

インピーダンス計測による太陽電池モジュールの故障検出技術
—太陽電池セルのインピーダンスの調査—
Detection technology of fault of PV module by impedance measurement
—Investigation of impedance of solar cell—

○河村健一¹, 後藤一樹¹, 増井雄大¹, 西川省吾²

*Kenichi Kawamura¹, Itsuki Goto¹, Yuta Masui¹, Shogo Nishikawa²

Abstract: It is very important to detect PV module fault to prevent fire accident and shock hazard by PV modules. The purpose of this study is to develop the detection technology of fault of PV module by impedance measurement. In this paper, we report the impedance of solar cell as a basic study of fault detection technology.

1. はじめに

本研究の目的は太陽電池ストリングのインピーダンスを計測し、モジュール内で発生した故障の種類と程度を検出する技術を開発することである。本稿では故障検出技術の基礎検討として、太陽電池セルのインピーダンスについて調査したので報告する。

2. 試験内容

本試験では、セル①～⑩の10枚のセルを1枚ごとに計測した。また、計測中はセルに光が当たらないように裏向きにして黒いシートをかけた。

- (1) セルに直流電圧(0.5~5V の範囲で 0.1V 間隔)を印加し、IV 曲線を計測し、比較した。
- (2) 各セルのインピーダンスの周波数特性を調査した。周波数は 10mHz~1MHz で、印加電圧は 0.1V とした。計測結果からコイルコイルプロットを作成し、比較する。
- (3) 各セルの回路構成と回路定数を求めた。
- (4) Ltspice により正弦波電圧 $V = 0.5 \sin 2\pi ft$ (周波数 $f = 50, 100, 500\text{Hz}$) をセルに印加した時の、瞬時電流 i 、電圧と電流の位相差 θ を求めた。

周波数が変更可能な交流電源装置でセルに電圧を印加し、 i 、 θ を計測した。この時、電圧の大きさ、周波数は LTspice と同値にした。

LTspice で求めた計算値と交流電源装置を使用した実測値とを比較した。

3. 試験結果

セルの IV カーブを Figure1 に示す。これより、各セルの IV 特性にばらつきが見られる。これについて試験(2)と(3)の試験結果から考察する。

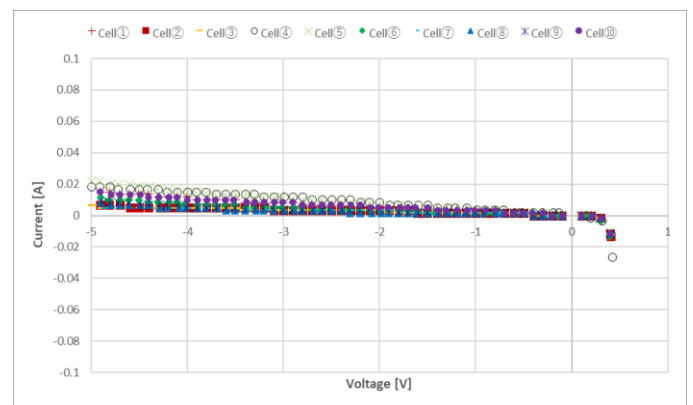


Figure 1. IV curve of 10 cells

Figure2 にセルのインピーダンスのコイルコイルプロットを示す。どのセルも虚部が負となる半円を描いているため、セル単体の等価回路は RC 並列回路であると考えられる。

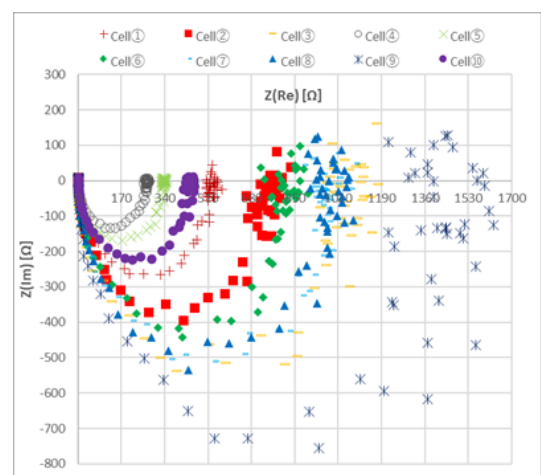


Figure 2. Impedance characteristics of 10 cells

Table1 に 10 枚のセルの R と C の値を示す。この時、R はコイルコイルプロットの実部の最大値と最小値の

1 : 日大理工・学部・電気 2 : 日大理工・教員・電気

差とした。また、Cは以下のような式で求めた。

$$C = \frac{Y}{X\omega_1 R_1} [F] \quad (1)$$

$Y[\Omega]$ は Figure2 における虚部 $Z(Im)$ の大きさの最大値、 $X[\Omega]$ と $\omega_1[rad/s]$ は Y のときの実部 $Z(Re)$ と角周波数、 $R_1[\Omega]$ は周波数 $f = 0.01[Hz]$ のときの抵抗値とした。Table1 より、Rは270~1620 $[\Omega]$ 、Cは7.5~9.3 $[\mu F]$ の範囲でばらついている。Figure1 より Rが大きいほど傾きが小さい。以上より、IV 特性にばらつきが見られるのは、各セルのRが異なっているためと考えられる。

Table 1. R and C values for each cells

		Resistance R $[\Omega]$	Capacitance C $[\mu F]$
Cell	①	562.9	8.695
	②	833.0	9.230
	③	1175.1	8.651
	④	279.9	9.125
	⑤	348.6	7.931
	⑥	902.9	8.765
	⑦	1084.8	7.884
	⑧	1078.4	9.139
	⑨	1610.1	8.007
	⑩	455.6	8.155

試験(4)の例としてセル②の電流について報告する。Figure3 に3つの周波数の電流の実測値を示す。ピーク値はそれぞれ1.11mA、1.06mA、0.75mAとなり、周波数を大きくすると電流が小さくなっている。これより、等価回路がRC並列回路である場合、電圧、抵抗、静電容量、角周波数、周波数をそれぞれ $V[V]$ 、 $R[\Omega]$ 、 $C[F]$ 、 $\omega[rad/s]$ 、 $f[Hz]$ とすると電流 $I[A]$ は式(2)となり、周波数を大きくすると電流は大きくなると考えられるが、そのようにはならなかった。今後は、セルの等価回路を再検討する必要がある。

$$I = V \sqrt{\frac{1}{R^2} + (\omega C)^2} = V \sqrt{\frac{1}{R^2} + (2\pi f C)^2} [A] \quad (2)$$

次に、Figure4 に50Hzの電流の実測値と計算値を示す。LTspiceではTable1の値のRC並列回路にダイオードを直列に接続した回路を用いた。また、計測でシャント抵抗(0.40 Ω)を直列に接続したため、LTspiceでも同等の抵抗を直列に接続した。その結果、ピーク値が実測値は1.11mA、計算値は0.55mAとなり、計算値が実測値より小さくなった。Figure5にLTspiceで用いたダイオードのIV特性を示す。電圧が約0.5Vから電流が急激に流れている。これは、ダイオードは順方向電圧を印加した時、ある電圧以上の電圧を印加した時に急激に電流が流れ、それ以下ではほぼ流れないという特

性があるため、計算値が実測値より小さくなったのは、これによるものと考えられる。

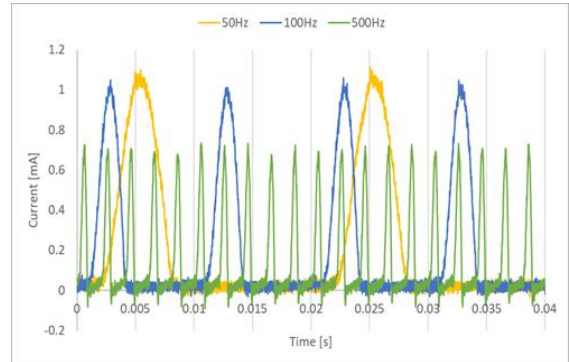


Figure 3. Current flowing through cell ②

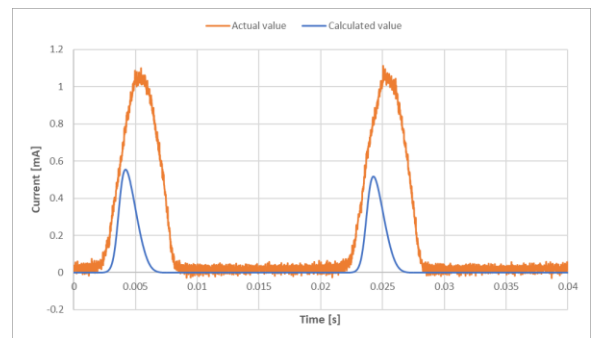


Figure 4. Current in cell ②, 50Hz

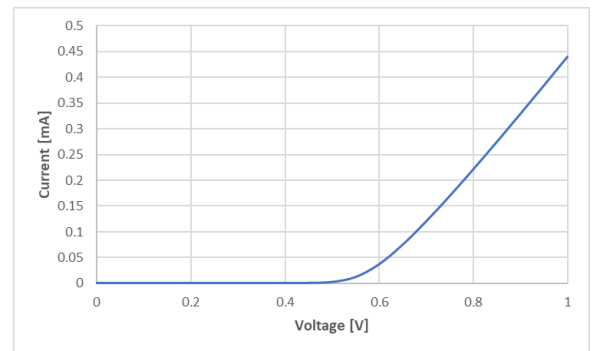


Figure 5. DC Analysis of Diodes Used in LTspice

4. まとめ

本稿では太陽電池セルのインピーダンスについて調査した。その結果、セルのIV特性はRで異なることが分かった。また、試験(2)ではセルの等価回路がRC並列回路である特徴が見られたが、試験(4)からは見られなかった。

5. 参考文献

[1] 横澤康汰：「インピーダンス計測による太陽電池モジュールのバイパス回路の故障検出技術」令和3年度日本大学修士論文