

2点電力比較山登り法によるMPPTの開発

東北職業能力開発大学校附属

秋田職業能力開発短期大学校 工藤 光昭

Development of Maximum Power Point Tracker Using Hill-Climbing Method with Comparison of Electric Powers at Two Operating Points

Kudo MITSUAKI

要約 太陽電池の出力特性には最大電力点がある。これは、その出力動作点を最大電力点にもっていき最も大きな発電電力が回収できることを意味している。太陽電池の最大電力点は季節の変化に伴う日射量および入射角、パネル温度などにより変動する。また、一日のうちでも朝夕の日射量および入射角は昼間と異なり、昼間においても雲の発生による日射量の変化もある。このため、太陽電池の出力を効率よく回収するためには、最大電力点を追い求める動作をしなければならない。この動作は、太陽電池の出力電圧と電流の積が最大となるようにDC/DCコンバータ(ここでは昇圧型)のデューティサイクルを制御して行うことができる。この制御では、太陽電池の出力電力特性上から2点間の電力を求めて比較し、最大電力点に向かう方向にDC/DCコンバータのデューティサイクルを変化させる。このように最大電力点を追従する装置は一般的にMaximum Power Point Tracker(MPPT)と呼ばれている。

開発したMPPTは、2点の電力を比較して出力電力特性上を一歩一歩山を登るように最大電力点を狙って動作点を移動させていく。このため、この方法は山登り法と呼ばれている。今回、これを乗算回路やサンプルホールド回路などの基本的な電子回路の組み合わせにより実現したので報告する。

I はじめに

近年、エネルギー源として環境にやさしいバイオエネルギーや太陽エネルギーを活用する動きが加速している。太陽電池などから効率よくエネルギーを回収するためには、MPPTが用いられる。

MPPTとは、一般に最大電力点追従装置あるいは最適動作点追尾装置などと呼ばれているもので、そのときの発電電力の最大点を追従し、効率よく電力を回収するための装置である。

太陽電池の最大電力点は、季節の変化に伴う日射量および入射角、パネル温度などにより変動する。また、一日のうちでも朝夕の日射量および入射角は昼間と異なる。昼間においても雲の発生などによる日射量の変化もある。このように時々刻々と変化する太陽電池の出力を最も大きくなるように動作点を移動させるのがMPPTである。この制御はDC/DCコンバータのデューティサイクルを制御することで行うことができる。

今回開発したMPPTの制御は、動作点の異なる2点間の電力を比較することにより最大電力点の方向を求め、その方向に動作点を移動させていく方法を用いている。その他のMPPTの制御方法には、Boehringerの方法を発展させたりアクトルを用いた二値制御法⁽¹⁾⁽²⁾、低周波微小変調による同期検波を活用したもの⁽³⁾、電力信号を微分するもの⁽⁴⁾などがある。これらはいずれも山登り法によるものである。

ここでは、乗算回路やサンプルホールド回路、コンパレータ、アップダウンカウンタなどの基本的な電子回路を組み合わせ2点電力比較による山登り法を用いたMPPTを開発したので報告する。

II 太陽電池の出力特性

太陽電池の特性は、出力特性、分光感度特性、照度特性、ダイオード特性などに分類されるが、出力特性はI-V曲線から算出することができるため重要なパラ

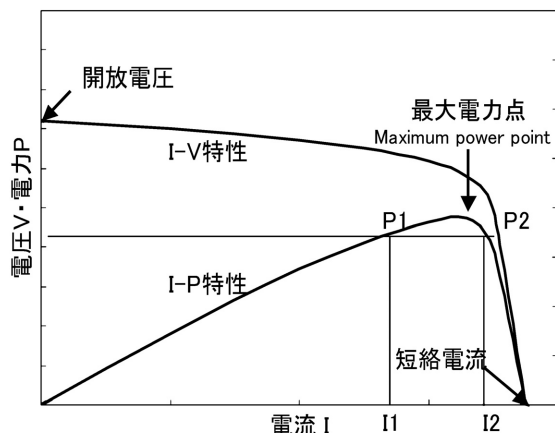


図1 太陽電池のI-V、I-P特性例

メータである。太陽電池の特性は、その種類や日射量などにより変動するため、一義的には定まらない。

図1は太陽電池の電流-電圧(I-V)および電流-電力(I-P)特性例である。I-V特性において電流Iが零のとき電圧Vは最大である。この電圧は開放電圧と呼ばれる⁽⁵⁾⁽⁶⁾。電流Iを増加させていくと、やがて電圧Vは零となる。このときの電流は短絡電流と呼ばれる。電流Iと電圧Vの積が電力Pを表す。一般に開放電圧の80%付近の電圧となる動作点においてI-P特性における最大電力点を示す。I-P特性上には最大出力点を挟んで同一電力となる動作点が2点ある。同一電力の2点をP1、P2とし、これに対応した電流I1、I2は動作点を示す。電力の回収は何かの方法で動作点をI1、I2の範囲に収めることができれば効率よく行うことができる。このとき、回収電力はI1、I2の間隔が小さいほど大きくなる。

III 2点電力比較によるMPPT制御部の動作

2点電力比較による制御部は、乗算回路、サンプルホールド回路、コンパレータ、8ビットバイナリカウンタ、8ビットラダーネットワーク抵抗器およびデコーダを内蔵した10進カウンタで構成している。

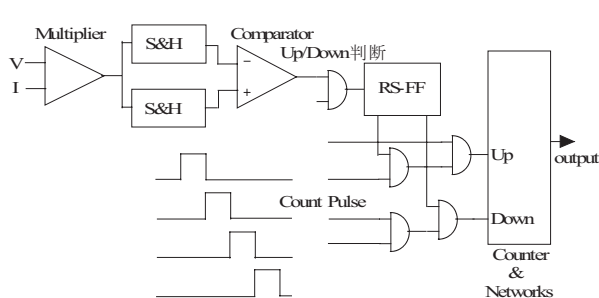


図2 2点電力比較による制御部の基本構成

この方法は、太陽電池の出力電圧と電流から得られる情報に基づいた電力信号をサンプルホールドすることから始まる。その後、様子見のためにバイナリカウンタを1クロックだけカウントアップしラダーネットワークを介してDC/DCコンバータに出力する。これにより負荷電流は1LSBに相当する分増加する。ここで、また電力信号をサンプルホールドする。先にサンプルホールドした値と様子見後の値を比較する。この結果、様子見後の値が大きければ最大電力点は電流を増加させる方向にあることを意味し、先の値が大きければ現在の電流は最大電力点を越えていることを意味する。これによりカウンタのアップ/ダウンの制御を行う。このとき、アップは1カウント、ダウンは2カウント分で処理をしている。これは出力電力特性上に最大出力点を挟んで同一電力となる点が2点ある。動作点がここで留まるためには様子見分の1LSB+アップ分1LSBとダウン分2LSBの動作点移動量が同量でなければならない。

この方法による制御では電圧、電流に比例した信号を得、その積により電力の情報をもった電気信号を比較するだけでよい。ここではこの信号の比較から最大電力点を探り当てる動作をしている。これらの動作は10進カウンタの出力を用い決められた順序にしたがって行っている⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

制御部の出力は可変抵抗で任意に設定できるが、最大12Vである。これは1LSBに相当する量が46mVであることを意味する。通常は最大3Vを目安に設定している。このとき1LSBに相当する量は12mVである。図3はタンミングチャートである。このように動作は10のステージからできている。図4にMPPT制御部の実装基板を示す。

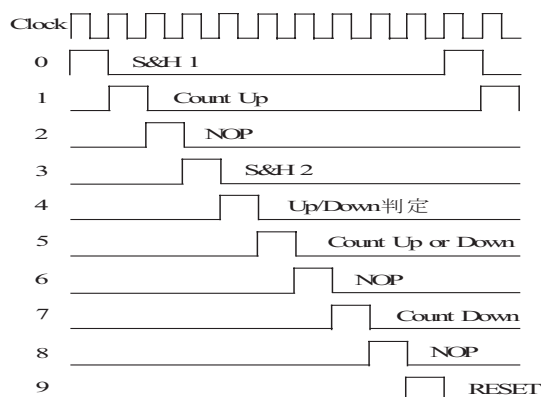


図3 2点電力比較によるタイミングチャート

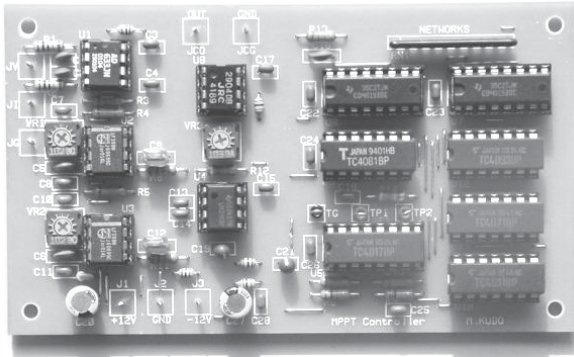


図4 2点電力比較によるMPPT制御部の実装基板

IV MPPT用昇圧型DC/DCコンバータの動作

MPPT用DC/DCコンバータは、制御部の出力を受けて動作する入力電圧制御コンバータである。このDC/DCコンバータは太陽電池を入力電源とし、変換電力は蓄電池に出力する。本DC/DCコンバータは昇圧型である。

MPPT用DC/DCコンバータは活用範囲を広げるため入力電源電圧の最大値を75V、昇圧出力電圧の最大値を125Vに設定している。昇圧回路のインダクタは入出力の電圧・電流仕様によって設定する。

図5にMPPT用DC/DCコンバータの構成を示す。ここでは三角波発生回路、PWM回路、昇圧型DC/DCコンバータのスイッチング回路、レベルシフト回路、リミッタ回路、内部電源を供給するためのDC/DCコンバータで構成している。PWM回路で得られた信号はFETドライブICを介してPower MOS FETを駆動している。MPPT用昇圧型DC/DCコンバータは、30kHzの三角波をPWMのキャリアとし、被変調信号はMPPT制御部からの出力としている。このとき三角波に直流成分が含まれており、その直流成分の分だけ被変調信号をレベルシフトしてPWM回路に与えている。ここにリミッタを付加し、被変調信号電圧が2.5V以上でPWM信号のデューティサイクルが90%以上とならないように設定してある。図6は被変調信号電圧と、それを受けたレベルシフト回路の出力電圧およびレベルシフト回路の出力電圧を入力信号としたPWM回路の出力信号(デューティサイクル)の関係を示している。

MPPT用DC/DCコンバータの動作電源およびMPPT制御部の動作電源は、同DC/DCコンバータの入力端子(太陽電池)から内部で分岐して内部電源用DC/DCコンバータ(入力電圧15~75V)に供給して

得ている。内部電源用DC/DCコンバータの出力は±12Vである⁽⁹⁾。

レベルシフトおよびPWMのリミッタ、昇圧出力電圧のリミッタは任意に設定できる。昇圧出力電圧のリミッタ動作は、設定した電圧に達したときPWMの被変調信号を遮断してスイッチング動作を止めることで行う。図7にMPPT用コンバータの実装基板を示す。

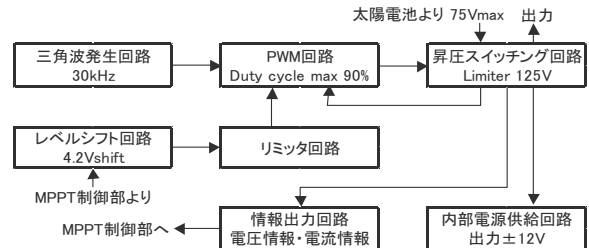


図5 MPPT用昇圧型DC/DCコンバータの構成

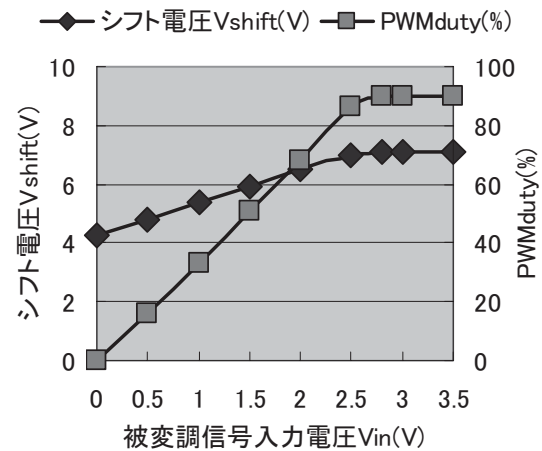


図6 被変調信号入力電圧とレベルシフト・デューティサイクル

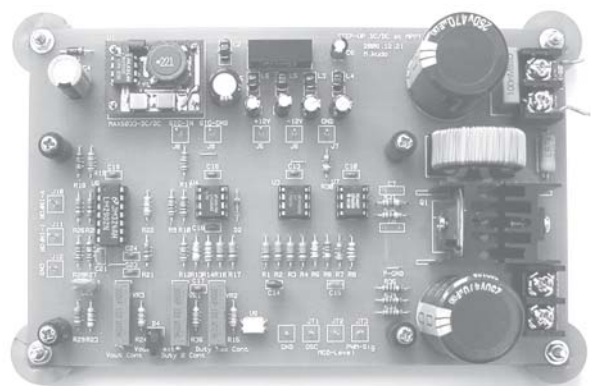


図7 MPPT用昇圧型コンバータの実装基板

V MPPTの動作

MPPT用昇圧型DC/DCコンバータの基板にMPPT制御部の基板を搭載してMPPTを構成する。

太陽電池を用いた動作実験には多結晶の太陽電池モジュールPSF100H-361F(最大出力 $P_m=47.0\text{W}$ 、開放電圧 $V_{oc}=20.70\text{V}$ 、短絡電流 $I_{sc}=3.07\text{A}$)を2枚直列にして用い、その出力には48Vの定電圧負荷を接続した。太陽電池モジュールはガラス窓に貼り付けて使用した。このため、エネルギー回収には十分な状況にはないが、MPPTの動作試験は可能な環境にある(ただし、日射量の変動などにより測定データとしては再現性を期待することができない)。図8は動作試験回路の構成を示している。動作試験では、オシロスコープで制御部の出力と電力情報信号を観測した。

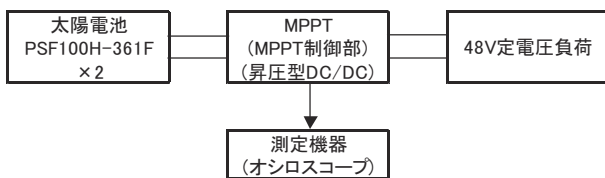


図8 動作試験の構成

動作の様子を示すために1LSBの値を最大(46mV)に設定して動作試験を行った。図9は各信号の立ち上がりを示している。サンプルホールド動作を開始してから動作状態のリセットまで10のステージで構成されている。ここではクロック周波数を100Hzとしている。1ステージは1クロックで実行される。

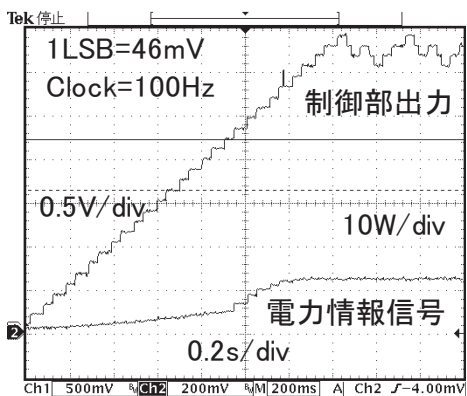


図9 動作確認のMPPT制御部出力と電力情報信号

図10はクロック周波数100Hzにおける通常動作(1LSBが12mVに相当)の立ち上がりを示している。制御部出力は最大電力点に達した後、この近傍において小刻みに振動を繰り返している。

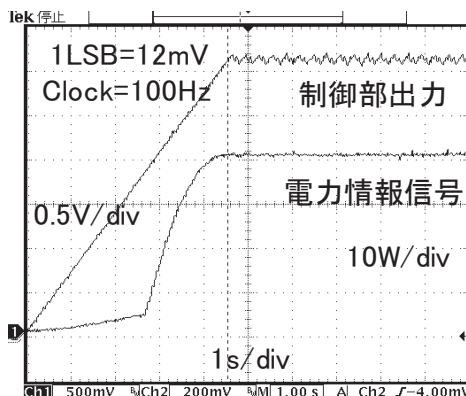


図10 クロック周波数100Hzにおける立ち上がりの様子

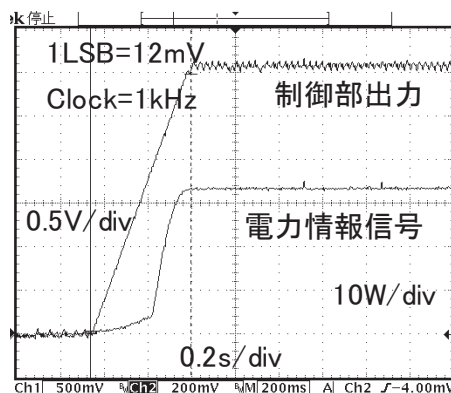


図11 クロック周波数1kHzにおける立ち上がりの様子

図11はクロック周波数1kHzにおける通常動作の立ち上がりを示す。横軸は時間で共に200ms/divである。なお、電力情報信号の到達レベルに差があるのは、太陽電池の発電状態が異なるためである。

クロック周波数については100~2kHz程度まで用いることができる。クロック周波数が高いほど立ち上がりや追従性が速やかに行われるが、高すぎると太陽電池の出力特性を正確に捉えることができなくなる。太陽電池の周波数特性を考慮した動的等価回路はCRの一次遅れ回路で表される⁽²⁾。このとき、I-V特性には周波数が高くなるにつれてヒステリシスが現れる⁽²⁾。

このため、制御部出力は振動振幅が増大して最大電力近傍に留まらなくなる。このことから、クロック周波数が高すぎると、太陽電池の出力電圧および電流から得られる情報に基づいた電力情報信号を用いて比較するような最大電力点の追従法は適用することはできない。

図12に日射量に大幅な変動があったときの動作状況を示す。電力情報信号の変化にともなって制御部出力はその微分波形のような動きで追従している。

MPPTにはMPPT用昇圧型DC/DCコンバータのインダクタやPower MOS FET、スイッチングダイオードによるスイッチング損がある。また、内部電源を供給しているDC/DCコンバータの損失は0.4Wである。効率の測定は太陽電池を模擬した直流電源を用いた。MPPTの出力は48V定電圧負荷である。このため、太陽電池を模擬した直流電源の電圧が48Vに近いほど、また入力電力が大きくなるほど効率が上がり、最大効率は97%を得ている。図13は効率の測定結果を示す。

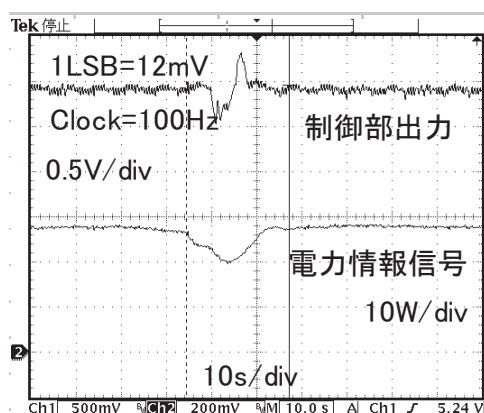


図12 日射量の変動があったときのMPPT制御部出力と電力信号

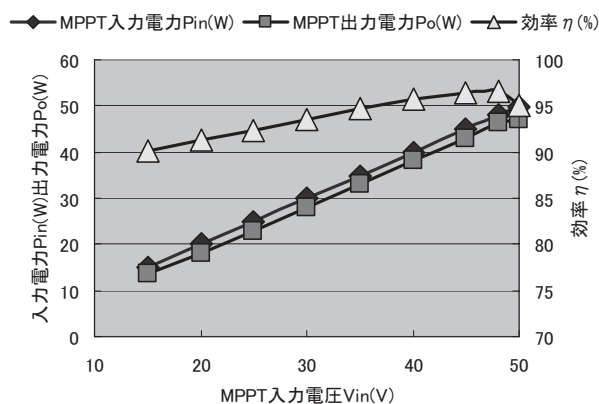


図13 MPPTの効率

VI おわりに

本MPPTは系統連係を意識したものではない。これは教育訓練の場で変動する発電電力を効率よく回収することを考える動機付けの教材や単体での太陽電池出力の利用を考えている。このため、MPPTの構成要素がそれぞれ学生に馴染みのある回路であることが望ましい。このため、MPPT制御部はアップ/ダウンカウンタや10進カウンタ、サンプルホールドなどにより構成している。MPPT用DC/DCコンバータではOPアンプを用いた三角波発生回路やレベルシフト回路、PWM回路と電力変換回路で構成している。これらの回路は電子回路実験やデジタル回路実験、パワーエレクトロニクス実験などで馴染みのものである。

本MPPTは、実際に出力している電圧と電流を検出していることからパネル温度やその種類(単結晶、多結晶、アモルファスなど)にとらわれることはなく、使用条件の変化にも適応できる。このため、MPPTの実験機材は太陽電池の種類を意識することなく作成することができる。

本研究において、太陽電池モジュールの提供をいただいた秋田職業能力開発短期大学校住居環境科の内藤学先生、電子部品や測定器などの協力をいただいた電子技術科明石洋一先生、澤井文雄先生に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

- (1) 大庭勝實、藤巻忠雄、依田義彦 光発電システムの最大出力制御 電学論B Vol.111 No.10 平成3年
- (2) 大庭勝實、藤巻忠雄、神保隆一 自己適応機能を有する太陽光発電システムの最大出力追跡制御法 電学論D Vol.115 No.7 平成7年
- (3) 河西勇二、鹿野文久 最大電力動作点追尾方法及びその装置 特許出願番号 特願2001-67464
- (4) 工藤光昭 電力微分方式MPPTの試作 Circuit Club No.8 2003.9
- (5) JIS C 8914 結晶系太陽電池モジュール出力測定方法 2005.9.20
- (6) JIS C 8916 結晶系太陽電池セル・モジュールの出力電圧・出力電流の測定方法 2005.9.20
- (7) 工藤光昭 2点電力比較方式MPPT制御部の試作実践教育 Vol.20 No.1 2005.3

- (8) 工藤光昭 2点電力比較方式MPPTコントローラ
の試作 第1回秋田職業能力開発短期大学校職業
能力開発事業実践・研究発表会 2006.3
- (9) 工藤光昭 高効率を追求したワイド入力ステップ
ダウンコンバータ 秋田職業能力開発短期大学校
紀要 2007.3