セラミックス抵抗体式 SF₆ ガス絶縁 NGR(中性点接地抵抗器)の適用と監視

正員 白川 晋吾 (日立)
 正員 寺門 修一 (日立)
 正員 三宅 純一郎 (日立)
 正員 田中 滋 (日立)
 正員 高杉 賢美 (中国電力)
 正員 山下 隆弘 (四国電力)

Application and Monitoring of SF₆ Gas Insulated NGR (Neutral Grounding Resistor) Using Ceramics Resistors

Shingo Shirakawa, Member, (Hitachi,Ltd.)
 Shuichi Terakado, Member, (Hitachi,Ltd.)
 Junichirou Miyake, (Hitachi,Ltd.)
 Shigeru Tanaka,Member, (Hitachi, Ltd.)
 Katami Takasugi, Member, (Chugoku Electric Power Co.),
 Takahiro Yamashita, Member, (Shikoku Electric Power Co.)

Abstract

Since ceramics resistor type NGR (Neutral Grounding Resistor) have been developed as new materials for power equipment, about 15 years have been passed. This paper describes cumulative application records of ceramics resistor type SF₆ gas insulated NGR and typical construction of 22kV,66kV,110kV NGR, and monitoring methods measuring residual leakage current of 110kV NGR depending on neutral unbalance voltage of power transformers and using thermal detection devices of ceramics resistors of 66kV NGR.

キーワード： 中性点接地抵抗器,NGR,セラミックス抵抗体

Keywords： Neutral Grounding Resistor,NGR, Ceramics Resistor

1. はじめに

NGR(中性点接地抵抗器)は電力系統が万一、地絡した場合の一線地絡電流の抑制や健全相の異常電圧の抑制などを目的として使用されている。通常、中性点接地抵抗器の材料としては金属製抵抗体が使用されてきている。これに対して、筆者らは電力用新材料として直線性セラミックス抵抗体を開発し、これを用いて SF₆ ガスとを組み合せし、1985 年(昭和 60 年)にセラミックス抵抗体式 SF₆ ガス絶縁 66kV NGR を実用化している⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。その後、22kV⁽⁴⁾～154kV⁽⁵⁾系統まで実用化され、主に 22kV～110kV 系統を中心にセラミックス抵抗体式ガス絶縁 NGR は適用されている。本論文では実系統における NGR の残留電流監視と抵抗体素子温度検出による NGR の監視について述べる。

2. セラミックス抵抗体式 SF₆ ガス絶縁 NGR の適用

セラミックス抵抗体式 SF₆ ガス絶縁 NGR(中性点接地抵抗器)は小形縮小化、密閉化、耐汚損、発錆防止、耐雪構造などの特長がある。このセラミックス抵抗体式ガス絶縁 NGR は、通電電流が比較的小電流の系

統に適している。図 1 は現在までに適用されたセラミックス抵抗体式 SF₆ ガス絶縁 NGR の累積適用実績を示す。図 2 は 66kV NGR(定格通電電流 100A×15 秒)の金属抵抗体式 NGR とセラミックス抵抗体式 NGR とを対比して示す。NGR に系統から要求される仕様は定格電圧、定格電流と通電時間であり、表 1 にはこれらの主な仕様値を示す⁽⁶⁾。

図 1 セラミックス抵抗体式 SF₆ ガス絶縁 22kV～154kV NGR の適用実績

Fig.1 Application Records of Ceramics Resistor Type SF₆ Gas insulated 22kV～154kV NGR

項目	金属抵抗体式 NGR	セラミックス抵抗体式 NGR
構造	金属性グリッド抵抗器 (2.9m×5.5m×1.6m)	ブッシング 吸着剤 セラミック抵抗体 接地線 タンク SF ₆ ガス (3.0m×1.1m×1.1m)
抵抗体の素子形状		
容量	100%	15%
重量	100%	45%
据付面積	100%	15%

図2 金属抵抗体式 NGR とセラミックス抵抗体式 SF₆ ガス絶縁 NGR との比較(66kV NGR)

Fig.2 Comparison of NGR using Grid Type Resistor and Ceramics Resistor

表1 NGR の主な仕様
Table 1 Typical Specification of NGR

定格電圧 (kV)	22kV /√3	22kV /√3	66kV /√3	66kV /√3	66kV /√3	77kV /√3	77kV /√3	110kV /√3	154kV /√3
定格電流 (A)	100	150	100	150	200	100	200	150	100
通電時間 (秒)	30	30	15	15	15	10	10	15	10
抵抗値 (Ω)	127	85	381	254	191	445	222	423	889

3. NGR の監視要因と監視方法

3.1 NGR の残留電流監視

NGR は図3に示すように変圧器中性点に接続され、健全相が地絡時に所定の電流が流れる。これに加えて系統の負荷インピーダンスにアンバランスが生じると、中性点への残留電圧が生じ、NGR に残留電流が流れる。中性点の残留電圧は通常、110kV 系統で約 400

図3 NGR の配置と一線地絡時の等価回路

Fig.3 Arrangements of NGR using Ceramics Resistors and Equivalent Circuit in case of 1LG

V 程度で、残留電流は 1A($\approx 400\text{V}/423\ \Omega$)相当であるが、系統構成条件などにより越える場合も生じる。

一方、電力線の断線や送電線路の樹木などによる微地絡が発生した場合、健全相では避雷器への商用周波性短時間過電圧、NGR では故障相を通しての長時間通電の課題が生じる。図4に示すように NGR には、電流(通常の地絡電流検出感度: 定格電流値 30% 以下)が流れ、長時間通電動作が生じる場合がある。このとき、NGR は焼損に至る可能性がある。これらの現象から NGR の残留電流、素子温度などを監視⁽⁷⁾することは有用となる。

図4 系統の微地絡による NGR 通電電流の例

Fig.4 Residual Current of Instantaneous Fault by Trees

次に、ここでは定格電圧 110kV/√3、定格電流 150A、通電時間 15 秒の NGR の残留電流監視について述べる。適用回路は 110kV ガス絶縁 NGR 配置のスケルトン⁽⁷⁾を図5に示す。この回路では NGR が2台設置されており、NGR を切替えて使用することができる。図6は 110kV ガス絶縁 NGR の具体的な構成図を示し、図7は実フィールドにおける 110kV ガス絶縁 NGR の外観を示す。

図5 110kV SF₆ガス絶縁 NGR の配置のスケルトン (2台配置の例)

Fig.5 Installation of 110kV NGR using Ceramics Resistors

図6 110kV SF₆ ガス絶縁 NGR の構成

Fig.6 Composition of 110kV SF₆ Gas Insulated NGR

図7 110kV SF₆ ガス絶縁 NGR の外観

Fig.7 Outside View of 110kV SF₆ Gas Insulated NGR

NGR の常時漏れ電流監視は、図 5 のスケルトンに示されるように中性点の残留電流を CT により検出し、コンピュータ(CPU)により自動監視ができる。電

図8 110kV SF₆ ガス絶縁 NGR の残留電流のトレンド

Fig.8 Trends of Residual Leakage Current of 110kV SF₆ Gas Insulated NGR

流管理値は地絡リレー検出感度以下の地絡電流 (約 30%)が継続した場合を対象としている。なお,NGR の残留電流は系統構成により変わるが,この残留電流のトレンドを監視することにより,NGR の健全性が把握でき,NGR が焼損する前に監視装置で警報を出すことができる。

図 8 は 110kV ガス絶縁 NGR の残留電流のトレンドを示す。残留電流は変化していないことから,当該 NGR は正常な運転をしていることが分かる。

3.2 NGR 素子の温度監視

ガス絶縁 NGR はセラミックス抵抗素子を直並列して構成される。NGR 所定の定格電流,通電時間を通電すると NGR 素子(セラミックス抵抗体)は温度上昇する。この例として,図 9 は 66kV~110kV NGR の定格仕様値の通電電流 200A,通電時間 15 秒を通電し

図9 NGR 素子(セラミック抵抗体)温度-時間特性 (定格電流 200A, 通電時間 15 秒相当)

Fig.9 Temperature Rise-Current Carrying Time of NGR using Ceramics Resitors

図10 66kV SF₆ ガス絶縁 NGR の外観

Fig.10 Outside Views of 66kV SF₆ Gas Insulated NGR

たときのセラミックス抵抗体素子の温度-時間特性を示す。アルミ板は抵抗体素子温度に追従して温度上昇している。NGRの発熱状態は、セラミックス抵抗体の素子温度を検出することで、判定ができる。

内部素子温度の温度監視技術として、避雷器の内部素子温度の監視方法の報告⁽⁸⁾もあるが、ここではNGR接地側素子の温度表示⁽⁹⁾に着目し、簡易な素子温度表示について述べる。

ここで対象のNGRは、実フィールドで稼働の図10の66kV NGRを対象にしている。図11に66kV NGR素子温度検出部の内部構成を示す。温度センサ(熱電対)は抵抗体素子の接地側の末端セラミックス抵抗体素子に配置し、課電部に影響されないように配慮

図11 66kV SF₆ガス絶縁NGR素子(セラミックス抵抗体)温度検出部の内部構成

Fig.11 Internal Construction of Thermal Detection Parts of 66kV SF₆ Gas Insulated NGR

図12 66kV SF₆ガス絶縁NGR素子(セラミックス抵抗体)温度検出部の内部写真

Fig.12 Internal Photograph of Thermal Detection Parts of 66kV SF₆ Gas Insulated NGR

がなされている。図12は66kV NGR素子(セラミックス抵抗体)温度検出部の内部写真を示す。図13は66kV ガス絶縁 NGR 素子(セラミックス抵抗体⁽¹⁰⁾)の温度検出部の回路構成を示す。温度センサ(熱電対)の信号は密封端子を経由して温度計でデジタル表示される。図14は66kV ガス絶縁 NGRの素子温度表示部の写真を示す。この温度を外部より目視点検で読み取り、NGRの素子温度の判定により、NGRとしての異常の有無が確認できる。

図13 66kV SF₆ガス絶縁NGR素子(セラミック抵抗体)温度検出の回路構成

Fig.13 Circuit Composition of Thermal Detection Parts of 66kV SF₆ Gas Insulated NGR

(a) 66kV NGR キュービクル (b) 素子温度表示部

図14 66kV SF₆ガス絶縁NGRの素子温度表示

Fig.14 Temperature Indication of Ceramics Resistor of 66kV SF₆ Gas Insulated NGR

4. 屋内式 NGR への適用

—22kV SF₆ガス絶縁 NGR の構成と外観—

屋内式 NGR は設置面積の小さい NGR が望まれる。これらへの対応として、セラミックス抵抗体式ガス絶縁 NGR は設置面積が縮小化できることから有利となる。この場合、NGR 課電部の接続方法として、①ブッシングを経由して架空線で接続する方式、②GISとガス母線で直結する方式、③ケーブル用ブッ

シングと架空で接続する方式などが考えられる。図 15 はブッシングを経由して架空線接続の屋内断路器切替方式 22kV ガス絶縁 NGR を示す。この場合、適用回線への NGR 接続は断路器により切替が容易にできる。図 16 はスリップオンケーブルヘッド接続方式 22kV SF₆ ガス絶縁 NGR の構成を示す。スリップオンケーブルヘッド方式では裸電露出部が不要にできるメリットも出てくる。具体的の実施されている例として、図 17 はこれら断路器切替方式とスリップオンケーブル接続方式の屋内用 22kV SF₆ ガス絶縁 NGR の外観を示す。

図 15 22kV SF₆ ガス絶縁 NGR の構成
(断路器切替方式)

Fig. 15 Composition of 22kV SF₆ Gas Insulated NGR with Switching Disconnecter

図 16 地下変用 22kV SF₆ ガス絶縁 NGR の構成
(スリップオンケーブルヘッド接続方式)

Fig. 16 Composition of 22kV SF₆ Gas Insulated NGR with Slip on Cable Connector

(a)断路器切替方式 (b)スリップオンケーブル接続方式

図 17 屋内用 22kV SF₆ ガス絶縁 NGR の外観

図 17 Outside Views of SF₆ Gas Insulated 22kV NGR (Disconnector Switching Type, Slip on Cable Connector)

5. まとめ

本研究で得られた成果は次の通りである。

- (1)新材料として開発した電力用セラミックス抵抗体使用のガス絶縁 NGR は約 15 年の稼動実績を有している。
- (2)ガス絶縁 NGR の残留電流は、接地線からの CT 信号により、自動監視ができる。
- (3)ガス絶縁 NGR 内部の素子温度を温度センサ（熱電対）で検出し、温度計で素子温度表示が可能となり、この温度をフィールドでの目視点検で監視することにより、ガス絶縁 NGR の異常の有無が判別できる。

(平成 11 年 11 月 25 日受付、平成 12 年 2 月 22 日再受付)

文献

- (1)山内、白川：「セラミックス抵抗体式 SF₆ ガス絶縁新形中性点接地抵抗器(NGR)の実用化について」、昭和 60 年日本電気協会第 64 回通常総会研究発表会論文(1985)
- (2)S. Shirakawa, S. Owada, N. Iimura, T. Yamazaki, K. Kurita, K. Shindo, Y. Yamauchi: "Application and Development of a Ceramics Resistor for Use as a Neutral Grounding Resistor (NGR)", IEEE PWRD, Vol. 3, No. 1, Jan., 1988
- (3)白川：「セラミックス抵抗体式 SF₆ ガス絶縁中性点接地抵抗器(NGR)」, 電学誌, 108 巻 4 号, 昭 63(1988)
- (4)白川他：「地下変用 22kV ガス絶縁 NGR」, 平成 8 年電学全大 1667 (1996)
- (5)白川、山崎：「特集：電気設備への新素材適用技術, 酸化物材料」, O H M, 第 76 巻, 第 10 号, 1989
- (6)電力用規格 B-9208「中性点接地抵抗器」, 1992

- (7)白川他:「110kV 用ガス絶縁 NGR の残留電流監視」, 平成 7 年電学全大 1550 (1995)
- (8)山崎, 小林, 沢, 白川, 水越:「交直変換所用避雷器監視装置」, 電学論 B, 113 巻 4 号, 平成 5 年(1993)
- (9)山下, 白川他:「内部素子温度表示付 66kV ガス絶縁 NGR」, 平成 11 年電力・エネルギー部門大会 405 (1999)
- (10)庄司, 田中, 白川, 山田:「ZnO セラミックスの電気抵抗と焼結性に及ぼす Al_2O_3 , MgO , SiO_2 の添加効果」, Journal of the Ceramic Society of Japan, 日本セラミックス協会学術論文誌, 第 108 巻, 第 1253 号, 平成 12 年(2000)

白川 晋吾 (正員) 1944 年 3 月 8 日生。1966 年 3 月山口大学工学部電気工学科卒業。1968 年 3 月九州工業大学大学院工学研究科電気工学専攻修了。(株)日立製作所 国分工場入社。主に避雷器, セラミックス抵抗体式ガス絶縁 NGR の開発業務に従事。(電学論 B 論文 9 件, IEEE PES 論文 9 件, 米国特許 13 件)。1988 年 工学博士(九州大学)。現在, 電機システム事業部, 変電システム本部長付, 参事。1988 年, 1994 年発明協会 発明奨励賞, 1997 年 JEMA 進歩賞, 1997 年 電気学会 論文賞。2000 年電気学会 進歩賞受賞。IEEE Senior Member

寺門 修一 (正員) 1952 年 9 月 27 日生。1971 年 3 月日立工業高校卒業。(株)日立製作所 国分工場 入社。現在, 電機システム事業部, 国分生産本部, ガス絶縁開閉装置部にて主に避雷器の業務に従事。副参事。

三宅 純一郎 (正員) 1975 年 2 月 10 日生。1999 年 3 月大阪府立大学大学院工学研究科博士前期課程修了。(株)日立製作所入社。現在, 電機システム事業部, 国分生産本部, ガス絶縁開閉装置部に所属。主に研究開発業務に従事。

田中 滋 (正員) 1959 年 1 月 10 日生。1984 年 3 月北海道大学大学院理工学研究科化学第二専攻修了。(株)日立製作所入社。以来, 日立研究所にてセラミックスの研究に従事。工学博士(東京大学)。現在, 日立研究所主任研究員。日本セラミックス協会 会員

高杉 賢美 (正員) 1959 年 6 月 11 日生。1982 年 3 月岡山大工学部電気工学科卒業。中国電力株式会社入社。主に変電機器の工事を担当。現在, 中国電力株式会社工務部発変電担当副長。

山下 隆弘 (正員) 1957 年 7 月 21 日生。1980 年名古屋工業大学工学部電気工学科卒。四国電力株式会社入社。主に変電機器の工事を担当。現在, 四国電力株式会社電力部変電課副長。