

Dynamische Blindstromkompensation für Namibia

Stabile Spannung, sichere Versorgung

Udo Kleyenstüber
Paul Sieber
Michael Schubert

Die Elektrizitätsversorgung Namibias stützt sich auf lediglich zwei Kraftwerke sowie auf Stromlieferungen aus Südafrika. Das Versorgungsgebiet ist sehr ausgedehnt, so daß die Einspeisestellen und die Verbraucher durch außerordentlich lange Hochspannungsleitungen miteinander verbunden sind. Daraus ergeben sich Probleme für die Spannungshaltung sowie die Versorgungssicherheit. Die AEG errichtete an zentraler Stelle des Netzes eine Blindstrom-Kompensationsanlage, mit der die Netzverhältnisse erheblich verbessert werden konnten.

Stabile Spannung, sichere Versorgung

Namibias Elektrizitätsversorgungsunternehmen SWAWEK verfügt über zwei Kraftwerke mit einer Leistung von 360 MW, rund 7900 km Hochspannungsleitungen, 64 größere Umspannstationen, etwa 1600 MVA installierte Transformatorleistung und eine 200-MW-Verbindung zur ESKOM, dem Elektrizitätsversorgungsunternehmen Südafrikas.

Wegen der großen Flächenausdehnung und der dünnen Besiedlung ergeben sich zwischen den Kraftwerken, den Verbraucherschwerpunkten und der ESKOM-Einspeisung lange Hochspannungsleitungen; dadurch entstehen Probleme hinsichtlich der Spannungshaltung. Ungünstige Einflüsse auf das namibische Netz haben die relativ häufigen Gewitter, die Isolatorverschmutzung in der Küstenregion, die Erdkurzschlüsse, hauptsächlich im 220-kV-Netz, die durch Tiere (z. B. Affen oder Eulen) verursacht werden; weitere Störungen haben ihre Ursache in Überschlägen durch Buschfeuer und in Leitungsbrüchen durch Korrosion in der Küstenregion. Die damit verbundenen Lastabwürfe führen zu Leistungspendelungen und Netzzusammenbrüchen.



Struktur der Energieversorgung Namibias

Geographisch betrachtet ist das Elektrizitätsversorgungsnetz Namibias längs einer vom Nordwesten nach dem Süden verlaufenden Linie aufgebaut. Im Norden befindet sich das Wasserkraftwerk Ruacana, das am Cunene liegt; dieser Fluß bildet die Grenze zu Angola. Das Kraftwerk mit einer Leistung von 3 x 80 MW ist über eine 520 km lange 330-kV-Einfach-Freileitung mit der unbemannten Umspannstation Omburu verbunden. Von dort erfolgt die weitere Energieverteilung auf der 220-kV-Ebene in verschiedene Richtungen. Im Süden ist das Netz der SWAWEK mit dem viel größeren ESKOM-Netz verbunden, und zwar mit einer 160 km langen 220-kV-Einfach-Freileitung zum Kohlekraftwerk Van Eck, das 120 MW in das Netz einspeisen kann, und mit einer 830 km langen 220-kV-Doppel-Freileitung von Van Eck nach Aggeneis, dem Verbindungspunkt zum ESKOM Stromnetz.

Problemsituationen im Netz

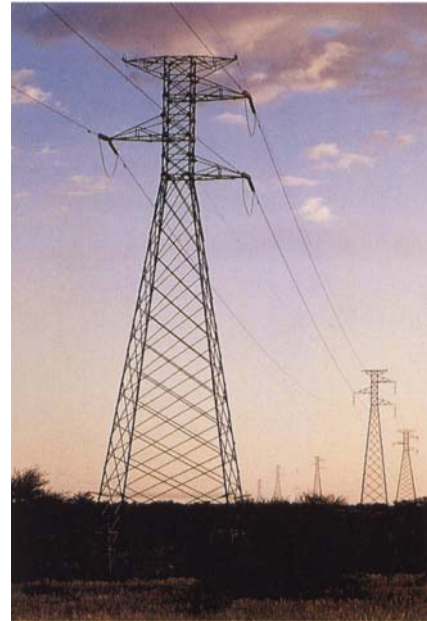
In diesem Netz gibt es im wesentlichen zwei problematische Betriebszustände. Ein kritischer Zustand tritt ein, wenn das Kraftwerk in Ruacana abgeschaltet ist und im Kraftwerk Van Eck ein Generator nur 10 MW liefert und die übrige Leistung vom ESKOM-Netz eingespeist wird. In diesem Fall ist die Spannung, insbesondere im Knotenpunkt Omburu, nicht mehr in annehmbaren Grenzen zu halten. Es muß auch eine zwischen 130 MW und 200 MW schwankende Leistung über eine Entfernung von nahezu 1000 km mit Wechselstrom bei 220 kV übertragen werden.

Ein zweiter problematischer Fall tritt auf, wenn die Verbindung Omburu - Van Eck durch eine Störung unterbrochen wird. Für das Kraftwerk in Ruacana, das bis zu diesem Zeitpunkt die volle Leistung lieferte, bedeutet dies einen Lastabwurf, der zur Abschaltung des Kraftwerks führt, da auch nur etwa 80 MW in andere Richtungen verteilt werden. Da das Trägheitsmoment der Wasserkraftgeneratoren, bestehend aus Francis-Turbinen sowie Synchrongeneratoren, erheblich größer ist als das von dampfgetriebenen Turbogeneratoren und der Regler der Wasserturbinen auch relativ langsam arbeiten muß, um zu starke Drucksteigerungen in den Druckrohren zu vermeiden, ergibt sich eine beträchtliche Drehzahlsteigerung, bevor die Drehzahl durch die Verstellung der Schaufeln geregelt werden kann. Der mit der Drehzahlsteigerung verbundene Frequenzanstieg bedeutet, daß die kapazitiven Reaktanzen kleiner und die induktiven größer werden, daß also der Blindleistungsverbrauch abnimmt. Das führt zu einer Spannungssteigerung um fast 30%, obwohl nach 1,55 Sekunden in Omburu die 60-MVar-Sammelschienen-Drosselspule wegen der Überspannung eingeschaltet wird. Die Spannung steigt nach einem vorübergehenden Einbruch, bis die Frequenz nach etwa vier Sekunden auf 61 Hz angestiegen ist. Von diesem Zeitpunkt an sinken Spannung und Frequenz. Das Absinken beider Größen kann wegen der langen Regelzeitkonstanten der Wasserkraftturbinen nicht ausgeregelt werden, und nach rund 15 Sekunden erfolgt die Abschaltung wegen Unterfrequenz und Unterspannung.

Modellrechnungen, bei denen die ESKOM beratend für die SWAWEK tätig war, ergaben, daß das Problem der Spannungshaltung im ersten der beiden kritischen Betriebsfälle mit einem Blindleistungs-Kompensator, der über einen Bereich von 15 MVar (induktiv) bis 40 MVar (kapazitiv) geregelt werden kann, zufriedenstellend würde verbessert werden können. Für derartige Kompensationsaufgaben hat die AEG Thyristor-Blindleistungs-Kompensatoren entwickelt, die auch als Static Var Compensators SVC bezeichnet werden. Ein solcher Kompensator übernimmt die Spannungsregelung durch dynamische Anpassung seiner Blindleistung an die Netzbedingungen. Er besteht aus zwei wesentlichen Komponenten: den Kondensatoren mit konstantem kapazitivem Blindleitwert sowie einer thyristorgestellten Drosselspule TCR, deren induktiver Blindleitwert durch Thyristoren sehr schnell und kontinuierlich zwischen Null und Nennwert verstellt werden kann (TCR thyristor controlled reactor). Somit ist auch der Summenblindleitwert von Kondensatoren und Drosselspulen verstellbar. Die Kondensatoren werden durch Vorschalten von Drosselspulen zu Saugkreisen ausgebaut und nehmen somit auch Oberschwingungsströme aus dem Netz und von der thyristorgestellten Drosselspule auf. Sie vermindern damit die Spannungsverzerrungen im Netz. Der Anschluß des Kompensators an das Netz erfolgt über einen Transformator zur Spannungsanpassung.

Da bei einem aus Drosselspulen, Kondensatoren und Halbleiterventilen aufgebauten Kompensator keine beweglichen Teile vorhanden sind, spricht man zur Unterscheidung von den früher üblichen Phasenschiebern, die elektrische Maschinen waren, von einem statischen, also einem ruhenden Kompensator, der in seinem elektrischen Verhalten aber wesentlich dynamischer ist.

Die AEG hatte in den Jahren 1983 bis 1985 der ESKOM sechs derartige Kompensatoren mit einem Regelbereich von 45 MVar für das 132-kV-Netz und fünf Kompensatoren mit einem Regelbereich von 300 MVar für das 400-kV-Netz geliefert. Im Gegensatz zu diesen früher gelieferten Kompensatoren, die neben der Spannungsregelung auch noch die Aufgabe hatten, die Spannungen bei ungleichen Einphasen-Lasten zu symmetrieren, sollte nun der hier beschriebene Kompensator nur eine symmetrische, d. h. für alle drei Phasen gleiche Ansteuerung erhalten. Die kapazitiven Speicher wurden als Saugkreise auf eine Frequenz zwischen der fünften und der siebten Oberschwingung abgestimmt. Diese Oberschwingungen sind die größten, die die thyristorgestellte Drosselspule erzeugt.



Relativ einfach gestaltet sich der Aufbau des Stromversorgungsnetzes in Namibia. Es ist längs einer von Nordwesten nach Süden verlaufenden Linie aufgebaut und besteht überwiegend aus Einfach-Freileitungen, die an Stahlgittermasten befestigt sind

Im Falle des eingangs erwähnten zweiten problematischen Betriebszustandes, also der Unterbrechung der Energielieferung von Omburu nach Van Eck, war eine Verbesserung allein durch die volle Aussteuerung des Kompensators nicht zu erwarten. Die bei dem geschilderten Störfall auftretende Frequenzerhöhung würde sogar das Verhältnis der kapazitiven zu induktiven Widerständen an der Kompensatorsammelschiene so ungünstig verändern, daß die resultierende Kompensatorreaktanz kapazitiv würde. Es mußte also dafür gesorgt werden, daß die Saugkreise mit ihren großen Kondensatoren bei dem geschilderten Störfall abgeschaltet werden. Da bei dieser Art von Störfall die volle induktive Blindleistung gebraucht wird, wird der Thyristorsteller der Drosselspule nahezu unverzögert angesteuert, d. h., es werden dann so gut wie keine Oberschwingungen erzeugt, die sonst von der Anschnittsteuerung der Thyristoren herrühren. Somit erhöht sich der Oberschwingungsgehalt im Netz - durch vom Kompensator erzeugte Oberschwingungen - auch beim Wegfall der Saugkreise nicht. Die Abschaltung der Saugkreise hat zur Folge, daß dem Netz jetzt die volle Blindleistung der thyristorgestellten Drosselspule zur Verfügung steht, was zur Beherrschung des Störfalls beiträgt. Es stellte sich dabei die zusätzliche Aufgabe, das Regelsystem des Kompensators so zu erweitern, daß einmal die außerhalb des Kompensators befindlichen Kompensations-Drosselspulen, das sind Leitungs- und Sammelschienen-Kompensationsdrosselspulen, aufgrund von Signalen, die vom Kompensator gegeben werden, ein- oder ausgeschaltet werden und daß weiterhin auch die Stufenschalter der 330/220-kV-Transformatoren vom Kompensator gesteuert werden.



Umspannstation Omburu mit der Blindstrom-Kompensationsanlage der AEG. Die Anlage mindert die Auswirkungen von Störungen innerhalb des Stromversorgungsnetzes und trägt dazu bei, daß sich die Spannungsschwankungen bei der Energieversorgung nicht ungünstig auswirken

Die ESKOM hatte gute Erfahrungen mit dem SF6-Schalter der AEG gemacht, der in einem der bereits erwähnten fünf 300-MVar-Kompensatoren verwendet wurde. Er diente dort zum Schalten eines Filterkreises, wodurch der induktive Bereich des Kompensators in besonderen Betriebsfällen vergrößert werden kann. Deshalb beschloß die ESKOM, je zwei Filterkreise der anderen vier 300-MVar-Kompensatoren mit diesen Schaltern auszurüsten. Es lag nahe, auch für den SWAWEK-Kompensator den gleichen Schaltertyp einzusetzen. Der Kompensator kann so Blindleistung von induktiv 60 MVar bis kapazitiv 45 MVar liefern. In dem kleinen Wartenraum, der normalerweise unbesetzt ist, wurden Blindschaltbilder, Meßgeräte und Fehlermeldetafeln durch einen Bildschirm und durch Drucker ersetzt.

Realisierung

Bevor mit der Installation des Kompensators begonnen wurde, fanden im Beisein von Vertretern der SWAWEK und der ESCOM Untersuchungen auf dem Parity Simulator der AEG in Berlin statt. Das Originalregelungssystem und ein Modell des Kompensators wurden in einer Nachbildung des namibischen Netzes betrieben und getestet. Der Auftrag wurde im Mai 1988 erteilt, die Installation des Kompensators im März 1989 begonnen und im Juni 1989 mit der Inbetriebnahme bzw. Übergabe abgeschlossen.

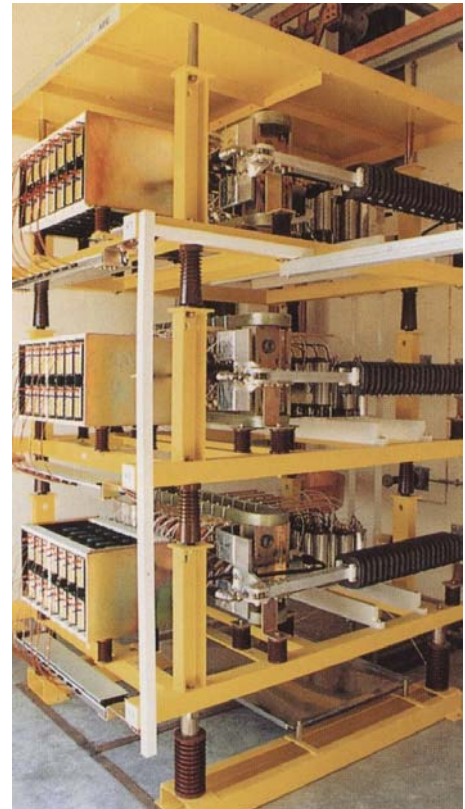
Betriebserfahrungen

Der Kompensator erfüllt ohne Einschränkungen die an ihn gestellten Erwartungen. Die Spannung wird bei eingeschaltetem Kompensator mit Hilfe der sich dauernd ändernden Kompensator-Blindleistung konstant gehalten. Dagegen gibt es ohne Kompensator deutliche Spannungsschwankungen. Die Spannungsregelung erfolgt im Normalfall ausschließlich durch die Veränderung des Steuerwinkels der Thyristoranschnittsteuerung.

Früher trat in dem eingangs erwähnten kritischen Betriebszustand der zweiten Art, bei dem also die Verbindung Omburu - Van Eck unterbrochen wurde, eine erhebliche Spannungserhöhung auf, der dann nach Herunterfahren der Turbinen im Wasserkraftwerk ein Zusammenbruch des verbliebenen Teilnetzes folgte. Nach Inbetriebnahme des Kompensators konnte ein solcher Zusammenbruch vermieden werden, weil von dem Kompensatorregler die Saugkreise aufgrund der ansteigenden Frequenz sofort abgeschaltet wurden und die dann im Netz vorhandenen Blindleistungsverbraucher ausreichten, um den Spannungsanstieg auf etwa 10% zu begrenzen. Nach rund 30 Sekunden war die Spannung wieder bei dem Nennwert, ohne unter diesen abzusinken. Damit erfüllen der Kompensator und die Regelung, die das Schalten der in Omburu vorhandenen Blindleistungserzeuger und -verbraucher koordiniert, die an sie gestellten Aufgaben.

Zusammenfassung

In dem räumlich sehr ausgedehnten elektrischen Versorgungsnetz von Namibia sind die Entfernungen zwischen den Energieverbrauchern und -lieferanten sehr groß. Damit ergeben sich Probleme mit der Spannungshaltung und mit der Aufrechterhaltung der Energieversorgung bei Lastabwürfen; diese können aufgrund des Auftrennens von Leitungsverbindungen nach Erdkurzschlüssen infolge von Gewittern, Berührungen mit Tieren oder anderen Ursachen nicht vermieden werden. Die negativen Auswirkungen dieser Ereignisse werden jetzt durch den kürzlich von der AEG in Omburu, der größten und zentral gelegenen Umspannstation des Landes, errichteten Blindleistungskompensator wesentlich vermindert; die Spannungsschwankungen werden in für die Verhältnisse annehmbaren Grenzen gehalten.



Zur Steuerung und Regelung elektrischer Ströme sind - ähnlich wie bei Rohrleitungssystemen für flüssige Medien u. a. Ventile erforderlich. Das hier wiedergegebene wurde als dreiphasiges Thyristor-Ventil (TCR- Ventil) für Leistungen bis 60 MVar ausgelegt und gehört zu einem von der AEG entwickelten Stromrichtersystem

Ihr Partner

AEG
Industrial Engineering GmbH

International Berlin Office
Hohenzollerndamm 152
14199 Berlin, Germany

Tel.: +49(30)82099490
Fax: +49(30)82099499
E-Mail: aeg@aeg-ibo.com
Web: www.aeg-ibo.com

AEG Industrie am Hohenzollerndamm ist das Kommunikationszentrum für alle früheren und heutigen AEG Fabriken in der ganzen Welt und ist für den Anlagenbau zuständig.



We take care of your Power Quality