

Ćuk 回路を用いた低損失な太陽電池 I-V カーブ測定法

穂高一条¹⁾・山本悠太²⁾

A Low-Power Measurement Method of Photovoltaic I-V Curve Based on Ćuk Circuit

Ichijo HODAKA, Yuta YAMAMOTO

Abstract: Photovoltaic power generation attracts attention in new energy recently. Photovoltaic cell absorb the radiant energy of sunlight and convert it directly into electric energy. Photovoltaic cells have own characteristic of the I-V curve which depends on solar radiation. Therefore we incorporate a Ćuk circuit in a generation system and an accumulation of electricity system by this experiment. And we carry out the I-V curve measurement and charge without changing a circuit

Key words: Photovoltaic power generation, solar battery, Ćuk circuit, I-V curve, output

1. はじめに

地球温暖化は、すでに異常気象などにより我々の生活に影響をもたらしている。今後、温暖化による砂漠化の進展や氷原・氷床の減少などの直接的な影響のほか、食糧生産、海岸の浸食、生物種の減少などにも一層深刻な影響がでてくるものと予想される。

そのため政府は2020年までに国内の温暖化ガス排出量を1990年比25%減らす目標達成に向け、エコカー減税によるハイブリッド車の普及や、化石エネルギーから新エネルギーへの転換などといった対策をとっている。特に新エネルギーに関して言うと、太陽光発電は地球温暖化の原因となる二酸化炭素の排出が非常に少ないために注目されている。

しかし、太陽光発電には、安定した出力であり続けることは難しいという問題点がある。そこで、発電システムと蓄電システムの間にはĆuk回路を組み込むことによってI-Vカーブ測定と充電を同時に実施する。本実験では太陽電池の代わりにシミュレータを用いた実験を行う。Ćuk回路のFETにつないだマイコンのPWMのduty比を操作して、出力を変化させることで何点か値をとり、そのデータをもとに回路を切り替えることなくI-Vカーブを求めることを目的とする。

また、シミュレータはこちらが指定したI-Vカーブを出すことができるので、実験で求めたカーブと比較、検証してみる。

2. 太陽電池の特性

一般的に太陽電池の出力は下に示すような曲線で表される。

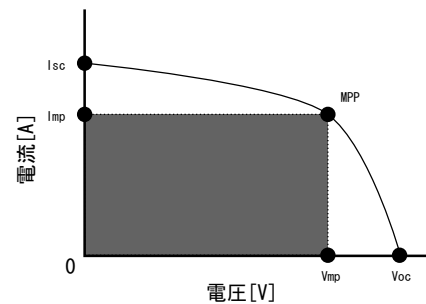


図 1: I-V カーブ

開放電圧 (V_{oc}) とは、太陽電池に何もつながっていない状態の時の、太陽電池の両端の電圧のことを示す。また、短絡電流 (I_{sc}) は太陽電池の両端をつないだ状態で流れる電流を示す。図の中にある四角形の面積が最大となる点のことを最大出力動作点 (MPP) という。その時の電圧を最大出力点電圧 (V_{mp})、電流を最大出力点電流 (I_{mp}) という。この点で動作するように制御すれば、高効率の発電ができる。

3. 一般的な I-V カーブの測定法

一般的な I-V カーブの測定法は、太陽電池の両端に抵抗をつないぎ、抵抗の電圧を測定し、オームの法則より電流の値を算出する方法である。図に示すように、抵抗値を変化させることで、太陽電池の動作点も変動する。抵抗の数を多くして測定点を多くすれば、より正確な I-V カーブを求めることができる。特に変化の大きい MPP 付近の電圧と電流の値を多くとると良い。

¹⁾電気電子工学科准教授

²⁾電気電子工学科学部生

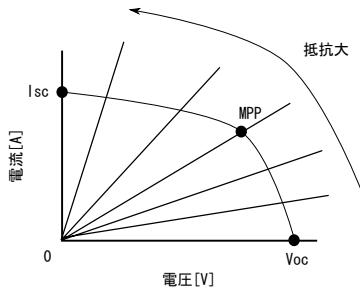


図 2: 抵抗値による動作点変動

4. 実験

4.1 Ćuk 回路

本実験では、発電・蓄電システムにスイッチング回路を利用する。そうすることで I-V カーブ測定と充電を回路を切り替えることなく実施できる。その中でも Ćuk 回路を利用する。Ćuk 回路とは、1976 年にカリフォルニア工科大学の Slobodan Ćuk 教授が発明した回路である。

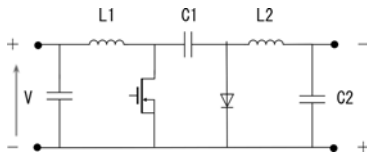


図 3: Ćuk 回路

Ćuk 回路は、FET をインダクタで囲む構成となっている。エネルギーの伝送用にはコンデンサを使用する。入力コンデンサがインダクタのスイッチングしない側にあるため、原理的に生じる 3 角波よりも高速に入力電流が変化することはない。同様に、出力コンデンサは 2 つ目のインダクタのスイッチングしない側に接続する。電流の 3 角波はこのコンデンサの充電にも使われ、リップル電圧は低くなり、コンデンサからの発熱も少なくなる。電流の流れる向きより、出力される電圧は負となる。

ここで、FET について説明する。FET はある一定以上の電圧をかけると電流が流れる仕組みになっている。今回用いた FET では、4V がその電圧である。そのため、回路の中ではスイッチのような役割をする。その特性を用いて、この回路の FET に PWM を入力することにより、FET の on,off を切り替える。

次に Ćuk 回路の動作について説明する。

まずは、FET が on の時であるが、電流は L1 を通って FET に流れて C2 と L2 を通る。この時、ダイオードのカソード側はプラスになるので、ダイオードに電流はほとんど流れない。

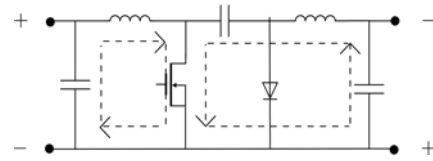


図 4: FET が on の時

次に、FET が off の時であるが、FET は off なので電流は L1 から C1 を通る。この時ダイオードのアノード側はプラスになるので、ダイオードに電流が流れる。この時、ダイオードはほとんど GND と同じ電位なので C2 と L2 には負の電流が流れ続ける。

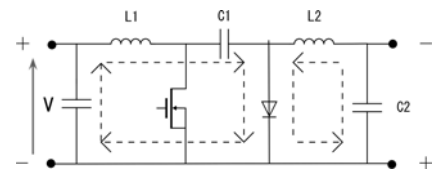


図 5: FET が off の時

4.2 Ćuk 回路を用いた I-V カーブ測定法

本実験では、I-V カーブの測定と充電の両方を同時に行うために、スイッチング回路である Ćuk 回路を用いた。昇圧回路や降圧回路は入力電圧と出力電圧の大きさを考えなくてはならないが、Ćuk 回路はそれを考えなくて良い。それは、エネルギーを入力から出力へと伝送するコンデンサが存在するため、電流がコンバータ側に逆流しないからである。電池の充電においては、この特徴が大きなメリットとなる。すなわち、電池からの電流がコンバータを通してその入力へと逆向きに流れることをコンデンサが防いでくれるのである。

その Ćuk 回路を太陽電池に接続し、太陽電池の電圧、電流、充電される電圧を測定する。そのうちの Ćuk 回路の入力電圧、電流を用いて I-V カーブを求める。今回は太陽電池の代わりに、Solar Array Simulator を利用した。また、電圧、電流の値をとる際に少しでも値を安定させるためにローパスフィルタを通した。

まず、Solar Array Simulator で I-V カーブを生成する。マイコンから Ćuk 回路の FET に PWM を送ることにより、FET を on, off させる。今回利用しているマイコンの PWM は 3.3V のため、MOSFET ゲート駆動回路を通すことで 5V の PWM に変換した。この PWM の duty 比を変えることで、Solar Array Simulator の入力電圧を変えることができる。そして duty 比ごと

のĆuk 回路の入力電圧，電流の値を AD コンバータで記録する。その値をもとに I-V カーブを求める。また，Ćuk 回路の出力側の電圧は反転するため，反転増幅回路を利用した。

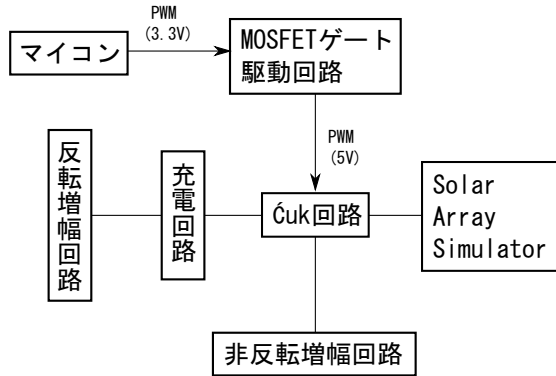


図 6: 測定回路

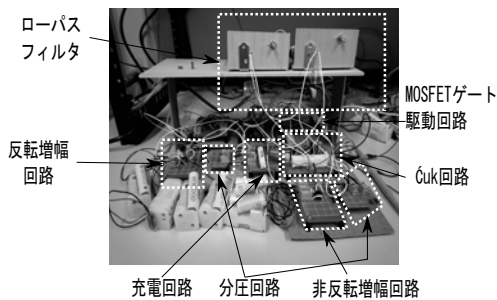


図 7: 測定回路全体の外見

4.3 Solar Array Simulator

Solar Array Simulator が生成するカーブは次の 4 つの点と 4 つの式から生成される。

$$R_s = \frac{V_{oc} - V_{mp}}{I_{mp}} \quad (1)$$

$$N = \frac{\ln(2 - 2a)}{\ln\left(\frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right)} \quad (2)$$

$$a = \frac{V_{mp}\left(1 + \frac{R_s I_{sc}}{V_{oc}}\right) + R_s(I_{mp} - I_{sc})}{V_{oc}} \quad (3)$$

$$V = \frac{\frac{V_{oc} \ln(2 - (\frac{I}{I_{sc}})^N)}{\ln(2)} - R_s(I - I_{sc})}{1 + \frac{R_s I_{sc}}{V_{oc}}} \quad (4)$$

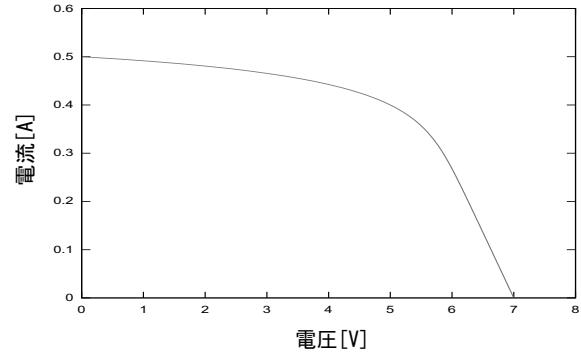


図 8: Simulator の I-V カーブ

ここで， $V_{oc}=7.0[V]$ ， $I_{sc}=0.5[A]$ ， $I_{[mp]}=0.4[A]$ ， $V_{[mp]}=5.0[V]$ である。

5. 実験結果 5.1 実験データの I-V カーブ

このデータは電圧と電流の値を 51 パターンの duty 比で値を取ったものである。duty 比は，0~100% の間の偶数で変化させる。

まず，duty 比 0% の PWM を送る。その時の電圧，電流の値を AD コンバータで記録する。そして，duty 比を変更して同じことを 0%~100% まで繰り返す。

得られたデータをもとに近似曲線の式を求めたものを下に示す。

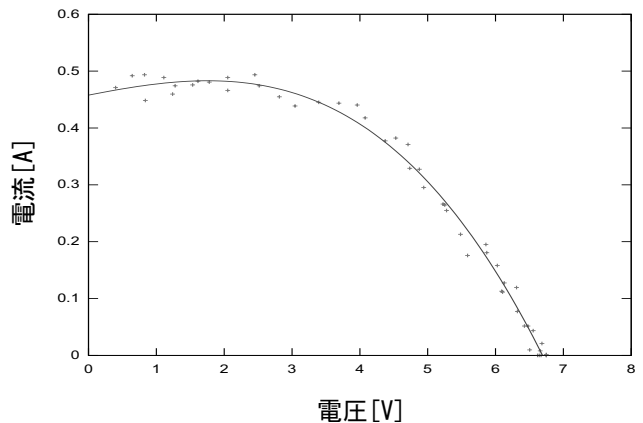


図 9: 実験で得られた I-V カーブ

5.2 Solar Array Simulator の I-V カーブと実験データの I-V カーブの比較

下図は Solar Array Simulator の生成した I-V カーブと実験データの I-V カーブを比較したものである。Solar Array Simulator の生成した I-V カーブと実験データの I-V カーブを比較したところ，近いグラフを得ることができた。しかし，MPP 付近で実験データの電流が Solar Array Simulator の生成した電流ほど大きくない。

また、電圧が 2V ~ 0V にかけて電流値が上がらなければならないが、グラフはそのようになっていない。

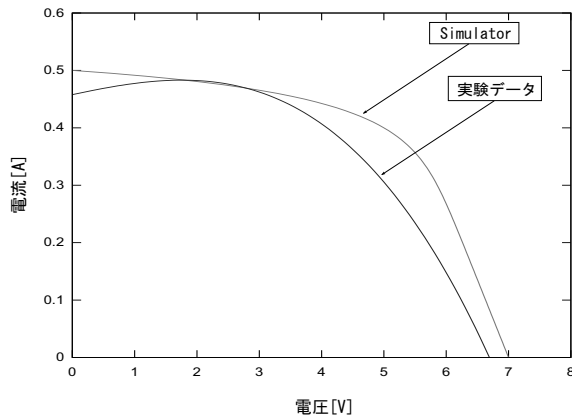


図 10: Simulator と実験データ比較

6. おわりに

6.1 まとめ

本研究では、Ćuk 回路の duty 比を変化させることで I-V カーブを測定する方法を提案した。

本実験では実際の太陽電池ではなく Solar Array Simulator を利用した。この Solar Array Simulator は、 V_{oc} : (開放電圧), I_{sc} : (短絡電流), $I_{[mp]}$: (最大出力点の電流), $V_{[mp]}$: (最大出力点の電圧) を設定することで自分で I-V カーブを生成することが可能である。自分で生成した I-V カーブと実験で得た I-V カーブを比較した。

6.2 考察

Simulator の生成した I-V カーブと実験データの I-V カーブを比較したところ、近いグラフを得ることができた。しかし、MPP 付近で実験データの電流が Solar Array Simulator の生成した電流ほど大きくない。

また、電圧が 2V ~ 0V にかけて電流値が上がらなければならないが、グラフはそのようになっていない。それは、計算する際に測定点に電圧 0V の時のデータがないため、このような近似曲線になってしまったものと考えられる。

6.3 課題

今後の課題としては、電圧・電流のノイズをとるとのこと、また、ノイズの発生源を調査し、ノイズの発生しにくい回路にしなければならない。

*参考文献

- [1] 山本昌志 : gnuplot の精義, 株式会社カットシステム (2009)
- [2] 山崎浩 : パワー MOSFET の応用技術, 日刊工業新聞社 (1988)

[3] 林晴比古 : 新訂新 C 言語入門, ソフトバンククリエイティブ株式会社 (1991)

[4] 浜田望 : 電気回路, 森北出版株式会社 (2000)

[5] 奥村晴彦 : LATEX2 ϵ 美文書作成入門, (1997)