

デジタル形保護制御装置用電源の劣化診断

ESR測定による電源装置の寿命診断手法の適用研究

Diagnosing the Deterioration of Numerical Relay Power Supplies

Using ESR Measurement as the Optimal Method for Diagnosing Power Supply Unit Lifespan

(工務部 発変電G)

デジタル形保護制御装置で使用されている電源装置は、電解コンデンサに代表される部品の劣化が知られており、電源装置の劣化診断は設備維持の大きな課題の一つである。電源の劣化判定として、出力電圧のリプル測定が従来から知られている。しかし、リップルの発生は電解コンデンサの寿命末期に顕著となる症状であるため、寿命の予測が困難である。そこで、電解コンデンサの等価直列抵抗(以下、ESRという)測定による劣化診断について研究を行ったため、概要を紹介する。

1 背景と目的

(1) デジタル形保護制御装置のスイッチング電源

本研究で対象としたスイッチング電源を第1図に示す。スイッチング電源は、入力された直流電圧(DC110V等)を、装置内部で使用する別の直流電圧(DC5V等)に変換する役割をもち、DC-DCコンバータと呼ばれる。DC-DCコンバータには、直流入力をスイッチング素子により高周波でON/OFFし、スイッチングトランスの2次側へ電力を伝えるスイッチングレギュレータが主に用いられる。スイッチング動作により、出力には電圧変動(リップル)が発生するため、電圧平滑用コンデンサが必要であり、大容量のアルミ電解コンデンサが用いられている。

(2) 中部電力における運用実績

デジタル形継電器を本格導入したのが1988年であるため、現時点までに15年を超過した装置もあるが、アルミ電解コンデンサの長期使用に起因した障害は、設計に不備が認められる一部の装置を除いて発生していない。

ただし、今後、アルミ電解コンデンサの経年劣化に起



第1図 デジタル形保護装置用スイッチング電源の例

(Hydropower & Substation Section, Electrical Engineering Department)

It is well recognized that the deterioration of certain parts such as the aluminum electrolytic capacitor used for numerical relay power units is a major problem. Therefore the method for diagnosing the deterioration of these parts is very important in order to maintain equipment. A common method for diagnosing power supply deterioration is by using ripple measurements of the output voltage. However, ripple occurrence is a symptom that occurs at the end of the electrolytic capacitor's lifespan. Therefore, it is difficult to evaluate lifespan based only on ripple measurements. So, we studied deterioration of electrolytic capacitors based on Equivalent Series Resistance measurements (from now on referred to as ESR). The following is an overview of our study.

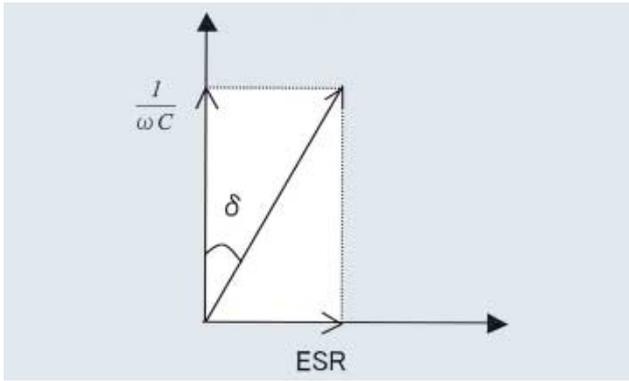
因する障害が急増する可能性も懸念される。このためアルミ電解コンデンサのコンディションを把握した対象装置の絞り込み、効果的な保守の展開が望まれている。

2 ESRによる電源の劣化診断

ESRは電解コンデンサの電極箔抵抗、酸化皮膜抵抗および電解液抵抗の和を表す。温度上昇によるコンデンサの内圧上昇で蒸発した電解液は、封口ゴムから放出される。電解液が減少すると、対向する電極の面積が減少し静電容量が低下するとともに、電気的な経路が細くなり、ESRが増加する。

オフライン(装置停止)状態におけるアルミ電解コンデンサの劣化評価として、ESRにより評価する手法があり、異常発生時の不良部品の特定手法として知られている。しかし、この値をもって、電源で使用されている電解コンデンサの残存寿命の予測を実施している事例は見当たらない。

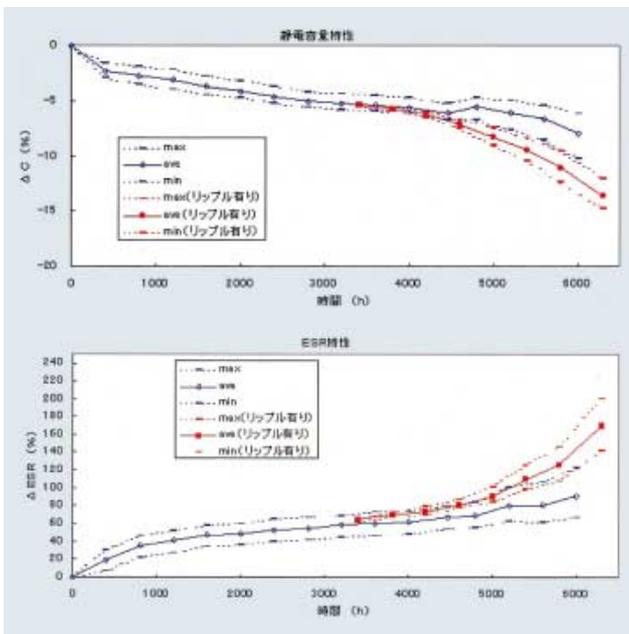
この手法は、オンライン状態での測定ができず、リップル電圧測定等と比べると作業性は悪いものの、ESRの変化は電解液の減少量と相関性があると考えられること、スイッチング電源のリップル設計に関わらずコンデンサ自体のコンディションが直接評価できること、電解コンデンサの劣化による影響が大きい平滑用のコンデンサでは、点検時に外部引出し用端子から測定が行えることから、電解コンデンサの残存寿命の予測手法として適している。なお、コンデンサの評価指標としては、損失角の正接($\tan \delta$ 、第2図)もまた広く適用されているが、ESRの増加比率と $\tan \delta$ の増加比率を比較すると $\tan \delta$ は穏やかな変化となるため、劣化評価に当たっては、経年による変化傾向が顕著で、かつ電解液の減少量と相関性が高いと推定されるESRを評価対象とすることが有効である。



第2図 損失角()

3 電解コンデンサの劣化加速試験

電源装置に使用されている電解コンデンサの劣化と ESR の関係を明らかにするため、電解コンデンサを単独で高温加速劣化試験を行い、静電容量、ESR、重量を測定し、特性を評価した。劣化加速を早めるため、直流電圧を印加した状態、リップル電流を通電した状態で加速試験を行った。静電容量については、いずれの電解コンデンサでも、経過時間とともに、減少する方向となったが、その値は大きくない。ESR については、経過時間とともに、静電容量の変化に比べ、測定値が安定して増大していく傾向が確認された(第3図)。



第3図 コンデンサ単品劣化加速試験結果

4 電源装置出力端子での ESR 測定

スイッチング電源は内部に半導体素子などを有していることから、電解コンデンサ単品の劣化加速試験に比べて、周囲温度 55 を限界として、劣化加速試験を行なわなければならない、十分な加速結果を得ることはできない。このため、劣化加速させた電解コンデンサのサン

ルを出力平滑部に取り付けることで、電源としての劣化状態を模擬した試験を行った。

寿命診断では、電源出力端子で ESR を測定した結果から、内部で使用されている電解コンデンサの劣化状態を判定する必要がある。このため、出力平滑用電解コンデンサの ESR と電源出力端子から見た ESR の関係を確認した。

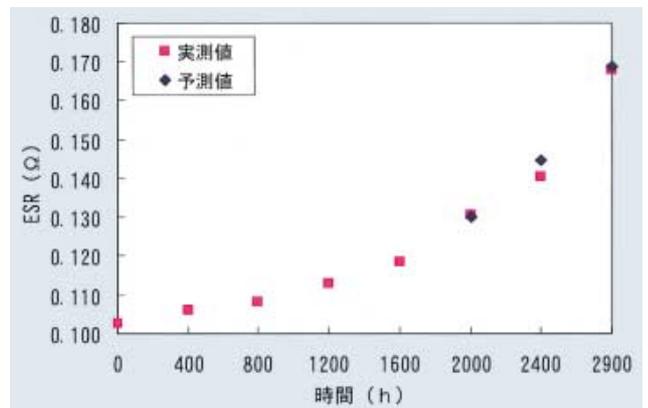
5 電解コンデンサの劣化予測

電解コンデンサ単品の高温加速劣化試験結果を使用し、電解コンデンサの劣化予測方法について検討した。ESR と電解液量 の関係をモデル化し、次の関係式で表せることを確認した。

$$\frac{ESR_n}{ESR_o} = \left(\frac{V_o}{V_n} \right)^m \quad (1)$$

ESR_n: 時間 n の ESR () ESR_o: 基準とする ESR ()
 V_o: 基準とする電解液量 V_n: 時間 n の電解液量
 m: コンデンサの形状によって決まる定数

(1) 式の関係を使用し、電解コンデンサの特性変化を予測することが可能である。(第4図)。



第4図 電解コンデンサの劣化予測例
1200h・1600hの実測値から予測

6 成果

デジタル形保護制御装置に使用される電源装置の構成部品であるアルミ電解コンデンサについて、アルミ電解コンデンサの劣化と ESR の関係を明らかにした。また、ESR と電解液量 の関係をモデル化し、特性変化を予測すること、現地における測定条件(測定周波数、測定温度)を明確にし、ESR 測定による電源装置の寿命診断方法の基礎を確立した。

今後実機におけるデータを収集し、電源装置劣化取替の判定基準の明確化を行い、デジタル形保護制御装置の保守効率化につなげる予定である。



執筆/ 興古田 覚
Yokoda.Satoru@chuden.co.jp