

## ■ Verlässlicher Strom

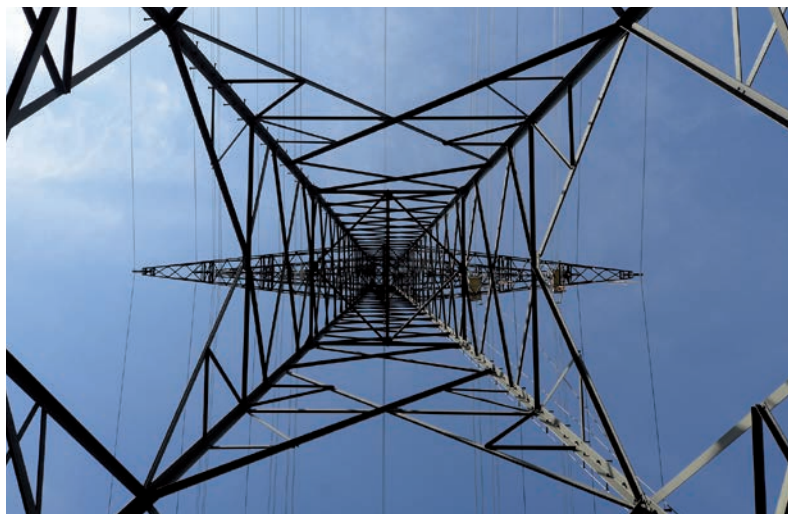
Netzbetreiber stellen die Versorgung der Bevölkerung mit elektrischer Energie sicher. Dazu müssen sie Spannung und Frequenz im Netz konstant halten.

#) Physik Journal, April 2014, S. 45

Elektrische Energie ist in den Industriestaaten zuverlässig verfügbar. Dies wird möglich durch eine passende Auslegung der Netze, den koordinierten Betrieb der Kraftwerke sowie definierte Gegenmaßnahmen bei einer Störung. Das Energieversorgungsnetz in Europa ist ein Verbundnetz, das aus mehreren Teilnetzen besteht, die sich durch die Staatsgrenzen und die jeweils erforderlichen Betriebsspannungen ergeben. In Deutschland besteht das Netz aus vier Ebenen.<sup>#)</sup>

Die elektrische Energie wird per Wechselspannung übertragen. Die entscheidenden physikalischen Größen für einen reibungslosen Betrieb des Versorgungsnetzes sind dabei Frequenz und Spannung. Im Höchstspannungsnetz der 220-kV- und 380-kV-Überlandleitungen darf die Frequenz um nicht mehr als vier Promille vom Sollwert 50 Hz abweichen. Dagegen muss die Spannung von 230 Volt im Niederspannungsnetz auf zehn Prozent konstant bleiben.

Weichen Soll- und Istwert der Frequenz zu stark voneinander ab, kann in den betroffenen Netzbereichen der Strom ausfallen. Bei einer Frequenz unterhalb von 49 Hz werden daher Transformatoren oder Leitungen zum Verbraucher in Umspannwerken teilweise automatisch vom Netz getrennt. Die Frequenz schwankt, weil sich elektrische Energie in einem Ver-



TransnetBW GmbH

Innenansicht eines Mastes im Höchstspannungsnetz

sorgungsnetz kaum speichern lässt. Daher muss die eingespeiste Energie immer etwa so groß sein wie die entnommene Energie und die Verluste aufgrund des Transports.

Die Generatoren in den Kraftwerken bestimmen durch ihre Rotationsgeschwindigkeit die Netzfrequenz. Durch ungeplantes Zu- und Abschalten von Erzeugern oder Verbrauchern kann die Wirkleistungsbilanz ins Ungleichgewicht kommen: Wird zu viel Leistung verbraucht, sinkt unter der zusätzlichen Last die Rotationsgeschwindigkeit der Generatoren und damit die Netzfrequenz. Die kinetische Energie der Generatoren bestimmt, wie rasch dies geschieht. Dieser zeitliche Puffer ist als Momentanreserve bekannt: Bei einem Defizit von einem Prozent der Last sinkt die Netzfrequenz innerhalb von 20 bis 30 Sekunden auf 49 Hz ab.

Um die Netzfrequenz über die Momentanreserve hinaus zu stabilisieren, gibt es die Primär-, Sekundär- und Tertiärregelung. Bei der Primärregelung verändern die Kraftwerksbetreiber die Einspeisung der Leistung eigenständig, wenn die Momentanreserve nicht ausreicht, um die Netzfrequenz zu stabilisieren. Hierfür wird die Frequenz in den Kraftwerken kontrolliert. Im kontinentaleuropäischen Verbundnetz stehen zur

Primärregelung ständig drei Gigawatt Leistung, wie sie etwa zwei große Kraftwerke erzeugen, bereit. Deutschland hält davon ungefähr 600 Megawatt vor. Die Primärregelung begrenzt die Abweichung von der Sollfrequenz auf 200 mHz. Sie greift spätestens 30 Sekunden nach einer erkannten Frequenzabweichung. Dabei ist die Regelleistung proportional zur Frequenzabweichung, sodass bereits 200 mHz Abweichung die volle Primärregelleistung ausschöpfen.

Mit der Sekundärregelung lässt sich die Netzfrequenz wieder auf den Sollwert zurückführen. Der Betreiber des gestörten Versorgungsnetzes fordert sie an. Sie greift nach 30 Sekunden, damit die Reserven der Primärregelung wieder verfügbar werden. Deutschland hält dazu eine Leistung von rund zwei Gigawatt vor.

Reichen diese Maßnahmen nicht aus, damit die Netzfrequenz ihren Sollwert erreicht, greift die Tertiärregelung. Typische Beispiele sind der Ausfall eines Kraftwerks oder ein länger andauernder Prognosefehler für Erzeugung oder Verbrauch. Die Tertiärregelleistung muss innerhalb von 15 Minuten aktiv werden – der Netzbetreiber kauft die Leistung elektronisch von Kraftwerken zu und entlastet damit die Sekundärregelleistung für den



Verbrauchern – z. B. in der Automobilindustrie – stehen dynamische Systeme zur Verfügung, um Blindleistung aus schnellen Lastwechseln zu kompensieren.

Janitza electronics GmbH

nächsten Einsatz. In Deutschland liegt die verfügbare Tertiärregelleistung zwischen 1,5 und zwei Gigawatt. Der tatsächliche Bedarf an Sekundär- und Tertiärregelleistung schwankt abhängig von Temperatur, Wetter, Wochentag und Uhrzeit.

### Geregelte Spannung

Neben der Frequenz muss für einen reibungslosen Betrieb des Versorgungsnetzes auch die Spannung konstant bleiben, da den Verbraucher, also z. B. Elektrogeräte, eine Überspannung beschädigen und eine Unterspannung in der Funktion beeinträchtigen kann. In den Niederspannungsnetzen müssen dazu erzeugte und verbrauchte Wirkleistung ausgeglichen sein. In den Übertragungsnetzen, die große Distanzen überbrücken, ist zudem die Blindleistung für den Spannungsabfall zu berücksichtigen. Aufgrund der Blindleistung sind Strom und Spannung in einem Wechselspannungsnetz phasenver-

schoben. Das zeitliche Mittel der Blindleistung ist null – aber sie oszilliert zwischen Erzeuger und Verbraucher und belastet Leitungen, Generatoren und Transformatoren. Ohne eine lokale Kompensation der Blindleistung müssten diese Netzkomponenten größer dimensioniert werden als für die Übertragung der reinen Wirkleistung.

Kraftwerksseitig geschieht die Kompensation durch Synchrongeneratoren, z. B. wenn der Generator als so genannter Phasenschieber dient: Schließt man einen Generator im Leerlauf ans Netz an, gibt er keine Wirkleistung ab. Der Erregerstrom, der durch die Läuferspule des Generators fließt, steuert aber trotzdem, ob Spannung und Strom phasenverschoben sind und dadurch Blindleistung entsteht. Fällt der Erregerstrom größer aus als im Leerlauf benötigt, gibt der Generator induktive Blindleistung ins Netz ab, wirkt also wie ein Kondensator. Im umgekehrten Fall nimmt der Generator induktive Blindleistung

aus dem Netz auf, was der Abgabe kapazitiver Blindleistung ins Netz entspricht. Beides lässt sich auch im Lastbetrieb eines Generators ausnutzen, um zusätzlich zur Steuerung der Wirkleistung Änderungen des Blindleistungsbedarfs zu kompensieren. Der Netzbetreiber fordert diese Kompensation zum Beispiel bei Wasserkraftwerken an. Weitere Optionen zur Blindleistungskompensation sind das Zuschalten von Drosselspulen und Kondensatorbänken, die über das Netz verteilt sind.

Im Normalbetrieb erfolgen Frequenz- und Spannungsregelung unabhängig voneinander, da sich beides auf sehr unterschiedlichen Größenskalen abspielt: Die Blindleistungskompensation geschieht lokal, die Frequenzregelung im Netz. Im besten Fall merken die Verbraucher nichts von diesen Regelungen und beziehen die elektrische Energie ohne Unterbrechung.<sup>+)</sup>

Michael Vogel

<sup>+)</sup>  Ich danke Joachim Lehner und Pavel Zolotarev von der Stuttgarter TransnetBW GmbH für hilfreiche Erläuterungen.