

小型水力発電用電力変換システムの開発

佐藤 栄一*

(平成19年10月31日受理)

Development of power conversion system for pico hydro

Eiichi SATO*

Recently, the small scale hydro power (pico hydro) using the flume for city water and agricultural water has gained more and more attention. In this study, the electric power conversion system that applied to the pico hydro was developed. The system had two micro-controllers, and the PWM control of a DC-DC converter and the PWM control of an AC-DC inverter were individually executed. The control procedure was described with software, so the parameter was able to be easily adjusted. Moreover, when the specification is changed, the circuit can be easily improved. In the field experiment, the system was connected with the generator, and drove a fluorescent lamp (13W) or LED lights (40W) as a load. As a result, the voltage detection circuit in the DC-DC converter broke down only once in three years. However, other problems have not been seen so far.

Key words: pico hydro, power conversion system, digital control, micro-controller

1. はじめに

化石燃料の有限性や地球温暖化などの環境問題を解決するには、現在のエネルギー需給構造を見直し、再生可能なエネルギーの割合を増やしていくことが必要である。水力は変換効率が高く、クリーンなエネルギーとして有望であるが、今後新たにダムや長い水路を必要とする大規模な発電所を建設することは、自然環境への配慮などから困難である。そこで近年、上下水、農業用水などの既設水路を利用した水力発電に注目が集まっている。

本研究はこうしたニーズに応えるため、信州大学、長野県立短期大学、新潟ウオシントン(株)及び中越工業(株)等と連携して発電用小型水車の開発を行ってきた。この水車は、導・排水管などの付帯設備が不要で自然環境に与える影響が少ない、保守点検が容易、安価堅牢といった特長をもっている。しかし、水車の発電電力は、河川の状態によって変動するため、用途に応じて電力を調節する機能が必要になる。そこで、この小型水車に適用する電力変換システムを開発し、実際に河川に取り付けた小型水車に接続してシステムの運転状況を確認した。本稿では、開発した電力変換システムの構成、発電電力の制御及びフィールド実験の状況について報告する。

* 情報電子工学科 准教授

2. 小型水車と発電電力の制御

2.1 小型水車

信州大学，新潟ウオシントン(株)等との共同研究で開発した小型水車を山梨県都留市の家中川に設置し，それら水車の性能及び発電電力の利用法について検討を行っている．Fig.1 は 2004 年 5 月に設置したサボニウス 2 号機であり，左右の羽根には回転むらを抑えるため設置角に位相差が付いている．ロータの直径は 360mm で長さが 800mm あり，V ベルトを介して発電機を回転させる．これまでの測定では，最大 110W の出力を確認した．Fig.2 は，2005 年 6 月に設置した開放周流型の下掛け 3 号機である．ロータの直径は 1000mm で長さが 750mm あり，16 枚の羽根が付いている．これまでの測定では最大 120 までの出力を確認した．



Fig.1 Sabonius turbine type.



Fig.2 Undershot wheel type.

2.2 発電電力の制御

家中川に設置したサボニウス 2 号機及び下掛け 3 号機は，いずれも開放型で自然水流を利用した発電を行っている．つまり，水車の発電機出力は河川条件(主に流速)により変動する．この不安定な発電機出力を調節し，利用者が求める形式で安定に電力を供給することが本研究の目的である．今回はまず商用電源同様に正弦波交流 100V, 50Hz を得る仕様とし，電力変換システムを Fig.3 のとおり設計した．まず前段にはソリッドステートリレイ（以下，SSR）を挿入し，始動時の入力遅延操作を行う．また，過電圧入力時には発電機との接続を遮断し，後段の回路を防護する役割を担う．次に SSR を経た三相交流を整流器で直流に変換し，DC-DC 変換器^[1]（フライバックコンバータ/ハーフブリッジコンバータ，周波数 20kHz~100kHz）によって電圧を安定化する．さらに DC-AC 変換器^[1]（単相フルブリッジインバータ，周波数 5kHz~20kHz）を用いて正弦波交流 100V に変換する．DC-DC 変換器及び DC-AC 変換器の制御には，汎用のマイクロコントローラ(以下，マイコン)を用い，Table 1 の組み合わせにより 3 台の装置を試作した．マイコン 1 は主に DC-DC 変換部の PWM(Pulse Width Modulation)制御^[1]を目的とし，周辺の入出力情報の取得及び SSR の ON/OFF 制御も行う．またマイコン 2 は DC-AC 変換部の PWM 制御（オープンループ制御）を担当し，マイ

コン1の指示に基づいて動作モード（スリープ、スロースタート及びランニング）の切り替えを行う。

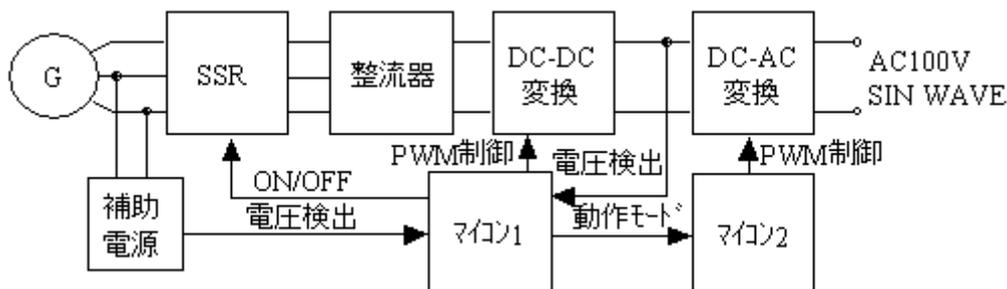


Fig.3 Power conversion system with micro-controller.

Table 1 Components of experimental system.

No	水車の種類	DC-DC 変換器	マイコン 1	マイコン 2
1	サボニウス 2号機	フライバック コンバータ	H8/3069 (ルネサテクノジ [®])	PIC16F873 (Microchip)
2	下掛け 3号機	ハーフブリッジ コンバータ	H8/3069 (ルネサテクノジ [®])	CY8C26443 (Cypress)
3	下掛け 3号機	ハーフブリッジ コンバータ	dsPIC30F4011 (Microchip)	dsPIC30F2010 (Microchip)

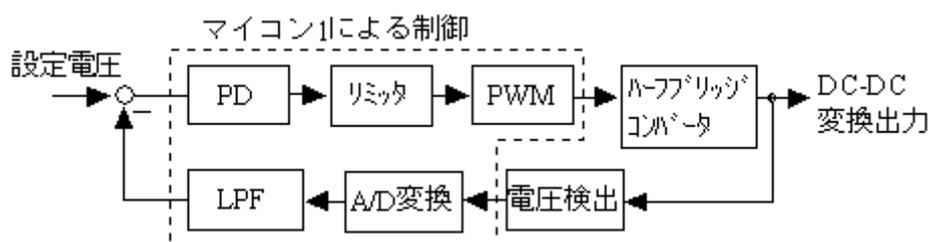


Fig.4 Digital control block in the DC-DC converter of No.3 system.

装置 No.3 の DC-DC 変換部における制御手続きを Fig.4 に示す。ハーフブリッジコンバータには2つの半導体電力スイッチ(IGBT; Insulated Gate Bipolar Transistor)が用いられており、スイッチのオン時間比率(デューティサイクル)を変えることによって出力電圧が調節される。PWM 波形はこのデューティサイクルを表す駆動信号であり、波形生成に至る手続きはマイコン1によりデジタル化されている。まず現在の出力電圧を検出し、デジタルデータとしてマイコン1に取り込む。次に変換器出力電圧と設定電圧を比較し、その偏差及び時間変動分を基にデューティサイクルを決定する。その決定ルールはプログラムで記述され、概ね PD 調節計として機能している。マイコン1には、Microchip Technology 社製の dsPIC30F4011 を使い PWM 波形生成にはモータ制御用 PWM モジュールを利用した。

また、LPF には、同パッケージに内蔵された DSP 機能を利用し、64 次の FIR フィルタを構成した。なお、装置 No.1 と No.2 も同様に DC-DC 変換器においてフィードバック（クローズドループ）制御を実現している。

3. フィールド実験

電力変換システムの設置例(都留市役所前, 装置 No.2)を Fig.5 に示す。試作した装置は、回路基板に防滴処理を施した後、スチール製ボックスに収めて水車の周辺に設置した。装置 No.1 は、2005 年 10 月より 2006 年 6 月まで設置し、13W の蛍光灯もしくは 25W の LED ライト(Fig.6)を負荷として運転させた。試行期間(10/11~11/20)の調査では、稼働率が 35.6%に留まっていたが、設置 8 ヶ月の間に不具合は見られなかった。装置 No.2 は、水車の仕様変更に伴って 2006 年 7 月に設置し、40W の LED ライトを負荷に運転を開始した。しかし、2007 年 6 月に DC-DC 変換部の電圧検出回路が故障し No.3 と置き換えている。現在、装置 No.3 の運転状況を観察中である。



Fig.5 Installation of the power conversion system.



Fig.6 LED lights as a load.

4. 考察

開発した電力変換システムは、マイコンによる制御を実現している。本システムにマイコンを用いた理由として、以下の目的が挙げられる。

- 1) ハードウェア構築後、回路定数の誤差を補う。
- 2) ハードウェアに手を加えることなく、制御規則を改める。
- 3) 外部通信機能を実現する。

現在普及するスイッチング電源の多くは、PWM 波形生成のためにアナログ制御方式を用いている。アナログ制御をサポートする IC や LSI は多数存在し、高精度化されているが、それらを用いた回路で実現できる制御規則は 1 つに限定される。1 つの規則で対応できる変換器の入力電圧範囲には限界があり、本研究で対象とする小型水車には適用が難しい。一方のマイコンは制御手続きをプログラムで記述し、その論理の組立てが自由に行える。さらに書き替えが可能であるため、制御パラメータの調整や規則改変が容易に行える。また、

周辺機能として内蔵する PWM モジュールを利用することによって、CPU の負荷を減らし、波形の精度・信頼性を増すことができる。通信インターフェース機能を利用することによって、システム情報の取得、制御パラメータの設定などが外部端末を通して行えるなどの利点も挙げられる。以上の点から、本システムの開発においてマイコンの使用は有功であった。

DC-DC 変換部における出力電圧安定化制御は、主に PD 調節計で為されているが、未だそのパラメータが最適化されているとは言い難い。現在の電力変換効率(50~76%)を改善するには、制御パラメータ決定方法の見直しと新たな制御規則の検討が必要である。

5. まとめ

小型水力発電用の電力変換システムを開発し、フィールド実験を行った。電力変換システムには汎用のマイクロコントローラを利用し、試行段階において制御回路を再構築するなどの後戻りのリスクを軽減できる点や拡張性に優れている点を示した。今後は、電力変換効率の改善はかるため、制御パラメータの決定法や新たな制御規則の適用について検討を予定している。

文献

- [1] 戸川治朗：実用電源回路設計ハンドブック，CQ 出版，1988.
- [2] 竹尾敬三：小型水力発電機製作ガイドブック，パワー社，2001.