Stabile Fertigungsprozesse dank hoher Stromversorgungsqualität

Autor(en): **Daehler, Peter / Eichler, Markus / Gaupp, Osvin**

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): **92 (2001)**

Heft 11

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-855714

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

Stabile Fertigungsprozesse dank hoher Stromversorgungsqualität

Dynamic Voltage Restorer stabilisieren Spannungseinbrüche im Millisekundenbereich

Grosse, schnelle unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen (USV-Anlagen) bieten Abhilfe gegen Stromausfälle. Sie sollen in erster Linie bei einem vollständigen Stromausfall einspringen. Die meisten Schwierigkeiten entstehen jedoch durch kurzzeitige Störungen. Kurze Absenkungen der Netzspannung (Spannungseinbrüche) werden von den meisten Stromverbrauchern nicht wahrgenommen. Sie können aber für Industriezweige mit hochempfindlichen Prozessen wie etwa die Computerchip-Herstellung, die Erdölraffinerie oder die Textilindustrie verheerende Folgen für die Fertigung haben: Unterbrechungen von nur wenigen Zehntelsekunden können Tausende von Franken kosten. Für diese Art von Problemen bieten Spannungsstabilisatoren wie Dynamic Voltage Restorer (DVR) eine Lösung. Sie kompensieren unverzögert temporäre Spannungseinbrüche, so dass diese gar nicht wahrgenommen werden. DVR-Systeme können ganze Industrieparks schützen, indem sie Spannungsabsenkungen innert weniger als einer Millisekunde kompensieren. ABB hat aus bestehenden und neu entwickelten Komponenten ein äusserst leistungsstarkes DVR-System gebaut.

Peter Daehler, Markus Eichler, Osvin Gaupp, Gerhard Linhofer

DVR-Systeme mit über 22,5 MVA Nennleistung

ABB hat im Sommer letzten Jahres zwei DVR-Systeme installiert, die mit 22,5 MVA Nennleistung zu den leistungsstärksten der bis anhin gebauten Anlagen gehören. Auf Grund der Integrated-Gate-Commutated-Thyristoren (IGCT) von ABB weisen sie äusserst kurze Reaktionszeiten von weniger als 1 ms auf.

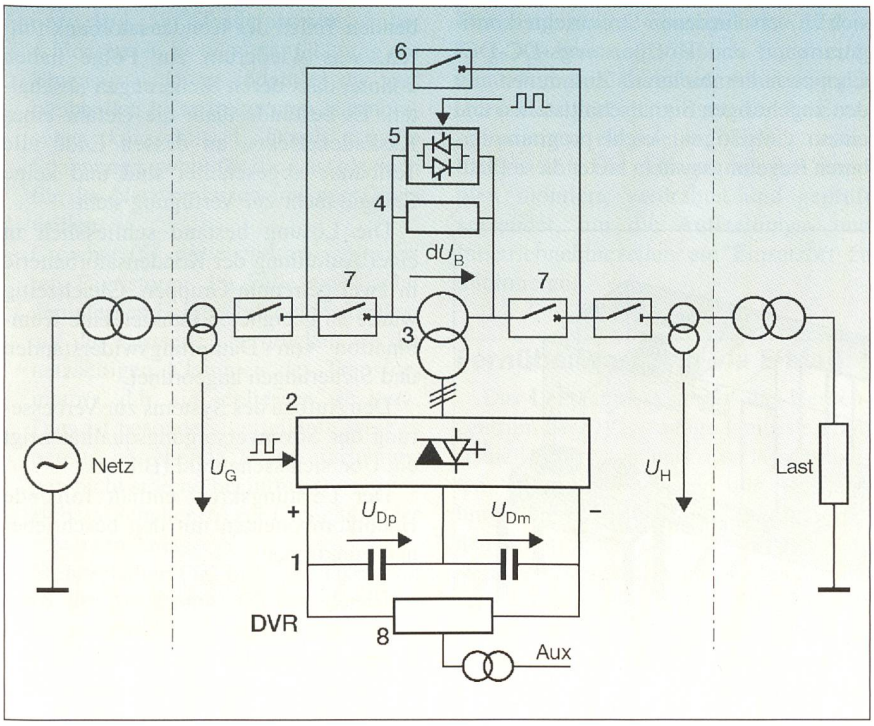


Bild 1 Schematisches Übersichtsschaltbild einer DVR-Anlage

Warum Spannungseinbrüche kompensieren?

Bei den am häufigsten in Versorgungsnetzen auftretenden Störungen handelt es sich um kurzzeitige Spannungseinbrüche. Sie dauern gewöhnlich nur Sekundenbruchteile und bewegen sich zeitlich in der Grössenordnung von einer Zehntelsekunde – der Zeit, die benötigt wird, um die fehlerbehaftete Leitung vom Netz zu trennen. Für die verarbeitende Industrie bedeutet ein Spannungseinbruch Produktionsausfall und Umsatzeinbussen.

Das Streben nach höherer Produktivität hat die Tendenz zur Automatisierung beschleunigt, und zwar nicht nur von einzelnen Prozessen und Fertigungsstufen, sondern auch von kontinuierlich laufenden Fertigungsstrassen mit zahlreichen Einzelprozessen und Produktionsschritten. Einige dieser Prozesse verlangen eine äusserst stabile störungsfreie Umgebung, um höchste Qualität und ein Minimum an Ausschuss zu gewährleisten. In jedem Fall kann selbst eine Störung von weniger als 100 ms Dauer zu einem stundenlangen Produktionsausfall führen, oder es können zumindest Stunden bis zur Stabilisierung des Prozesses vergehen.

Grosse USV-Anlagen teurer als Spannungsstabilisatoren

Grosse USV-Anlagen mit sehr kurzer Ansprechzeit bieten die Möglichkeit, ganze Fertigungsprozesse oder -anlagen gegen Netzstörungen zu schützen. Sie erfordern jedoch entsprechend grosse Investitionen, und ihr Betrieb ist ziemlich teuer. Da bei den meisten Störungen im Versorgungsnetz die Spannung nicht vollständig, sondern nur vorübergehend ausfällt (gewöhnlich nur in einer Phase der Versorgungsleitung), bietet die Kompensation der Spannungsabsenkung in rund 90% aller Störfälle einen ausreichenden Schutz.

USV-Anlagen benötigen grundsätzlich eine höhere Umrichterbauleistung. Sie müssen 100% der von der Last benötigten Leistung bereitstellen. Wenn hingegen nur der Spannungseinbruch zu kompensieren ist, genügt für 50% Spannungseinbruchskompensation eine Umrichterbauleistung von der Hälfte der zu schützenden Last sowie etwas zusätzliche Leistung, um Phasenwinkeländerungen gleichfalls zu kompensieren.

Gravierender sind allerdings die Kosten für den Energiespeicher. Konventionelle USV-Anlagen benutzen Batterien, die sowohl im Hinblick auf die geforderte Energiemenge als auch auf die geforderte Leistung entsprechend dimensioniert werden müssen. Wenn die Leistung nur für Sekundenbruchteile aufgebracht werden muss, ist zwar die benötigte Energiemenge klein, aber das Dimensionierungskriterium ist die Leistung: Es wird eine Batterie benötigt, die das Vielfache der erforderlichen Energie speichert. Bei 20 MW würden die Investitionskosten für Batterie und Batteriehalle bereits die Gesamtkosten dominieren. DVR-Anlagen hingegen können auf die benötigte Energie ausgelegt werden.

An die DVR-Anlage gestellte Anforderungen

Der Aufbau des Fertigungsbetriebes, in dem ABB die zwei DVR installiert hat, ist sehr komplex. Seine Elektrizität bezieht er über zwei Mittelspannungseinspeisungen. Sehr ungünstige Witterung kann innerhalb von 24 h zu mehr als 15 Überschlägen (Leiter–Erde) und Erdschlüssen im Netz führen. Im Jahr 1999 verursachten insgesamt mehr als 150 Spannungseinbrüche massive Produktionsstörungen. Das betroffene Unternehmen beschloss daher, zur Verbesserung der Stromversorgungsqualität zwei Systeme zu ordern, je eines pro Einspeisung. Die Dringlichkeit der Abhilfemassnahme erforderte kürzeste Lieferfristen von nur acht Monaten.

An die DVR-Anlage wurden die folgenden technischen Anforderungen gestellt:

- 22 kV Nennspannung
- 15 MVA Nennlast pro Einspeisung bei einem Leistungsfaktor von 0,9
- Schutz der Nennlast vor dreiphasigen 35%igen Spannungsabsenkungen während 500 ms
- Schutz von 22,5-MVA-Lasten vor dreiphasigen 35%igen Spannungseinbrüchen während 333 ms
- Schutz der gleichen Lasten vor einphasigen Spannungsabsenkungen von mehr als 50% während 600 ms
- Umschaltung vom Stand-by-Betrieb auf Spannungsstützung in weniger als 1 ms
- Das System sollte erweiterungsfähig sein, um es später im Bedarfsfall aufrüsten zu können

Kombinieren von Modulen

Die kurze Lieferfrist liess sich vor allem einhalten, weil bereits eine passende Hardware-Plattform zur Verfügung stand. Es konnten Module eingesetzt werden, die ABB auch in ihren grösseren serienmässigen Spannungszwischenkreis-Umrichtern und grossen Antriebssystemen für Mittelspannung verwendet. Das Grundmodul ist beispielsweise ein Phasenzweig für Spannungsumrichter in 3-Punkt-Technik. Diese Module lassen sich zu verschiedenen Stromrichterkonfigurationen und Hochleistungs-DC-DC-Choppern kombinieren. Zusammen mit den zugehörigen Signalschnittstellen und einem vielseitigen, leicht programmierbaren Regelungssystem bietet diese Plattform die nötige Flexibilität und Anpassungsfähigkeit, um Geräte für einen breiten Anwendungsbereich ohne grundlegende konstruktive Änderungen aufzubauen.

Als aktive Schaltelemente kommen weiterentwickelte Gate-Turn-Off(GTO)-Thyristoren [1] – Integrated-Gate-Commutated-Thyristoren (IGCT) – zum Einsatz. Gegenüber GTO haben diese den Vorteil niedrigerer Durchlass- und Schaltverluste sowie besseren Abschaltverhaltens, so dass sich für die Stromrichter aufwändige Beschaltungen erübrigen.

Neue Art von Kondensatorbatterie

Was die beiden DVR-Anlagen von früheren unterscheidet, ist die in der Kondensatorbatterie des Gleichstrom-Zwischenkreises zu speichernde Energiemenge (ca. 3 MJ). Die Anlage war so zu planen, dass weder ein defekter Kondensator noch ein Kurzschluss oder Fehler im Stromrichter zu Folgefehlern oder zur Zerstörung der Kondensatorbank führen dürfen. Diese Aufgabe ist nicht ganz einfach zu lösen, denn die Kondensatorbatterie hat während der Spannungskompensation einen relativ hohen Strom zu liefern. Der Einsatz von Strombegrenzungsgeräten kam nicht in Frage, weil ein zu niedriger oder durch die Funktion dieser Geräte sogar unterbrochener Strom die Schutzfunktion des Gesamtsystems verunmöglichen würde. Strombegrenzende Sicherungen, die einen Teil der Kondensatorbank komplett wegschalten würden, würden zu Überströmen in den verbleibenden Teilen der Kondensatorbank führen, was wiederum zur Folge haben könnte, dass deren Sicherungen abschalten. Es bestünde dann die Gefahr eines Kaskadeneffekts, an dessen Ende alle Teilbänke abgeschaltet sind und keine Energie mehr zur Verfügung steht.

Die Lösung bestand schliesslich in einer Aufteilung der Kondensatorbatterie in zwei getrennte Gruppen. Gleichzeitig wurde an geeigneten Punkten eine Kombination von Dämpfungswiderständen und Sicherungen angeordnet.

Den Aufbau des Systems zur Verbesserung der Stromversorgungsqualität zeigt ein Übersichtsschaltbild (Bild 1).

Der Leistungskreis enthält folgende Hauptkomponenten mit den beschriebenen Funktionen:

- Gleichstrom-Zwischenkreis mit Kondensatorbatterie (1). Er dient auch als Energiespeicher.
- Spannungszwischenkreis-Stromrichter (2) zur Kompensation von Spannungseinbrüchen. Er besteht aus zwei

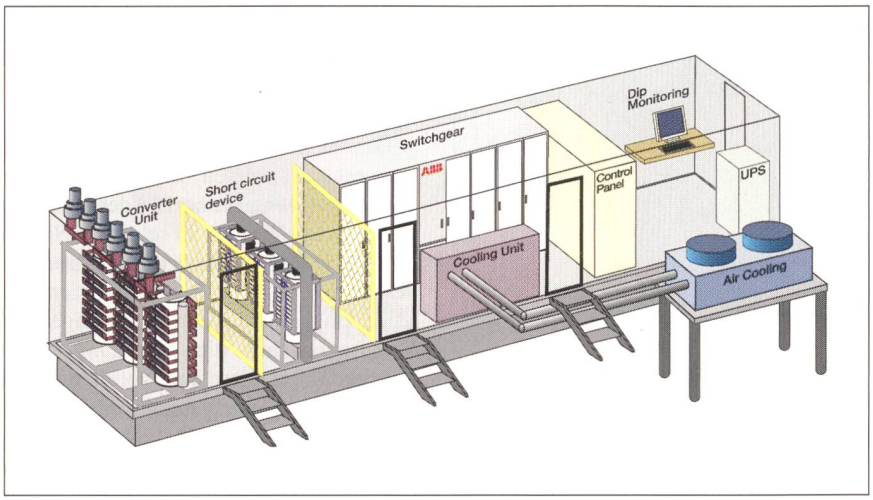


Bild 2 Anordnung der Hauptkomponenten der DVR-Anlage in einem Container (ohne Kondensatorbatterien)

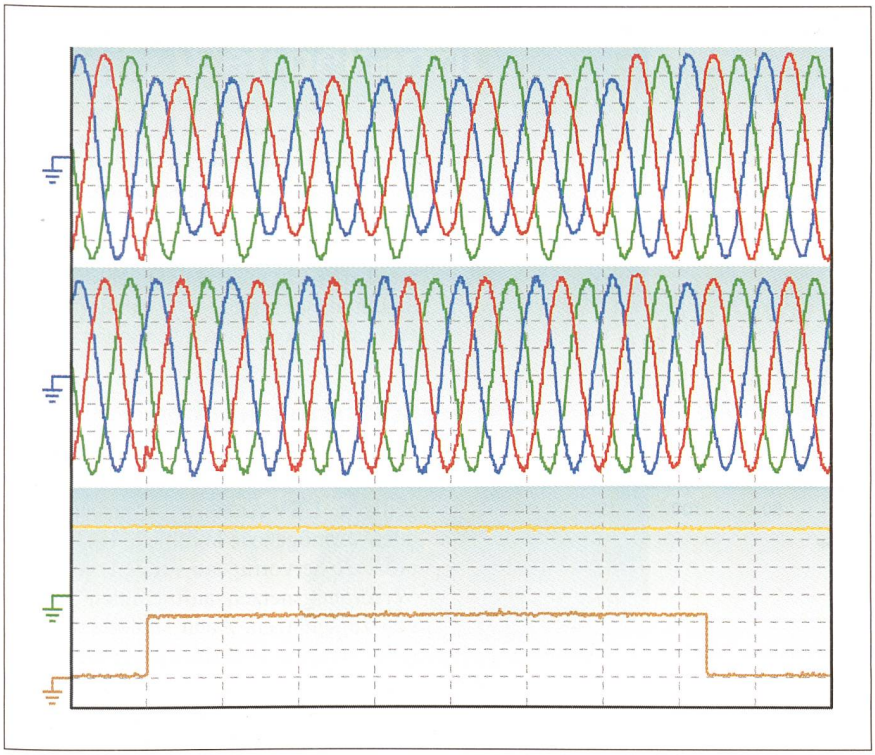


Bild 3 Verlauf der Ein- und der Ausgangsspannung (obere Kurven) während der Ausregelung einer simulierten Spannungsabsenkung

Gelbe Linie: Spannung im Gleichspannungszwischenkreis; braune Linie: Triggersignal

3-Punkt-Phasenzweigen pro Phase. IGCT bilden die aktiven Schaltelemente.

- Transformator (3) als Kopplungsglied zwischen den Phasen der Einspeisung und dem Spannungszwischenkreis-Stromrichter.
- Gedämpftes Hochpassfilter (4), das netzseitig am Transformator angeschlossen ist. Es dient zur Glättung der Eingangsspannung, indem es die verbleibenden höherfrequenten Harmonischen kurzschliesst. Damit ist die Spannung sowohl für die Last als auch für das Netz praktisch frei von Oberwellen.
- Crowbar (5), bestehend aus gesteuerten Thyristoren. Im Falle eines anlageninternen Fehlers oder eines Fehlers auf der Lastseite überbrücken sie die netzseitigen Klemmen des Transformators, d.h. sie schliessen sie kurz. Dies ist besonders vorteilhaft, weil es bereits bestehende Schutzeinrichtungen nicht störend beeinflusst.
- Bypass-Schalter (6) zur Umgehung der gesamten Anlage.
- Trennschalter (7). Mit ihm lässt sich die DVR-Anlage für Wartungsarbeiten vom speisenden Netz nehmen, während der Bypass-Schalter geschlossen ist.
- Ladegerät (8). Es lädt die Kondensatorbatterie des Gleichstrom-Zwischenkreises vor Inbetriebnahme des Systems. Zudem lädt es nach einer Spannungskompensation die Kondensatoren wieder auf.

Der mechanische Aufbau und die Anordnung der Hauptkomponenten der DVR-Anlage gehen aus Bild 2 hervor. Der dargestellte Container ist 12,5 m lang, 3 m breit und 3 m hoch. Ein zweiter Container mit ähnlichen Abmessungen (hier nicht gezeigt) nimmt die als Energiespeicher eingesetzte Kondensatorbatterie auf. Die Anlagen werden komplett montiert, verdrahtet und geprüft versendet, um die Aufstellungs- und Inbetriebnahmezeiten am Einsatzort zu minimieren.

Fernüberwachung via E-Mail

Das Leittechniksystem – das Nervenzentrum der DVR-Anlage – muss extrem schnell ansprechen und zuverlässig arbeiten. Der Modulator und alle Verriegelungs- und Überwachungsfunktionen für den Stromrichter erfordern enorm hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten, also sehr kurze Zykluszeiten. Sie sind auf einer speziellen Leiterplatte mit einem programmierten Logikbaustein, einem so genannten EPLD (Electrical Programmable Logic Device) und mehreren Digitalsignalprozessoren realisiert.

Von einigen Änderungen abgesehen, handelt es sich um die gleiche serienmässige Leiterplatte, die ABB zur Regelung seiner ACS-Familie für Mittelspannungsantriebe einsetzt. Die Regelung wird von einem PSR-System (programmierbarer schneller Regler) übernommen. Das von ABB entwickelte System ist sehr flexibel und einfach programmierbar und ermöglicht dadurch auf einfache Weise anwendungsorientierte Anpassungen und Änderungen.

Ein drittes, PC-gestütztes System dient als Bedienerschnittstelle. Damit lassen sich auch der Betrieb und das Verhalten des Systems zur Verbesserung der Stromversorgungsqualität überwachen. Moderne Kommunikationstechnik übernimmt die Datenübertragung. Bei einer geräteinternen Störung wird eine das Problem beschreibende E-Mail generiert und an die vorgegebene Adresse gesendet. Zu Systemeingriffen autorisiertes Personal kann die Regelungen von praktisch jedem Ort der Erde aus überwachen und im Bedarfsfall Parameter oder das Programm ändern. Diese Möglichkeit der ferngesteuerten Fehlerbeseitigung gehört zu den Schlüsselmerkmalen des Systems.

Simulation von Spannungseinbrüchen

Während der Entwurfs- und Herstellungsphase des DVR-Projektes wurden auf einem Computer softwarebasierte Simulationen sowie Prüfungen auf einem Hardwaresimulator durchgeführt. Die Softwaresimulationen dienten dazu, die Entwurfsparameter und die Spezifikationen der Komponenten sowie die Regelungsalgorithmen und ihre Parametereinstellungen zu bestätigen. Der Hardwaresimulator kam zum Einsatz, um festzustellen, ob die Soft- und Hardware des Regelungssystems einschliesslich der Ein-/Ausgabeports richtig konfiguriert waren und einwandfrei funktionierten.

Bild 3 zeigt den Verlauf der Ein- und der Ausgangsspannung während der Ausregelung einer simulierten Spannungsabsenkung um 30%, während Bild 4 die gleichen Spannungen während eines echten Spannungseinbruchs ähnlicher Grössenordnung kurz nach der Inbetriebnahme einer fertig aufgestellten DVR-Anlage demonstriert.

Wäre das System nicht in Betrieb gewesen, so hätte sich die Absenkung negativ auf die Produktion ausgewirkt. Das Diagramm zeigt auch die enorme Schnelligkeit der Spannungskompensation. Die Reaktion erfolgt in weniger als einer Millisekunde, also schneller als tatsächlich notwendig oder vorgeschrieben. Er-

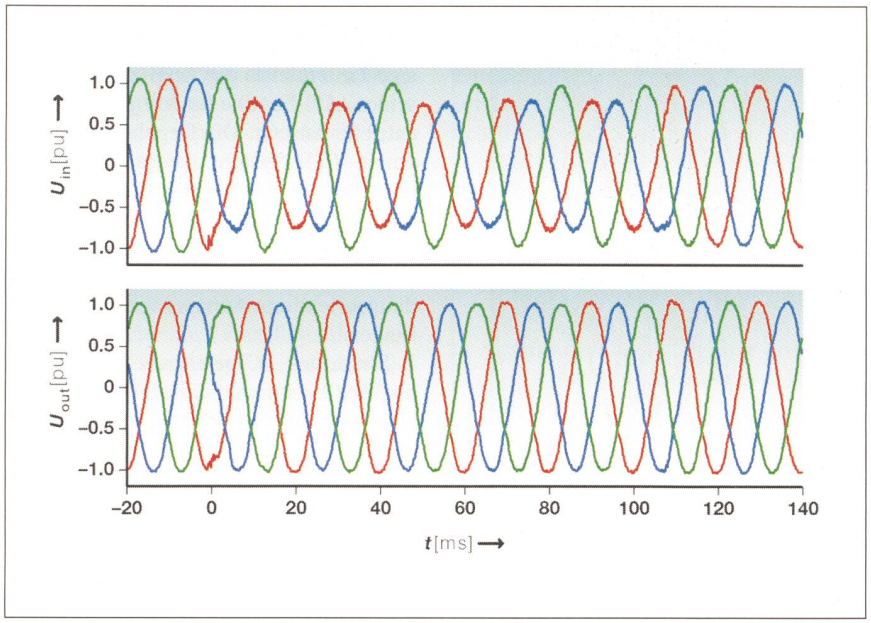


Bild 4 Verlauf der Ein- und der Ausgangsspannung während der Ausregelung einer realen Spannungsabsenkung

möglicht wird dies durch eine spezielle Vorwärtssteuerung. Sie eliminiert fast völlig die Verzögerungs- und Ausregelungszeiten, die beim Einsatz konventioneller Regelalgorithmen unvermeidlich wären.

Die Spezifikationen wurden als Richtlinien und Mindestanforderungen an die DVR-Anlage vorgegeben. Die Kompensation von Spannungseinbrüchen beispielsweise beschränkt sich nicht nur auf die spezifizierten Werte. Auch wenn eine dreiphasige Absenkung 35% überschreiten sollte, kompensiert die Anlage dennoch – zwar nicht während 500 ms, aber so lange, wie die Kondensatorbatterie Energie liefern kann. Falls die Spannungsabsenkung geringer ist, bietet das System bis zu 600 ms lang Schutz, so dass es mehrere aufeinander folgende Einbrüche kompensieren kann. Ausserdem liegt die Nennspannung des Gleichstrom-Zwischenkreises unter ihrem höchstzulässigen Wert. Dadurch kann auch die Kondensatorbatterie des Zwischenspeichers eine bestimmte zusätzliche Energiemenge aufnehmen. Dies ermöglicht nicht nur die Kompensation von Spannungsabsenkungen, sondern auch von temporären Überspannungen.

Schlussfolgerungen

DVR-Anlagen zur Verbesserung der Stromversorgungsqualität sind nicht dazu gedacht, USV-Anlagen zu ersetzen. Jedoch vermögen sie komplexe Fertigungsprozesse hervorragend vor den meisten in Versorgungsnetzen auftretenden Störungen zu schützen. Auch sind sie sehr robust, arbeiten zuverlässig, reagieren extrem schnell und kommen praktisch ohne Wartung aus. Da sie für relativ hohe Nennleistungen gebaut werden können, eignen sie sich für alle Industriezweige. Dabei können sie einzelne Produktionslinien ebenso schützen wie gesamte Fabriken oder Industrieparks. Wichtig ist auch, dass DVR-Anlagen bei Fehlern die Funktion vorhandener Schutzeinrichtungen nicht durch Begrenzung der Fehlerströme stören. Folglich ersparen sie bei ihrem Einbau Änderungen an bestehenden Schutzeinrichtungen.

Utilisation de Dynamic Voltage Restorers pour une haute qualité d'alimentation électrique

Les grandes installations rapides d'alimentation sans coupure (ASC) protègent des coupures de courant. Elles doivent avant tout entrer en action lors de pannes de courant totales. Or la plupart des problèmes sont dus à des perturbations momentanées. Une brève baisse de tension peut déjà avoir des conséquences désastreuses pour la fabrication. Des coupures de quelques dixièmes de seconde seulement peuvent coûter des milliers de francs. Le stabilisateur de tension appelé «Dynamic Voltage Restorer» (DVR) offre une solution à ce genre de problème. Il compense sans retard les baisses de tension temporaires de telle sorte qu'elles ne soient même pas perçues. Les systèmes DVR peuvent protéger des parcs industriels entiers en compensant les chutes de tension en moins d'une milliseconde. ABB a construit un système DVR extrêmement performant à partir de composants existants et d'autres nouvellement développés.

Adresse der Autoren

ABB Industrie AG, 5300 Turgi: Dipl. Ing. *Peter Daehler*, Dipl.-Ing. *Markus Eichler*, Dipl. Ing. *Osvin Gaupp*, Dipl. Ing. *Gerhard Linhofer*, Fax 056 299 20 90, pes@ch.abb.com

Referenzen

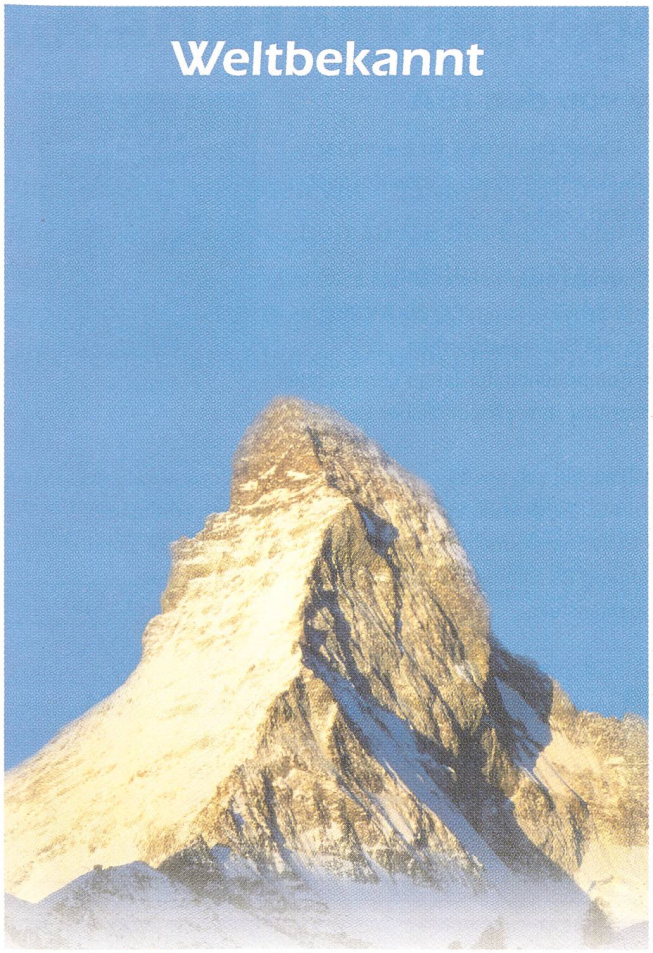
[1] *H. M. Stillmann:* IGCTs – Megawatt-Halbleiterschalter für den Mittelspannungsbereich. ABB Technik 3/97, 12/17.

[2] *P. K. Steimer et al:* IGCT – eine neue, zukunftsweisende Technik für kostengünstige Hochleistungsumrichter. ABB Technik 5/98, 34/42.

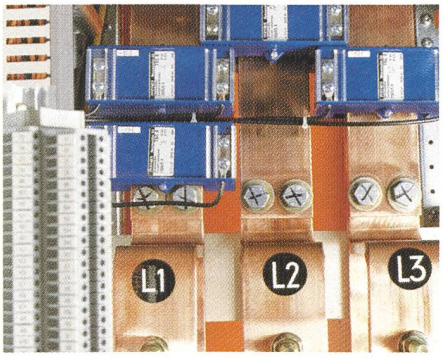
[3] *P. Daehler, R. Affolter:* Requirements and solutions for dynamic voltage restorers. IEEE Power Engineering Society, Winter Meeting, Singapore, Jan. 2000.

[4] *W. Raithmayr et al:* Customer reliability improvement with a DVR or a DUPS. Power World Conference, 1998.

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



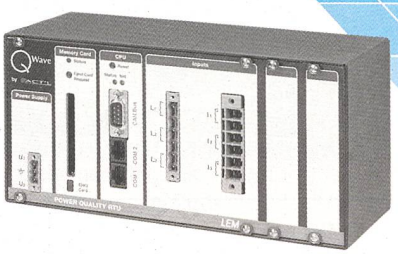
Pfiffner-Messwandler auf allen Kontinenten



PFIFFNER

Pfiffner Messwandler AG CH-5042 Hirschthal
Tel. +41 62 739 28 28 Fax +41 62 739 28 10
E-mail: sales@pmw.ch Internet: www.pmw.ch

Vollautomatische Überwachung der Versorgungs-qualität



QWave + QIS

- Spannungseinbrüche, Überspannungen und Unterbrechungen
- Strom- und Spannungsharmonische bis zur 50sten
- Symmetrische und unsymmetrische Komponenten
- Flicker, P, Q, S, D, PF

Leistungsstarke Software QIS

- Automatisches Konfigurieren und Datenfernauslesen
- Ausdruck des Messprotokolls am Arbeitsplatz
- Kein Fachpersonal am Einsatzort nötig
- Messungen gemäß EN50160, EN61000-4-7, EN61000-4-15, EN61000-3-6/7
- Langfristige Statistiken
- Einstellbare Grenzwerte

CE

LEM ELMES
Bahnhofstrasse 15
CH-8808 Pfäffikon, SZ
Tel.: 055/415 75 75
Fax: 055/415 75 55
e-mail: lel@lem.com
www.lem.com

LEM

VATECH ELIN TRANSFORMATOREN

Bur&Partner AG

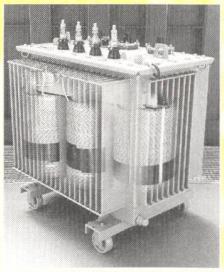
Transformatoren

Antriebstechnik

Motoren

24h Service

Exklusiv von den IBA



VA TECH ELIN Transformatoren – ihr weltweiter Status als High-Quality-Produkt, ist das Resultat aus Innovation und Leistung:

- Drehstrom-Öltransformatoren von 50 bis 2500 kVA
- Gebaut nach Schweizer- und ISO 9001-Norm
- Kompatibilität und Betriebssicherheit
- Hochwertige Komponenten für lange Lebensdauer
- Wirtschaftlicher und umweltfreundlicher Betrieb

Die IBA Elektro AG, Servicebetriebe, garantiert als Generalvertretung der VA TECH ELIN Transformatoren einen Service Total aus einer Hand. Tagtäglich, während 24 Stunden in der ganzen Schweiz und dem Fürstentum Liechtenstein.

Pikett-Service 24 h Ganze Schweiz

IBA Elektro AG, Servicebetriebe
Binzmattweg 2 • 5035 Unterentfelden
Telefon 062 835 03 70 • Fax 062 835 03 80
www.iba-aarau.ch

IBA

ENVIRONMENTS FOR ELECTRONICS

by knürr

www.knuerr.ch

Die vorbereitete Perfektion. Als weltweiter Systemlieferant unterstützt mich die Knürr-Gruppe mit kompetenter Beratung, professionellem Service und innovativen Produkten. Wie z.B. mit TFT-Displays, KVM-Switches, USV-Anlagen, Schranküberwachung und Compact PCI-/VME-Systemen. Geschaffen für die Anforderungen von heute und morgen.

Knürr AG • Bruggacherstrasse 16 • 8117 Fällanden
Tel 01 806 54 54 • Fax 01 806 54 64
E-mail: vertrieb@knuerr.ch

knürr
environments for electronics