

パワーシステム製品の信頼性を支える技術

塩川 直彦

Naohiko Shiokawa

花岡 裕之

Hiroyuki Hanaoka

金子 浩幸

Hiroyuki Kaneko

小林 哲也

Tetsuya Kobayashi

1. まえがき

現代社会では、さまざまな機器が人々の生活を支えている。安全・安心・便利で快適な社会を実現するためには、これら機器の発展が欠かせない。機器の「信頼性」は、安全性・環境性と共
に、社会から要求される重要な要件の一つである。どんなに安価で高性能な機器でも、信頼性が欠如しては社会に受け入れられることはない。特にエネルギー・水・運輸・医療・通信などの社会インフラに使用される機器は、高い信頼性が要求されている。

当社のパワーシステム製品は、UPS・CVCF・非常用発電装置などの通信用電源の分野で、通信システムの信頼性向上に貢献してきた。また、近年では、太陽光発電システム用パワーコンディショナやグリッド管理装置などの電力変換装置の分野でも高い信頼性を有する機器を提供している。

本稿では、パワーシステム製品の高い信頼性を支える技術の詳細と、その応用製品を紹介する。

2. 信頼性への取り組み

2.1 信頼性の定義と評価

JIS Z 8115 (2000)「デイベンダビリティ (信頼性)用語」によれば、信頼性とは「アイテムが与えられた条件で規定の期間中、要求された機能を果たすことができる性質」と定義されている。アイテムとは、部品・材料・モジュール・機器・システムなどの総称である。「信頼性」の定義は「性質」と表現されるように、定性的な特性である。しかし、信頼性を評価する場合は定量的な数値特性で判断しなければならない。信頼性を定量的に評価する手段は、信頼度・故障率・MTBF・MTTFが広く知られている。当社のパワーシステム製品も、これらの定量値で信頼性を評価している。

2.2 パワーシステム製品の信頼性への取り組み

2.2.1 信頼性設計とデザインレビュー

製品が求められる信頼性を有するように設計するためには、「与えられた条件」、「規定の期間」、「要求された機能」の3つを明確にすることが重要である。これらはすなわち、機器の使い方や使用環境条件、設計寿命、機器が果たすべき最も重要な機能

のことである。3つの重要事項は、製品の設計・開発時にデザインレビュー (以下、DR) で審議され、明確にされる。また、DRではFTA・FMEAを行い、あらかじめ故障の要因や影響を明確にして未然に故障を予防する対策が検討される。

製品に使用される部品・材料については社内規定の部品認定試験に合格した物でなければならない。製品に使用する部品の信頼性についてもDRで審議される。

パワーシステム製品は、故障した時に修理して再使用される。このような機器は「修理系」と呼ばれ、保全性も含めて信頼性を考慮する必要がある。DRでは、定期交換部品の選定や交換手順などの予防保全、故障した場合の故障探求や復旧手順などの事後保全が十分に考慮されているかが審議される。

2.2.2 信頼性確認試験

パワーシステム事業部で開発・設計・製造する製品や、製品に使用される材料・部品は以下の試験を実施して信頼性を確認する。

- ① 部品認定における部品の信頼性試験
- ② 開発品の評価試験における信頼性試験
- ③ 開発品の品質保証試験における信頼性試験
- ④ 量産移行後の製品における信頼性試験
- ⑤ 量産品の初期故障除去のためのスクリーニング試験

2.3 信頼性を高める設計技術

信頼性を高める代表的な設計技術について紹介する。

2.3.1 部品点数の削減

故障率 λ の部品 N 個から構成される製品の故障率は、 $\lambda \times N$ である。部品数を減らすことは製品の故障率を小さくするうえで最も有効である。

2.3.2 故障因子の影響低減

電子部品の故障率に影響する因子は、温度・電圧・電流・湿度・機械的応力・化学物質などが挙げられる。製品の使用条件によっては、これらの因子に対し、影響を低減する必要がある。

2.3.3 ディレーティング

部品の定格に対し、余裕率や安全率を乗じた条件で使用す

ば部品故障率は低減する。電子部品の電圧・電流・温度条件に対して実施されることが多い。

2.3.4 冗長設計

一つの部品やモジュールが故障しても、それを補う予備の部品やモジュールを準備しておけば、信頼度は飛躍的に向上する。冗長設計は信頼度を高める最も代表的な手法である。

2.3.5 保全作業への配慮

修理系の機器は、保全作業の作業性に対する考慮が必要である。機器によっては、予防保全を機器が停止することなく、安全に短時間で実施できるように設計段階で考慮される。

これら、パワーシステム製品の信頼性を支える技術の詳細について、次章で述べる。

3. パワーシステム製品の信頼性を支える技術

3.1 小容量UPSの信頼性を支える技術

小容量のUPSはコスト競争が厳しい領域でもあることから、信頼性をあげるための技術にも工夫が必要となる。

3.1.1 部品点数の削減

各部品には一定の故障率が存在し、装置の故障率はこれらの積み上げとなるため、部品点数の低減は装置の信頼性を上げるためのもっとも基本的な考え方といえる。また同時にコスト削減を進めることができる。したがって、個々の装置の部品点数を低減した上で更に高度な信頼性向上の手法に進める必要がある。部品点数削減の具体的な手法としては、

- ・制御回路をマイクロプロセッサへ集約する
- ・駆動回路簡素化
- ・パワー部品の集約

などがあげられる。十年前の「SANUPS ASC」1kVAと比較し、最新の「SANUPS A11F」1kVAでは部品点数は約半分となっている。

3.1.2 並列冗長システム

効果の大きい信頼性の向上策として装置の並列冗長化がある。並列冗長は図1に示すように同じ装置を2台以上並列に接続し、万が一どちらかが故障したときでも他の装置から給電を継続するものである。単独のUPSと比べて部品点数は増えるが、並列システムの理論より信頼度は格段に向上する。

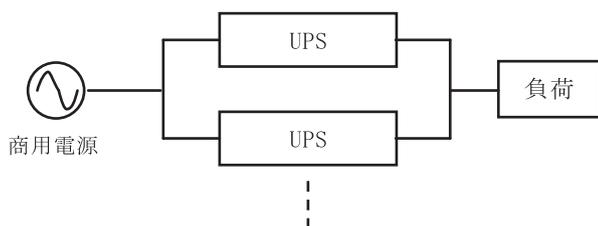


図1 並列冗長システム

当社の小容量のUPSでは「SANUPS ASE-H」及び「SANUPS A11J」(図2)に並列冗長機能が用意されている。



図2 「SANUPS A11J」(単機)

この中で「SANUPS A11J」は単機容量が5kVAで、最大4台まで並列接続することが可能となっている。N+1の並列冗長システムとして構成する場合は、1台分の余裕を持たせる必要があるため、4台並列接続で15kVAの装置としてシステムを構成する。UPSの出力は交流であるため、UPS同士の出力を並列に接続するためには、それぞれのUPSの出力電圧の高度な制御が必要となる。「SANUPS A11J」は当社独自のデジタル制御技術により、高速の制御を実現し、システムの高信頼化に寄与している。

3.1.3 無瞬断電源切換スイッチ

並列冗長システムはUPSそのものの信頼性をあげるための方法であるが、システムとして信頼性をあげるために無瞬断電源切換スイッチ(一般にはSTS - Static Transfer Switchと呼ばれる)を使用する方法がある。図3に示すように異なる電源系統を引き込み、STSを通して負荷に給電する。このシステムはSTSが各電源の異常を検出し、正常な系統に切り換える機能を持っている。

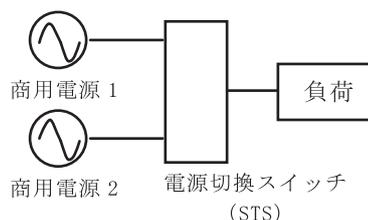


図3 半導体切換スイッチを用いたシステム

本システムはSTSが共通部となるが、構成がシンプルで部品点数も少ないため、システムとしての信頼性を高めることができる。当社の製品では「SANUPS S11A」(図4)がSTSとして用意されている。

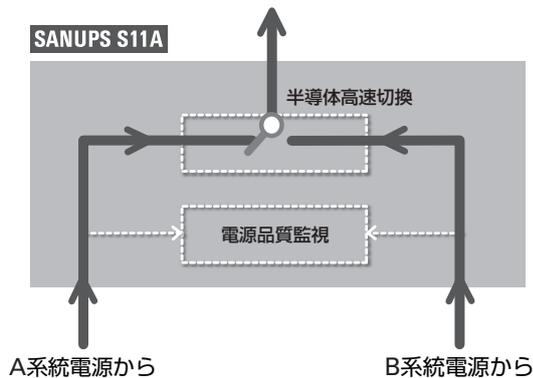


図4 「SANUPS S11A」

「SANUPS S11A」はA系とB系の二つの入力を独自の電源監視回路と、半導体とリレーを組み合わせたハイブリッドスイッチにより3msec.以内の高速で切り換えることができる。この製品を用い更に信頼性を高めるために図5のように各系統にUPSを入れる場合もある。

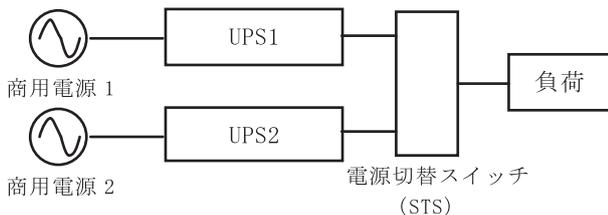


図5 STSを用いたより信頼性の高いシステム

3.2 中大容量UPSの信頼性を支える技術

中大容量UPSは、データセンタなど一瞬の給電停止も許されない重要負荷に使用されることが多い。ここでは、負荷への給電信頼度に着目し、中大容量UPSのシステム構成を紹介する。

3.2.1 単機システム(商用バイパス付き)

当社の中大容量UPSは、常時インバータ給電方式とパラレルプロセッシング方式のラインアップがあるが、どちらの方式も

商用バイパス付きとすることで、負荷への給電信頼度を高めている。

「SANUPS A23C」などの常時インバータ給電方式UPSは、インバータの故障が発生した場合、自動でバイパス回路に切り換わり負荷への給電を継続する(図6)。「SANUPS E23A」などのパラレルプロセッシング方式UPSは、商用バイパスとインバータ出力が通常時は並列運転しており、インバータ故障時は、バイパス回路で負荷への給電を継続できる(図7)。

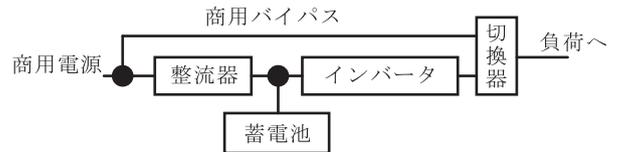


図6 単機システム(常時インバータ給電方式)

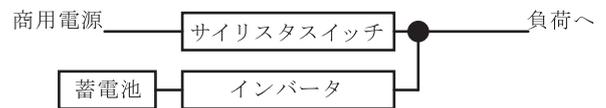


図7 単機システム(パラレルプロセッシング方式)

3.2.2 並列冗長システム

当社の大容量並列冗長UPSシステムの例として、「SANUPS E33A」を紹介する。「SANUPS E33A」は、業界初のパラレルプロセッシング方式を採用した並列冗長UPSである。パラレルプロセッシング方式での並列冗長UPSシステムの実現には、商用電源の異常を高速かつ高精度に検出する技術や、並列UPS間および商用電源との横流を防止する制御技術が不可欠である。「SANUPS E33A」では、最新のデジタル制御技術により、これらを達成している(図8)。

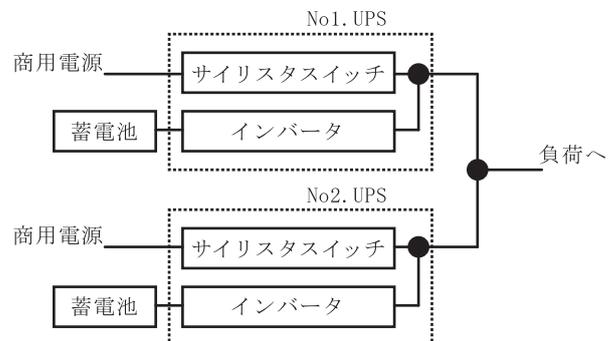


図8 並列冗長システム(パラレルプロセッシング方式)

3.2.3 待機冗長システム

待機冗長システムは、常時インバータ給電方式UPSの常用UPSと予備UPSとで構成され、常時は常用UPSより負荷へ給電し、常用UPSの故障時や保守点検時には、予備UPSより給電継続する。このシステムは、単機システムのUPSをほぼ標準仕様そのまま用いて構成できる。また、複数の常用UPSに対して1台の予備UPSで構成した共通予備方式もある(図9)。

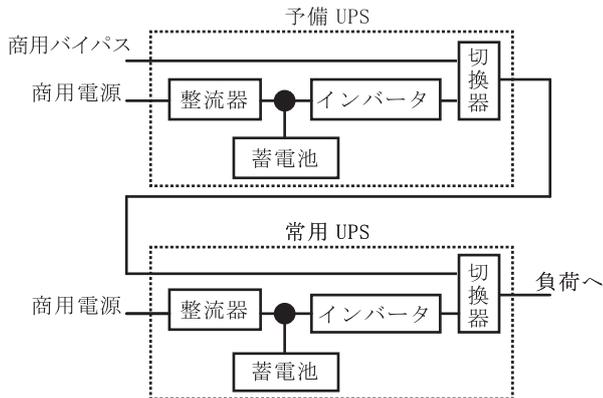


図9 待機冗長システム (常時インバータ給電方式)

3.2.4 単機システム内での冗長技術

当社のRMAは、単機システム内で待機冗長化を実現したUPSである。通常のインバータと整流器に双方向コンバータを付加している。双方向コンバータは、インバータ運転、整流器運転の双方が可能で、予備インバータ、予備整流器として機能する。変換ユニットレベルで待機冗長システムを構築している。通常の待機冗長システムに比べ、経済性と設置スペースでのメリットが大きい。また、RMAによる待機冗長システムを構築することも可能で、この場合、更に高信頼システムが実現できる(図10)。

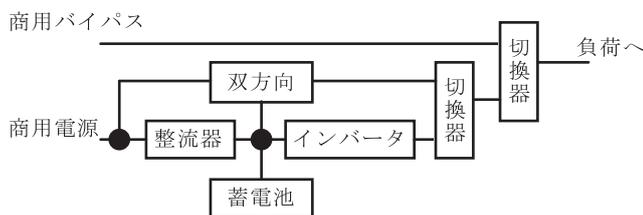


図10 高信頼型UPSシステム

3.3 非常用発電装置の信頼性を支える技術

非常用発電装置の最も重要な機能は、通常時に停止状態である原動機および発電機が、停電時に確実に始動し、電力を供給することである。このためには、燃料・潤滑油・冷却水・蓄電池・制御回路をいつでも始動できる状態に維持する必要がある。冷却水保温機能、自動定期保守運転機能、故障検知機能などを有している。また、通信事業者向けに、これらの機能を充実させた、診断機能付ディーゼル機関発電装置を提供している(図11)。



図11 診断機能付き非常用ディーゼル発電装置

3.3.1 診断機能

診断機能は、装置の故障検知だけではなく、故障部位や故障原因の特定を手助けする機能である。装置が故障した時に、早期復旧することができる。

3.3.2 定期プライミング機能

定期プライミング機能は、燃料噴射を止めたまま始動モータを回し、原動機内部の油膜切れを防止する機能である。これと同時に蓄電池や始動モータの正常性確認も実施できる。また、原動機を始動しないため、燃料を消費せず、排ガスも排出しない、環境に配慮した機能である。

3.3.3 安全性

非常用発電装置は、納入後20年以上にわたり使用される。定期整備の回数が増えるため、保全作業の容易性が重要となる。定期交換部品が多い制御盤は、プラグイン化された部品の採用や、部品の共通化、ユニット化を実施している。また、屋外キュービクル式発電装置や移動電源車など、パッケージ内に収納される発電装置は、全ての構成パーツの点検・保全が実施できるように、扉や蓋の配置、スペースの確保などを考慮している。

4. むすび

以上、パワーシステム製品の信頼性を支える技術について紹介した。

近年、パワーシステム製品が使用されるシステムは、より複雑化する傾向にある。このような複雑なシステムを支える機器の信頼性は、単純に「故障しにくい」という狭い意味での「信頼性 (Reliability)」から、万が一故障しても迅速に復旧できる「可用性 (Availability)」も含むようになった。これは、機器の劣化や故障が避けられない以上、故障してもシステム全体として満足な状態を維持し、実用に支障がないことが重要視されるようになったためである。

可用性を高めるためには、本稿で紹介した信頼性を製品へ作りこむ技術に加え、製品の運用・保全に関する情報の提供や文書の整備、運用・保全の計画支援、作業者の教育訓練などの管理技術が重要になる。

今後もユーザーの望む高い信頼性を有する製品を提供し、安全・安心・便利で快適な社会の実現に貢献する所存である。

文献

福井 泰好 著 「信頼性工学」



塩川 直彦

1989年入社

パワーシステム事業部 設計第三部
電源装置の開発・設計に従事。



花岡 裕之

1988年入社

パワーシステム事業部 設計第二部
電力変換装置の開発・設計に従事。



金子 浩幸

1993年入社

パワーシステム事業部 設計第一部
無停電電源装置の開発・設計に従事。



小林 哲也

2002年入社

パワーシステム事業部 設計第三部
回転型発電装置の開発・設計に従事。