変圧器の過負荷による生成ガスの質量分析

Mass Spectrometric Analysis of the Gas Produced from Overloaded

Power Transformer

平 松 勤 司*

KINJI HIRAMATSU

(1967年2月1日受理)

The gaseous products from a power transformer under overloading were analyzed by means of a mass spectrometer. Substantial amounts of hydrogen, carbon dioxide and lower hydrocarbons were detected in the gas formed from the overloaded transformer, while no detectable amount of these compounds were found in the case of normal condition. These results suggest that the mass spectrometric analysis of the transformer gas is a convenient method for checking up the operating condition of the power transformer.

1. 緒 言

電力用変圧器の管理にあたっては、不慮の災害または事故を未然に防止するために、変圧器の内部で発生した異常をできるだけ早期に発見することが望ましい。従来変圧器の内部異常検出法としてブッフホルツ継電器などが用いられている。同装置は変圧器内に発生しガスの異常圧を検知し、リレー回路を作動させ、変圧器の保全をはかっている。

Howe, Massey および Wilson¹⁾らをはじめ、Dickson²⁾, Cothen,³⁾ Bauer⁴⁾らは変圧器の異常検知のため油温、封入ガスの変化、放電、電気回路あるいは構造的欠陥による油外放出ガスなどについて研究した。しかし異常の発生のごく初期（たとえば回路における軽微な絶縁または接触の不良、油ダクトの部分的な閉そくによるコイル、鉄心の冷却不良など）では、必ずしも生成するガス量は多量でなく、しかもこのガスが油中に溶解あるいは鉄心、コイルなどに気泡として付着し、必ずしも保護継電器に集積されず、したがって変圧器事故監視の効果をあげない場合がある。しかしこの装置にかわる適当な方法がないので、不十分と知りながらやむをえず使用しているのが現状である。B.G.E. (Baltimore Gas and Electric Company) では1960年から、また T.V.A. (Tennessee Valley Authority) では1961年より可燃性ガス検出器を用いて変圧器内の窒素中に含まれる可燃性ガスを検出し、変圧

器の保全についての研究⁵⁾⁶⁾を行なっているが、まだ十分とはいえない。

著者は質量分析計を用いて変圧器の過負荷による生成ガスの分析を行ない、ガスの組成を解析することによって、変圧器が異常な作動状態にあるか否かを検出し、変圧器の保全について有力な手段を供給しうることを確認したので、ここにその大要を報告する。

2. 実 験 法

2.1 実験の大要

変圧器のタンク内油面上の空気を回転ポンプで排気し、既知量の窒素を封入する。そして運転中の変圧器および事故を発生した変圧器よりガスを採取し、質量分析計で分析を行なった。このように窒素中に含まれる微量の成生ガスを調べ、異常の原因を推定した。

2.2 使用した機器

測定した質量分析計は日立製作所製 RMU-5B 型質量分析計で、測定条件はつぎのとおりである。

電子加速電圧: 2KV

電子電流: 100 μ A

イオン化室温度: 250°C

試料だめ温度: 150°C

質量測定範囲: m/e 2 および m/e 12~70

2.3 標準ガス

実験に使用した標準ガスはすべて高千穂商事株式会社より購入したものである。

2.4 窒素の組成

実験に使用した窒素は市販の窒素で、質量分析結果

* 大阪府立工業奨励館 (大阪市西区江ノ子島上ノ町)
Industrial Research Institute, Osaka Prefecture (Enokojima Kaminocho, Nishi-ku, Osaka)

による組成を Table 1 に示した。

2.5 試料ガスの採取法

試料ガスの採取容器は内容 300ml の硬質ガラス製のものを使用した。この採取容器を変圧器のガス採取口に直結し、回転ポンプと拡散ポンプを用いて採取容器内を真空 (10^{-5} mmHg) にしたのち、コックを操作して採取容器内に試料ガスを吸引させて採取した。変圧器のガス採取口はタンク内の油面上にあり、ガスだめのガスを採取したものである (Fig. 1 参照)。

Table 1. Composition of the commercial nitrogen sample.

Component	Mol %
Hydrogen	0.002
Methan	0.001
Argon	0.005
Carbon monoxide	0.003
Carbon dioxide	0.001
Oxygen	0.003
Nitrogen	99.985

Fig. 1. Schematic diagram of the power transformer.

① Core, ② Coil, ③ Low voltage lead wire, ④ Terminal plate, ⑤ High voltage lead wire, ⑥ High voltage bushing, ⑦ Sampling tube, ⑧ Case, ⑨ Oil plate

3. 実験結果

3.1 試料ガスの質量スペクトルの解析

試料ガスの質量スペクトルは m/e 70 以上の成分が検出された。その一例を Fig. 2, Fig. 3 に示す。 m/e 70~ m/e 46 の範囲では m/e 56 以外のピークはすべて 1 div. 以下しか検出されない。したがってこれらの成分は m/e 44 以下の成分に影響しないものと考えられるから m/e 44 以下を解析すればよい。

m/e 70~63, 58, 57, 55~50: これらのピークはトランス油の炭化水素によるものと思われるが、すべて 1 div. 以下であるため詳しいことはわからない。

m/e 56: このピークは Fig. 4 に示すような形状を

している。これは窒素中に含有する微量成分を測定する目的で多量の試料ガスを分析管に導入したために検出されたピークであり、著者の経験から窒素によるイオンであると考えられる。 m/e 44 以下の成分は炭酸ガス、アルゴン、酸素、窒素、一酸化炭素、ブタン、プロピレン、プロパン、アセチレン、エタン、エチレン、メタン、水素、水であり既報⁷⁾ のべた方法により解析を行なった。

3.2 分析結果と考察

正常変圧器および事故変圧器よりガスを採取して質量分析を行なった。その結果、正常変圧器の場合はガス中に高分子材料の熱分解生成ガス (炭酸ガス、一酸化炭素、水素および低級炭化水素) はほとんど認めら

Fig. 2. Mass spectrum of the gaseous mixture produced from overloaded power transformer (normal condition).

Fig. 3. Mass spectrum of the gaseous mixture produced from overloaded power transformer (abnormal condition).

Fig. 4. Shape of the m/e 56 peak

れないが、事故変圧器の場合はガス中にかなりの熱分解生成ガスが含まれていることが確認された。

Table 2 は正常変圧器および事故変圧器より採取したガスの組成を一例として示したものである。A は正常変圧器より採取したガスの分析結果であり、B, C, D は事故変圧器より採取したガスの組成である。Table 2 より明らかなように、ガス中に含まれる炭酸ガス、一酸化炭素、ブタン、プロパン、プロピレン、エタン、エチレン、アセチレン、メタン、水素の濃度は事故変圧器では非常に高く、正常変圧器にくらべて数倍の値を示すことが認められた。

また、Table 2 の結果から B, C, D の事故変圧器はいずれも水素およびメタンの濃度が大きいから、油中のアークおよびフェノールの劣化が考えられ、タップ切替機構の故障と推察された。また、B, C の事故変圧器は炭酸ガスおよび一酸化炭素が比較的多いことより固体絶縁物が焼損しているものと考えられる。

4. 結 言

電力用変圧器の事故を未然に防止する目的で、正常変圧器および事故変圧器よりガスを採取して質量分析計で分析を行なった。その結果、正常変圧器の場合はガス中に高分子材料の熱分解生成ガスはほとんど認められなかったが、事故変圧器の場合はガス中に微量の高分子材料の熱分解生成ガスを含んでいることが確認された。そして質量分析計を用いて生成ガスの組成を解析することにより変圧器の異常な作動状態にあるか否かを検知することが可能であった。また、生成ガスの組成をしらべることによりある程度故障の原因を推定することができた。

このように、質量分析法は変圧器の保全についても有力な手段を供給しうることを確認した。しかし、ガスの組成より変圧器の内部異常を早期に発見することは、その状況が複雑であり、なお多くのデータが必要である。

Table 2. Results of analysis of the gas produced from overloaded power transformer.

Component	Trans. A Mol. %	Trans. B Mol. %	Trans. C Mol. %	Trans. D Mol. %
Hydrogen	0.01	0.67	0.36	0.83
Methane	0.02	0.73	0.39	1.24
Acetylene	—	0.02	0.01	0.02
Ethylene	0.01	0.06	0.03	0.08
Ethane	0.01	0.08	0.06	0.09
Propylene	—	0.02	0.02	0.01
Propane	—	0.05	0.03	0.03
Butane	—	0.03	0.03	0.02
Carbon monoxide	0.01	0.85	0.30	0.90
Carbon dioxide	0.05	2.27	0.72	2.16
Argon	0.01	0.12	0.10	0.10
Oxygen	0.05	0.19	0.12	0.14
Nitrogen	99.83	94.91	97.83	94.38

文 献

- 1) V.H. Howe, L. Massey, A.C.M. Wilson, *Metropolitan Vickers Gaz.*, **27**, 139 (1956).
- 2) M.R. Dickson, E. R. A. Tech. Report Q/T 116 (1949).
- 3) H. Cothen, *Elektrizitätswirtschaft* (1927).
- 4) Bauer, Vierter Bericht der Kommission für

Hochspannungsapparate und Brandschutz. Z.E. V Zürich (1917).

- 5) Incipient Transformer Faults Quickly Detected, *Electrical World*, April **24**, (1961).
- 6) Combustible Gas Tests Warn of Transformer Failures, *Electrical World*, April 22, (1963).
- 7) 平松, 質量分析 **13**, 37 (1965).