

PFC 回路と AC-DC 変換器

村上和貴 小堀康功 ケイ林 (Lin Xing) 高虹 小野澤昌徳
 小林春夫 高井伸和 新津葵一 (群馬大学)

AC-DC Converter with Power Factor Correction Circuit
 Kazuki Murakami, Yasunori Kobori, Lin Xing ,Hong Gao, Masanori Onozawa
 Haruo Kobayashi ,Nobukazu Takai ,Kiichi Niitsu (Gunma University)

キーワード : AC-DC 変換回路, 降圧型変換器、PFC 回路, アナログ乗算器
 (Keywords, AC-DC Converter, Buck Converter, Power Factor Correction, Analog Multiplier)

1. はじめに

携帯機器から巨大な製造機械まで電気エネルギーで動作させる機器には電源回路が必須である。近年では環境への配慮から省エネルギー化、小型化への要求が高まっている。特に電源回路への技術要求は年々高まっている。電源回路の中で AC-DC 変換回路は多く電気機器に使われ交流を直流に変換する回路である。理想とは違い実際の回路では急峻な電流が一時的に流れてしまいそれが高調波電流となり電力・送電線などへの影響を及ぼすため PFC 回路が必要となっている。

本論文では現在使われている PFC(Power Factor Correction)回路に用いられるアナログ乗算器の設計が複雑であり回路規模が大きいことに着目し、新しい回路構成で従来のアナログ乗算器と同様の動作を行う疑似乗算器付 PFC 回路を構成し提案する。

今回の回路構成では降圧型 AC-DC 変換回路を用い AC-DC 変換回路の後段に用いられる DC-DC 変換回路で使われる一般的な大きさである出力 24V として検討した。動作を BCM (Boundary Conduction Mode)で行いシミュレーションにより動作確認を行った。今回の新提案乗算器を用いた回路構成で力率 0.97 を達成したことを示す。

2. BCM 新構成 PFC 回路

(1)AC-DC 変換回路

入力電圧 AC100V から広く電気機器に使われている DC24V を生成することを検討する。提案する回路の動作は入力電圧が正の時は電流の流れる向きは図 1 に、入力電圧が負の時は電流の流れる向きは図 2 に示す。この降圧型 AC-DC 変換回路に PFC 回路を用い制御を行う。用いた AC-DC 変換回路の回路パラメータを Table.1 に示す。

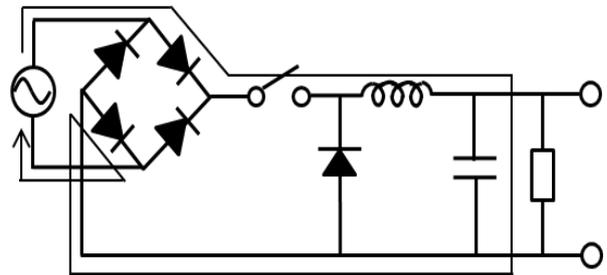


図 1.降圧型 AC-DC 変換回路($V_{in} > 0$)

Fig.1. Buck-AC-DC converter ($V_{in} > 0$).

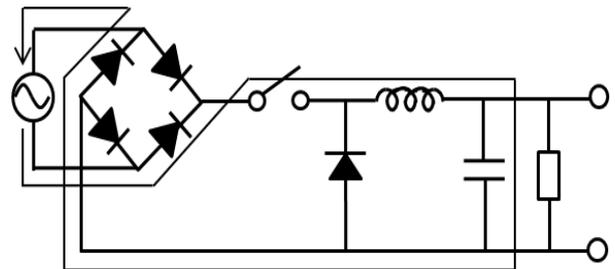


図 2.降圧型 AC-DC 変換回路 ($V_{in} < 0$)

Fig.2.Buck- AC-DC converter ($V_{in} < 0$).

Table1 .AC-DC 変換回路構成要素

V_{in}	AC100V(50Hz)
V_o	24V
R_o	24Ω
I_o	1A
L	50μH
C	47mF

(2)BCMPFC 付 AC-DC 変換回路構成

広く用いられている PFC 回路の回路構成を図 3 に示す。アクティブフィルタがついた昇圧タイプの PFC 回路が使われている。ダイオード(D)やインダクタ(L)、コンデンサ(C)、二つのコンパレータ(CMP)で構成されている。

次に今回動作させた BCM 動作モードを記述する。BCM とはインダクタ電流が三角の波形のようにつながり動作を続ける。インダクタ電流が 0 になったところでスイッチのタイミングがオフからオンになる。BCM の動作を図 4 に示す。実線は充電を表し、点線は放電している時間を表す。この回路では PWM 信号の ON 時間を一定に保ちながら動作させることで入力電流の波形を入力電圧の波形に近づける(=正弦波)。

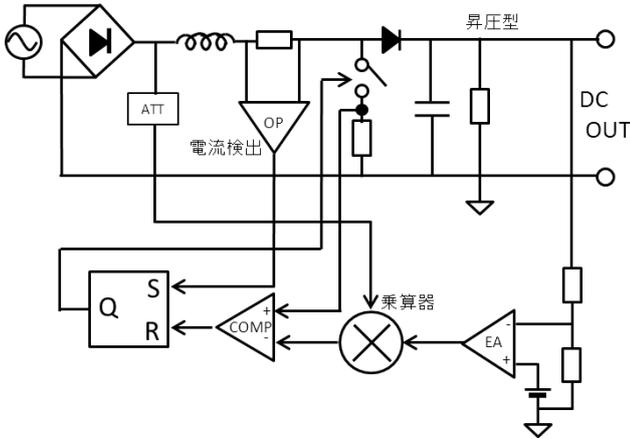


図 3.従来 BCM-PFC 回路

Fig3.Conventional PFC circuit in BCM.

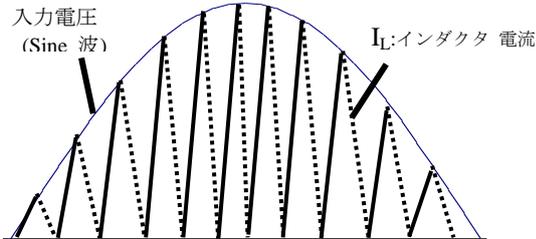


図 4.BCM 動作波形インダクタ電流

Fig4. Waveform of inductor current in BCM.

(3)新提案 PFC 回路付降圧型 AC-DC 変換回路

従来の PFC 回路では制御回路に用いるアナログ乗算器回路が複雑になる。ここでは従来のアナログ乗算器に代わる新提案の疑似アナログ乗算器の提案を行う。

新提案 BCMPFC 付降圧型 AC-DC 変換回路を図 5 に示す。降圧型 AC-DC 変換回路を PFC で動作させるための回路として、電流ゼロ検出回路、エラーアンプ、疑似乗算回路となり、疑似乗算回路に用いる回路構成はコンパレータ、のこぎり波生成回路、SRFF(SR Flip Flop)となっている。以下に構成要素の動作を示す。

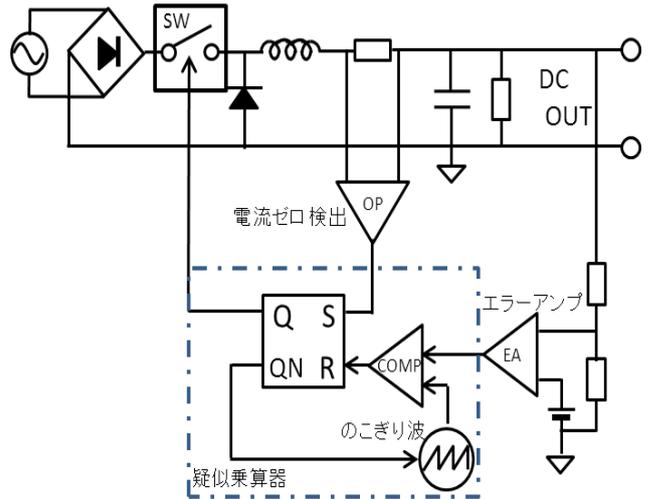


図 5.新提案 BCM PFC AC-DC 変換回路

Fig5. Proposed BCM PFC without an analog multiplier.

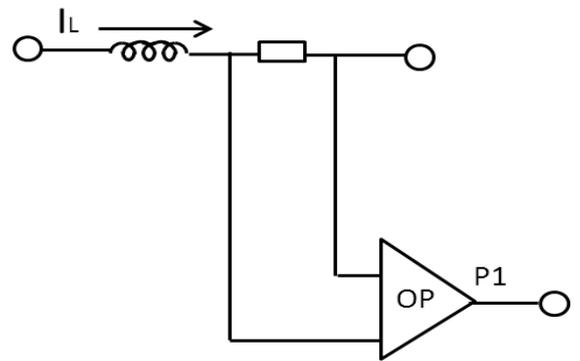


図 6 電流ゼロ検出回路

Fig.6. Zero-current detector.

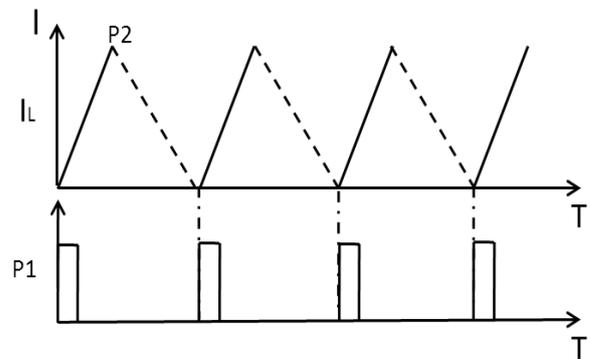


図 7 電流ゼロ検出回路動作波形

Fig.7. Waveform of zero-current detector.

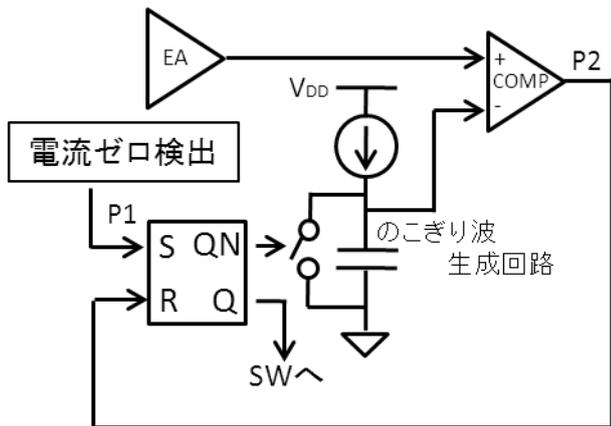


図8 疑似アナログ乗算器

Fig.8. Equivalent analog multiplier.

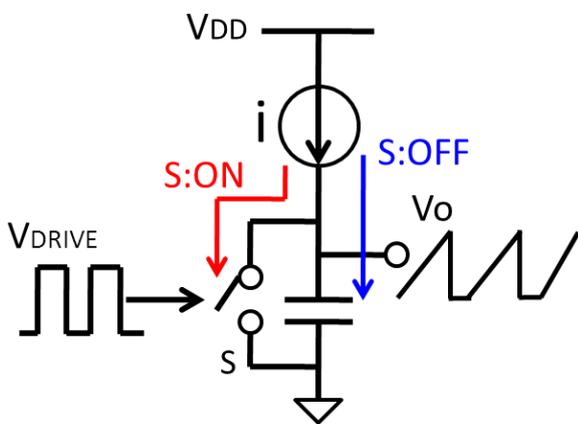


図9. のこぎり波生成回路

Fig.9. Triangular wave generator.

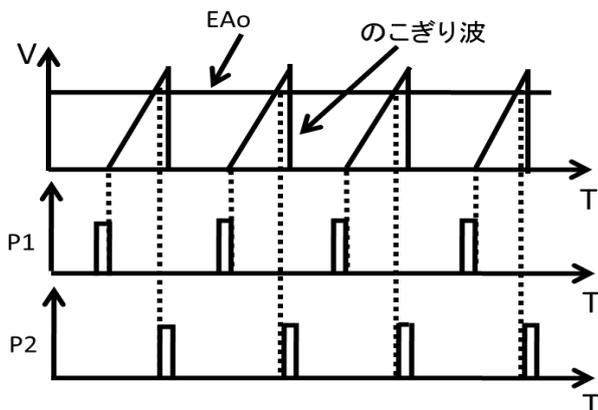


図10. 疑似アナログ乗算器動作波形

Fig.10. Waveforms of equivalent analog multiplier.

電流ゼロ検出回路

電流ゼロ検出回路とインダクタ電流波形と電流ゼロ検出回路動作波形を図6と図7に示す。

インダクタ電流の実線が充電時、点線が放電時となっている。インダクタ電流が0に達したところを検出しSRFFに出力する。その検出信号によりまたインダクタに充電が始まる。また、インダクタ電流の放電期間で0に達したところを検出する。

疑似アナログ乗算器動作

今回用いた新提案疑似アナログ乗算器(図8)の動作について示す。始めにのこぎり波生成回路のスイッチがオフ状態とする。まず、コンデンサに電流が流れ始めると上記に示す動作から図10のようにのこぎり波のコンデンサの電圧を利用する。そのコンデンサの電圧値とエラーアンプで検出した出力電圧との差をコンパレータで比較する。比較した信号(P1)をSRFFに出力し、のこぎり波生成回路のスイッチをオンにする。その後、上記で示した電流ゼロ検出回路の信号(P2)がSRFFに出力され、のこぎり波生成回路のスイッチをオフにすると、コンデンサに電流が流れ始める。以後同様の動作を繰り返す。

のこぎり波生成回路

のこぎり波生成回路の動作原理を以下に示す。回路構成を図9に示す。スイッチがオフすることでコンデンサに電流が流れ始め、短い時間の場合コンデンサに傾きを持つ電圧が生じる。それを利用しスイッチを時間により制御し、のこぎり波を生成する。

疑似アナログ乗算器を用いたPFC付AC-DC変換回路全体動作

疑似アナログ乗算器を用いた全体動作について示す。

- 1) まず、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) 設定電圧との差が生じたらその変化の差をエラーアンプで検出する。
- 3) エラーアンプの出力とのこぎり波生成回路の出力をコンパレータで比較する。比較した差をSRFFに出力する。
- 4) SRFFからの出力でスイッチはオフになる。するとインダクタ電流が下がり始める。
- 5) インダクタ電流が下がり続け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。
- 6) するとまた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。

以後同様の動作を繰り返す。インダクタ電流は入力電圧の大きさによって傾きが変わるのでスイッチのオン時間はほぼ一定となりインダクタ電流が正弦波状になる。この動作を繰り返しBCMで動作する。

3. 新提案 BCM PFC 回路シミュレーション

新提案回路シミュレーション設定値

多くの AC-DC 変換回路の後段の DC-DC 変換回路には DC24V が多く使われるので AC-DC 変換回路の出力を $V_o=24V$ とし回路シミュレーションを行った。

図 11. に示すのは出力電圧波形である出力電圧のリプルは 60mVpp であった。

図 12. に入力電圧とインダクタ電流の波形を、図 13 にインダクタ電流の拡大波形を示す。全体の動作を見るとインダクタ電流が BCM で動作していることが確認できる。また、電流のみを拡大してみるとインダクタ電流が 0 で充電と放電の切り替わりができていいることが確認できる。

図 14 は入力電流を LPF を使い電圧源の電流を出力したものである。図 14 の波形で力率は 0.98 を達成した。

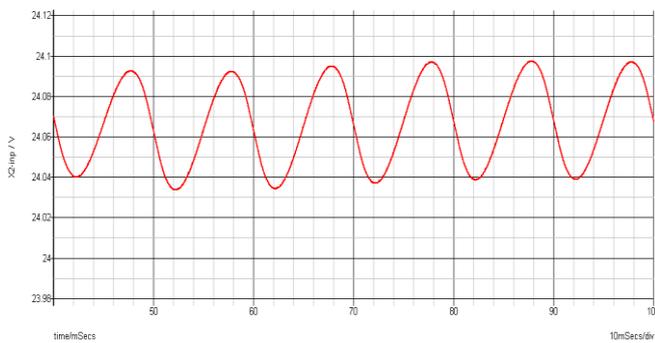


図.11. 出力電圧波形

Fig.11. Waveform of output voltage.

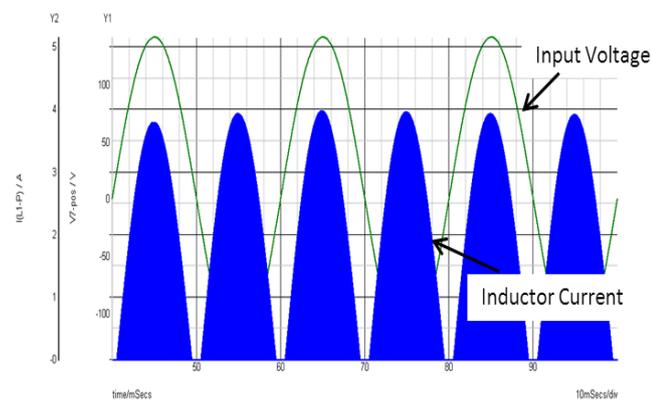


図.12. 入力電圧とインダクタ電流波形

Fig.12. Waveform of input voltage and inductor current.

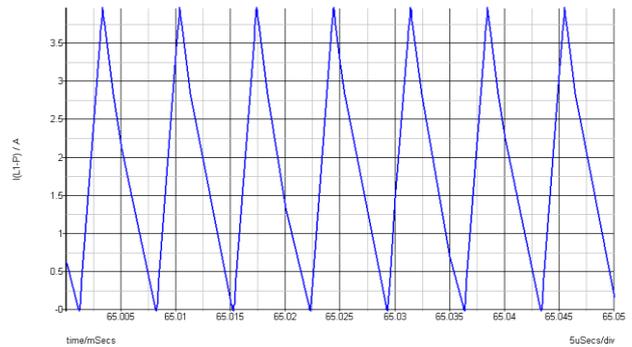


図 13. BCM インダクタ電流波形

Fig.13. Waveform of inductor current in BCM.

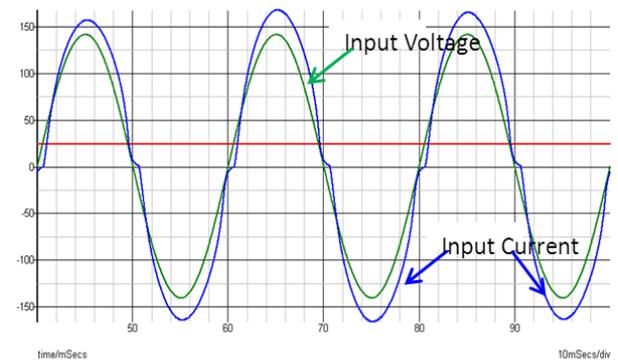


図 14. 入力電圧と入力電流波形

Fig.14. Waveform of input voltage and input current.

4.まとめ

本論文では AC-DC 変換回路に用いられる PFC 回路に新提案の疑似アナログ乗算回路の提案を行った。新提案の乗算器を用いた PFC 付降圧型 AC-DC 変換回路についてシミュレーションを用いて BCM で動作させて検討を行った。入力電圧 $V_{in}=AC100V @50Hz$ 、出力電圧 $V_o=DC24V$ 、出力電流 $I_o=1.0A$ の設定で PFC を用い力率 0.98 を達成した。

文 献

- (1) Koosuke Harada, Tamotsu Ninomiya, Wenjian Gu, The base of Switching Converter, Corona Publishing Co., Ltd. (1992).
- (2) Y. Kobori, L. Xing, G. Hong, T. Shishime, M. Ohshima, H. Kobayashi, N. Takai, K. Niitsu, "Novel AC-DC Direct Converter Design with PFC", International Conference on Power Electronics and Power Engineering, Phuket, Thailand (Dec. 2011).