

Dipl.-Ing. Marc Knapp

„Ein- und dreipolig gekapselte, gasisolierte Schaltanlagen im Vergleich“

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. K. Feser

Mitberichter: Prof. Dr. techn. W. Rucker

Tag der mündlichen Prüfung: 01. Juli 1999

Kurzfassung:

Bei SF₆-**g**asisolierten **S**chaltanlagen (GIS) unterscheidet man zwei Anlagenkonzepte mit verschiedenartigen Eigenschaften, die unterschiedliche Anforderungen an das Design stellen: Ein- oder dreipolig gekapselte GIS repräsentieren Varianten der Kapselungsweise. Während einpolig gekapselte Anlagen in allen Ebenen der Netzspannungen eingesetzt werden, beschränkt sich der Einsatz von dreipolig gekapselten GIS im allgemeinen auf Nennspannungen bis 170 kV. Ferner existieren Mischformen, die sich aus dreipolig gekapselten Sammelschienen und einpolig gekapselten Feldabgängen zusammensetzen. Die für einen Vergleich der beiden Typen wichtigen Aspekte werden in dieser Arbeit untersucht.

Die Bewertung der Anlagenkonzepte im Hinblick auf die **elektrostatische Feldbeanspruchung** beginnt mit der Lösung ebener Feldprobleme für repräsentative Anlagenquerschnitte. Ausgehend von einem praxisrelevanten Querschnitt einer dreipolig gekapselten GIS wird eine einpolig gekapselte, fiktive Vergleichsanordnung abgeleitet, die durch denselben Leiterdurchmesser und die gleiche maximale Feldstärke gekennzeichnet ist. Die Auswertung der Normalfeldkomponenten auf leitenden Oberflächen zeigt die Abhängigkeit der Feldstärke einer dreipolig gekapselten Anordnung von Ort und Zeit. Insbesondere im Bereich der Kapselung existieren ortsfeste, zeitinvariant-feldschwache Räume. Der Versuch, diesen Vorteil graphisch zu belegen, gelingt. Die Beurteilung der Ergebnisse wird anhand einer Maßzahl vorgenommen, die die Feldbeanspruchung auf Flächen beschreibt. Sie gibt den mittleren prozentualen Leiterflächenanteil an, auf dem eine vorgegebene Feldstärke überschritten wird. Gegenüberstellungen belegen, daß die Feldbeanspruchung bei dreipoliger Kapselung kleiner ist als die der Vergleichsoberflächen bei einpoliger Kapselung.

Weiterführende Darstellungen verdeutlichen, daß die am tiefsten liegenden Ortspunkte in häufig realisierten Querschnitten dreipolig gekapselter GIS zu keinem Zeitpunkt bei Nennbetrieb große elektrische Feldstärken erreichen. Im Gasraum wird eine Kreislinie am Boden der Kapselung so gewählt, daß der Betrag der dort herrschenden Feldstär-

ke Auskunft über die Empfindlichkeit gegenüber beweglichen Partikeln geben kann. Das Ergebnis belegt eindrucksvoll die Vorteile der dreipolig gekapselten Anordnung, die bei der Nutzung der feldschwachen Räume gewährleistet sein können; es stellt die Motivation für weitere Untersuchungen zur Gefährdung durch bewegliche Partikel dar.

Metallische, ***bewegliche Partikel in GIS*** beschleunigen unter dem Einfluß des elektrischen Feldes im gasförmigen Dielektrikum. Berechnete und beobachtete Flugkurven beweglicher Partikel verlaufen bei dreipoliger Kapselung gedämpfter als bei einpoliger Kapselung. Optische Aufnahmen und akustische Messungen bestätigen die Resultate.

In einer Gegenüberstellung werden die Ergebnisse zahlreicher Berechnungen für fünf verschiedene Leiteranordnungen verglichen. Die experimentelle Verifikation dieser Resultate wird vorgenommen und am Beispiel des Partikels, das sich für den Vergleich von Messung und Rechnung am besten eignet, beschrieben.

Zwar bieten die feldschwachen Bereiche bei gezielter Konstruktion Vorteile für die dreipolig gekapselte Anordnung, dennoch ist die realisierbare Ausschöpfung wegen mechanischer Vorgaben in der Praxis auf bestimmte Anlagenbereiche begrenzt.

Transiente Überspannungen bei Trennerschaltungen in GIS stellen ein weiteres Kriterium für den Vergleich zwischen den Bauformen dar. Beide Typen unterscheiden sich maßgeblich durch die elektromagnetischen Verhältnisse. Sie erfordern spezifische Berechnungen sowohl ihrer frequenzabhängigen als auch ihrer frequenzunabhängigen Leitungskenngrößen. Berechnete Frequenzgänge unterstreichen jedoch die geringe Frequenzabhängigkeit des Übertragungsverhaltens von GIS für leitungsgebundene Ausgleichsvorgänge.

Anhand einfacher Modelle werden Entstehung und Ablauf der transienten Vorgänge innerhalb ein- und dreipolig gekapselter GIS beschrieben. Die Anordnungen dienen dem nachfolgenden Vergleich als Grundlage und helfen, die Vielzahl wählbarer Parameter einzugrenzen. Als bewertende Größe wird der Betrag des maximalen Überspannungsfaktors festgelegt.

Änderungen der einzelnen Parameter zeigen deren Einfluß auf das Ergebnis und die tendenzielle Entwicklung des Überspannungsfaktors in Abhängigkeit der durchgeführten Variationen auf: Die Dämpfung der Ausgleichsvorgänge beruht maßgeblich auf dem Lichtbogenwiderstand, darüber hinaus bestimmen auch die Kapazitäten am Leitungsende der Lastseite die Überspannungsfaktoren. Kleine Kapazitäten führen aufgrund der Fehlanpassung zu einer Gefährdung durch Spannungsvervielfachung. Im

Falle dreipoliger Kapselung wachsen mit den Leiter-Leiter-Kapazitäten die Überspannungen in den gekoppelten Leitern an.

Durch Isolatoren gegebene, konzentrierte kapazitive Kopplungen reduzieren die Überspannungsfaktoren für beide Typen. Im Falle dreipoliger Kapselung kann die günstige Überlagerung der Teilspannungen eine Reduzierung der Überspannungsfaktoren durch stark abgerundete Flanken bewirken. Die Dämpfung der Vorgänge verstärkt sich durch die Leiter-Leiter-Kopplungen jedoch nicht. Ein zusätzliches Risiko durch erhöhte Leiter-Leiter-Spannungen bleibt bei dreipoliger Kapselung aus.

In einem weiteren Schritt erfolgt die Modellierung einer typischen GIS bestehend aus fünf Feldern. Der Einfluß der einzelnen Komponenten auf die Überspannungen wird ermittelt und in einer repräsentativen Form für die Gegenüberstellung der Bauformen dargelegt. Beim direkten Vergleich der örtlichen Spannungsverteilungen in ein- und dreipolig gekapselten GIS werden keine wesentlichen Unterschiede festgestellt. In beiden Fällen stellen sich maximale Überspannungen jeweils an den geöffneten Leistungsschaltern ein. Die Ausgleichsvorgänge zeigen keine signifikanten Unterschiede im Abklingen.

Neben den Trennerschaltungen bestimmen **transiente Überspannungen bei Blitzeinschlägen in die angeschlossene Freileitung** die zu beachtenden Pegel für die Bemessung. Für beide Bauformen entstehen äußere Überspannungen bei Leiterseileinschlägen und rückwärtigen Überschlägen in gleicher Weise. Zu große Leiter-Leiter-Spannungen bei dreipoliger Kapselung, die die Durchschlagspannung überschreiten könnten, dürfen aufgrund der vorgestellten Berechnungsergebnisse auch bei Beachtung der endlichen Leitfähigkeit des Erdbodens ausgeschlossen werden.

Weiter werden wichtige Aspekte, deren ausführliche Beschreibung im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist, in einer **ergänzenden Betrachtung** zusammengefaßt. Obwohl sie als Gegenstand zahlreicher Diskussionen weitreichend bekannt sind, tragen sie zur Abrundung und Vervollständigung des vorliegenden Vergleiches ein- und dreipolig gekapselter GIS für Spannungen bis 170 kV bei: Die kleinere Anzahl der Gasräume bei dreipoliger Kapselung reduziert den notwendigen Aufwand für ihre Überwachung im Betrieb. Mit der effektiven Dichtfläche verringert sich die Gefahr eines Gasverlusts oder Feuchtigkeitszutritts.