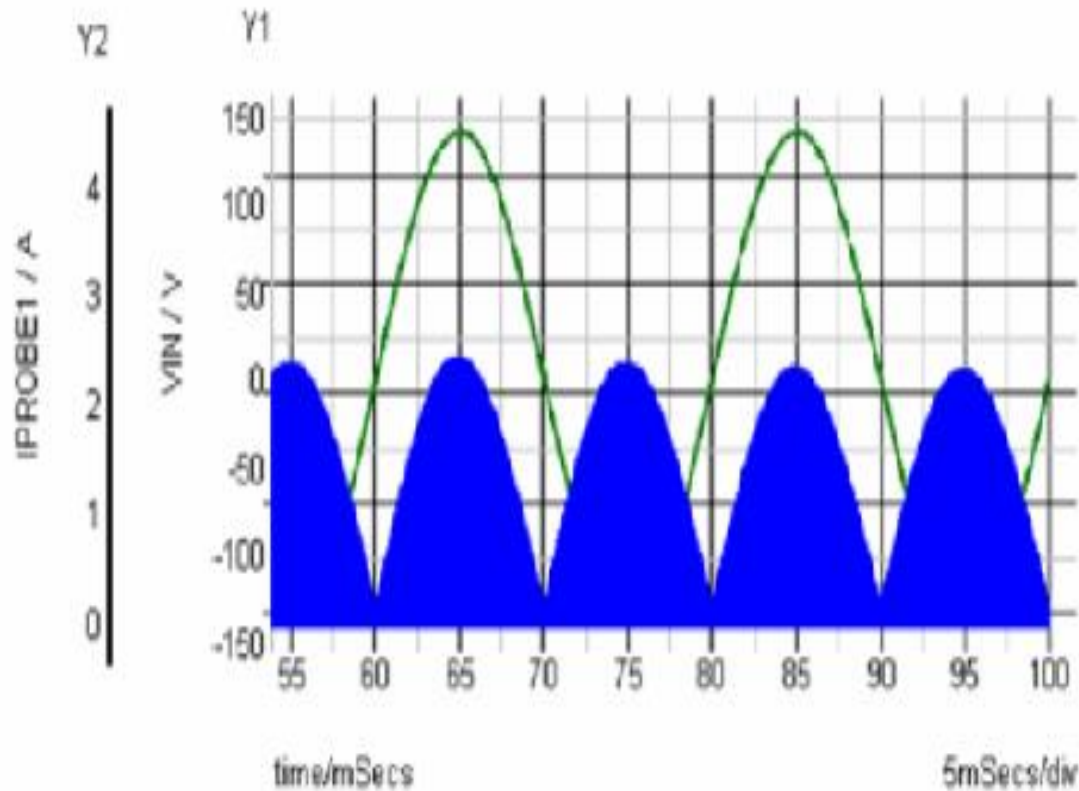


入力電圧・電流波形

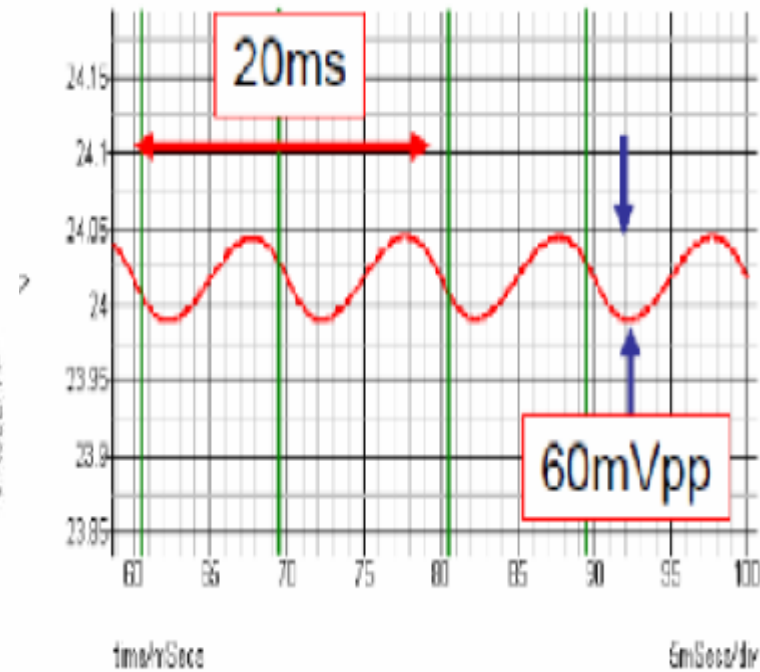
新ダイレクト方式簡易PFC回路(BCM)

* シミュレーション結果

- ・三角波状電流のピーク包絡線＝正弦波：入力電圧波形に相似
- ・出力電圧リプル： $\Delta V_o = 25 \text{ mVpp}$ @ $I_o = 0.24 \text{ A}$ 、
 $\Delta V_o = 60 \text{ mVpp}$ @ $I_o = 1.0 \text{ A}$
- ・回路条件： $V_i = 100 \text{ Vrms}$, 50 Hz , $V_o = 24 \text{ V}$, $I_o = 0.24 / 1.0 \text{ A}$



入力電圧・電流波形



出力電圧リプル

(4)新方式 ダイレクト簡易PFC回路(CCM方式)

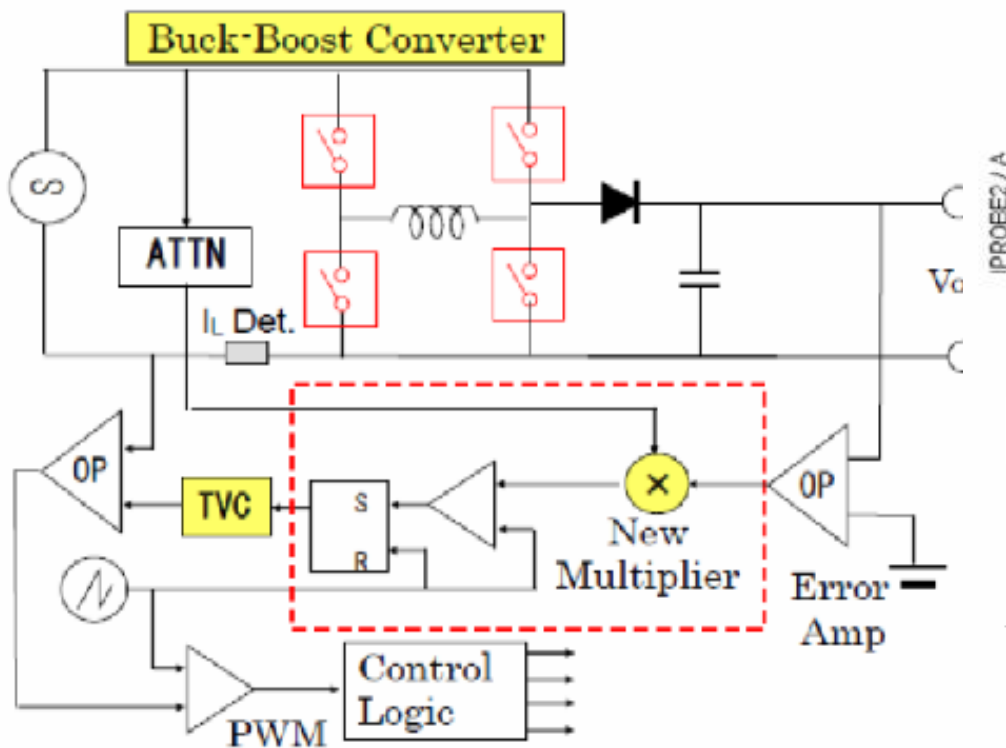
* Hブリッジ+ダイオード+簡易掛算回路2 ⇒ 複雑な掛算器 不要

TVC:時間－電圧変換器 (Time-to-Voltage Converter)

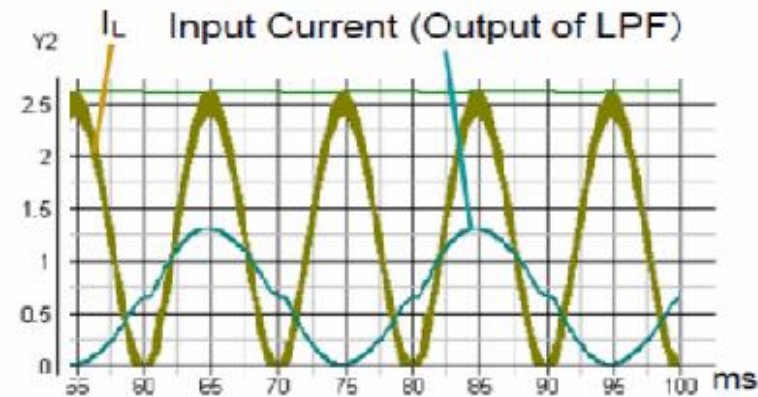
* シミュレーション結果:電流はほぼ正弦波

・出力電圧リップル: $\Delta V_o = 60 \text{ mVpp}$ @ $I_o = 1.0 \text{ A}$

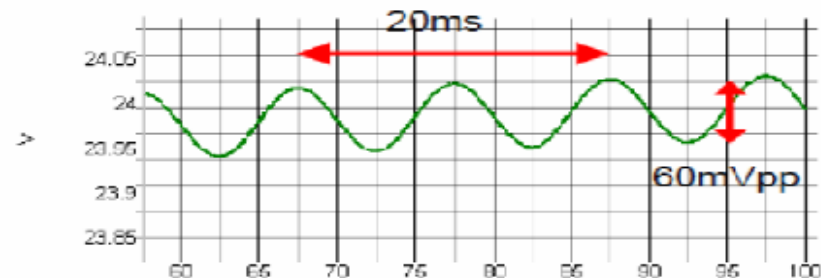
* 回路条件: $V_i = 100 \text{ Vrms}$, 50 Hz , $V_o = 24 \text{ V}$, $I_o = 1.0 \text{ A}$



新ダイレクト方式簡易PFC回路(CCM)



入力電圧・電流波形



出力電圧リップル

8-4 ダイレクトLED駆動電源

LED: Light Emitting Diode

(1) 発光ダイオードLEDの概要

(A) パワーLEDの特徴

- * 電力: 1.0W : $P \doteq 700\text{mA} \cdot 1.5\text{V} = 1.05\text{ W}$ 、 0.5W (350mA)
- * ダイオード特性: 電圧に対する電流の感度は高い(輝度ばらつき注意)
- * フリッカ対策: 照明用ではフリッカに注意(ある程度はOK)
- * ケミコン使用NG: 照明用では温度上昇 $\Rightarrow$ ケミコンの劣化大きい

(B) 各種LED駆動方式: 主に直列の多数駆動 (ex. 野菜工場)

1) DC駆動: フリッカ無し(主に車載用)

- ① 固定抵抗挿入方式: 簡単構成だが効率悪い
- ② 定電流制御方式: 電流センスによる負帰還電源、効率良い
LC使用によるSW制御(低容量のコンデンサ使用)

2) ACダイレクト駆動: フリッカ対策が必要

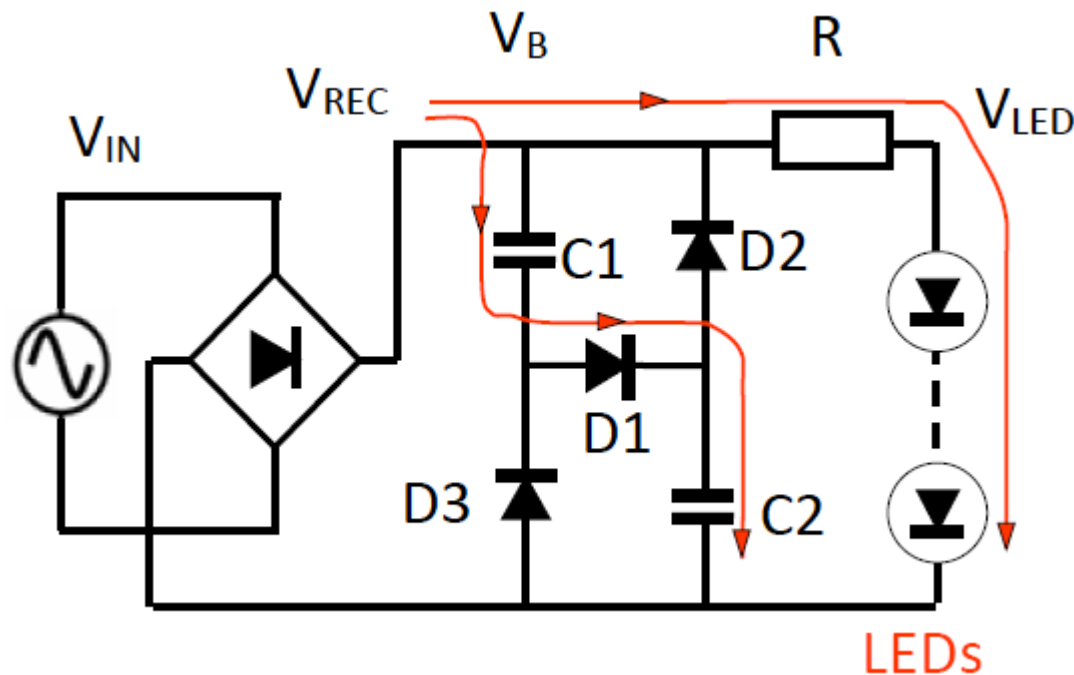
- ③ ダイオード整流方式(制御無し) $\Rightarrow$ ゼロボルト入力時にフリッカ発生
対策1: 谷電圧 (Voltage Valley) 補正方式 [p.21]
対策2: 負帰還制御電源 方式 [p.23]
対策3: 新方式リップル補正方式 [p.24]

(2) ACダイレクト駆動方式の実際

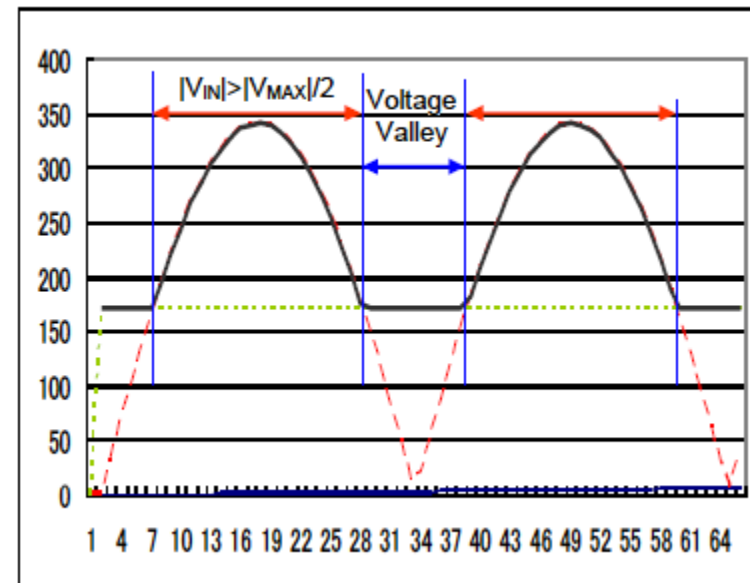
(対策1) 谷電圧 補正方式

* 低電圧部の補正方法: ピーク輝度／最低輝度 $\div 2$

・ $V_i > V_p / 2$: ピーク電圧を、2個のコンデンサに直列充電



ACダイレクト駆動: 谷電圧補正回路(充電)



電圧特性(谷電圧補正)

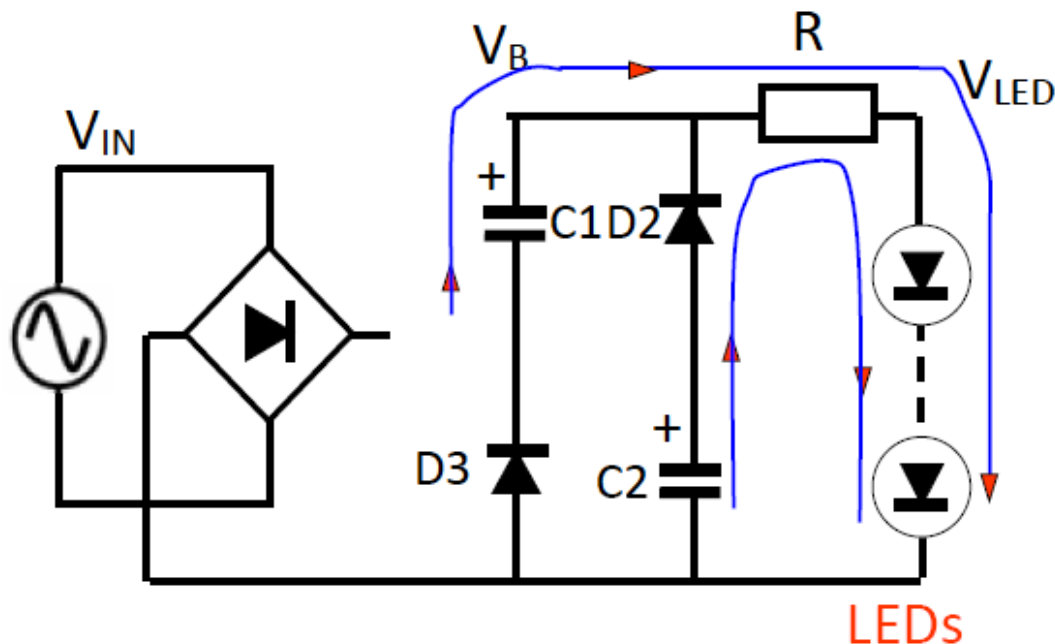
(対策1)谷電圧 補正方式

- ・ $V_i < V_p / 2$: 並列コンデンサでLED駆動

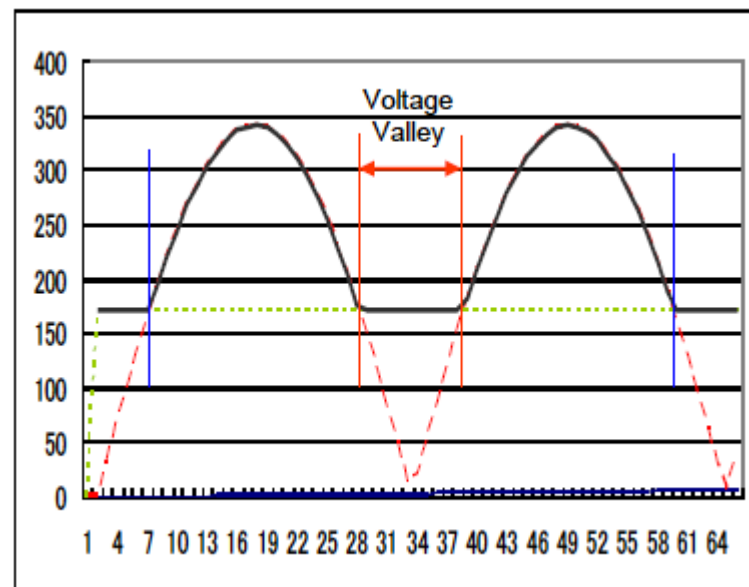
$$V_c = V_p / 2$$

- ・ 小容量コンデンサでは、電圧サグが発生 $\Rightarrow$ 最低輝度は低下

* 注意: 入力電圧変化で、LED輝度が変化



ACダイレクト駆動: 谷電圧補正回路(放電)



電圧特性(谷電圧補正)

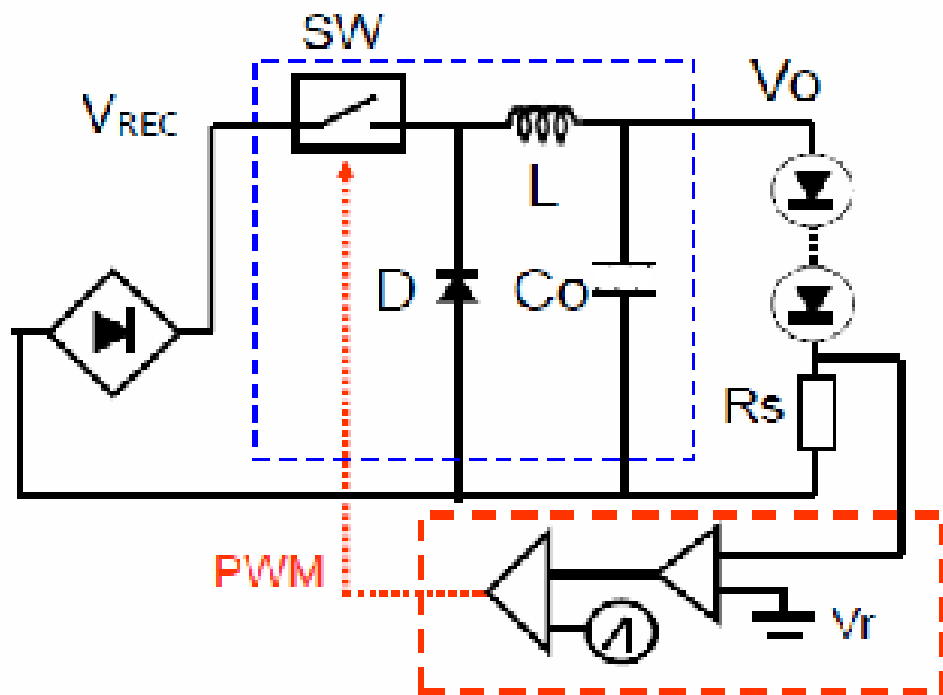
(対策2)負帰還制御電源方式:

① スイッチング電源方式:降圧型スイッチング電源構成

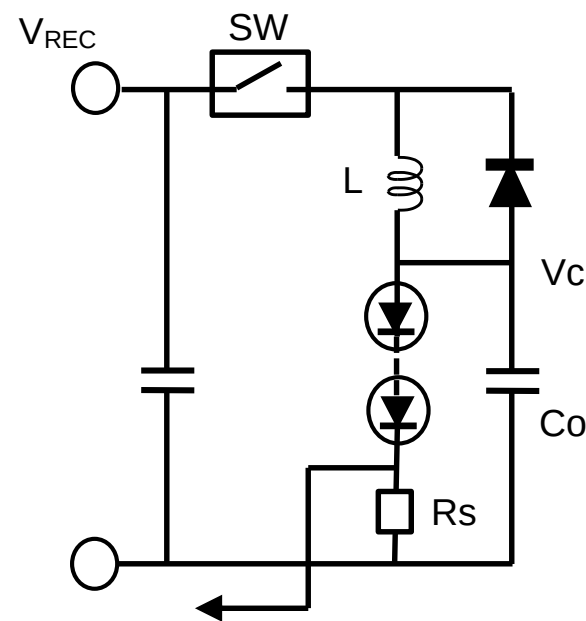
野菜工場向け。蛍光灯等照明にも可能(感電の可能性有り)

②コイル電流補償方式:SWのOFF時は、コンデンサ C_0 保持電圧で駆動

*いずれも SW、 D_i 、 L 、 C と電流センス抵抗が必要



降圧形スイッチング電源方式



コイル電流補償型電源

(対策3)新方式リプル補正方式:

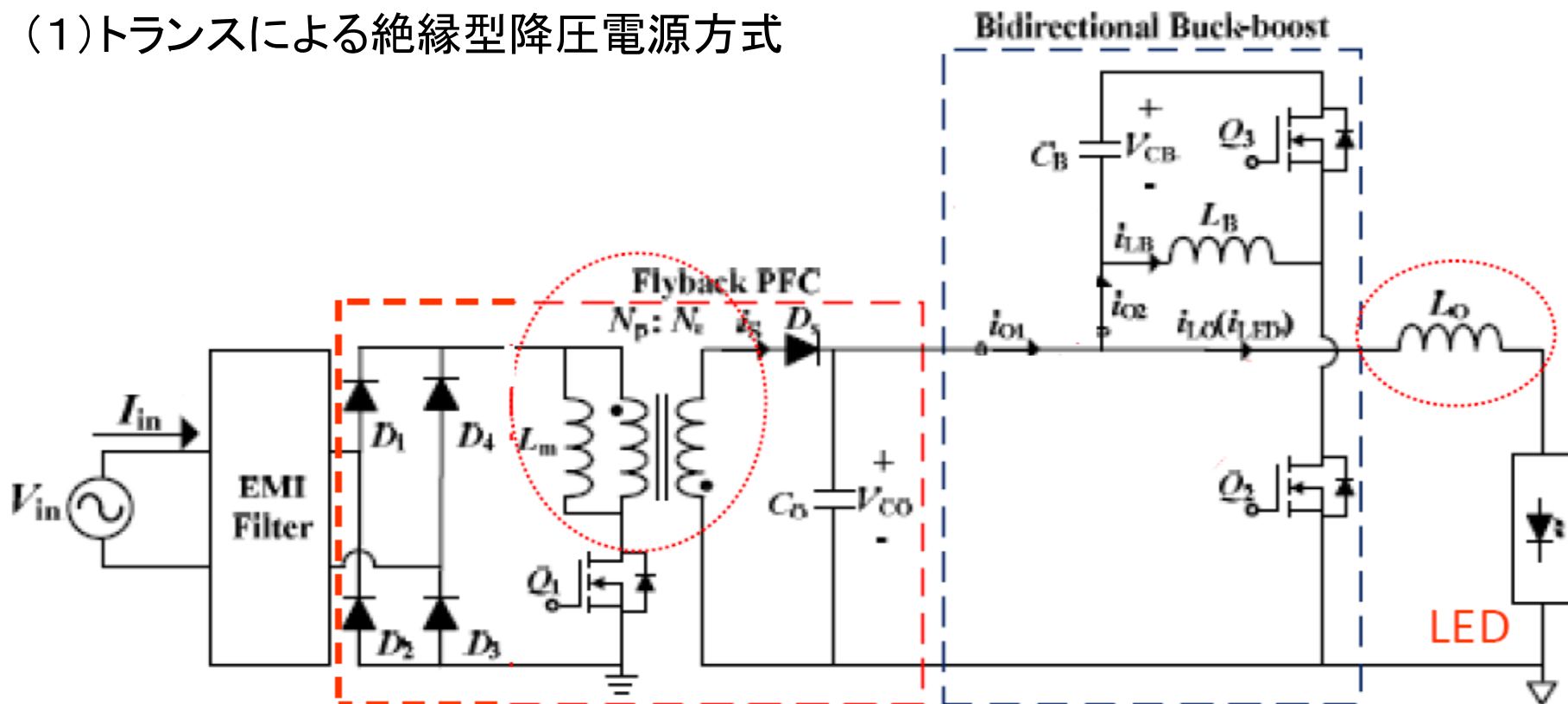
構成: 昇降圧制御サブ電源 C_B による、電流リプル補正構造

原理: 入力電流が多いとき、サブ電源 C_B を充電

入力電流が不足のとき、サブ電源よりメイン電源 C_O を補充

素子条件: $L_B=2.0\text{mH}$, $L_O=2.2\text{mH}$, $C_B=6.8\mu\text{F}$, $C_O=3.7\mu\text{F}$

(1)トランスによる絶縁型降圧電源方式

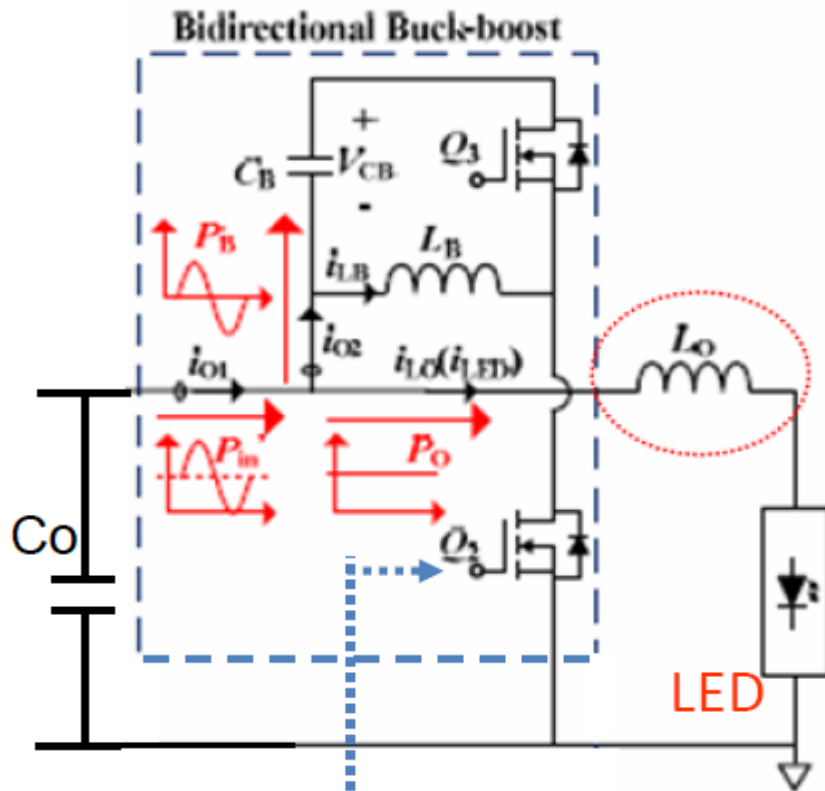


新方式電流リプル補正方式LED駆動電源

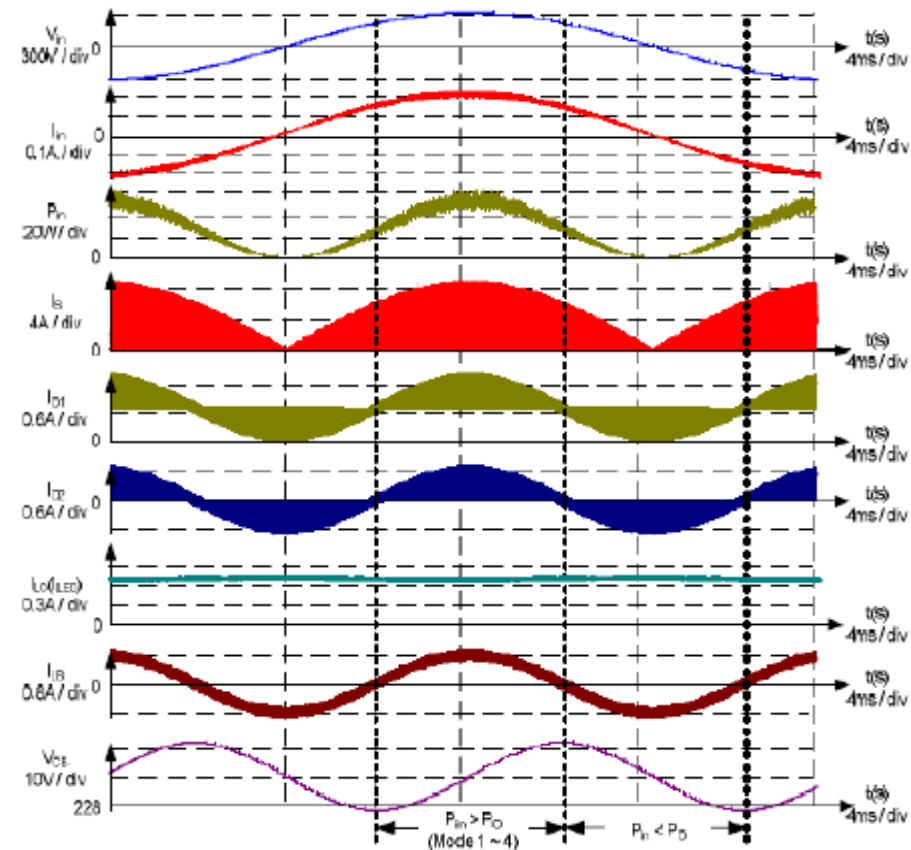
動作: 入力電圧波形に応じて、トランスより電流供給(正弦波状)

供給電流と負荷電流正の関係により、サブ電源 C_B に充放電制御

- ・ $I_{IN} > I_{LED}$: $Q2=ON$ で、コイル L_B に充電、 $Q1=ON$ で C_O に充電(昇圧動作)
- ・ $I_{IN} < I_{LED}$: $Q1=ON$ で、 L_B を介し C_O に充電、 $Q2=ON$ で降圧形動作



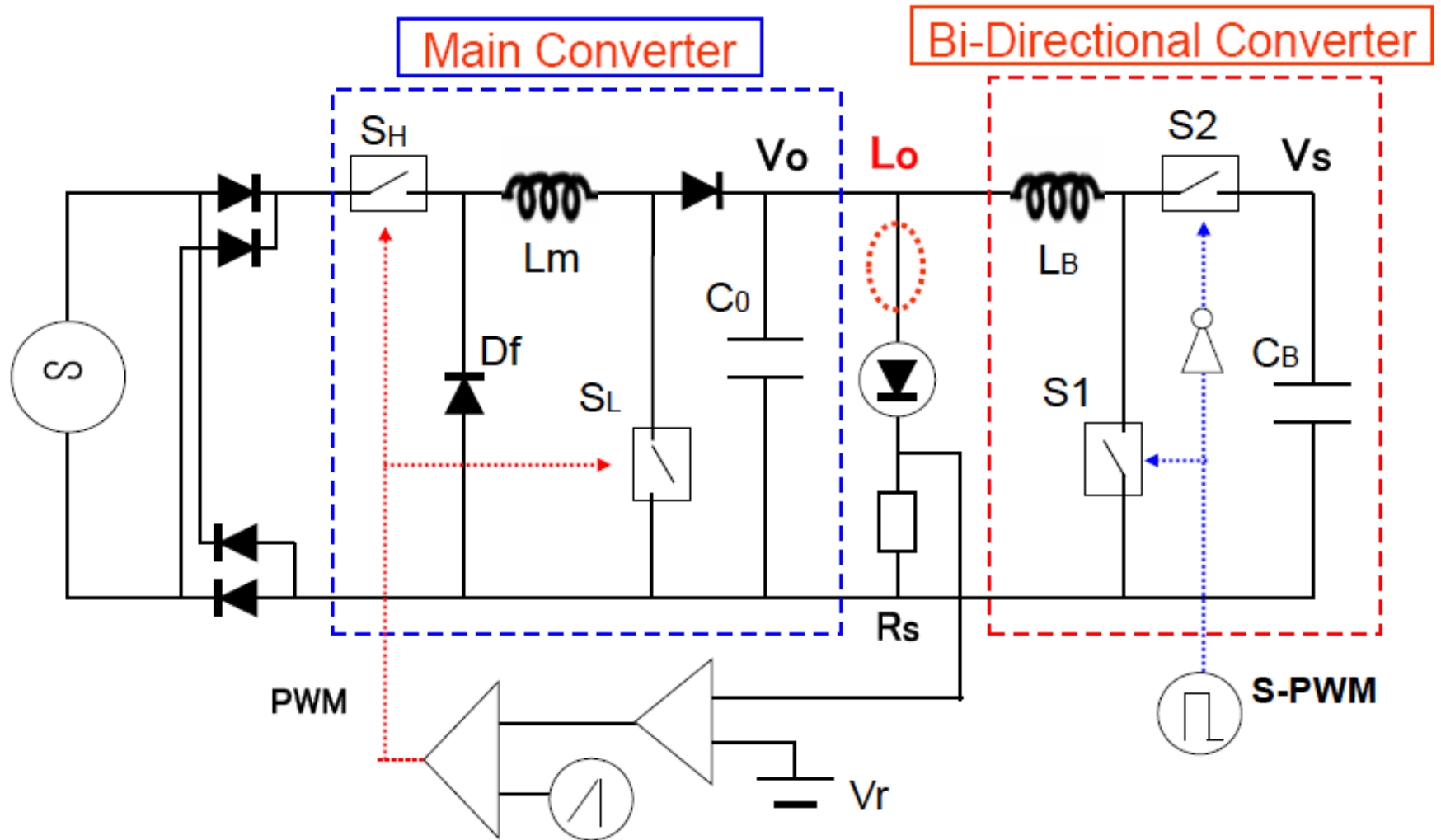
電流リップル補正方式の動作



主要波形図

(2) ダイレクト電流リプル補正方式

特徴: トランス $\Rightarrow$ コイル L_m に変更、コイル L_o の削減



新方式ダイレクト電流リプル補正方式

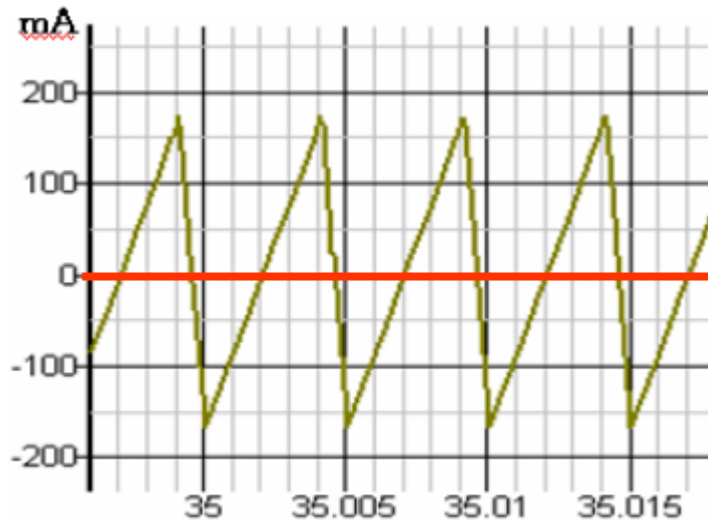
●シミュレーション結果:

* 条件: $L_m=50\mu\text{H}$, $L_s=50\mu\text{H}$,
 $C_m=5\mu\text{F}$, $C_s=5\mu\text{F}$,
 $F_{ck}=200\text{ kHz}$

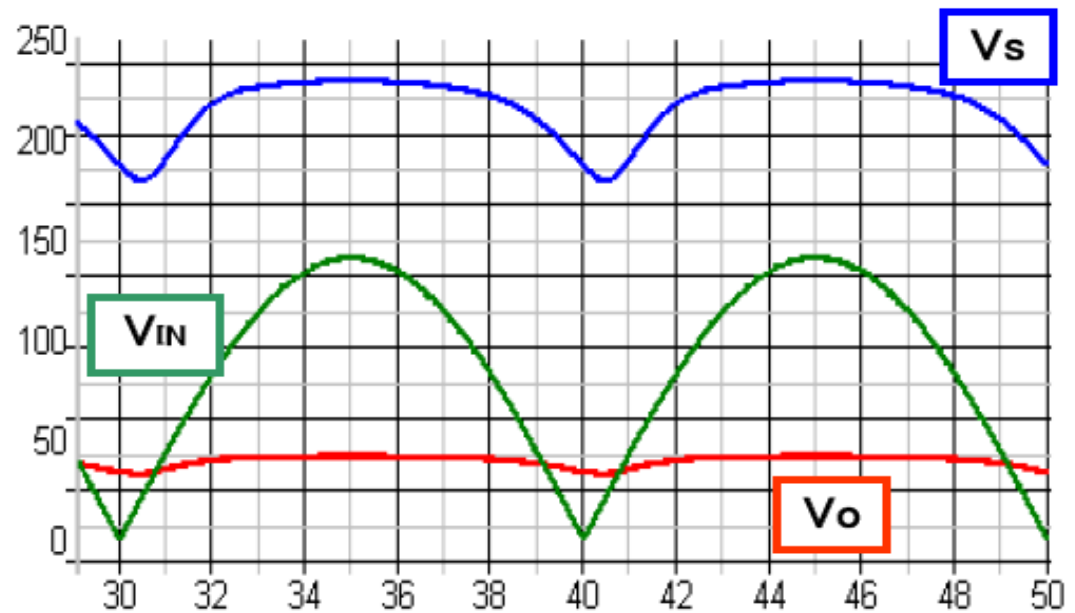
* 結果:

- ・ $I_{LED}=400\sim120\text{ mA}$
- ・ $V_o = 77\sim70\text{ V}$

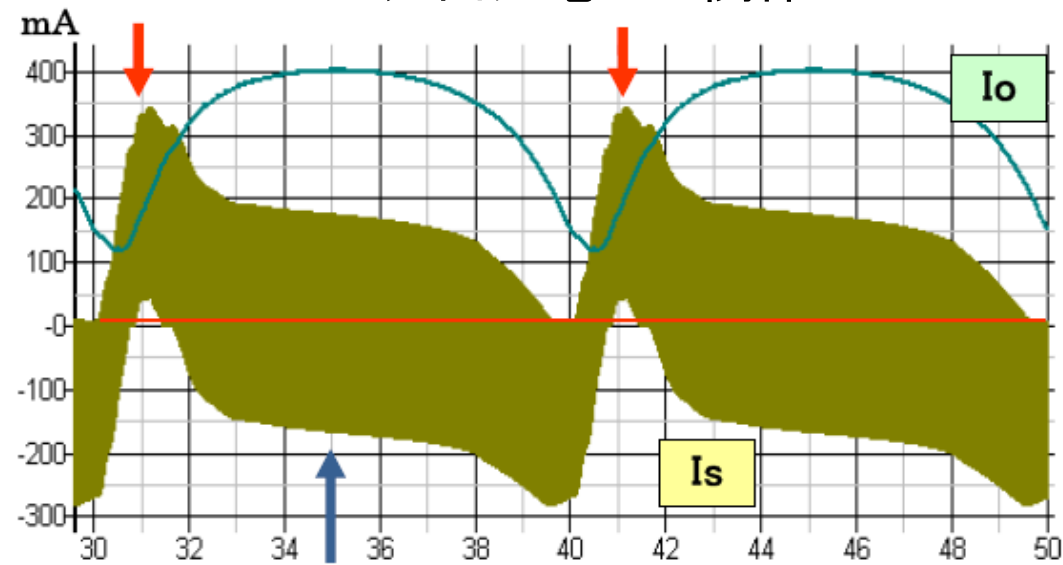
★コイル L_B 電流 = 正負電流



コイル L_B の電流



入出力電圧の関係



出力電流の関係