

# Generatorleistungsschalter in 500- bis 1000-Megawatt-Kraftwerken

Autor(en): **Schoenemann, Thomas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **92 (2001)**

Heft 18

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-855745>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Generatorleistungsschalter in 500- bis 1000-Megawatt-Kraftwerken

Die Errichtung von Kraftwerken mit installierten Leistungen im Gigawatt-Bereich erfordert Generatorschalter höchster Schaltleistung. Dank neuer Technologien und Verfahren konnte kürzlich eine neue Generation von SF<sub>6</sub>-isolierten Generatorleistungsschaltern entwickelt werden: Als weltweit grösster SF<sub>6</sub>-Generatorschalter ist der HEC 7/8 auf einen Leistungsbereich von 500 bis 1000 Megawatt zugeschnitten. Seine Komponenten zeichnen sich durch die Anwendung neuartiger Technologien aus.

■ Thomas Schoenemann

## Generatorschalter höchster Schaltleistung

Die Errichtung von Kraftwerken mit installierten Leistungen im Gigawatt-Bereich erfordert Generatorschalter höchster Schaltleistung, um die Sicherheitsanforderungen der Betreiber zu gewährleisten. Ein Generatorschalter dient in Kraftwerksblöcken als Operationsschalter und als Schutz für die Generatoren sowie der Blocktransformatoren. Kraftwerke, deren einzelne Maschinenleistungen zwischen 500 und 1000 Megawatt betragen können, bedingen Kurzschlussströme von bis zu 200 000 A (200 kA).

Bis anhin existierten nur Generatorschalter, die Ströme von 120 kA in der SF<sub>6</sub>-Technologie<sup>1</sup> schalten konnten. Denn die älteren Bauarten der Leistungsschalter auf Basis von rotierenden Hochstrombogen in SF<sub>6</sub> waren durch die enorm anwachsenden elektrodynamischen Stromkräfte und im Schalter aufge-

<sup>1</sup> SF<sub>6</sub>: Schwefelhexafluorid. Die Isolationsfähigkeit von SF<sub>6</sub> ist um ein Mehrfaches grösser als jene von Luft.

### Adresse des Autors

Dr. Thomas Schoenemann  
Leiter Entwicklung & Konstruktion  
BU Hochstromsysteme  
ABB Hochspannungstechnik AG  
8050 Zürich-Oerlikon  
[thomas.schoenemann@ch.abb.com](mailto:thomas.schoenemann@ch.abb.com)

bauten Drücke nicht auf einfache Weise auf die höheren Stromwerte extrapolierbar. Erst kürzlich konnte dank neuartiger Technologien eine neue Generation von SF<sub>6</sub>-isolierten Generatorleistungsschaltern serienreif entwickelt und zertifiziert werden.

## Ströme von 160 kA schalten

Der Nachweis, dass Ströme im Bereich von 160 kA in der SF<sub>6</sub>-Technologie geschaltet werden können, wurde in den

Jahren 1996 bis 1997 im ABB-Hochleistungslabor in Baden an einem Basisversuchsgerät erbracht. Diese Erkenntnis bedeutete eine sprunghafte Verschiebung der bisherigen Grenze von 120 kA für SF<sub>6</sub>-Schalter.

Die abschliessende Phase der Produktentwicklung wurde 1999 abgeschlossen, so dass im Mai 2000 die letzte Testschicht zur Zertifizierung des neuen Generatorschalters HEC 7/8 im niederländischen Prüfinstitut KEMA stattfinden konnte. Es wurden alle nach der für Generatorschalter relevanten Norm IEEE Std C37.013 [1] geforderten Leistungsprüfungen erfolgreich bestanden.

## Weltweit grösster Generatorschalter

Der Generatorschalter HEC 7/8 ist der weltweit grösste Schalter basierend auf der SF<sub>6</sub>-Technologie. Er wurde als System entwickelt, das in allen Kraftwerkstypen als Operationsschalter und als Schutz für die Generatoren und Blocktransformatoren eingesetzt werden kann. Das Schaltersystem ist auch für eine

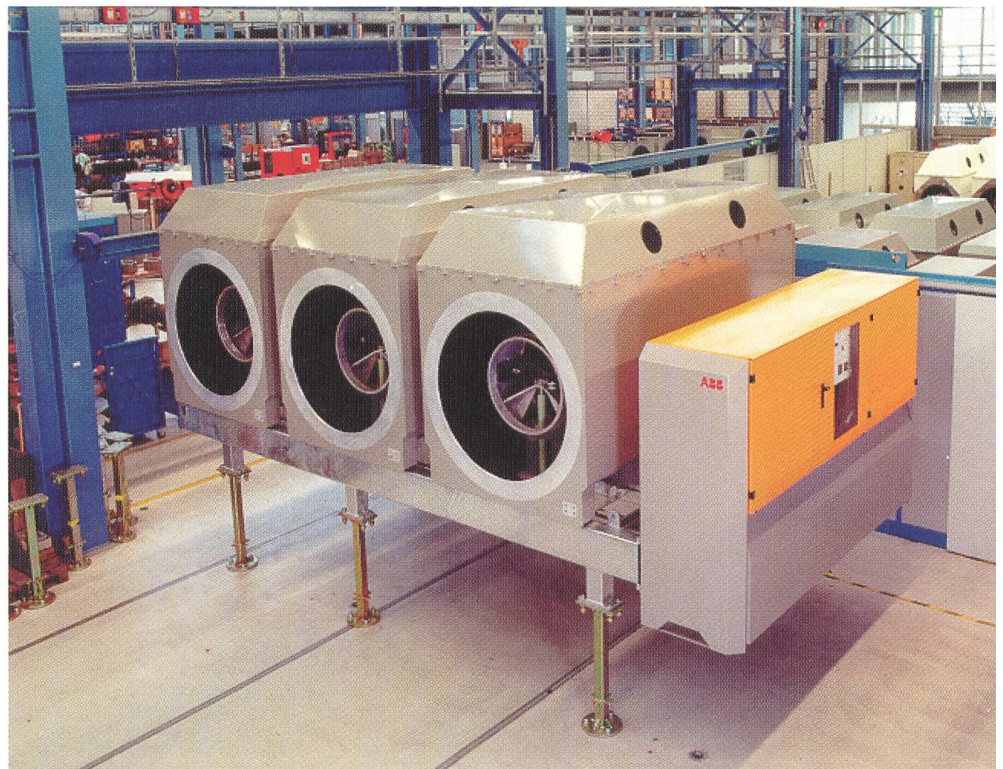


Bild 1 Generatorschaltersystem HEC 7/8 in der Endmontage.



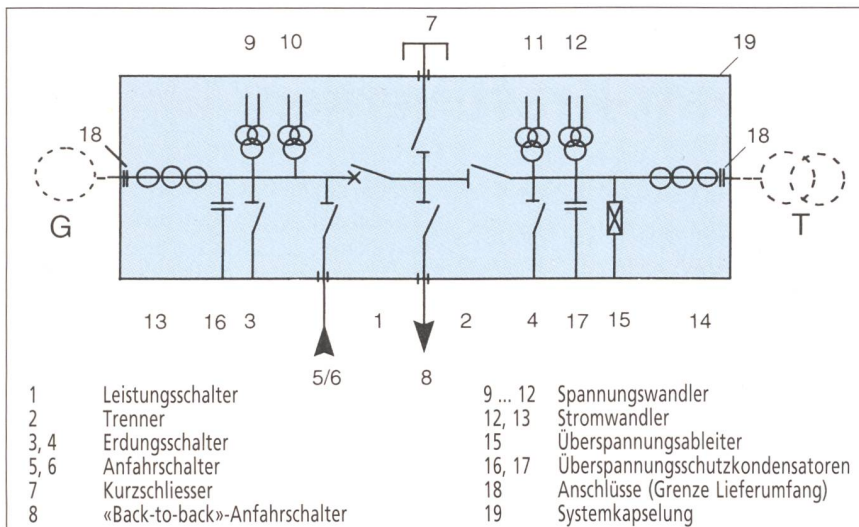


Bild 2 Ausrüstungskomponenten des HEC 7/8 in Standardausführung (Funktionsschema).

Nachrüstung in bestehenden Kraftwerken geeignet, wenn diese modernisiert, erweitert oder automatisiert werden sollen. Das System ist dreiphasig und sowohl für Innenraum- als auch für Freiluftaufstellung lieferbar (Bild 1).

Das System besteht aus folgenden Komponenten [2]:

Leistungsschalter und Trennschalter, Erdungsschaltern, Anfahrerschaltern (für Gasturbinen mit SFC als Static Frequency Converter, oder für Pumpspeicherwerke als «back-to-back»-Anfahrerschalter), fest eingebauten Kurzschliesser/Bremsschalter oder nach Bedarf einzubauende Kurzschlussverbindung, Strom- und Spannungswandlern, Schutzkondensatoren sowie Überspannungsableitern.

Alle Komponenten sind in ein Kapselungsgehäuse integriert. Im einphasigen Funktionsschema, dem sogenannten Single-Line Diagramm (Bild 2), sind die Komponenten des Systems in der Standardausführung dargestellt. Je nach Kraftwerksauslegung können einzelne Komponenten weggelassen werden.

Die Leistungsparameter des Generatorschalters HEC 7/8 genügen dem Bedarf aller Kraftwerkstypen im Bereich 500 bis 1000 Megawatt, was beispielsweise den Generatorenblöcken im Kernkraftwerk Leibstadt entspricht.

Der HEC 7/8 ist ohne zusätzliche Kühlkomponenten für Nennströme bis 24 kA ausgelegt und mit einfachen Umwälzgebläsen bis zu 28 kA zu betreiben.

Die Nennspannung beträgt 30 kV. Das System beherrscht die Schaltung von Kurzschlussströmen mit Effektivwerten bis 160 kA.

## Neue Philosophie der Kraftwerksbauer

Neben den Leistungsparametern, die den Schalter für den Einsatz in den Kraftwerken grösster Leistung qualifizieren, zeichnet sich ab, dass ein marktorientiertes Produkt wie dieses die Philosophie der Kraftwerksbauer verändern kann. Bisher sah die elektrische Auslegung für derartige Kraftwerke meistens eine Ausführung mit separatem Anfahrtransformator ohne Generatorschalter aus Kostengründen vor. Mit dem HEC 7/8 wird eine für die Kraftwerksbauer kostengünstige Standardvariante angeboten, die ausserdem einen effizienten Anlagenbetrieb für die Betreiber der Kraftwerke gewährleistet.

Der Bedarf an grossen für die Energiegrundlast in den elektrischen Netzen eingesetzten Basic-Load-Kraftwerken mit Leistungen von über 500 MW ist weltweit am Steigen. Lieferungen des neuen Schalters HEC 7/8 in den asiatischen Markt, insbesondere nach China sowie Malaysia, sind bereits erfolgt. Weitere Schalter wurden nach Dänemark, Deutschland und Australien geliefert [3].

## Selbstblasprinzip angewendet

Der Generatorschalter HEC 7/8 ist das erste Gerät, das bei einem Kurzschlussstrom von 160 kA mit dem sogenannten Selbstblasprinzip [4] arbeitet. Die für die Lichtbogenlöschung notwendige Gasströmung erfordert eine hohe Druckdifferenz, die hier durch den Schaltlichtbogen selbst erzeugt wird, so dass der Antrieb des Schalters deutlich schwächer und damit kostengünstiger ausgelegt werden kann.

Der stromdurchflossene Schaltlichtbogen besteht aus Plasma, das heisst, etwa 20 000 Grad heissem ionisiertem Gas, das durch die hohen eigenmagnetischen Kräfte stark komprimiert wird. Dabei entstehen Drücke auf der Lichtbogenachse von über 100 bar, die einen intensiven Plasmastrahl aus der Lichtbogenzone heraus bewirken. Die kontrollierte Umlenkung dieser Heissgasströmung in ein Druckvorratsvolumen ermöglicht es, die im Lichtbogen umgesetzte Energie zur Erzeugung der Kühlströmung auszunutzen. Diese gewährleistet die Verlöschung des Bogens und die Wiederherstellung

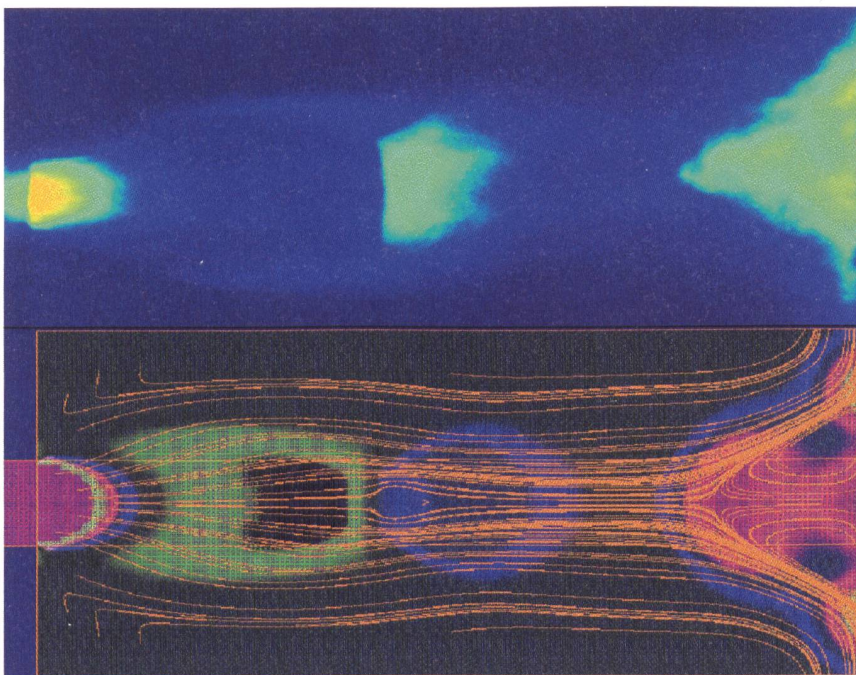


Bild 3 Kurzzeitphotographie eines Plasmafreistrahles mit deutlich sichtbaren Schockgebieten beim Auftreffen auf eine Wand (oben). Unten die Strömungssimulation dieses Vorganges.



der Spannungsfestigkeit im Bereich des Stromnulldurchgangs.

Die gezielte Kontrolle eines solchen Höchststromlichtbogens erfordert eine genaue Kenntnis der plasmaphysikalischen Vorgänge. Im ABB-Forschungszentrum in Baden-Dättwil wurden im Rahmen von Grundlagenexperimenten und hochauflösenden Simulationsrechnungen zum Druckaufbau und zur Strömungsdynamik die plasmaphysikalischen Grundlagen erarbeitet. Beispielsweise hat das Verständnis des Auftretens des Plasmafreistrahles auf eine Wand (Bild 3) wesentlich zur Dimensionierung der Umlenkung beigetragen. Auf der Basis der erforschten Grundlagen konnten so die Dimensionierungsparameter des Generatorschalters definiert werden.

### Neues Isolatormaterial entwickelt

Eine weitere zentrale Komponente des neuen Generatorschalters bildet der sogenannte SF<sub>6</sub>-Schaltkammerisolator [3]. Das Material des neuen Isolators muss bei einer Dauereinsatztemperatur von 105 °C alle Funktionsanforderungen an einen Isolator in einem Zeitraum von 30 Jahren gewährleisten. Die Neuentwicklung eines Isolatormaterials wurde erforderlich, weil sich die Druckbelastung des Schaltkammerisolators erhöhte wegen des Verschiebens des maximal möglichen Abschaltstromes.

In enger Zusammenarbeit zwischen dem ABB-Forschungszentrum und kooperierenden Lieferantenfirmen gelang es, eine neue Generation von kriechbeständigen Epoxidharzen zu entwickeln, die den erhöhten thermo-mechanischen und elektrischen Beanspruchungen gerecht wird. Das neue Isolatormaterial zeichnet sich dadurch aus, dass gegenüber bisher bekannten Isolationswerkstoffen auf Epoxidharzbasis eine wesentlich höhere Kriechbeständigkeit bei Temperaturen von über 100 °C erreicht wird. Ebenso konnte eine exzellente mechanische Zuverlässigkeit bzw. Sicherheit im Falle eines Versagens des Generatorschalters erzielt werden. In umfangreichen Prozess- und Designstudien unter Mithilfe moderner Simulationstools wurde die optimalste Variante des Isolators bestimmt und fertigungstechnologisch umgesetzt (Bild 4).

Mit einem Gussgewicht von rund 110 kg und einem Durchmesser von etwa 1 m ist der neue Isolator der grösste Schalterisolator der Welt.

### Dimensionierung des Kontaktsystems

Aufgrund der hohen Schaltströme sind die Beanspruchungskriterien für das Schaltkontaktsystem äusserst komplex [5]. Erst durch die Kombination von experimentellen Untersuchungen und rechnerischer Simulation konnten entscheidende Fortschritte hinsichtlich der Dimensionierungskriterien für die hochbeanspruchten Schaltkontakte erzielt werden. Da experimentelle Untersuchungen zu dieser Problematik äusserst aufwändig sind, wurde von Anfang an eine rechnerische Simulation favorisiert. Zur Anwendung kam dabei ein dreidimensionales Finite-Element-Programm. Die Aufgabe bestand darin, die Strompfade im Kontaktsystem so zu führen, dass die anziehenden Stromkräfte gegenüber den abstossenden überwiegen und deshalb keine unerwünschten Störlichtbogen auftreten.

Basierend auf diesen Abklärungen wurde für den Generatorschalter HEC 7/8 ein neuartiges Abbrandkontaktsystem entwickelt. Es funktioniert im Schaltergesamtsystem unter den maximal auftretenden elektrodynamischen Kraftwirkungen zuverlässig, bietet ausreichend grosse Abbrandreserven und die durch die Stromkräfte enorm verstärkten Reibungskräfte werden antriebstechnisch beherrscht.

### Zusammenfassung

Die Entwicklung von Generatorschaltern für Anwendungen in Kraftwerken höchster Leistung stellte völlig neue Anforderungen an die Gestaltung des Gesamtsystems. Der Generatorschalter HEC 7/8 hat die technischen Zielstellun-

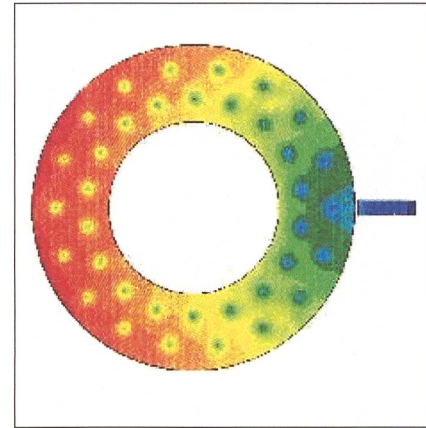


Bild 4 Simulation des Fließprozesses des Epoxidharzes und dessen Aushärtung (rechts Einspritzung).

gen erreicht und setzt neue Massstäbe in wirtschaftlicher Hinsicht auf dem Markt.

Die bereichsübergreifende Zusammenarbeit des verantwortlichen Geschäftsbereiches ABB Hochstromsysteme in Zürich-Oerlikon, dem ABB-Hochleistungslabor für die Entwicklungsversuche in Baden und dem ABB-Forschungszentrum in Dättwil hat unter Einbringung der jeweiligen Kompetenzen entscheidend zum Gesamterfolg des Projektes beigetragen.

### Literatur

- [1] IEEE Std C37.013-1993.
- [2] Publication No. CHHOS/AG 2017.98 E.
- [3] Guzek, K.; Claessens, M.; Förster, St.: Akzent – Das Magazin von ABB Schweiz. Dezember 2000, S. 20-21.
- [4] Zimmermann, H.; Burckhardt, P.: SF<sub>6</sub>-Selbstblasschalter Typ HE – ein neuer Generator- und Anlagenschalter. Brown Boveri Technik 8/9-85, S. 398-403.
- [5] Gorgius, D.; Scheibler, J.; Schoenemann, Th.; Zehnder, L.: Design principles of contacts for switching very high currents up to 200 kA. 20th Int. Conf. on Electrical Contacts, 19.-23.6.2000, Stockholm, Sweden, Konferenzband S. 337-342.

## Disjoncteur de générateur dans des centrales d'une puissance de 500 à 1000 mégawatts

La construction de centrales avec des puissances installées de quelques gigawatts implique des disjoncteurs de générateurs d'une puissance de coupure maximale. Le HEC 7/8 d'ABB, plus grand disjoncteur de générateur du monde, convient à une puissance de 500 à 1000 mégawatts. De nouvelles technologies ont été utilisées pour ses composants.



# Von Anfang an die richtige Wahl

Stand Nr. B10 (Halle 1) an der INELTEC

Kamstrup A/S  
 TEL: +45 89 93 10 00  
 FAX: +45 89 93 10 01  
 www.kamstrup.com

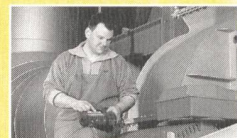
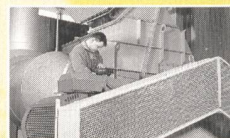
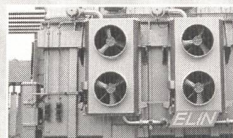
Für die Schweiz  
 Tecontra GmbH, Jona  
 TEL: 055 212 70 07  
 FAX: 055 212 70 08  
 E-MAIL: metering@tecontra.ch  
 www.tecontra.ch

Kamstrup Drehstromzähler



**Kamstrup**

Messtechnische Lösungen für Versorgungsanlagen



Burz&Partner AG

**Transformatoren**

**Antriebstechnik**

**Motoren**

## Service Total

vom zuverlässigen Partner, für die ganze Schweiz

- General-Importeur der VA TECH ELIN Transformatoren
- Service Vertragspartner der VA TECH EGB Transformatoren
- Beratungen
- Prüfungen
- Analysen
- Expertisen und Schadensabklärungen
- Revisionen, Reparaturen, Neuentwicklungen
- Modernisierungs- und Neubauprojekte
- Verkauf und Vermietung von Occasionen und Neugeräten
- Verkauf von Zubehör
- 24h-Pikett-Service



**IBA Elektro AG, Servicebetriebe**

Binzmattweg 2 • 5035 Unterentfelden

Telefon 062 835 03 70 • Fax 062 835 03 80

www.iba-aarau.ch

