Intelligenz verhindert Stromunterbrüche

Autor(en): **Rehtanz, Christian / Bertsch, Joachim / Kaba, Mehmet**

Objekttyp: **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): **93 (2002)**

Heft 1

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-855369

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Intelligenz verhindert Stromunterbrüche

Weitbereichsschutz ermöglicht höhere nutzbare Übertragungsleistung

Durch neueste Mess- und Kommunikationstechnik in Verbindung mit intelligenten Auswertealgorithmen können Energieübertragungsnetze effizienter genutzt sowie teure Spannungsausfälle vermieden werden. Weitbereichsschutzsysteme (Wide Area Protection Systems) sichern elektrische Energieübertragungssysteme vor den Auswirkungen von Engpässen. Die Systeme können auftretende Schwachstellen sofort lokalisieren und Gegenmassnahmen einleiten, bevor kostenintensive Notfälle eintreten. Daraus resultieren weniger Beschränkungen für den Energiemarkthandel und weniger Versorgungsunterbrechungen.

Christian Rehtanz, Joachim Bertsch, Mehmet Kaba

Trotz moderner Leittechnik brechen elektrische Energieübertragungssysteme immer wieder zusammen. Die Folgen davon sind Versorgungseinbrüche, die hohe Kosten für alle an der Energieversorgung Beteiligten verursachen. Durch steigenden Energieverbrauch in Entwicklungsländern sowie durch zunehmenden Übertragungsbedarf in Industrieländern mit liberalisierter Energieversorgung werden Engpässe häufiger und damit Systemzusammenbrüche wahrscheinlicher.

Vor allem die Durchleitung elektrischer Energie von günstigen Erzeugerregionen zu Verbraucherschwerpunkten führt zu einer Belastung von Übertragungskorridoren. In derartigen Situationen bedeutet eine Absicherung oder gar Erweiterung der nutzbaren Übertragungskapazität einen hohen finanziellen Nutzen für die unterschiedlichen Marktteilnehmer. Zum Beispiel wären Handelsbeschränkungen dann weniger gravierend und Versorgungsausfälle weniger wahrscheinlich.

Schutzfunktionalität ist notwendig

Da die Installation von zusätzlichen Komponenten bis hin zu neuen Übertragungsleitungen sehr kostenintensiv und häufig aus umwelt- oder wegerechtlichen Gründen nicht realisierbar ist, wird sie daher so weit wie möglich hinausgeschoben. Als kostengünstige und schnell zu realisierende Alternative bieten sich Systeme für den Weitbereichsschutz an. Darunter ist eine Schutzfunktionalität zu verstehen, die sich koordiniert über grosse Gebiete erstreckt und gleichzeitig schnell reagiert.

Solche Systeme berechnen die Stabilität eines Bereiches des Energieübertragungsnetzes auf der Basis von dynamischen Messungen und schlagen gegebenenfalls stabilisierende Handlungen vor bzw. aktivieren diese. Die Beobachtung des Netzzustandes sowie allfällige Massnahmen werden für einen kritischen Bereich koordiniert und durchgeführt. Neben Scada/EMS-Systemen[1], die von einem quasi-stationären Systemzustand ausgehen, und konventionellen Schutzsystemen, die rein lokal handeln, bieten Weitbereichsschutzsysteme eine vollständig dynamische und systemweit koordinierte Betrachtungs- und Handlungsweise.

Kernfunktionalitäten

Die Kernfunktionalitäten von Weitbereichsschutzsystemen sind somit:

- die Erhöhung der nutzbaren Übertragungskapazität;
- die Erhöhung der Verfügbarkeit;
- die Kombination der Erhöhung von nutzbarer Übertragungskapazität und Verfügbarkeit.

Ein Weitbereichsschutzsystem erhöht zwar nicht die physikalische Übertragungskapazität einer Leitung, erweitert jedoch deren Nutzbarkeit. Damit ist – bei gleichzeitiger Reduktion von Instabilitätsrisiken – eine höhere Leitungsausnutzung möglich.

Die Betriebsweise des Energieübertragungssystems kann bei Verwendung eines Weitbereichsschutzsystems von konventioneller N-1-Sicherheit[2] auf einen Risikobetrieb bzw. einen auf Wahrscheinlichkeit basierenden Betrieb umgestellt werden. Die Wirtschaftlichkeit eines solchen Schutzsystems ergibt sich dann aus dem Vergleich des Gewinnes durch die zusätzliche Übertragungskapazität mit den Kosten für die Installation des System und den Kosten für allfällige stabilisierende Handlungen. Auf Grund der üblicherweise geringen Wahrscheinlichkeiten, mit denen drastische stabilisierende Massnahmen ergriffen werden müssen, kann der Gewinn aus der zusätzlichen Übertragungskapazität – bis auf die Installationskosten des Weitbereichsschutzsystems – realisiert werden.

Im Folgenden werden die Anforderungen an ein derartiges Weitbereichsschutzsystem definiert und hieraus generelle Entwurfskriterien abgeleitet, auf Grund derer ein erstes kommerzielles System entwickelt wurde.

Systemanforderungen

Eine erhöhte Verfügbarkeit des Übertragungssystems bedeutet, dass Ausfälle oder kritische Ereignisse eingedämmt werden und sich nicht zu einem systemweiten Kollaps ausdehnen können. Ein Weitbereichsschutzsystem muss daher kritische Situationen erkennen und geeignete Gegenmassnahmen einleiten können. Die Identifikation der kritischen Situation soll zusammen mit den vorgeschlagenen Handlungen dem Bediener auf den vorhandenen Scada/EMS-Monitoren oder auf zusätzlichen Monitoren dargestellt werden. Hierbei sollte eine einfache und intuitive Bedienbarkeit gewährleistet sein, damit die zeitkritischen Informationen schnell und zuverlässig er-

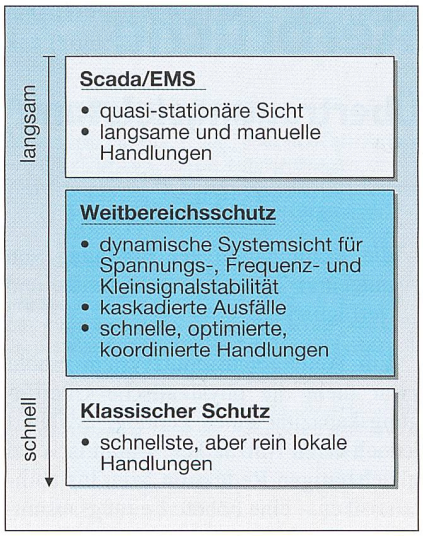

Bild 1 Vergleich der verschiedenen Schutzsysteme

fasst werden können. Je nach erforderlichem Zeitrahmen sollen die Handlungen darüber hinaus automatisiert ausgeführt werden.

Ein Weitbereichsschutzsystem muss zwischen folgenden physikalischen Phänomenen unterscheiden können:

- transiente Stabilität;
- Frequenzstabilität;
- Kurzzeitspannungsstabilität;
- Langzeitspannungsstabilität;
- Kleinsignalstabilität (Dämpfung).

Diese Phänomene werden heutzutage nur unzureichend durch Scada/EMS-Anwendungen sowie durch lokale Schutzgeräte abgedeckt.

Lokale Schutzgeräte, die für den Unterfrequenz- und Unterspannungsschutz eingesetzt werden, verwenden dabei rein lokale Sichtweisen und sind damit nicht in der Lage, systemweit und koordiniert zu handeln. Lastabschaltungen sind daher die einzigen Massnahmen – die meist aber zu häufig oder fehlerhaft durchgeführt werden.

Im Gegensatz dazu besitzen Scada/EMS-Systeme zwar eine Sichtweise auf das Gesamtsystem, jedoch ist diese nur für quasi-stationäre Vorgänge geeignet. Kaskadierte Ausfälle, die mit dynamischen und transienten Vorgängen einhergehen, werden nicht abgedeckt oder falsch bzw. gar nicht erkannt.

Aus diesen Einschränkungen der konventionellen Systeme lassen sich folgende technischen Anforderungen an ein Weitbereichsschutzsystem ableiten:

- Ereignisse müssen dynamisch gemessen und erkannt werden;
- kritische Bereiche des gesamten Energieübertragunssystems müssen überwacht sein;
- stabilisierende Handlungen müssen systemweit koordiniert werden können;
- die Funktionsfähigkeit muss auch bei kaskadierten Ereignissen gewährleistet werden.

Betrachtet man diese Anforderungen ausgehend von den Zeitbereichen, in denen die einzelnen Systeme handeln, so reagiert der konventionelle lokale Schutz am schnellsten, gefolgt von dem Weitbereichsschutz für systemweite schnelle Handlungen. Scada/EMS-Systeme hingegen sind für langsame Reaktionen geeignet, die teilautomatisiert und auch manuell ausgeführt werden. Bild 1 ordnet den Weitbereichsschutz ein und fasst die definierten Anforderungen zusammen.

Struktur des Systems

Gemäss der obigen Anforderungen hat ABB ein Weitbereichsschutzsystem entworfen. Die Basis des Systems bilden Messungen von Strom- und Spannungsphasoren – so genannte Phasor Measurement Units (PMU). Diese Messeinrichtungen liefern zeitsynchrone Messungen von Betrag und Winkel der entsprechenden Grössen. Die Zeitsynchronisation findet mittels GPS-Satellitenzeitübermittlung statt. Somit liegen systemweite Messungen als zeitliche Schnappschüsse für bestimmte Gebiete vor. Damit können lokale Funktionen ausgeführt und direkt Daten ausgetauscht werden. Ausserdem werden die gemessenen Informationen in einem zentralen System – dem System Protection Center (SPC) – gesammelt und ausgewertet. Bild 2 zeigt die generelle Struktur eines solchen Weitbereichsschutzsystems.

Diese Struktur ermöglicht somit sowohl die Umsetzung zentraler Algorithmen als auch die direkte Verknüpfung lokaler Informationen.

Anwendungsbereich des Weitbereichsschutzes

Hauptanwendung für den Weitbereichsschutz sind Spannungs- und Frequenzinstabilitäten. Beide Arten der Instabilität benötigen eine Systemsicht für angemessene Handlungen. Systemsicht bedeutet hierbei, dass es nicht genügt, einzelne Messwerte auszuwerten, sondern, dass das Zusammenspiel von Betriebsmitteln und deren Regelung zusammenhängend für einen grösseren kritischen Bereich des Energieübertragungssystems betrachtet werden muss. Aus der Systemsicht ergibt sich auch, dass innerhalb eines definierten Bereichs Handlungen zeitlich und örtlich koordiniert ergriffen werden können. Beides wird durch den Ansatz der Konzentration weit verteilter Daten im System Protection Center erzielt.

Frequenzinstabilität

Beispielsweise kann zwar die Frequenz als Indikator ortsunabhängig gemessen werden. Stabilisierende Massnahmen wie zum Beispiel Last- und Generatorabschaltungen oder Inselnetzbildungen sind jedoch sowohl ortsabhängig als auch abhängig von wirtschaftlichen Randbedingungen. Insbesondere der aktuelle Systemzustand bezüglich

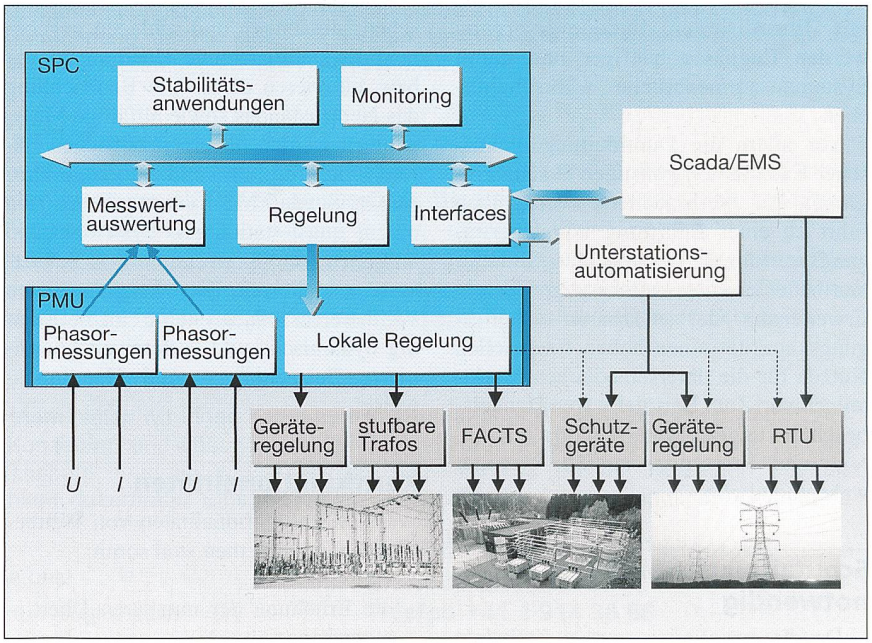

Bild 2 Struktur des Weitbereichsschutzsystems

Einspeisungs- und Lastverteilung wird vom System Protection Center zur Verfügung gestellt, und es werden örtlich gezielte Massnahmen eingeleitet.

Spannungsinstabilität

Bei der Spannungsinstabilität kommt eine ausgeprägte Ortscharakteristik hinzu. Hierbei ist ein Systemmodell zur Bestimmung kritischer Gebiete und zur Indikation der Stabilität oder der Instabilität unumgänglich. Auch die stabilisierenden Massnahmen können nur dann koordiniert bzw. optimiert werden, wenn ein Systemmodell vorhanden ist. Das Systemmodell wird durch eine lineare Zustandsberechnung (State Estimation[3]) aus den Messgrössen verschiedenster Unterstationen berechnet.

Kleinsignalstabilität

Für die Kleinsignalstabilität können Algorithmen realisiert werden, die sowohl lokale als auch globale Aspekte berücksichtigen. Dadurch können Pendelungen innerhalb einzelner Gebiete, aber auch Pendelungen zwischen verschiedenen Gebieten detektiert und gedämpft werden. Die Anforderungen an die Kommunikationstechnik bezüglich Übertragungsraten und -verzögerungszeiten sind hierbei allerdings sehr hoch. Die transiente Stabilität kann aus diesem Grunde nur lokal beeinflusst werden.

Aufbau des Systems

Ein typischer Aufbau eines Weitbereichsschutzsystems für Anwendungen der Spannungs- und Frequenzstabilität ist in Bild 3 gezeigt. Für ein zu beobachtendes Gebiet werden PMU so platziert, dass dieses Gebiet beobachtbar wird. Das heisst, dass sowohl die Topologie detektiert als auch alle fehlenden Zustandsgrössen, wie nicht gemessene Spannungen, Ströme und Leistungen, bestimmt werden können.

Mittels aller gemessenen und berechneten Werte liegt im System Protection Center auf Grund der «Phasor-Schnappschüsse» ein Systemabbild vor, für welches Stabilitätsindikatoren und stabilisierende Massnahmen berechnet werden. Eine auf den Benutzer angepasste graphische Oberfläche stellt die berechneten Informationen auf einem Monitor dar.

Spezielle Algorithmen

ABB hat spezielle Algorithmen für Weitbereichsschutzsysteme entwickelt, die vor allem auf kaskadierte Ausfälle und damit verbundene dynamische Vorgänge reagieren.

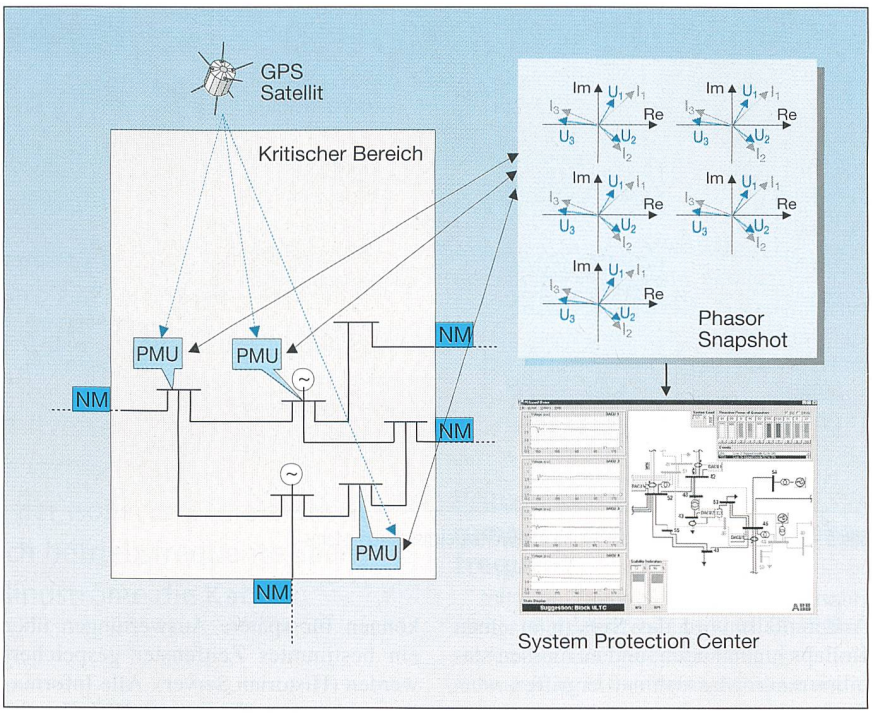

Bild 3 Beobachtung eines kritischen Gebietes mittels Phasor-Messungen und Auswertung im System Protection Center

PMU: Phasor Measurement Units; NM: Nachbarschaftsmodellierung zur Berücksichtigung der Umgebungsgebiete

Beispielsweise ist die Spannungsinstabilität dadurch geprägt, dass das System nach einem Störfall durch Lastreduktion auf Grund spannungsabhängiger Lasten zunächst scheinbar stabilisiert wird. In Zusammenhang mit der automatischen Stufung von Transformatoren zur Spannungswiederherstellung und der Blindleistungsbereitstellung von Generatoren werden diese Lasten wieder hergestellt. Dadurch befindet sich das System in einem dynamischen Vorgang, der zu Folgeereignissen bis hin zu einem Kollaps führen kann.

Vorausschau auf künftige Instabilitäten

Eine frühzeitige Indikation der Instabilität ermöglicht den rechtzeitigen Einsatz stabilisierender Massnahmen. Hierzu wurde ein Verfahren entwickelt, das aus der kontinuierlich gemessenen Systemdynamik die Stabilität für kommende Zeitbereiche voraussagen kann. Daraus kann abgeschätzt werden, ob sich das System in Richtung eines Kollapses oder eines stabilen Endwertes bewegt.

Beispiel: kaskadierte Leitungsausfälle

Bild 4 verdeutlicht dieses Vorgehen anhand eines simulierten Spannungskollapses nach zwei kaskadierten Leitungsausfällen.

Das Verfahren ermittelt zunächst unbekannte Parameter der modellierten Lasten. Diese Parameter bestimmen die aktuelle dynamische Spannungssensitivität und damit Wiederherstellungscharakteristik der Lasten nach Spannungseinbrüchen. Diese Lastmodelle werden zusammen mit den Systemgleichungen, die das Netz einschliesslich der Transformatoren, Einspeisungen und jeweiligen Grenzen beschreiben, zu einem algebraisch differenziellen Gleichungssystem zusammengefügt. Damit kann der stationäre Gleichgewichtszustand mit einem herkömmlichen Newton-Raphson-Algorithmus ähnlich einer Lastflussberechnung bestimmt werden. Konvergiert das Verfahren, so wird das System in diesen stabilen Gleichgewichtszustand laufen.

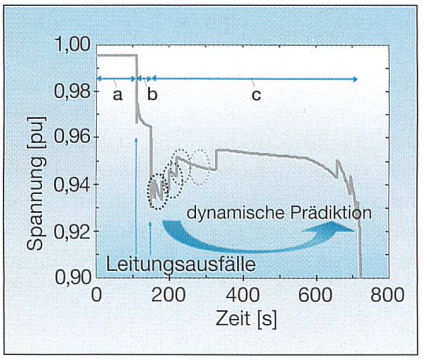

Bild 4 Stabilitätsvorausschau durch dynamische Prädiktion

a: stabiler Bereich; b: gestörter Bereich; c: instabiler Bereich

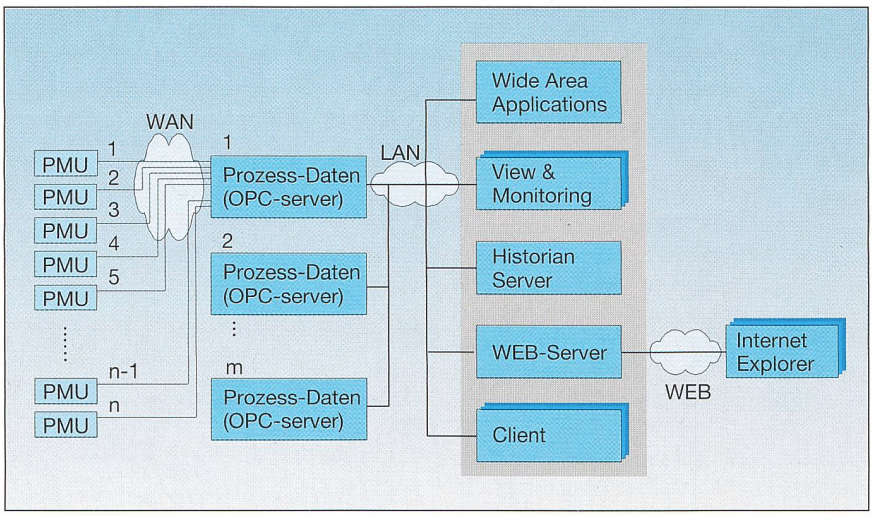

Bild 5 Softwaretechnische Realisierung des Weitbereichsschutzsystems

Anderenfalls wird das System in einen Kollaps hineinlaufen, und es müssen stabilisierende Massnahmen ergriffen werden.

Für die Frequenzstabilität kann ein ähnliches Verfahren angewendet werden, bei dem ebenfalls auf Grund einer dynamischen Prädiktion rechtzeitig möglichst exakte Handlungen bestimmt werden.

Industrial IT

Das gesamte System wurde mittels der «Industrial IT Plattform» von ABB realisiert und ist Teil der «Protect IT Familie», zu der modernste Schutzanwendungen gehören. Bild 5 zeigt die entsprechende Architektur des entwickelten Weitbereichsschutzsystems.

Das standardisierte PMU-Protokoll wird über OPC-Schnittstellen[4] dem Weitbereichsschutzsystem und dessen Anwendungen zur Verfügung gestellt. Die Verbindung zwischen PMU und SPC wird über eine Weitbereichskommunikation, z.B. ein Wide Area Network (WAN), realisiert. Die OPC-Schnittstellen sind mit den Anwendungen über eine lokale Kommunikation, z.B. ein Local Area Network (LAN), verbunden. Als Anwendungen (Wide Area Applications) stehen die Algorithmen zur Stabilitätsindikation und Bestimmung stabilisierender Massnahmen zur Verfügung. Diese Informationen können einem Bediener angezeigt werden (View and Monitoring). Alle Messdaten und Handlungen können für spätere Auswertungen über ein bestimmtes Zeitfenster gespeichert werden (Historian Server). Alle Informationen können über einen Web-Zugriff verfügbar gemacht werden. Der modulare Aufbau ermöglicht auf einfache Weise die Anpassung an spezielle Anforderungen unterschiedlicher Netzbetreiber.

Weitbereichsschutz gegen Zusammenbrüche

Das vorgestellte Weitbereichsschutzsystem wird gegenwärtig für Pilotanwendungen konfiguriert. Hierbei werden Kombinationen der unterschiedlichen Stabilitätsarten berücksichtigt sowie gemäss den Anforderungen seitens der Netzbetreiber Handlungsrahmen definiert.

Der Weitbereichsschutz ergänzt bisherige Leit- und Schutztechniksysteme derart, dass den aktuellen Bedürfnissen nach höherer nutzbarer Übertragungskapazität Gewinn bringend Rechnung getragen werden kann.

Weiterführende Literatur

Cigré TF 38.02.19: System Protection Schemes in Power Networks. Electra, No. 196, Cigré, Juni 2001.

C. Rehtanz; J. Bertsch: A new wide area protection system. IEEE Porto Power Tech 2001, Porto, Portugal, September 2001.

Adressen der Autoren

Christian Rehtanz, Dr.-Ing., ABB Corporate Research Ltd, Baden-Dättwil, christian.rehtanz@ch.abb.com

Joachim Bertsch, Dr.-Ing., ABB Power Automation Ltd, Baden, joachim.bertsch@ch.abb.com

Mehmet Kaba, Dipl.-Ing., ABB Power Automation Ltd, Baden, mehmet.kaba@ch.abb.com

[1] Scada/EMS-Systeme: «Supervisory Control and Data Accquisition/Energy Management»-Systeme bilden zusammen die höchste Ebene der Leittechnik eines Energieversorgungssystems.

[2] N-1-Sicherheit bedeutet, dass sich das Übertragungssystem auch nach Ausfall einer Komponente – beispielsweise einer Leitung – noch im sicheren Zustand befindet.

[3] Kleinste quadratische Abweichungsbestimmung mit einer linearen Berechnungsformel

[4] OPC: Object Linking and Embedding for Process Control ist eine standardisierte Kommunikationsschnittstelle zum Informationsaustausch zwischen einzelnen verteilten Softwarekomponenten.

La protection à grande échelle permet une plus grande performance de transfert utile

Les techniques les plus récentes de mesure et de communication en relation avec des algorithmes d'évaluation intelligents permettent d'utiliser plus efficacement les réseaux de transport d'énergie et d'éviter les chutes de tension coûteuses. Les systèmes de protection à grande échelle (Wide Area Protection Systems) protègent les systèmes de transport d'énergie électrique contre les effets de goulets d'étranglement. Les systèmes sont à même de localiser immédiatement les points faibles et d'engager des mesures appropriées avant que de coûteuses urgences ne se présentent. Il en résulte des limitations moindres pour le commerce de l'énergie et moins de coupures d'alimentation.

Der SEV auf dem Internet / L'ASE sur l'Internet:
http://www.sev.ch