

太陽電池アレイ分布定数回路シミュレーション ～アレイ等価回路の提案～

学生員 桜井康弘(東京農工大) 正員 黒川浩助(東京農工大)

Photovoltaic (PV) array's distributed-parameter line's simulation
-The suggestion of array's equivalent circuit-

Yasuhiro Sakurai, Student Member (Tokyo University of Agriculture and Technology)
Kosuke Kurokawa, Member (Tokyo University of Agriculture and Technology)

1. まえがき

太陽電池アレイは屋外に設置されるため雷サージなどによる過電圧が印加される危険性が高いが、サージ特性などが解明されていないため、国際的にアレイの接地の有無についての取り決めがなされていない状態である。そこで機器の保護や安全性のためにアレイをモデル化しサージ解析をすることによりアレイの接地について定量的に評価し検討していく。本研究ではその基礎研究としてサージ解析を行うアレイの等価回路を提案する。等価回路にはサージ伝播に影響すると考えられる対地容量、および太陽電池セルのpn接合に生じる障壁容量などを考慮し、それぞれを実験により求めた。

2. 等価回路の推定方法

2.1. 太陽電池セルの等価回路

太陽電池セルの等価回路はネットワークアナライザを用いて測定したセル出力端子間のインピーダンスの周波数特性より推定した。インピーダンス測定は光を照射しない場合(暗状態)と照射した場合(明状態)の二つの条件で行った。ここで、太陽電池セルは現在一般的に広く使用されている単結晶シリコン太陽電池を用いた。

2.2. 太陽電池モジュールの対地容量⁽¹⁾

太陽電池モジュールは充填材として用いられているEVA(Ethylene vinyl acetate)などにより大地と絶縁されているため、対地容量が存在する。その対地容量を以下の方法で求めた。

- (1) 太陽電池モジュールの出力端子と金属フレーム間に直流電圧を印加して、電流の時間変化を測定する。
- (2) 印加した電圧と測定した電流の時間変化により抵抗値の時間変化を求める。
- (3) 求めた抵抗値から等価回路の形態を推定し、その回路の抵抗の理論式を求める。
- (4) 理論式を用いて(2)で測定した抵抗値を最小二乗法により近似し、回路素子の値を求める。

実験に用いたモジュールの仕様を以下に示す。

出力: 53W

サイズ: 985 × 445 × 30 (縦mm × 横mm × 厚さmm)

フレーム: 有り(アルミフレーム)

バックシート

- ・ モジュール1(白テドラ/アルミ箔/白テドラ)
 - ・ モジュール2(白テドラ/PET/白テドラ)
- バックシートの材質によりモジュールの対地容量に違いがでることが考えられるため、上記の2種類のモジュールで実験を行った。

3. 結果

3.1. 太陽電池セルの等価回路

ネットワークアナライザを用いて測定した暗状態と明状態におけるセル出力端子間のインピーダンスの周波数特性および、暗状態のインピーダンスから推定した図2の回路の周波数特性を図1に示す。回路の周波数特性は図2の素子を表1に示す値としEMTPを用いて計算した。この図1の結果からセル出力端子間のインピーダンスは図2の回路では表すことができず、キャパシタンス C_d に周波数特性を持たせる必要があると考えた。そこで暗状態のインピーダンスより障壁容量の周波数特性を求めた。(図3)

次に明状態の場合、図1の周波数範囲においてインピーダンスが 1Ω 程度でほぼ一定であった。これはセルが発電状態であるため障壁が低くなり図2の回路のキャパシタンス部分が短絡状態、つまり明状態の場合、セルが 1Ω 程度の抵抗で表すことができると考えられる。

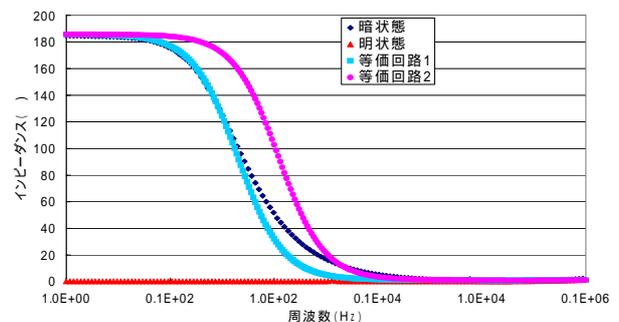


図1 セル出力端子間インピーダンス
Fig.1.Solar cell's impedance

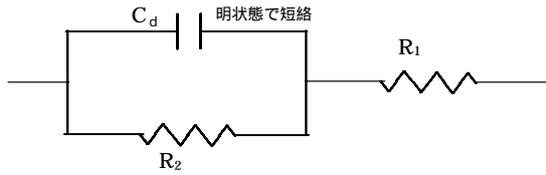


図2 セルの等価回路

Fig.2.PV cell's equivalent circuit

表1 図2の回路素子の値

Table.1.Table of fig2 circuit components

	R ₁ (Ω)	R ₂ (Ω)	C _d (μF)
等価回路1	1	184	37
等価回路2	1	184	15

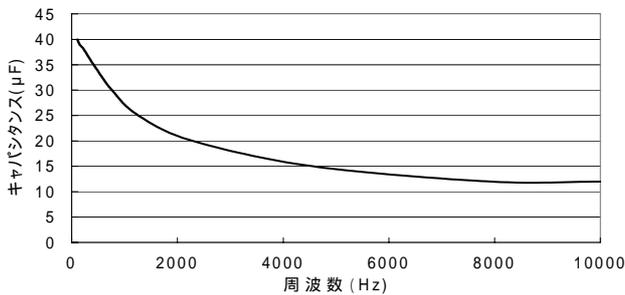


図3 障壁容量の周波数特性

Fig.3.The relation between barrier capacitance and frequency

3.2.太陽電池モジュールの対地容量

太陽電池モジュールの出力端子 - 金属フレーム間の抵抗値および、この結果より推定した図5の回路の理論式を用いて実験値を最小二乗法で近似した曲線を図4に示す。また、最小二乗法により得られた図5の回路素子の値を表2に示す。

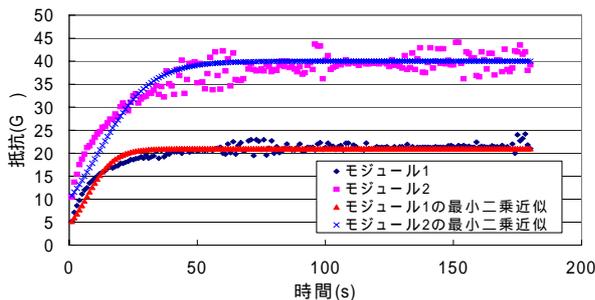


図4 モジュール出力端子 金属フレーム間の抵抗

Fig.4.Resistance between PV module's output frame

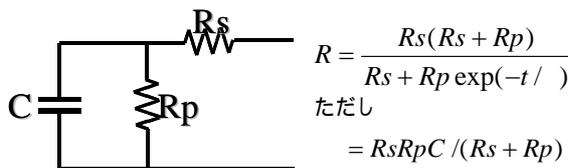


図5 出力端子 - フレーム間の等価回路

Fig.5.Equivalent circuit of PV module's output and frame

表2 図5の回路素子の値

Table.2.Table of fig5 circuit components

	C(nF)	R _s (GΩ)	R _p (GΩ)
モジュール1	1.5	4.5	16.5
モジュール2	1.3	10	30

またモジュール1でバックシートのアルミ箔 - フレーム間を同様に測定したところモジュール1の出力端子 - フレーム間とほぼ等しい抵抗の時間変化の曲線が得られた。よってモジュール1の場合、対地容量はアルミ箔とフレーム間の静電容量により決まるのではないかと考えた。

4. アレイ等価回路

実験結果よりサージ解析を行うための太陽電池モジュール(モジュール1の場合)の等価回路を提案する(図6)。点線で囲った部分がセル1枚の出力端子間の等価回路である。図6のような回路を組み合わせることによりアレイを模擬できるのではないかと考えている。また等価回路にはセルの受光面における無限遠に対する静電容量も考慮した。これは、雷雲など電荷を持つもの影響により太陽電池に電圧が誘導される場合などに雷雲とアレイ間の静電容量を考慮しなければならないためである。

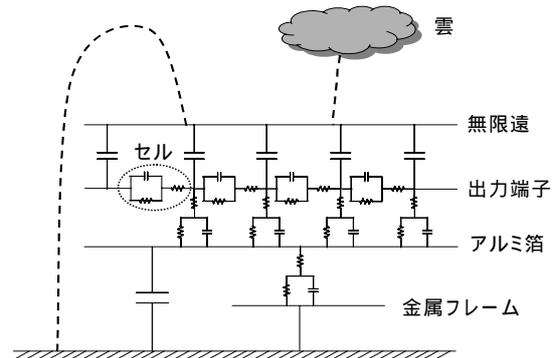


図6 モジュール等価回路(モジュール1)

Fig.6.PV module's equivalent circuit (module 1)

5. まとめ

本研究ではセルの障壁容量とモジュール1の対地容量を実験により求めアレイ等価回路を提案した。今後はモジュール2についても検討していく。また提案した太陽電池アレイ等価回路の妥当性を評価し、さらにEMTPを用いたサージ解析の手法を確立することにより、アレイの接地について定量的に評価し検討していく。

文献

(1) M. Pellegrino, A. Parretta & A.Sarno: "A survey on the electrical insulation behaviour of the PV module encapsulant materials"