

車両用電源装置(AVR)の劣化評価に関する研究

Assessing deterioration of automatic voltage regulator (stabilized DC power supply device) for rolling stock



村上 俊介*



一木 剛*



杉浦 芳光*

Presently, our carry out rolling stock maintenance work according to set periods of time or mileage. This is called Time-based maintenance(TBM). By switching to Condition-based maintenance(CBM), we can expect improved reliability in rolling stock and reduced maintenance costs; as maintenance is carried out according to the actual condition of specific car parts. In this study, we focus on the stabilized DC power supply device for rolling stock by monitoring its attributes, and assess whether it is possible to predict its life-expectancy or detect signs of deterioration.

●キーワード：電源装置、鉄道車両、状態監視保全、CBM

1. はじめに

近年の鉄道車両は、多くの電子機器を使用している。その電子機器の電源である、鉄道車両用定電圧電源装置(AVR) (以下、「車両用電源装置」という。)に着目し、特性を監視することで、寿命および劣化兆候を捉えることが可能かどうかの評価と、その検知方法に関する研究を行った。なお車両用電源装置とは、入力電圧(例:DC100V)から、DC5V、DC12V、DC24Vなどの安定した直流電圧に変換して供給(出力)する直流安定化電源装置のことで、電子機器類を動作させるための電力変換装置である(図1)。



図1 車両用電源装置の外観(参考)

2. 車両用電源装置の概要

2.1 制御方式と寿命故障部品の選定

出力電力が50~100W程度の車両用電源装置は、パルス幅変調(Pulse width modulation: PWM)方式が多く採用されており、制御ICに動作電圧を供給する補助電源と呼ばれる回路を持っている。今回対象とした、新幹線から在来線まで広く使われている車両用電源装置も、このPWM方式である。

これまでの故障調査結果から、車両用電源装置の「電解コンデンサ」に着目した。電解コンデンサの寿命は周囲環

境の温度の影響を受けるが、抵抗や半導体などの他の素子と比較して寿命となる時間が短い傾向にある。特に補助電源回路に使用される電解コンデンサは、入力または出力の平滑用電解コンデンサと比較すると回路設計上の制約から、静電容量を大きくすることはできず、形状も小型になる。このため、周囲環境の温度影響などが同じ条件であれば、形状の大きな電解コンデンサと比較して小型の電解コンデンサは劣化の進行が早く、車両用電源装置の機能に影響を与えやすいと言える。

2.2 補助電源回路の電解コンデンサの機能

補助電源回路の電解コンデンサは、入力電圧が加圧されてからスイッチング動作が継続されるまでの間、制御ICに動作電力を供給する機能を有しており、スイッチング動作が開始されるまでの時間は、電解コンデンサの静電容量に依存する。研究では、出力開始されるまでの時間を「起動遅れ時間」とし、以下に動作原理を説明する(図2、図3)。

- ①最初に補助電源回路の電解コンデンサを充電する。
- ②電解コンデンサから制御ICへ電力を送る。
- ③制御ICが動作しスイッチングを開始する。
- ④電源出力開始とトランス電源で制御ICを動作させる。

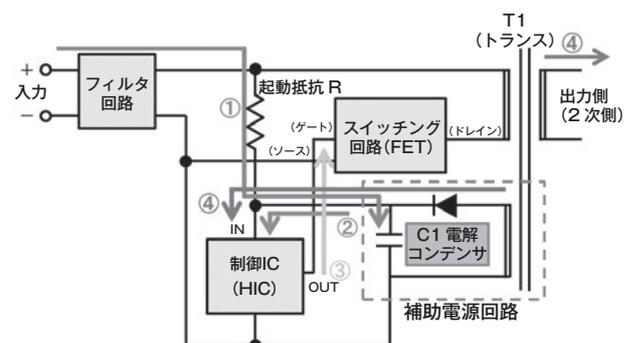


図2 車両用電源装置の動作原理

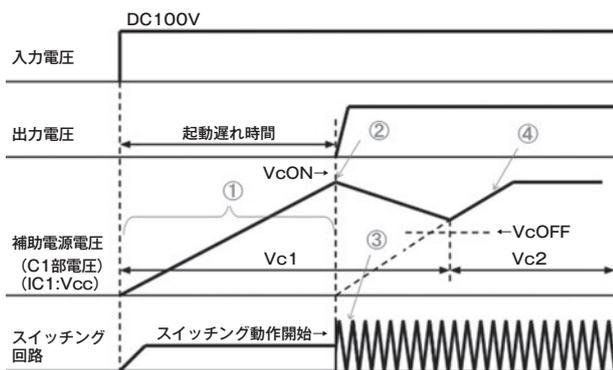


図3 正常動作時の入出力波形と起動遅れ時間

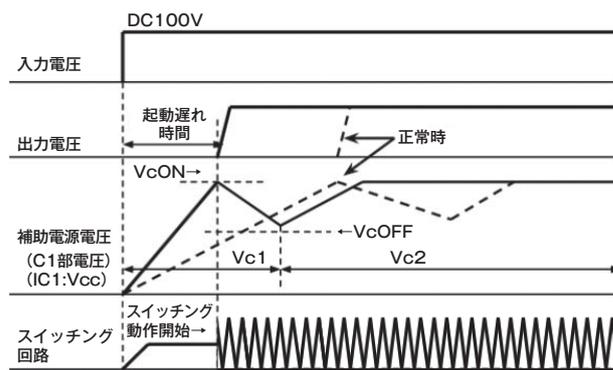


図4 起動遅れ時間が短くなる現象

3. 車両用電源装置の寿命劣化の仮説

補助電源回路の電解コンデンサが劣化してくると静電容量の低下により、車両用電源装置の入力電圧が加圧されてから、補助電源回路の電解コンデンサが充電に要する時間(図2、図3の①)に変化が生じ、起動遅れ時間に影響が出てくると考えた。さらに劣化が進み寿命になると、充電容量が足りなくなり、制御ICに動作電力を供給することができず、車両用電源装置の出力が停止すると考えた。

以上のことから、時間的経過による起動遅れ時間を検知することで、補助電源回路の電解コンデンサが劣化程度を推定できると仮説を立てた。その仮説を検証するため、寿命劣化の進行に対する起動遅れ時間の変化を捉えることを目的に、補助電源回路の電解コンデンサの劣化シミュレーションと劣化加速試験を行った。

4. 電解コンデンサの劣化加速試験の結果

寿命劣化の進行に対する起動遅れ時間の変化を捉えるため、補助電源回路の電解コンデンサの劣化加速試験を行った。その結果、3項で仮説した現象のほか、以下のような現象を確認した。

- (1) サンプルすべてにおいて、電解コンデンサの静電容量の低下と、 $\tan\delta$ の変化を確認した。
- (2) 劣化初期～劣化中期は電解コンデンサの劣化の進行に伴い、サンプルすべてにおいて静電容量の低下により、起動遅れ時間が短くなる現象を確認した(図4)。これは静電容量の低下に伴い、充電時間が早くなったためである。
- (3) 劣化後期～劣化末期になると、起動遅れ時間が長くなることを確認した(図5)。これは静電容量が、制御ICを動作させるトランス側からの電源に切り替わるまで耐えられず、動作と停止を繰り返す現象により、補助電源の起動不良が発生したためである。
- (4) サンプルの半数は、電解コンデンサの劣化末期になると、静電容量が制御ICの動作を維持できないところまで低下することにより、出力電圧停止に至ることを確認した。

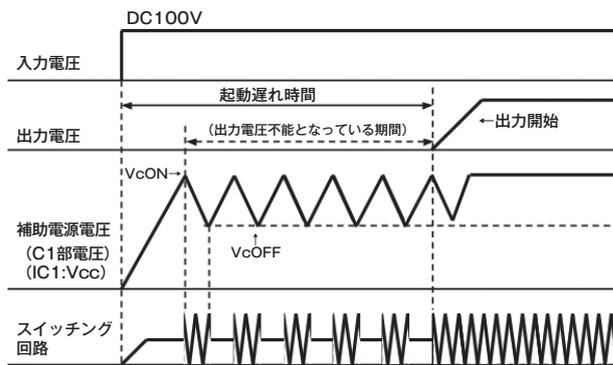


図5 起動遅れ時間が長くなる現象

5. 劣化検知方法の試作

車両用電源装置の起動遅れ時間の変化および補助電源の起動不良時間を検知することで、車両用電源装置の劣化判定が可能であると考え、劣化検知装置を試作し、検証を行った。その結果、補助電源回路の電解コンデンサの劣化により、起動遅れ時間が短くなることと、さらに劣化が進行した際に発生する、補助電源の起動不良時間を測定できた。

起動遅れ時間と補助電源の起動不良時間は、どちらも「時間」での測定となるため、電圧や電流、コンデンサ特性などの測定と比較し、車両用電源装置を分解する必要がなく、比較的容易な測定方法で劣化兆候の定量的な評価実現の可能性がある。また、劣化検知方法は、車両用電源装置に内蔵する方式と、可搬式の測定器方式のどちらでも測定可能となるように考慮した。

6. まとめ

電子機器の劣化傾向を捉えることは困難であるが、車両用電源装置の劣化傾向を起動遅れ時間という指標で捉えることができた(現在特許出願中)。これは電子機器の状態監視保全への一歩である。

今後お客様へ、安全で快適な鉄道を提供するため、品質の向上と実用化に向けて研究開発に取り組んでいく。