

論文

小型変圧器の電気特性に及ぼす高調波電流の影響

滝田和宣* 石井清一* 亀山行雄* 牧野晃浩** 橋本欣也***

Influence of harmonic current to electric characteristic of a small transformer

Kazunori TAKITA, Seiichi ISHII, Yukio KAMEYAMA, Akihiro MAKINO
and Kinya HASHIMOTO

Abstract There is an inverter and switching power supply in equipment which use power electronics. This kind of equipment is widely used from household electric appliances to equipment for industry. However, harmonic current which occurs from this kind of equipment makes voltage distortion large in electric power systems. Therefore, to which degree harmonic current must be generated must be known so as not to worsen the power supply environment by harmonic current.

In this study, harmonic current was applied to a small transformer. Then, its electric characteristics and magnetic characteristics were investigated and examined.

As a result, efficiency and voltage regulation became bad when harmonic current increased. However, no large change was admitted. Also, there was no large change for the magnetic characteristics, either.

Keywords Harmonic current, small transformer, electric characteristic, leakage flux

1. はじめに

インバーターやスイッチング電源を代表としたパワーエレクトロニクスを応用した機器は、家庭用電化製品から産業用機器まで広く利用されているが、これらの機器から発生する高調波電流により電力系統の電圧ひずみが増大し、高調波による他の機器に及ぼす障害が大きな問題となってきた。

インバーターやスイッチング電源を持った機器は、供給電源側からみると非直線性の負荷であり、50Hz または60Hz の商用電源を供給しても、歪んだ電流が流れる。これらの電源はコンデンサ入力形の整流回路を用いており、電源電圧の波高値の近くでピーク電流が流れるためである。このような歪み波形の電流を流す機器は、電力系統に高調波電流を流出させる高調波発生源となる。電力系統に流出した高調波電流は、低圧配電線、柱上変圧器、高圧配電線を通して上位系統に流出していくうちに、系統の内部インピーダンスによって、その高調波電流と同じ次数の電圧降下をもたらす、それにより電圧が歪み、高調波電圧が生じることになる。この高調波電圧が系統に接続される他の機器に悪影響を与えることになる。

高調波が電気機器に与える影響としては、おおむね次のように分類できる。

電気機器へ高調波電流が流入することによる異音、過熱、振動、焼損などの発生。

電気機器へ高調波電圧が加わることによる誤制御、誤動作など。

その影響の度合いは、機器の寿命低下のようなものから、

機器の焼損、電源ヒューズの溶断、産業用各種制御器の誤動作など幅広く及んでいる。また、電力系統に高調波電流の発生源が多数接続されている場合は、高調波電流の位相により相互に強めあったり、弱めあったりする。

本研究は小型変圧器に高調波電流を流し、電気特性や磁気特性などの影響について調査・検討したので報告する。

2. 実験方法

2.1 実験試料

実験に用いた変圧器の構造を図1及び表1に示す。Aタイプは外鉄形で1次、2次巻線を同心状に配置した変圧器、Bタイプは外鉄形で1次、2次巻線を別々にし、上下に配置した変圧器、及びCタイプは内鉄形で両側に1次、2次巻線を配置した変圧器の3種類である。定格は容量500VA、周波数50Hz、1次電圧100V、2次電圧100Vとした。

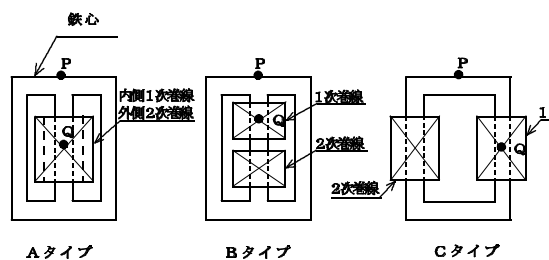


図1 変圧器の構造

* 技術評価室

** 計測応用技術グループ

*** 電気応用技術グループ

表1 変圧器の構造

タイプ		A	B	C
鉄心の大きさ (W×H×D)mm		157×132 ×50	157×132 ×50	100×180 ×70
鉄心材料		H-14無方向性けい素鋼板 厚さ0.35mm		
巻数 (回)	1次 2次	195 195		

2.2 電気的性能の測定

変圧器にはシステム電源で発生させた正弦波の50Hzの電源に、3次から15次までの高調波を10%から40%重畳させて、印加した。電気的性能は無負荷損、負荷損、効率、電圧変動率、温度上昇等を測定した。温度上昇は銅-コンスタントの熱電対を用い、1次コイル、2次コイル及び鉄心の3箇所を測定した。なお、負荷には無誘導抵抗器を用いた。

2.3 漏洩する磁界の測定と波形解析

まず、50Hzの正弦波を各変圧器に印加し、図1に示す鉄心部(P点)および巻線部(Q点)において、サーチコイル(巻数:100turn,有効面積:6.0cm²)を測定面に密着させ、密着面に対して垂直方向の漏洩する磁界を磁束計で測定した。

次に、50Hzの電源に高調波を重畳させて各変圧器に印加し、P点の漏洩磁束を測定し、FFTアナライザにより磁束波形の周波数分析を行った。重畳した高調波は、3次10%、3次20%、3次30%、3次40%、5次40%、7次40%である。

3. 結果と考察

3.1 電気的性能の測定

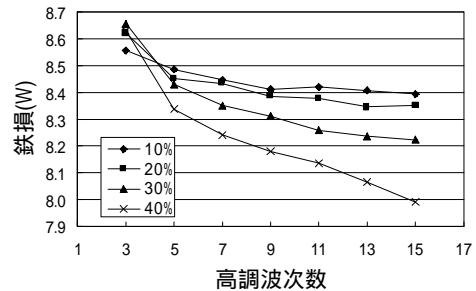
無負荷損は2次側を開放して、定格電圧を印加し、入力電流、入力電力を測定して求めた。ただし、無負荷損の大部分を占める鉄損は、周波数及び波形の波形率に影響されるため、正弦波実効値で目盛られた平均値電圧計と真の実効値電圧計とを比較して波形の歪みによる影響の補正を行った。図2に鉄損の変化を示す。A, B, Cタイプいずれも、高調波次数及び高調波含有率が大きくなると鉄損が少なくなる傾向を示した。これは、各次数に相当する周波数でインピーダンスを測定すると、周波数の増加とともにインピーダンスも増加しており、この影響で鉄損が少なくなるものと考えられる。また、後述する負荷損の実験においてもインピーダンスが増加していることから想定される。

負荷損は、変圧器の2次側を短絡した状態で1次側に定格電流を流したときの入力電圧、入力電力を測定して求めた。Aタイプは22.6~23.2W, Bタイプは22.4~23.1W, Cタイプは39.6~40.5Wであった。高調波次数

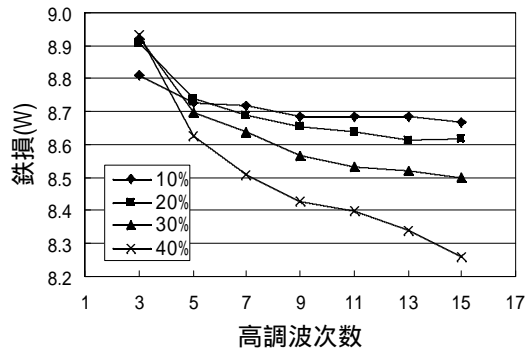
及び高調波含有率が大きくなっても、変化を示さなかった。ただし、各次数で含有率が増えると、等価インピーダンスも増加しており、Aタイプで1.2~1.5, Bタイプで3.2~3.6, Cタイプで7.3~7.9であった。

変圧器の効率は、出力/入力として求めることができる。図3に効率の変化を示す。A, B, Cタイプいずれも、高調波次数及び高調波含有率が大きくなると効率が悪くなる傾向を示した。これもインピーダンスが増加するためと考えられる。

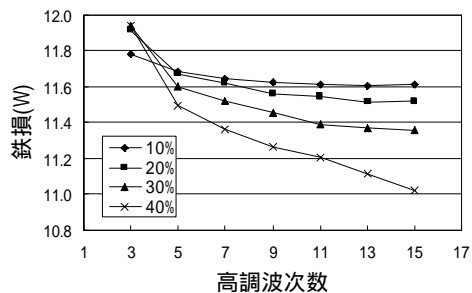
電圧変動率は1次側に定格電圧を印加し、2次側の無負荷電圧と全負荷時の電圧の比から求めることができる。A, B, Cタイプそれぞれの50Hzの基本波の時の電圧変動率は5.3%, 7.9%, 16.4%であった。高調波を重畳するとAタイプが6.6~9.9%, Bタイプが8.3~14.7%, Cタイプが16.2~24.5%と、次数の増加と含有率が大きくなるに伴い電圧変動率も大きくなる傾向を示した。前述の効率が悪くなることから当然の結果といえる。



(a) Aタイプ



(b) Bタイプ



(c) Cタイプ

図2 鉄損の変化

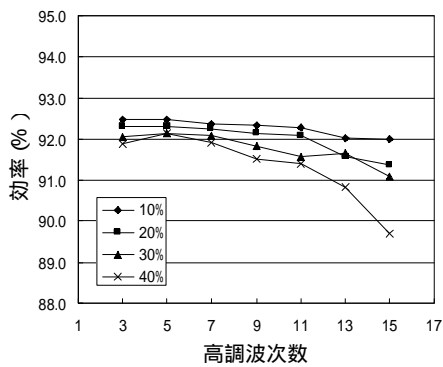
変圧器の1次巻線の励磁により2次巻線に鎖交する磁束数は巻線構造の幾何学的な位置によって変わり、鎖交磁束数が少なければ、それだけ効率は悪くなる。鎖交磁束数はA、B、Cタイプの順に少ない巻線構造であり、効率、電圧変動率に現れている。

各変圧器の1次巻線の温度上昇の変化を図4に示す。この他にAタイプの2次巻線は13~17，鉄心は18~23。Bタイプの2次巻線は12~21，鉄心は16~22。Cタイプの2次巻線は11~16，鉄心は17~24であった。温度上昇は電力損失による熱発生と各部の熱放散の良否により決まる。Aタイプの1次側は、同心状の内側に巻かれており、熱放散が極めて悪く温度上昇が一番大

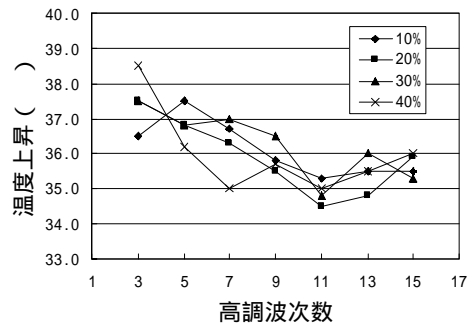
きく、Cタイプは熱放散が良かったため一番小さくなったと考えられる。

3.2 漏洩する磁界の測定と波形解析

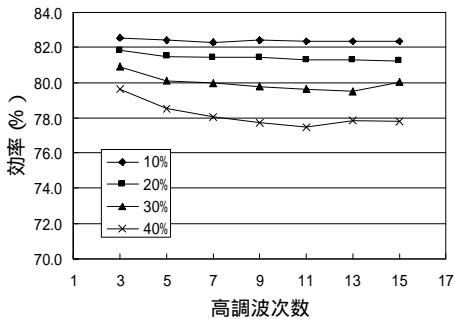
表2に、各変圧器のP点およびQ点における漏洩した磁界の強さを示す。巻線および鉄心の構造が、それぞれの変圧器では異なるため、一様に比較はできないが、この結果および前述した各変圧器の効率を考慮すると、漏洩した磁界は全体的にCタイプが最も大きく、Aタイプが最も小さいと推定される。図5は、第3高調波を重畳させた電圧を印可したときのA、B、Cタイプの鉄心からの漏洩磁束の波形を示す。



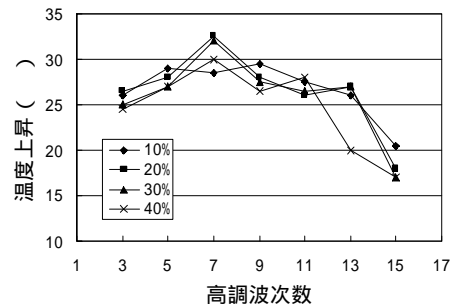
(a) Aタイプ



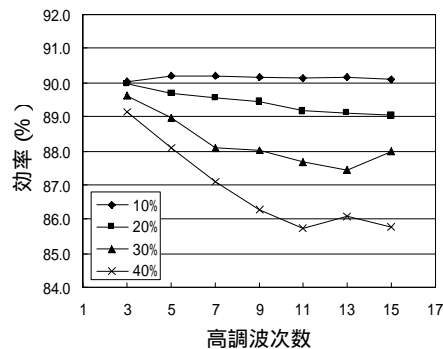
(a) Aタイプ



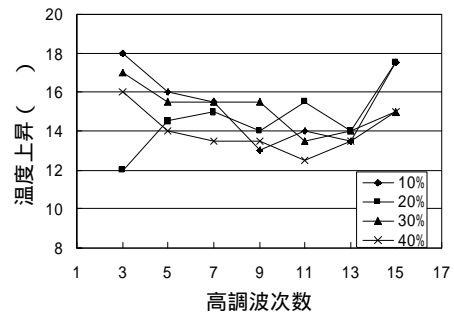
(b) Bタイプ



(b) Bタイプ



(c) Cタイプ



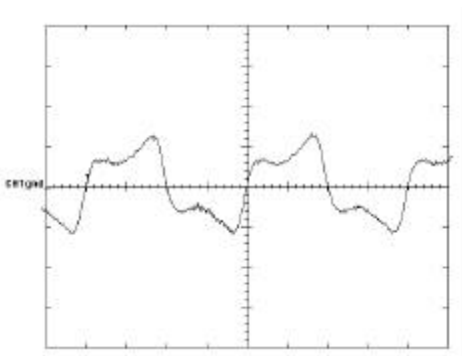
(c) Cタイプ

図3 効率の変化

図4 温度上昇の変化

表2 各種変圧器の漏洩した磁界の強さ

	Aタイプ	Bタイプ	Cタイプ
P点	0.8kA/m	1.3kA/m	13kA/m
Q点	0.3kA/m	4.4kA/m	5kA/m

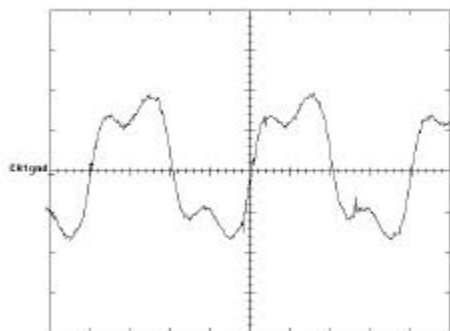


縦軸：磁界の強さ0.66kA/m/div

横軸：掃引速度5ms/div

波形の歪み率45.2%

(a) Aタイプ

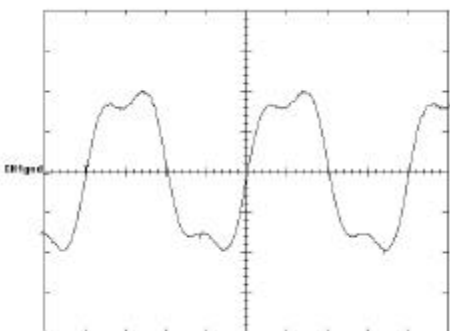


縦軸：磁界の強さ0.67kA/m/div

横軸：掃引速度5ms/div

波形の歪み率35.2%

(b) Bタイプ



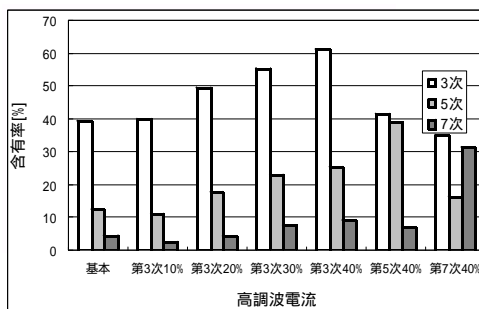
縦軸：磁界の強さ6.4kA/m/div

横軸：掃引速度5ms/div

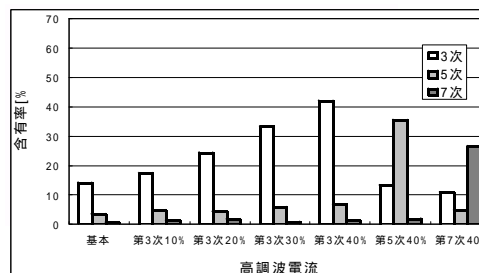
波形の歪み率23.5%

(c) Cタイプ

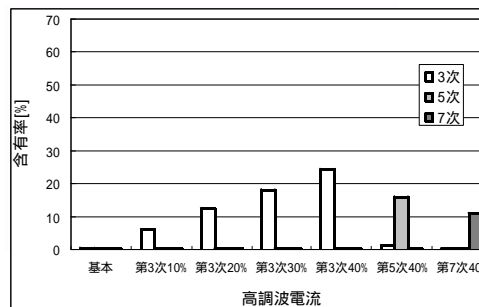
図5 漏洩磁束の波形



(a) Aタイプ



(b) Bタイプ



(c) Cタイプ

図6 磁束の波形解析

各変圧器の漏洩磁束の波形から高調波成分を分析した結果を図6に示す。図中の含有率は、基本波に対する高調波の割合である。これより、漏洩磁束の高調波の含有率は、Aタイプが最も大きく、Cタイプが最も小さいことがわかる。これは、図5の波形に示すようにAタイプの波形の歪み率が一番大きく、このため、基本波に対する高調波電流の含有率が大きくなるものと思われる。

4.まとめ

小型変圧器の高調波電流の影響について、次の結果が得られた。

- (1) 高調波電流による変圧器の温度上昇は、高調波電流の無負荷損に及ぼす影響が小さいため、全体への影響は小さい。
- (2) 高調波電流の次数及び含有率が大きくなると、効率及び電圧変動率の変化が大きくなる。これは、等価インピーダンスが大きくなるためと考えられる。
- (3) 漏洩磁束についてはA, B, Cタイプで異なった影響を示したが、大きな変化は認められなかった。

(原稿受付 平成11年8月9日)