

## 3相 AC-DC 変換回路と PFC 回路の高性能化の検討

小野澤昌徳 小堀康功 村上和貴 ケイ林 高虹 小林春夫 高井伸和 (群馬大学)

小田口貴広 山口哲二 上田公大 (AKM テクノロジー)

松田順一 (旭化成パワーデバイス)

### AC-DC Converter with Power Factor Correction Circuit

Masanori Onozawa, Yasunori Kobori, Kazuki Murakami, Lin Xing, Hong Gao,

Haruo Kobayashi, Nobukazu Takai (Gunma University),

Takahiro Odaguchi, Tetsuji Yamaguchi, Kimio Ueda (AKM Technology Corporation)

Jun-ichi Matsuda (Asahi Kasei Power Devices Corporation)

キーワード : AC-DC 変換回路, 3相電源, 降圧型変換器, PFC 回路

(Keywords, AC-DC Converter, Three phase ac-dc converter, Buck Converter, Power Factor Correction)

### 1. はじめに

小型機器から産業用機械までに至るまで AC-DC 電源回路は必要不可欠なものになっている。産業用機械や家庭用のエアコン、冷蔵庫などに使われる 3 相入力電源は国内の規格で、発生する高調波に規制が設けられており、PFC 回路が必要不可欠となっている。3 相入力形 AC-DC 変換回路の制御方式は回路構成が最も簡単である不連続モード制御がこれまで検討されてきたが、3 相入力の電源は全て容量が大きい (通常数 kW 以上) ので電流のピーク値が大きくなるのが欠点となる。また、3 相入力では高調波電流の抑制が単にガイドラインを満足するだけではなく、さらに高いレベル (例えば高調波含有率 5%以下) を求められる場合が多く、通常の不連続モード制御では不十分となってしまう。本論文では、3 相入力 PFC 回路の不連続モードよりも高力率が見込める臨界モードでの動作を検討した。従来型とは異なる擬似乗算回路を使った回路構成で整流後の直流も低リップルで安定した直流を生成することを実現し、シミュレーションによる動作確認をした。

### 2. 3相降圧型 AC-DC 変換回路

#### (1) 基本回路

図 1 に 3 相 AC-DC 回路の基本回路を示す。3 相全波整

流器に降圧コンバータを接続した回路構成となっている。降圧型は出力リップルを抑えられるなどの利点がある。表 1 に各素子のパラメータ値を示す。出力電圧は 24V に設定した。この回路に PFC 回路を追加し、高力率の 3 相入力 AC-DC 回路の検討をする。

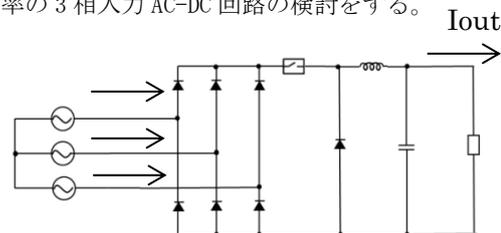


図 1 3相降圧型 AC-DC 回路

Fig.1 Three-phase ac-dc buck converter.

表 1 素子パラメータ

Table 1 Device parameters.

Vin	3相 200V
Vo	24V
R	47Ω
Iout	0.5A
L	100uH
C	47mF

(2) 提案型3相入力 BCM-PFC 回路

図3に一般的に用いられている従来型不連続モード制御の PFC 回路の回路構成を、図4に提案型の臨界モード制御 (BCM) の PFC 回路の回路構成を示す。不連続モード PFC はエラーアンプ、発振器、コンパレータの回路構成に対し、提案型の PFC 回路は電流検出回路、エラーアンプ、疑似乗算器、コンパレータ、SRFF (SR Flip-Flop) となっており、少量の部品追加での構成となっている。BCM-PFC はインダクタ電流をのこぎり波状に制御し長い時間電流を流すことにより、その平均値を正弦波に近づけ力率を上げることができる (図5)。

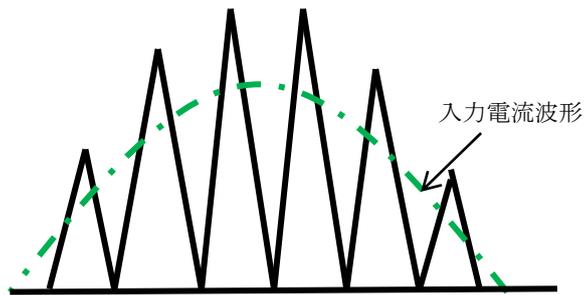


図5 .BCM-PFC のインダクタ電流波形

Fig.5 Waveform of inductor current in BCM.

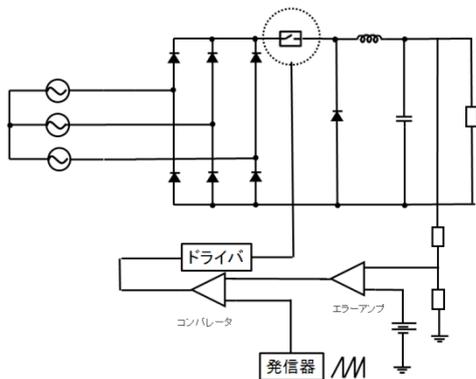


図3. 従来型 DCM-PFC 回路

Fig3. Discontinuous current mode PFC circuit.

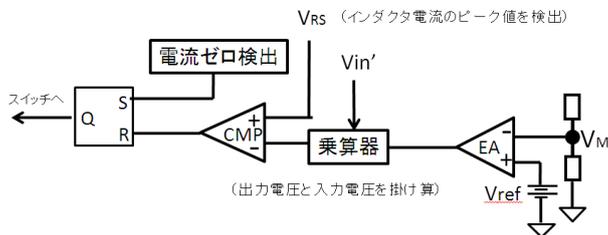


図6 .従来型 BCM-PFC 制御回路

Fig.6 Conventional control circuit of BCM-PFC

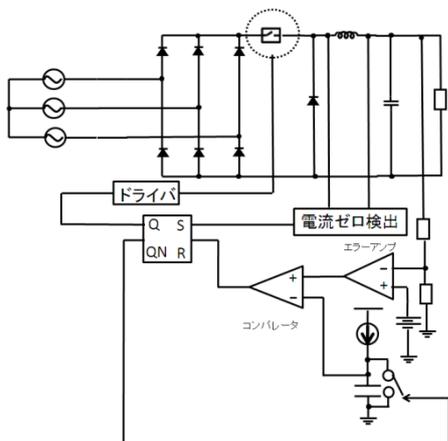


図4. 提案型 BCM-PFC 回路

Fig.4. Proposed three-phase ac-dc buck converter with BCM-PFC

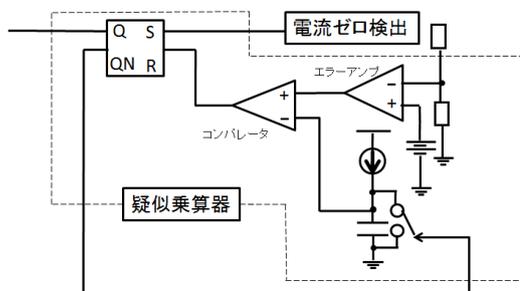


図7 .疑似乗算器

Fig.7 Equivalent analog multiplier.

次に提案回路に採用した疑似乗算器について記述する (図7)。図のスイッチがオフ状態になるとコンデンサに電流が流れ、コンデンサ電圧がのこぎり波状になる。こののこぎり波形と、エラーアンプとの出力を比較し、比較した信号 (コンパレータ出力) を SRFF へ出力し、スイッチがオンになる。そしてインダクタ電流がゼロになる

とその信号が SRFF に出力にされ再びスイッチがオフになり、コンデンサに電流が流れ始める。従来型の BCM-PFC 回路は出力電圧と入力電圧を掛け算するために乗算器が用いられるが、それにより制御回路の回路規模が大きくなってしまっていた (図6)。

基本回路のスイッチ動作を含めた全体動作は図8のようになる。全体動作について記述する。

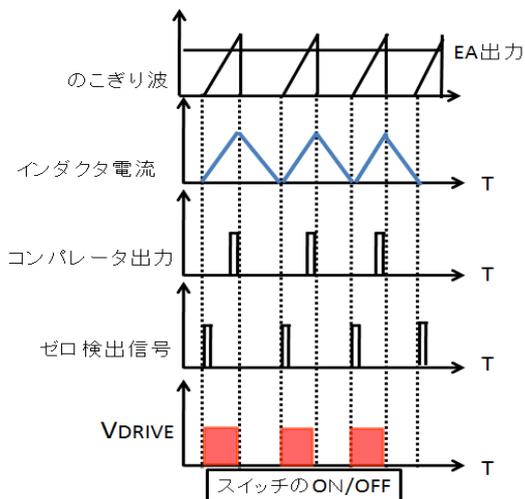


図8.全体動作波形

Fig.8 Operation waveforms.

(1) AC-DC 変換回路のスイッチがオンすることでインダクタ電流に充電が始まり出力が上昇する。(2)エラーアンプの出力(設定電圧との差)とのこぎり波をコンパレータで比較する。比較した差をSRFFに出力する。(3)SRFFからの出力でスイッチはオフになり、インダクタ電流が下がり始める。(4)インダクタ電流が0になったところを電流ゼロ検出回路で検出し、SRFFに信号を出力する。(5)インダクタ電流が上昇すると共に出力電圧が上昇を始めて、エラーアンプで基準電圧との差を検出し出力する。以上の動作を繰り返す。またインダクタ電流の大きさは次の式のようになり、入力電圧の大きさに比例してインダクタ電流の傾きが変化することにより、正弦波状になる。

$$I_L = \frac{V_{in}}{L} T_{ON}$$

### 3. シミュレーション結果

提案回路のシミュレーション結果を示す。出力電圧は24V設定でリップルが7mVppであった(図9)。またインダクタ電流波形を図10、インダクタ電流の波形の拡大図を図11に示す。BCM-PFCのインダクタ電流はのこぎり状の三角波がつながった波形になるが、理論通りの波形になっていることがわかる。

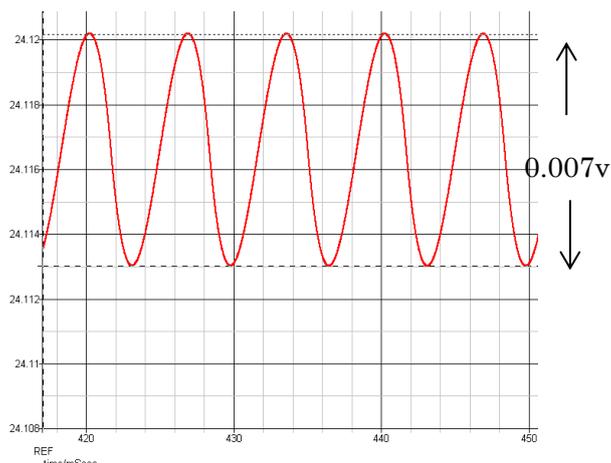


図9.出力電圧波形

Fig.9 Waveform of output voltage.

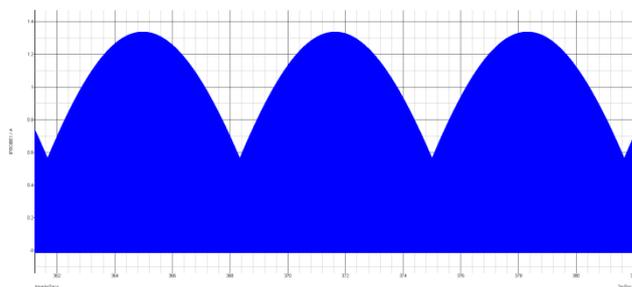


図10 インダクタ電流波形

Fig.10 Waveform of inductor current.

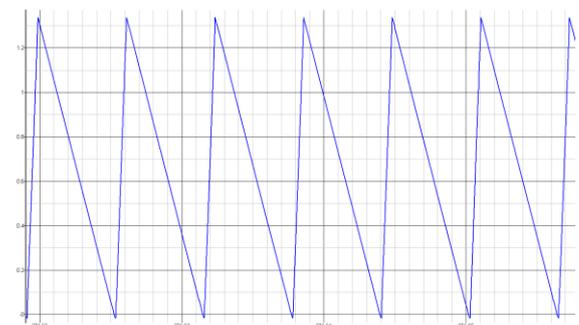


図11. インダクタ電流波形

Fig.11.Waveform of inductor current.

続いて負荷応答特性について示す(図12)。出力電流を0.5A、0.25Aと切り替えた時の出力リップルは37mVppとなった。一般的に出力の負荷応答は設定電圧の0.1%程度が理想とされており、今回は若干高めに出ているが許容範囲であると判断した。

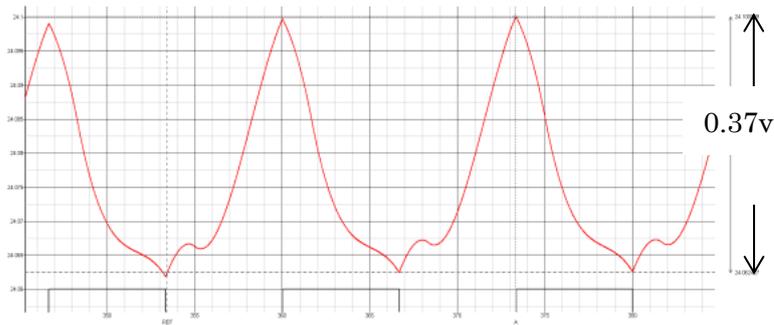


図12 負荷応答特性

Fig.12 Load transient response.

次に入力電流の波形を図13に示す。この波形はインダクタ電流の平均値をとったものである。今回は比較しやすくするため、整流後の入力電圧の波形と比較した。波形はひずみのない正弦波と同じような波形となっており、力率は90%以上を確保している。

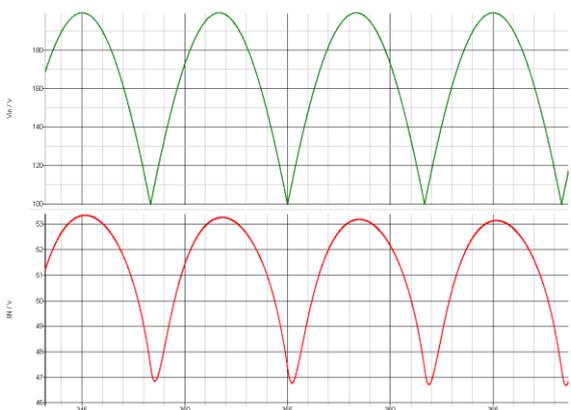


図13.入力電圧波形(上)と入力電流波形(下)

Fig.13 Waveform of input voltage and input current.

#### 4. まとめ

3相降圧型PFC回路を一般的な電流不連続モードではなく、電流臨界モードをシンプルな構成の制御回路で検討し、高力率を達成した。また降圧型構成で低出力リップルの直流を生成することを目標に、3相AC-DC電源としても高性能化を検討した。

#### 参考文献

- (1) Y. Kobori, L. Xing, H. Gao, M. Onozawa, S. Wu, S. N. Mohyar, Z. Nosker, H. Kobayashi, No. Takai, K. Niitsu, "Non-Isolated Direct AC-DC Converter Design with BCM-PFC Circuit," International Conference on Power Engineering. Bali, Indonesia (Oct. 2012).
- (2) 村上和貴、小堀康功 他「PFC回路とAC-DC変換器」ETG-11-12, 第2回 電気学会栃木・群馬支所研究会、桐生(2012年2月)