

### **Kompakte Systeme für HGÜ-Anwendungen**

D. Imamovic, M. Häusler, B. Lutz, A. Langens\*

Siemens AG, Energy Sector, Power Transmission Division

Freyeslebenstr. 1, 91058 Erlangen, Deutschland

\*HSP GmbH, Camp-Spich-Straße 18, 53842 Troisdorf

[denis.imamovic@siemens.com](mailto:denis.imamovic@siemens.com)

#### *Einleitung und Motivation*

Weltweit befinden sich die Strommärkte in zahlreichen Ländern im Umbruch. Umweltverträgliche, kosteneffiziente und gleichzeitig sichere Energieversorgungskonzepte sind erforderlich und werden als Aufgabenstellung das Bild einer zukünftigen Netzstruktur maßgeblich prägen. Die global zunehmende Einbindung von erneuerbaren Energiequellen als auch der teilweise Wegfall von fossilen oder nuklearen Kraftwerken spielt dabei eine zentrale Rolle. Sowohl verstärkte dezentrale wie auch neue, da weit von den Lastzentren entfernte, zentrale Energieeinspeisungen (z.B. Offshore-Windparks) führen häufig zu erheblich veränderten Lastflüssen in den Übertragungsnetzen. Geeignete Netzausbaumaßnahmen sind erforderlich, um diesen Änderungen Rechnung zu tragen. Innovative leistungselektronische Lösungen mittels HGÜ (Hochspannungsgleichstromübertragung) und FACTS (Flexible AC Transmission Systems) bilden eine wichtige Grundlage, um insbesondere stark belastete Drehstromnetze für diese Anforderungen zu ertüchtigen. Die HGÜ-Technik ermöglicht beispielsweise die Integration von sog. „Stromautobahnen“ und den Aufbau von DC-Overlaynetzen, die sowohl helfen, die vorhandenen Transportkapazitäten im Netz bestmöglich auszunutzen als auch durch eine effiziente Übertragung den Bedarf an neuen Energietrassen auf ein Minimum reduzieren.

#### *HGÜ-Vollbrücke und kompakte Systeme*

Neben der bewährten netzgeführten, auf Thyristor-Basis beruhenden Technologie HVDC Classic, kommt es zunehmend zum Einsatz von HVDC PLUS, die unter Verwendung von IGBT-Halbleitern einen selbstgeführten Stromrichterbetrieb (VSC=“Voltage-Sourced Converter“) ermöglicht. Die von Siemens im Markt eingeführte MMC (Modular Multi-Level Converter) Topologie ermöglichen eine hochgenaue Nachbildung der sinusförmigen Netzspannung, so dass herkömmliche Filterkreise vollständig entfallen können. Da zudem die VSC-Technologie sowohl Wirk- wie auch Blindleistung unabhängig voneinander und über einen großen Betriebsbereich zur Verfügung stellen können, können kompakte Anlagen gebaut werden, die zudem einen wichtigen Beitrag zur Netzstabilität leisten.

Für eine wirtschaftliche Übertragung großer Energiemengen über weite Entfernungen sind Freileitungen unabdingbar. Anders als bei unterirdisch verlegten Kabeln, kann es im normalen Übertragungsbetrieb bei Freileitungen jedoch zu Erdfehlern kommen, i. d. R. ausgelöst durch Blitzeinschläge. Eine möglichst schnelle und zuverlässige Unterbrechung des Fehlerstromes (Lichtbogens) und die Wiederherstellung des Energieflusses sind notwendig, um Auswirkungen auf das übrige Netz möglichst gering zu halten. Im Gegensatz zur Wechselspannungstechnik, bei der die periodisch auftretenden Stromnulldurchgänge häufig schon selbständig oder spätestens durch kurzzeitiges Öffnen eines Leistungsschalters zu einem Verlöschen des Fehlerstromes führen, brennt der Lichtbogen bei der Gleichstromtechnik ohne Gegenmaßnahmen dauerhaft weiter. Bei der thyristor-basierten HVDC Classic Technologie, besteht die in der Praxis bewährte Lösung der Fehlerklärung aus einer kurzzeitigen Umkehr der Gleichspannung. Ohne die Notwendigkeit einer mechanischen Schalthandlung wird dabei auf rein elektronischem Wege dem Fehler die treibende Spannung entzogen, so dass der Lichtbogen verlöschen kann. In der VSC-Technologie ist so ein Verhalten bei der bei reinen Kabelverbindungen eingesetzten Halbbrückentopologie nicht möglich, da der Umrichter dabei die Gleichspannung nur in einer gleichbleibenden Polarität erzeugen kann. Um die gleichen Vorteile wie bei der thyristorbasierten Technik zu erhalten, setzt Siemens auf die aus der Bahntechnik und FACTS-Technologie seit vielen Jahren bekannten Vollbrücken-Topologie. In der Ausgangsspannung des Umrichters können damit beliebige Werte in beiden Polaritäten eingestellt werden und so effektiv auf gleichstromseitige Störungen reagiert werden. Im Gegensatz zu der derzeit vielfach diskutierten aber noch nicht über hinreichende Betriebserfahrung verfügende Gleichstromschalter-Technologie ergeben sich weitere Vorteile, die einen flexibleren Betrieb ermöglichen, wie z.B. beliebig häufige Wiederanfahr-Versuche nach Fehlerklärung oder das Anfahren mit einer „sanften“ Gleichspannungsrampe. Ebenso ist die bei Freileitungsanwendungen in HVDC Classic übliche Betriebsart mit reduzierter Gleichspannung, wie sie bei anhaltenden Isolationsproblemen z.B. durch Verschmutzung sinnvoll ist, problemlos realisierbar.

Die Energiewende erfordert eine neue Struktur des Übertragungsnetzes für elektrische Energie in Deutschland. Das bestehende Übertragungsnetz kann nach Darstellung der Bundesnetzagentur im Netzentwicklungsplan (NEP) diese Aufgabe nicht übernehmen und kommt heute schon zeitweise bei hohen Windeinspeisungen an die thermischen Übertragungsgrenzen. Im Weiteren sind auch neue HGÜ Leitungen geplant. Neue HGÜ Strecken werden in einer dicht bebauten Landschaft wie Deutschland nicht überall als Freileitung umsetzbar sein. Es werden unterirdische Lösungen gebraucht. Die kompakte gasisolierte Übertragungsleitung für Gleichspannung bietet dafür die technische Lösung.

Darüber hinaus werden für die Übergangsstationen zwischen ober- und unterirdischen Übertragungsleitung oder in Gleichspannungsschaltfeldern gasisolierte Komponenten und Schaltgeräte benötigt, welche einerseits durch ihre Funktionalität (z.B. schnelle Trenner, Überspannungsableiter, etc.) und andererseits durch ihren Aufbau platzsparende und kosteneffiziente Lösungen bieten.

### Herausforderung

Im Isoliersystem Gas-Feststoff finden verschiedene physikalische Phänomene statt (Bild 1), die sich bei Gleichspannungsbelastung unterschiedlich auswirken als bei Wechselspannungsbelastung. Die Auswirkungen dieser Phänomene auf die elektrische Feldverteilung bei Gleichspannungsbelastung sind von einer Vielzahl an Einflussgrößen bestimmt, wie z.B. Temperatur, Gasfeuchte, Spannungsform. Ferner ist für leistungsstarke Anlagenentwicklungen die starke Nicht-Linearität der elektrischen Leitfähigkeit von Isolierstoffen (z.B. Epoxidharzformstoff oder SF<sub>6</sub>) zu beachten. Das Zusammenspiel der genannten Phänomene führt zu einer zeitlichen Änderung der elektrischen Feldverteilung („Ladevorgang“), weshalb das Langzeitverhalten bei Hochspannungsprüfungen von gasisolierten Gleichspannungsanlagen zu berücksichtigen ist. Die Zeitkonstanten des Ladevorgangs hängen hierbei stark von den in Anlagen verwendeten Isolierstoffen ab. Die Parameter für die Prüfung von gasisolierten Gleichspannungsanlagen sind demnach in Abhängigkeit vom Anlagen-Design zu definieren. Ferner besteht ein Bedarf an Normung von derartigen Hochspannungsprüfverfahren, insbesondere von Prüfungen mit überlagerten Spannungsformen (z.B. Blitzstoß- und Gleichspannung).

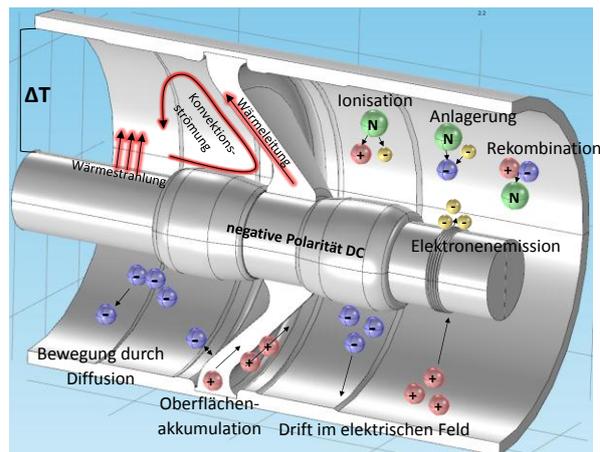


Bild 1: Physikalische Phänomene im Isoliersystem Gas-Feststoff

### Lösungen

Ein aussichtsreicher Ansatz zur Beherrschung der elektrischen Beanspruchungen in gasisolierten Gleichspannungsanlagen ist der Einsatz von festen Isolierwerkstoffen mit geeigneten nicht-linearen Eigenschaften. Auf Basis der bekannten Gießharztechnologie werden so genannte Funktionswerkstoffe entwickelt, deren elektrische Eigenschaften beispielsweise durch Einbringung von funktionalen Füllstoffen wunschgemäß modifiziert werden können. Potentiell geeignete Füllstoffe sind hierbei Mikrovaristoren oder teilleitfähig beschichtete Füllstoffe. „Plättchen-förmige“ Füllstoffe (nanoskalig) scheinen hierfür gut geeignet, da überlappende Plättchen klar definierte Leitpfade (Perkolationspfade) ausbilden können. Der Einsatz von teilleitfähigen Beschichtungen mit günstigen nicht-linearen Eigenschaften auf Gießharzoberflächen ist eine weitere Option zur gezielten Beeinflussung des Ladevorgangs. Der Ladevorgang kann zudem durch die Wahl eines günstigen Isolator-Designs beeinflusst werden, wobei insbesondere auf die Gestaltung von Tripelpunkten, guten elektrischen Kontakt, eine günstige Formgebung und den Einfluss von Temperatur-Effekten (z.B. Feldinversion) zu achten ist.

Siemens setzt auf leistungsstarke Lösungen auf Basis der bekannten RIP Technologie (RIP = **R**esin **I**mpregnated **P**aper). Gasisolierte Wanddurchführungen mit RIP Technologie werden bereits seit mehr als 30 Jahren für Gleichspannungssysteme mit Betriebsspannungen bis  $\pm 800\text{kV}$  erfolgreich eingesetzt. Hierbei bewirken in das Material eingebrachte metallische Steuerlagen eine gleichmäßige elektrische Feldverteilung an RIP Isolatoren. Die Wirksamkeit dieser Steuerlagen ist bei Belastung mit Wechselspannung, Stoßspannung und Gleichspannung gegeben, was eine gezielte Beeinflussung des Ladevorgangs ermöglicht. Eine Innovation stellt hierbei das speziell für gasisolierte Anlagen (DCCS  $\pm 320\text{kV}$ ) entwickelte Design dar. Die positiven Betriebserfahrungen mit gasisolierten Wanddurchführungen verdeutlichen zudem die gute Langzeitbeständigkeit des RIP Materials bei hohen Gleichspannungen.

### Zusammenfassung

Die Siemens AG hat das Portfolio um leistungsstarke kompakte Systeme für HGÜ-Anwendungen erweitert. Die Funktionsfähigkeit einer kompakten gasisolierten Anlage (DCCS 320 kV) wurde im Rahmen von Langzeitversuchen und Hochspannungsprüfungen nachgewiesen. Mit der eingesetzten RIP Technologie setzt Siemens auf eine bewährte Technologie, für die bereits mehr als 30 Jahre Betriebserfahrung bei hohen Gleichspannungen bis 800kV vorliegt.

Für leistungsstarke HGÜ-Systeme, die eine Beherrschung von gleichstromseitig, netzbedingten Störungen erlaubt, setzt die Siemens AG auf die aus der Bahntechnik und FACTS-Technologie seit vielen Jahren bekannte Vollbrücken-Topologie. Im Gegensatz zu der derzeit vielfach diskutierten aber noch nicht über hinreichende Betriebserfahrung verfügbare Gleichstromschalter-Technologie ergeben sich mit der Vollbrücken-Topologie Vorteile, die einen flexibleren Betrieb ermöglichen.