

高調波電圧によるリアクトル損失の考察

©内藤 雅久, 日下 佳祐, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

リアクトルに高調波を重畳すると、鉄損および銅損が増加する^{(1),(2)}。電力変換器の回路設計段階において、高調波を含むリアクトル損失の予測は非常に重要である。しかし、高調波により生じる損失の増加を計算によって明らかにするためにはスタインメッツ係数(iGSE)が必要となり、これらのパラメータが不明なコアでは高調波による影響を実験的に評価する必要がある。そこで本論文では、電流の高調波成分がリアクトルの損失に与える影響を等価抵抗の観点から明らかにした。

2. リアクトルの損失評価 (高調波成分の影響)

本論文では、3次高調波を含む電圧が印加され、電流の高調波成分がリアクトルに流通した場合の損失を実験的に評価する。特に、3次高調波の初期位相を変化させた場合に生じる損失の増減を実験的に測定した。

(1)式に回路に印加する電圧を示す。

$$V_m = A_1 \sin(\omega t) + A_3 \sin(3\omega t + \alpha) \quad (1)$$

なお、 V_m はリアクトル両端の電圧、 A_1 、 A_3 はそれぞれ基本波、3次高調波の振幅、 ω は基本波の角周波数、 α は3次高調波の初期位相である。(1)式で表される電圧をリアクトルに印加した場合に発生する損失 P は、鉄損が周波数に対して線形変化する場合、(2)式で表される。

$$P = P_1 + P_3 \quad (2)$$

なお、 P_1 、 P_3 はそれぞれ基本波による損失、3次高調波による損失である。しかしながら、実際には鉄損は周波数に対して非線形に変化するため、周波数成分ごとの重ね合わせで表現することはできず、理論的に導出するためにはスタインメッツ係数が必要となる。そこで本論文では実験的に高調波の影響を評価する。

図1及び表1に、今回使用した測定対象及び対象のパラメータを示す。本論文ではリアクトルの損失は、パワーメータを用いて直接測定した。今回、(2)式が成り立つかを検証するために、以下の3つの条件の損失を測定した。今回測定に用いたパワーメータはYOKOGAWA, WT1800である。また、本測定における精度は読み取り誤差が読み取り値に対して0.3%、測定レンジ誤差が測定レンジに対して0.2%である。

条件(a): 基本波のみを入力した際の損失、

印加電圧: 4 kHz, 実効値 17.127 V

条件(b): 3次高調波のみを入力した際の損失、

印加電圧: 12 kHz, 実効値 23.479 V

条件(c): 条件(a)+条件(b)の波形を入力した際の損失。

また、3次高調波の重畳の仕方による損失変化を明らかにするために基本波と3次高調波を合成する際、3次高調波の初期位相 α を45deg.ずつ変化させ、それぞれの場合の損失を測定、比較を行う。図2にこの際の印加電流波形を示す。

図3にリアクトル損失の測定結果を示す。図3の結果より、条件(a)及び(b)における損失の和と、条件(c)における損失の比較を行うと、(2)式は成り立たないことがわかる。この結果より、鉄損の影響によりリアクトルの損失は入力波形の周波数成分毎に分離して考慮することができないことがわかる。

図4に3次高調波の初期位相 α の変化に対するリアクトルの抵抗値の変化を示す。図2より、 α の変化と共に抵抗値も変化しており、その変化は三角波状となることがわかる。また、抵抗値が最大の点における電流波形と、最小の点における電流波形を比較すると、実効値に対する最大値が小さいことがわかる。つまり、本試験で使用したリアクトルにおいては、電流実効値に対して電流最大値が小さくなるよう高調波電流が流通した



Fig. 1. Inductor for the test.

Table 1 Inductor parameters.

| | |
|---------------|---------------|
| Core material | Silicon steel |
| DC-resistance | 1.553Ω |
| Inductance | 359.3 μH |

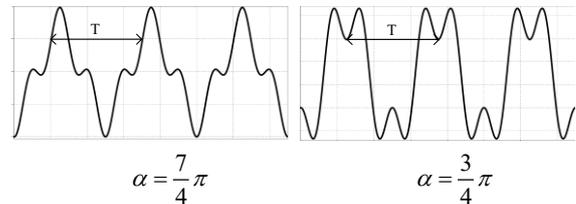


Fig.2 Waveforms of input current when initial phase is varied.

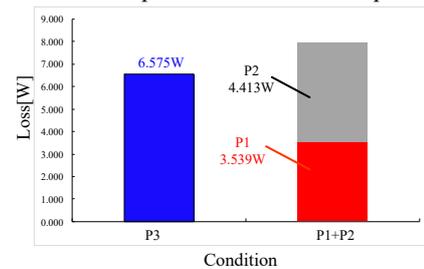


Fig. 3. Comparison of loss at each condition.

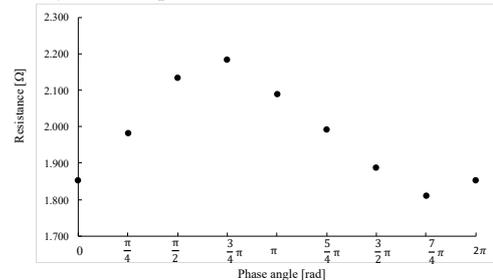


Fig. 4. Relation between initial phase and equivalent resistance.

場合、それぞれの周波数成分が等しいとしても、損失が増大する。

3. まとめ

本論文ではスタインメッツ係数が不明なリアクトルに対して、高調波電流が流通した場合の損失特性を実験的に評価した。その結果、電流実効値に対して電流最大値が小さい場合において損失が増大することがわかった。今後は本試験結果を元に変換器への適用を検討する。

参考文献

- [1] J. Mühlethaler et al: "Modeling and Multi-Objective Optimization of Inductive Power Components", DISS. ETH No. 20217, (2012)
- [2] C. W. T. Mclyman: "Transformer and Inductor Design Handbook", Third Edition, Revised and Expanded, (2004)