

高調波および 中性線の過負荷に よる危険性

ホワイトペーパー#26

APC[®]
by Schneider Electric

要約

このホワイトペーパーでは、IT機器を中心に、高調波電流によって引き起こされる問題と、さまざまな国際規制によって高調波問題が解消された経緯について説明します。

©2009 American Power Conversion. All rights reserved.

本書に記載の内容は、著者に無断で保存、使用、複製、複写、転用することを禁じます。

www.apc.com WP#26 改訂0

はじめに

非線形負荷は、電源系統に高調波電流を発生させます。高調波電流とは、基本周波数(50または60 Hz)の数倍にあたる周波数の電流で、配線や変圧器の過負荷、発熱、極端な場合には火災など、さまざまな障害の原因となるものです。ITの電気系統に関しては、この高調波問題を、どのような場合に、どのような方法で抑制するかを知っておく必要があります。近年では、さまざまな国際規制によって、高調波問題はほぼ解消されています。

非線形負荷

多くのデスクトップPCの場合、それらの電源ユニットは「コンデンサ入力型スイッチモード」を内蔵しており、交流(AC)電源にとっては非線形負荷となります。

一方、ほとんどのサーバやルータ、ハブ、ストレージシステムなどのIT機器では、PCとは異なる電源設計になって、「力率補正」(Power Factor Corrected)されています。これは、交流電源にとっては線形負荷となるため、高調波電流は発生しません。実際、IT機器は電力網にとってはもっともクリーンな負荷のひとつで、蛍光灯や可変速モータなどの多くの電気機器と比較しても、発生する高調波電流は低くなっています。10年前は、IT機器も、PCのような非線形負荷となっていましたが、今日、IT機器の負荷に対しては、さまざまな国際規制によって「力率補正」設計が義務づけられています。

さまざまな規制

交流電気系統への非線形負荷を抑制することは、社会的にも重要な意義があります。非線形負荷が大きいと、公共電力システムの配電容量が少なくなるだけでなく、近隣の電気製品に流れる交流電流の波形が歪み、電力の質が劣化します。最悪の場合には、火災にもつながります。

1980年代、IEC(国際電気標準会議)などの国際機関や公共事業機関によって、電気製品による電力消費量の増加傾向が指摘され、問題の電気製品の多くでコンデンサ入力型電源が使用されていることが判明しました。電力消費量の主な増加原因は、蛍光灯や高性能空調システム、PCなどの電気製品にありました。IECでは、この対策として、1982年、「家庭用機器」による高調波の発生を規制するIEC 555-2「Harmonic injection into the AC Mains」という国際標準規格を策定し、スイスや日本などのほか、多くの国で、IEC555規格が採択されるようになりました。

当初、コンピュータ製品の世界的なメーカーでは、1980年代半ばにIEC 555-2を採択した国々へのコンピュータ販売に支障が出始めたことから、力率補正電源の開発が進められました。

IECは1995年、IEC 555-2規格をさらに推し進めた「IEC 1000-3-2」を発表しました。IEC 1000-3-2 では、IEC 555-2 よりも大幅に適合範囲が拡大され、1相あたり16アンペア以下のすべての電気機器が対象になり、非線形スイッチモードの電源を備える製品に関する高調波の絶対量と割合が制限されました。米国とEC以外の多くの国々では、この規格が採択されるようになりました。ECは、同年、独自の規格としてEN61000-3-2を採用し、機器メーカーに対して「The EMC Directive」というEC指令のもとでこの規格への適合を義務づけました。この指令により、機器メーカーには、1998年までに既存の製品設計を規格に適合することが義務づけられましたが、後に、2001年1月1日まで期日が延期されました。

同規格では、高調波電流の発生を以下のように規制しています。

高調波	許容される高調波電流(1ワットあたり) (mA/W)
3次	3.4
5次	1.9
7次	1
9次	0.5
13次	0.35
その他の奇数高調波(最大39次まで)	3.85/n

ネットワークや通信用コンピュータ機器の製造に関しては、1995年までに、IEC 1000-3-2への適合がほぼ完了しました。この規格をすみやかに採択しなかった国もありますが、対応が遅れた企業では、この規格が商取引の大きな障壁となりました。コンピュータOEM各社は、システム統合用のOEM機器のほぼ普遍的な要件としてIEC 1000-3-2への準拠を指定していたため、IT業界では、2001年1月はもとより、本来の期限である1998年になる前に、実質的にほぼ100%、IEC 1000-3-2への適合が完了しました。

米国は、IEC 1000-3-2への「Amendment 14」という修正案を提案し、この規格による規制を緩和して高調波の許可量を増やそうとしていますが、この修正案を受け入れる国があるかどうかは不明です。

ECをはじめ多くの国で発売される製品に対しては、EN61000-3-2規格への適合が義務づけられていますが、米国では、同規格が正式に採択されていません。今日のIT機器は、世界中どこでも使用できるユニバーサル仕様になっており、CEマークの取得とIEC規格への適合が義務づけられています。したがって、一部のPCを除いて、世界中で販売されているIT機器は、同規格に適合していると言えます(米国では、現在でもこの規格に適合していないPCが販売されています)。この5年間ほどで旧型の機器が新型にモデルチェンジされたこともあり、データセンタ環境の高調波問題はほぼ完全に解消されています。

実際のシステムに対する規格の影響

IEC 1000-3-2規格に適合している機器を含むシステムには、次のような特性があります。

1. ニュートラル回路の高調波電流は、第三次高調波を上回る高調波が単位電流あたり、2%未満になるよう抑制されているため、中性線電流の影響において、第三次高調波以外の高調波はすべて無視できるほどの少量である。
2. 理論上、システムのKファクタの最大値は9になるが、これは負荷が675W未満の場合に限られている。これ以上の負荷の場合、Kファクタの理論最大値は小さくなり、たとえば負荷が2kWの場合、Kファクタの最大値は3となる。
3. 全回線に最大定格の電流が流れており、負荷が675W未満で、すべての負荷で生成される第三次高調波が規格範囲内にある場合、理論上の最大中性線電流は定格相電流値の1.7倍になる。負荷がこれを上回る場合、理論上の最大中性線電流は小さくなり、たとえば負荷が2kWの場合、理論上の最大中性線電流は相電流より小さくなる。

以下の理由により、実用システムの高調波電流は、理論上の高調波電流より小さくなります。

1. メーカーは、広範な電圧、製造公差、負荷の範囲で規制に適合する必要があるため、実際の製品では、通常の運用条件で規格の上限を大きく下回る数値になる。
2. 相間に接続される負荷もあるため（特に米国の場合）、中性線電流には無関係である。

Kファクタと中性線電流に対する要求値を特定するため、実際のシステムを2種類使用して、テストを実施しました。システム1は、サーバx4、テープライブラリx1、ネットワークストレージシステムx1で構成されるDell社製品(他メーカーの機器でも同様の結果)、システム2はすべてPC負荷で構成されています。高調波電流の測定には、Fluke社の電力アナライザを使用しました。Kファクタの計算にはIEEE規格1100-1992を使用し、中性線電流容量のサイズ係数の計算には、最大負荷をかけた三相システムを使用しました。下表はテスト結果です。

	システム1: Dell製ネットワーク機器	システム2: PC	システム3: ネットワーク機器とPCの 混成 (50:50)
Kファクタ	1.2	11.4	5.2
中性線サイジング (電流要件: 相導体の電流を 100%とした場合)	8%	102%	42%

まず、PCとネットワーク機器の大きな違いに注目してください。PCとネットワーク機器の混成システムでは、Kファクタと中性線サイジングに関する要求値がPCのみの環境よりも小さくなります。このデータから、データセンタの構成では、Kレートを5より上に設定する必要がある場合や、相電流定格を上回る中性線電流が必要な場合というのは、ほぼありえないことがわかります。また、PCのみで構成されるデータシステムを構成しようとする場合は、Kファクタの要求が「11」になることはありえますが、中性線をオーバーサイズ化する必要はありません。

高調波による建造物電気配線の中性線過負荷状態と火災の危険性

三相の建造物電気配線は、3本の活線(または相)、1本の接地線、および1本の中性線で構成されており、単相負荷は活線と中性線の間で接続されています。このため、中性線は、すべての単相負荷電流に「共通」の帰線となりますが、三相電源の特性として、3本の活線の負荷がほぼ均等な場合、相電流は互いに「位相がずれている」ため、中性線電流はほぼゼロになります。これは、負荷電流により中性線電流が「相殺される」という意味です。北米では、この効果を設備の配線設計に利用して、中性線のサイズを活線より小さくしている場合もあります。ところが、コンピュータから発生する高調波電流の場合は、このシステムの動作が異なります。コンピュータからは、大量の第三次高調波電流が発生しますが、数学的な位相特性に基づき、第三次高調波電流によって、中性線電流は相殺されず、逆に大きくなるため、屋内に大量のPCが設置されている場合、中性線には適応範囲を超える高電流が流れる場合があります。事実、理論の上では、中性線の高調波電流だけで、電源ラインに流れる全定格電流の1.7倍にも達します。**これが高調波とPCに関わるもっとも重大な問題です。**上表のデータには、PC環境においては、中性線電流が相電流を上回ることはめったになくても、中性線電流が相電流値に達する場合があります。このことから、オフィス環境では、決して中性線のサイズを小さくしないよう注意する必要があります。

蛍光灯安定器なども非線形負荷になるため、この問題はPC環境に限られるものではありません。ただし、データセンタの場合は、力率補正を義務付ける規制が適用されるため、このような問題は発生しなくなっています(注: ほとんどの建物では、コンセントは単相ですが、配線には三相が使用されています)。

高調波による屋内電力変圧器の過負荷状態と損耗

電力変圧器は、定格容量の単位がkVAで、電線の基本周波数(50または60 Hz)と同じ周波数で電流を送電するように設計されています。変圧器の電力容量を制限する要素は、その発熱が考えられます。変圧器は、それ自体の巻線(固有)抵抗とそれを通過する電流によって発熱します。電力変圧器に高調波電流が流れると、「近接効果(「渦電流効果」ではない)」により、周波数の上昇につれて変圧器の実効抵抗も大きくなります。したがって、大量の高調波電流が流れる場合は、変圧器の定格を下げないと、オーバーヒート状態となり、絶縁の劣化によって変圧器の損耗が早くなります。変圧器の障害は、有害ガスや火災などの惨事につながることも多く、データセンタを何日も閉鎖したり、職員の健康や安全が損なわれたりするような事態にまで悪化する場合があります。

この問題は、1)最大容量に近い負荷が変圧器にかかっている(稀な状態)、2)変圧器のKファクタの定格が不適切である(不適切な近接効果設計)、3)屋内の主要な負荷がPCである、という3つの要因が重なっている場合に起こります。たとえばコールセンタのように、大量のPCが設置されているような環境では現実的な問題ですが、データセンタ環境の場合は、前述の理由により、このような問題が発生することはありません。

高調波問題を軽減するには

高調波問題は、たとえば以下のような方法で回避できます。

1. 高調波が発生しない機器の使用
2. 高調波の補正
3. 中性線配線のオーバーサイズ化
4. Kレート変圧器の使用

高調波が発生しない機器の使用

ネットワーク機器の場合は、IEC規制が存在するため、この問題は解消されています。PC環境の場合は、モニタによって高調波が発生するため、さらに困難になります。1つの手段として、LCDモニタやノート型PCなど、全体の電力消費量が小さいPCやモニタを使用するという方法があります。これにより、屋内配線や変圧器の問題を解消できます。

高調波の補正

UPSを機器と併用している場合は、UPSによって、高調波が補正されたり、または除去される場合があります。単相UPSの中には、APC Symmetraのように、中性線電流を完全に除去する機能を装備しているUPSもあります。力率補正機能を内蔵したUPSをPCの電源クラスタに使用すれば、高調波が屋内配線や電力変圧器にまで波及することを回避できます。この方法には、既設の建物に装備でき、既存の負荷と併用できるという利点があるだけでなく、配線と変圧器の問題も補正できます。高調波規制の対象とならない産業用大型モータのような別種の負荷には、発生源の近くで高調波を吸収する特殊な製品があります。

中性線配線のオーバーサイズ化

近年のデータセンタでは、中性線配線は、常に電源ラインの容量と同じサイズ(またはそれ以上)に設定する必要があります。これは、中性線のサイズを小さくしても問題にならないような電源コードとは対照的です。コールセンタのように、PC負荷が大きい環境では、相の配線容量の2分の1にあたる量だけ中性線配線が大きくなるよう設定します(米国の場合は2ワイヤゲージ。すなわち位相配線が8ゲージの場合、中性線配線は6ゲージとなる)。オフィス内分電盤の配線には、特に注意する必要があります。分電盤の配線は、設備配線までを保護することはできますが、変圧器まで保護するものではありません。

Kレート変圧器

大量のPCが設置されている近年のオフィス環境では、Kレートが9以上の変圧器を使用する必要があります。このような変圧器は、高調波電流に耐える設計が施されています。データセンタの場合は、旧式の既存負荷、PC負荷、または照明負荷を含んでいる場合でも、Kレートが9の変圧器であれば、それらの高調波電流を流すことができます。

結論

コンピュータシステムに対する電力の要求は、さまざまな国際規制によって、大きく変化しました。かつて、「電気を汚染する」と言われ、変圧器や配線の過負荷によって火災の発生原因になると非難されていたネットワーク機器は、近年の商業または産業施設における「もっともクリーンな」負荷に変貌しました。中性線を2倍にしたり、Kレートが20の変圧器を使用するようなデータセンタの設計規格は、不要な出費の原因ともなるため、再度見直して、改善することが適切だといえるでしょう。