

## JAHRESBERICHT 1998



Über die Arbeiten gemäss Projekt-/Vertragsnummer: 22301/61701

Titel des Projekts: **Entwicklung neuer systemorientierter FACTS-Elemente**

### Zusammenfassung:

Die Entwicklung von FACTS-Elementen optimaler Wirtschaftlichkeit und deren Integration in die Netzbetriebsführung ist die Zielsetzung des vorliegenden Forschungsprojektes. Als Referenz für die zu entwickelnden FACTS-Elemente stehen der Universale Lastflussregler (UPFC), der eine unabhängige Regelung der Wirk- und Blindleistungsflüsse sowie Spannungsregelung erlaubt, sowie die „Advanced Series Compensation“ (ASC), deren Integration ins Netz transformatorlos erfolgen kann. Beginnend beim Hardwareaufbau der eingesetzten Leistungselektronik bis hin zur Integration der Regelung des Gesamtsystems in die Netzbetriebsführung werden kostengünstige FACTS-Elemente durch Minimierung der primärtechnischen Einrichtungen entwickelt, die optimalen FACTS-Element-Funktionen und die optimale FACTS-Element-Anordnung im Netz abhängig von typischen Netzkonfigurationen festgelegt und Verfahren zur Optimierung des Netzverhaltens erarbeitet.

Dauer des Projekts: 1.07.97 – 31.03.00

Beitragsempfänger: **ABB Hochspannungstechnik AG**

WEB-Seite des Beitragsempfängers: <http://www.abb.ch/hos/home.html>

Berichtersteller: **Dr. D. Westermann** E-Mail: [dirk.westermann@chhos.mail.abb.com](mailto:dirk.westermann@chhos.mail.abb.com)

Adresse: **ABB Hochspannungstechnik; Abt. AET; Brown-Boveri-Str. 5; 8050 Zürich**

Telefon/Fax: **(01) 318 34 79 / (01) 318 17 24**

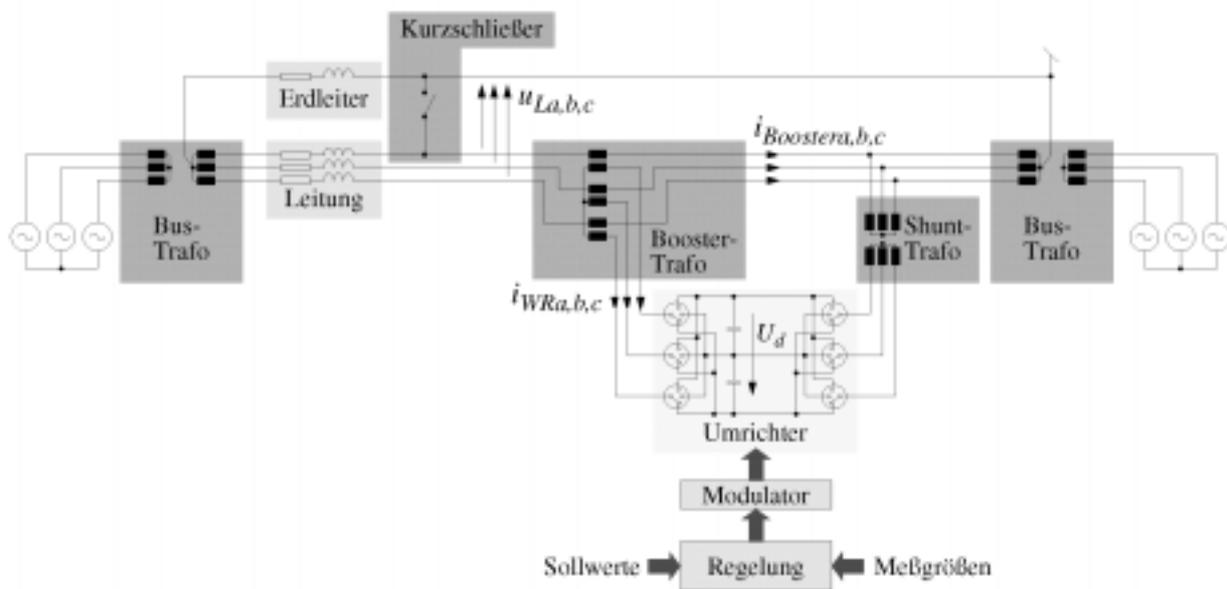
## 1. Einleitung

Die „Entwicklung neuer systemorientierter FACTS-Elemente“ zielt betriebsmittelseitig einerseits auf den Universale Lastflussregler (UPFC), der eine unabhängige Regelung der Wirk- und Blindleistungsflüsse über das Betriebsmittel sowie die Regelung der Spannungsbeträge am Anschlusspunkt erlaubt. Andererseits steht die „Advanced Series Compensation“ (ASC), deren Integration ins Netz transformatorlos erfolgt, im Mittelpunkt der Technologieentwicklung. Systemseitig stehen hinsichtlich der Integration dieser statischen Betriebsmittel in den Netzbetrieb vordergründig Verfahren zur Betriebsführung und wirtschaftlichen Bewertung im Vordergrund. Die systemseitig durchzuführenden Schritte bauen auf den für die Betriebssituationen angepassten Betriebsmittelmodellen auf und beziehen sich in erster Linie auf das Anlagenverhalten im Normalbetrieb. Die hier vorgestellten Ergebnisse bezüglich der betriebsmittelseitigen Problemstellungen konzentrieren sich auch auf den gestörten Netzbetrieb und die hardwaretechnischen Randbedingungen.

## 2. Universale Leistungsflussregelung

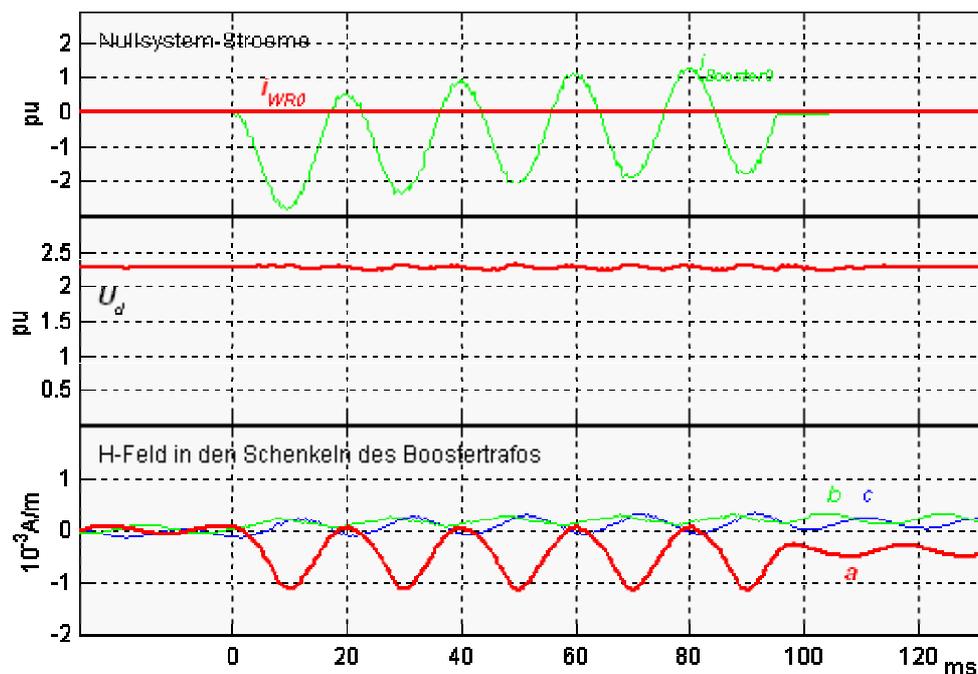
Hinsichtlich der Entwicklung geeigneter Schutzverfahren für den UPFC ist die Untersuchung einphasiger Erdschlüsse in unmittelbarer Nähe der Serienspannungseinkopplung von besonderer Bedeutung. Hier treten grosse, den Boostertransformator sättigende, Nullströme auf, die im schlimmsten Fall – ohne geeignete Schutzverfahren – zu einer Zerstörung des Umrichters führen können. Im Rahmen von simulationstechnischen Untersuchungen sind daher diese im gestörten Netzbetrieb auftretenden Effekte ausführlich untersucht worden. Systemstudien auf Basis von Softwaremodellen haben bereits gezeigt, dass durch eine geeignete Transformatorausführung und die Realisierung einer sophisticateden Regelung der Wechselrichterstrom  $i_{WRa,b,c}$  wirksam begrenztbar ist.

Die zur Untersuchung dieser Betriebssituation erforderliche Systemmodell umfasst ein Modell des UPFC sowie ein auf die wesentlichen Komponenten Modell der Netzelemente (Bild 1). Die am Anschlussort des UPFC wirksamen aktiven Netzkomponenten wirken physikalisch wie Spannungsquellen, die über einen Kuppeltransformator (Bustransformator) an die zu regelnde Übertragungsleitung angeschlossen sind. Der zur Regelung der Übertragungsparameter eingesetzte UPFC wirkt am Ende der Übertragungseinrichtung. Das Sättigungsverhalten des Boostertransformators ist durch dessen Sättigungskennlinie bestimmt und entsprechend modelliert. Die Impedanz des sich bei einphasigen Erdfehlern in geerdeten Netzen über die Fehlerstelle und den Transformatorsternpunkt schliessenden Stromkreises ist im Modell über konzentrierte Elemente als Erdleiter berücksichtigt. Die Nachbildung des Erdfehlers erfolgt über einen Kurzschliesser, der unter Berücksichtigung typischer Betriebssituationen bei Nennbelastung der Übertragungsleitung Phase a für 100 ms auf den Erdleiter schaltet (Bild 1).



**Bild 1:** Systemmodell zur Untersuchung des gestörten Netzbetriebes mit UPFC

Bei einem zum Zeitpunkt  $T = 0$  auftretenden einphasigen Erdfehler sinkt die Spannung in Phase a auf 0 pu. Die realisierte Regelung ermöglicht in dieser Betriebssituation eine Begrenzung der leitungsseitig durch den Booster-Transformator fließenden sowie der wechselrichterseitig vorherrschenden Ströme. Darüber hinaus erfolgt eine Konstanthaltung der Zwischenkreisspannung  $U_d$ . Die wechselrichterseitige Verschaltung des Booster-Transformators mit isoliertem Sternpunkt verhindert eine Übertragung der Nullsystemströme ( $i_{Booster0}$ ) auf die Wechselrichterseite.

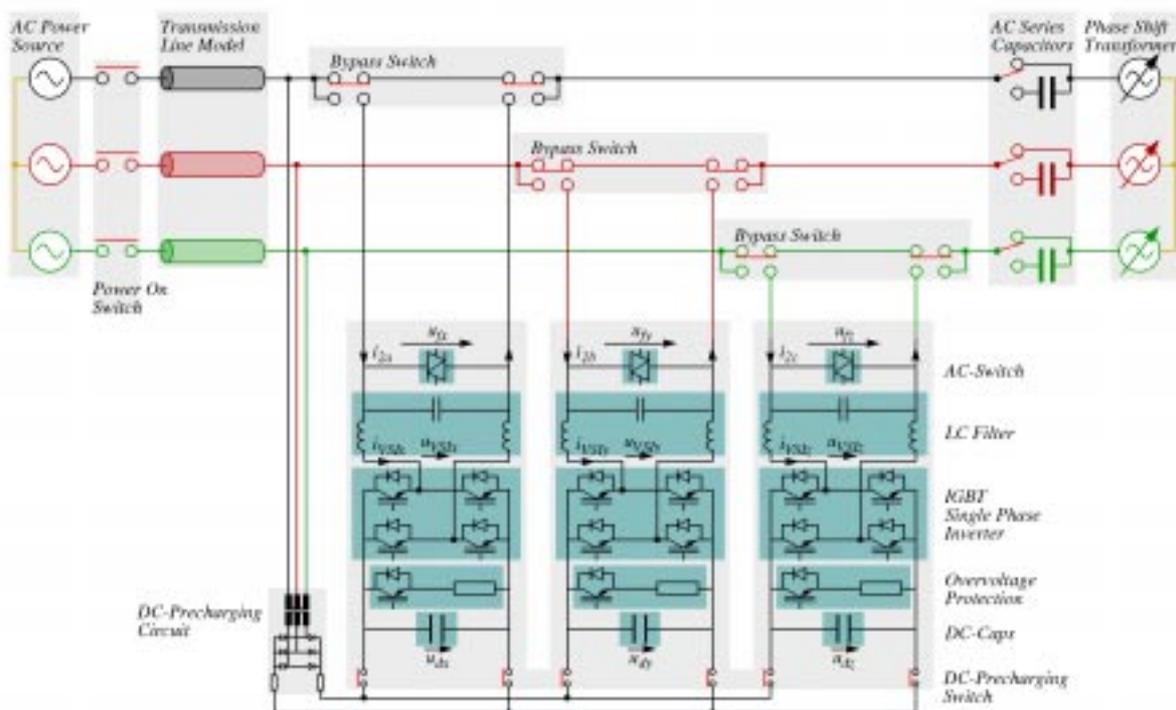


**Bild 2:** Systemverhalten bei einem einphasigen Erdfehler; Ströme des Nullsystems, Zwischenkreisspannung und Magnetfeld im Booster-Transformator

Eine den Wechselrichter schädigende Wirkung durch unzulässig hohe Ströme oder Zwischenkreisspannungen wird vermieden. Ebenso bleibt die Sättigung des Booster-Transformators aus, weil das magnetische Feld in den Transformatorschenkeln ( $H_{ka,b,c}$ ) während des Fehlers nicht unzulässig stark ansteigt (Bild 2).

### 3. Transformatorlose Spannungseinkopplung

Im Hinblick auf die Entwicklung einer Anlagenkonfiguration mit geeigneter Regelung zur transformatorlosen Spannungseinkopplung stand bezüglich der transformatorlosen Serienkompensation („Advanced Series Compensation“ (ASC)) der Aufbau einer Laboranlage sowie deren schrittweise Inbetriebnahme im Vordergrund der Arbeiten. Die ASC besteht in jeder Phase aus einer Serienschaltung von Spannungswechselrichtern und wird ohne Transformatoren direkt in Serie zur Übertragungsleitung geschaltet. Die Modellierung der wirksamen Netzkomponenten bezieht sich hier auf ein Leitungsmodell, an dessen Enden jeweils Spannungsquellen als reduzierte Netzausschnitte installiert sind. Ein Schwenktransformator ermöglicht eine Phasenverschiebung der Spannungen am Anfang und Ende der Übertragungsstrecke (Bild 3, Bild 4).

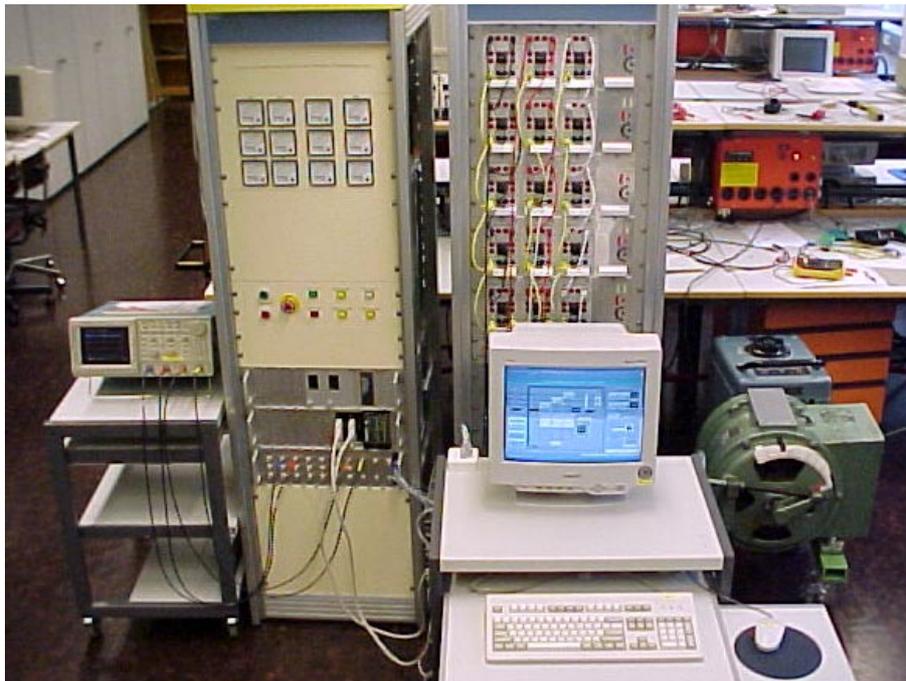


**Bild 3:** Aufbau der Hardware-Simulation für die transformatorlose Serienkompensation im Labormassstab - Prinzipbild

Während in Hochspannungsanwendungen der Einsatz von hart angesteuerten abschaltbaren Thyristoren (IGCT) erforderlich wird, ist im Labormassstab das Systemverhalten bereits mit dem Einsatz von Leistungshalbleitern kleinerer Bemessungsleistung möglich. Die Wechselrichtermodule

sind daher mit IGBT Bausteinen in Zweipunktschaltung mit einem Gleichstromzwischenkreis ausgeführt. Der am Wechselrichter ausgangsseitig installierte LC-Filterkreis dient der Ausgangsspannungsglättung.

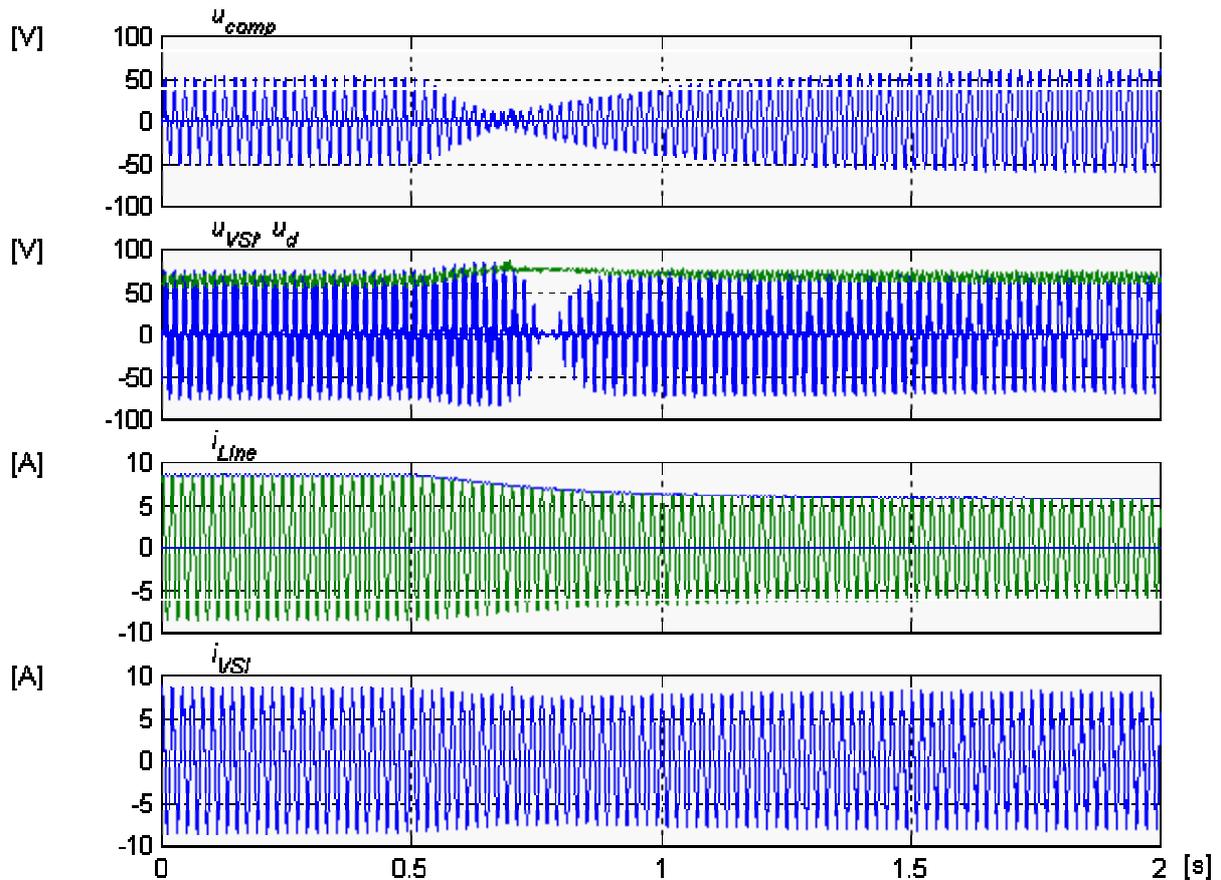
Durch die Serienschaltung der Komponenten kann die Anlage bezüglich ihrer elektrischen Eigenschaften beliebig skaliert werden. Für die hier erforderlichen Systemuntersuchungen ist die Anlage mit einem Fünftel der Bemessungsleistung dimensioniert. Die Steuerung und Regelung der ASC erfolgt über ein DSP-System.



**Bild 4:** Aufbau der Hardwaresimulation für die transformatorlose Serienkompensation im Labormassstab

Nach dem Übergang vom kapazitiven zum induktiven Betrieb ist die Amplitude der Kompensatorausgangsspannung  $u_{comp}$  ohne Serienkapazitäten leicht angehoben. Abhängig von den Netzverhältnissen wirkt sich dieser durch die Entkopplungsinduktivitäten verursachte unsymmetrische Betriebsbereich positiv auf die Dimensionierung des Gesamtsystems aus.

Die hier eingesetzte DC-Spannungs-Regelung gewährleistet eine etwa konstante Zwischenkreisspannung – auch während der transienten Phase. Aufgrund der Minimierung der der Gleichspannung überlagerten 100-Hz-Schwingung hat die Ausgangsspannung hier einen nahezu optimalen sinus-förmige Verlauf. Mit dieser Anlagenkonfiguration ist mit nur 20% installierter Leistung ein Stellbereich im Leitungsstrom  $i_{Line}$  von ca. 50% des Nennstroms erreichbar.



**Bild 5:** Ströme und Spannungen beim Übergang von kapazitiver zu induktiver Kompensation der ASC

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Mit den hier vorgestellten Ergebnissen bezüglich der betriebsmittelseitigen Entwicklungsschritte und der vorliegenden systemtechnischen Seite können sich zukünftige Arbeiten auf die Optimierung der Komponentenauslegung und Betriebsverfahren konzentrieren. Dies umfasst sowohl den gestörten auch den ungestörten Netzbetrieb bezüglich Schutz, Steuerung und Regelung. Darüber hinaus besteht insgesamt mit den vorliegenden Ergebnisse eine breite Basis für die Durchführung von Wirtschaftlichkeitsbewertungen von FACTS-Elementen vor. Am Beispiel von zwei Anwendungen zur Leistungsflussregelung im 220-kV-Netz der NOK werden sich diese vor allem auch auf die Bewertungen betrieblichen Randbedingungen im Netz beziehen.