

L-61

## インピーダンス計測における太陽電池モジュールの故障検出

## —太陽電池モジュールのコールコールプロット—

## Failure detection of Photovoltaic module in impedance measurement

## —Cole-Cole plot of Photovoltaic module—

○福田冬威<sup>1</sup>, 西川省吾<sup>2</sup>\*Toui Fududa<sup>1</sup>, Shogo Nishikawa<sup>2</sup>

Abstract: The Cole-Cole plot of a Photovoltaic module (PV module) is similar to a Cole-Cole plot of a parallel circuit of the Resistance and Capacitance (RC). When comparing Cole-Cole plot of one PV module with that of two PV modules in series, two PV modules is about 1.7 times as big as one PV module. However, since the PV module is a nonlinear element, the cause due to harmonics is considered. Moreover, when comparing the Cole-Cole plot measured with the LCR meter and the Cole-Cole plot of only the fundamental wave measured by the harmonic analyzer, they almost agree with each other. From the result, it is thought that the LCR meter is an instrument that detects only the fundamental wave. In this research we investigate whether there is a tendency of past data even if two or more PV modules are connected and aim for modeling the internal circuit of the PV module.

## 1. はじめに

メガソーラー（大規模太陽光発電所）では、数万枚以上の太陽電池モジュール（以下、PV モジュールとする。）が設置されているがそのうちどれか1枚が故障したとする。故障検出するにあたって赤外線カメラ等を利用して表面温度を観測する方法があるが、正確に計測するには日射強度  $500 \text{ W/m}^2$  以上<sup>1)</sup>が条件である。そこで日射強度が十分でない日でも基準となる正常時のコールコールプロットと、故障とみられる箇所の PV モジュールのコールコールプロットを計測し比較することで故障検出が容易にできる。また、正常時、故障時のコールコールプロットを測定したとき、PV モジュールは RC 並列回路と似ているコールコールプロットを描いた。そこで PV モジュール一つの時と二つ直列に接続したものとを比較すると約 1.7 倍程度の大きさにしかならず、非線形素子である PV モジュールのため高調波による原因が考えられる。

このような背景のもと、本稿では PV モジュールを複数枚接続するとどのようになるかを調べ、また PV モジュールの内部回路のモデル化を目的とする。

## 2. 原理

RC 並列回路の合成インピーダンス  $Z[\Omega]$  を以下に示す。

$$\dot{Z} = \frac{R}{j\omega C} \parallel R = \frac{R}{R + j\omega C} \quad (1)$$

$$= \frac{R}{1 + (\omega CR)^2} - j \frac{\omega CR^2}{1 + (\omega CR)^2} = x - jy \quad (2)$$

とおき、これを変形すると式(3)になる。

$$\left(x - \frac{R}{2}\right)^2 + y^2 = \left(\frac{R}{2}\right)^2 \quad (3)$$

これより抵抗値  $R$  の  $1/2$  の半径で、中心座標  $(R/2, 0)$  の円となることが分かる。

## 3. 測定回路

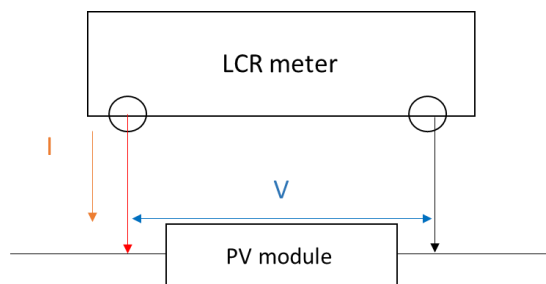


Figure 1. Measuring circuit

LCR メータの 4 端子リード線を PV モジュールに対し順方向に接続し PV モジュール間の電位差、それに流れる電流を計測しコールコールプロットを描く。

## 4. 測定条件

同じ仕様の PV モジュール 4 枚 (A, B, C, D) のコールコールプロットを LCR メータで測定し  $0.1\text{Hz} \sim 100\text{kHz}$  の間の 100 点を取った。また、実際に直列接続し測定を行ったものについては、2 直列、3 直列などと定義するものとし、それぞれの測定結果を合成したものについては A+B, A+B+C などと定義する。

## 5. 測定結果

5. 1 PV モジュール（バイパス回路正常）のコールコールプロット

1 : 日大理工・学部・電気 Electrical Engineering, CST.,Nihon-U. 2 : 日大理工・教員・電気 Electrical Engineering, Co.,Ltd

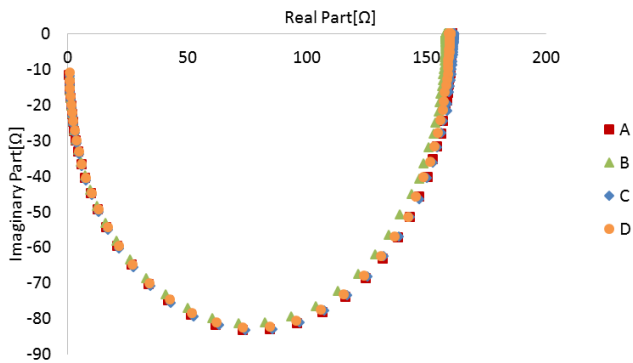


Figure 2. PV module(normal)

バイパス回路が正常な PV モジュールの同仕様の 4 種類 A, B, C, D を比較すると Figure 2 のようにほぼ一致することが分かる。

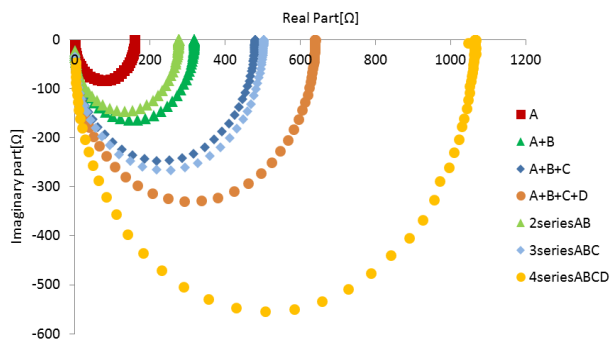


Figure 3. PV module (comparison)

しかしながら、Figure 3 では複数枚直列接続して測定したところ、整数倍にはならなかった。A モジュール一枚と AB 二枚直列接続したときの実部の大きさを比べると約 1.72 倍、ABC 三枚直列接続したときは約 3.12 倍、ABCD 四枚直列接続したときは約 6.58 倍になった。

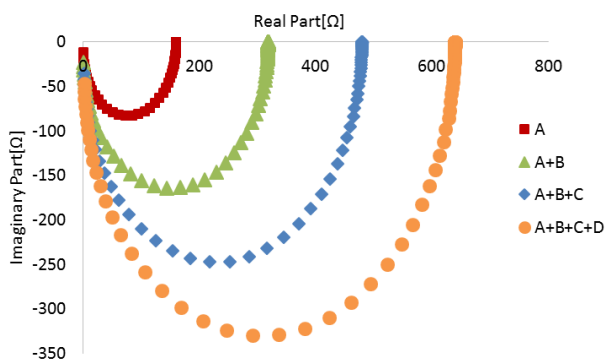


Figure 4. PV module (Synthesis)

二枚接続では約 1.72 倍で 2 倍よりも小さくなったが直列数が増えていくにつれて枚数倍よりも大きくなり非線形的に大きさが増加する。これは PV モジュールが非線形素子であり、Figure 5 に示すとおりダイオードを含む等価回路であるためそのような結果になったと考える。Figure 4 においてはそれぞれの PV モジ

ュールの測定結果を足し合わせたもので PV モジュールが線形素子であればこのように枚数倍となる。

### 5. 2 PV モジュールの等価回路

PV モジュールの等価回路は、Figure 5 のような回路である。

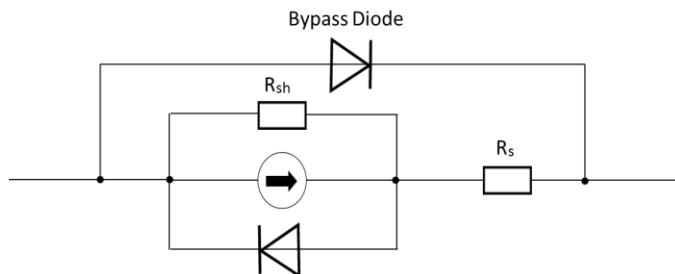


Figure 5. Equivalent circuit of PV module

電流源に並列に接続されている抵抗は接合部における漏れ電流に起因する抵抗で、直列抵抗は電極間の抵抗である。この等価回路の両端に交流電圧を印加しコルコールプロットを描く。

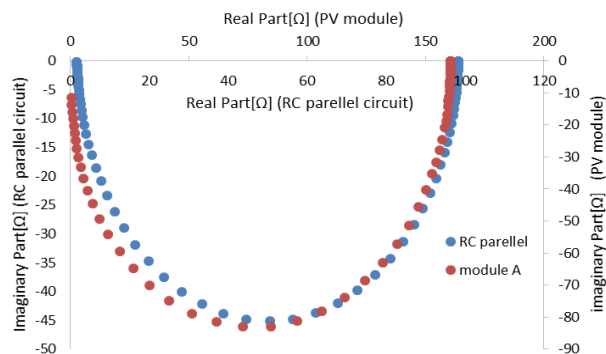


Figure 6. PV module and RC parallel circuit

ダイオードに交流電圧を印加するとダイオードに対して順電圧、逆電圧と入れ替わるので空乏層が変化し空乏層容量も変化する。<sup>[2]</sup>したがって、この等価回路は RC 並列回路として成り立つため Figure 6 のようなコルコールプロットになる。これは比較しやすいように横軸をほぼ一致するように合わせた。このズレの原因としては、前述にもあるように空乏層の変化によってキャパシタンスが変化するためであると考えられる。

### 6. まとめ

LCR メータを使って複数枚直列の PV モジュールのコルコールプロットを描いた。複数枚直列接続してもその枚数倍されない原因としては高調波による影響、等価回路にある非線形素子のダイオードの影響があると考えられる。また本研究で得られた結果をもとに次の研究に生かしていきたい。

### 7. 参考文献

- [1]「Cole-Cole プロットによる太陽電池モジュールの故障検出に関する基礎検討」秋月理沙, 平成 28 年度卒業論文
- [2]電子デバイス工学 佐々木昭夫 昭晃堂 P39～P41