

## Intelligent vernetzt

Regelbare Transformatoren sorgen für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung – auch beim verstärkten Einsatz regenerativer Energieformen.

Graffiti-Künstler haben sich in vielen Städten der trostlosen Trafostationen angenommen und sie mit fantasievollen Kunstwerken verschönert. Auch im Inneren der kleinen Bauten hat sich in den vergangenen Jahren einiges getan: Immer mehr Netzbetreiber statten die Stationen mit „intelligenten Transformatoren“ aus, um dem wachsenden Anteil von Strom aus regenerativen Energieformen gerecht zu werden.

Über 90 Prozent der Photovoltaik- und Windkraftanlagen speisen den Strom direkt in die Verteilernetze ein, die den Strom an die Verbraucher weiterleiten. Dadurch übertragen sich Schwankungen in der Stromerzeugung direkt auf die Spannung, die private Haushalte oder Großverbraucher wie Krankenhäuser abgreifen. Die Spannung muss sich aber in einem bestimmten Bereich bewegen, damit Elektrogeräte einwandfrei funktionieren. Die Netzbetreiber garantieren daher eine gewisse Regelbandbreite. Demnach darf beim Verbraucher die Spannung um maximal zehn Prozent von der Normspannung abweichen. Um dies beispielsweise auch an einem sehr sonnigen Tag zu gewährleisten, an dem der Verbrauch gering, die Einspeisung von Photovoltaikanlagen aber sehr hoch ist, rüsten die Netzbetreiber immer



Trafostationen verändern sich: außen mitunter künstlerisch verschönert, innen mit „intelligenter“ Technik wie regelbaren Ortsnetztransformatoren ausgestattet.

mehr Trafostationen mit regelbaren Ortsnetztransformatoren aus.

Beim idealen Transformator entspricht das Verhältnis der Ein- und Ausgangsspannung dem der Windungszahlen der beiden Spulen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Transformatoren variiert ein regelbarer Transformator dieses Verhältnis gerade so, dass sich die Spannung auf Verbraucherseite immer innerhalb der Regelbandbreite bewegt: Er gleicht „intelligent“ die Schwankungen aus, ohne dass ein Techniker eingreifen muss oder die Spannungsversorgung kurzfristig unterbrochen wird. Die Technik dahinter ist nicht neu: Bereits seit den 1920er-Jahren kommt sie für Hochspannungstransformatoren zum Einsatz. Neu ist nur, sie auch in den Netzebenen mit niedrigerer Spannung zu verwenden.

Ein regelbarer Transformator gleicht Spannungsschwankungen aus, indem er automatisch die Windungszahlen anpasst und damit das Übersetzungsverhältnis variiert. Bei herkömmlichen Transformatoren ist das nur manuell und in drei Stufen möglich. Messgeräte an den Klemmen des regelbaren Transformators überwachen permanent die Spannung. Überschreitet die Regelbandbreite eine Grenze, löst der Transformator einen Schaltimpuls aus und stellt innerhalb von Sekun-

den das passende Übersetzungsverhältnis ein: Mechanische Schalter ändern die Windungszahl, indem sie die Anzapfung an der Stammspule verschieben (Abb. 1).

Wird die Windungszahl auf der Ausgangsseite des Transformators angepasst, spricht man von variabler Induktion. Dabei nimmt die magnetische Flussdichte im Kern des Transformators ab, sodass das Spannungsverhältnis nicht mehr den Wert erreicht, den das Verhältnis der Windungszahlen vorgibt. Bei der konstanten Induktion wird dagegen die Anzapfung auf der Eingangsseite verändert, was die magnetische Flussdichte nicht beeinflusst: Der Transformator arbeitet weiterhin ideal. Für die „intelligenten“ Transformatoren werden beide Methoden eingesetzt.

Beim Schaltvorgang darf es nicht zu kurzfristigen Stromausfällen kommen, sodass dieser in mehreren Schritten erfolgen muss. Deswegen gibt es in regelbaren Transformatoren unterbrechungsfreie Laststufenschalter, die auf verschiedenen Ansätzen beruhen.

### Geschickt geschaltet

Eine davon ist das Lastumschalter-Wählerprinzip (Abb. 2). In diesem Fall sind Anzapfungen und Leitungen auf beiden Seiten der Spule angebracht. Ein geeignet dimen-

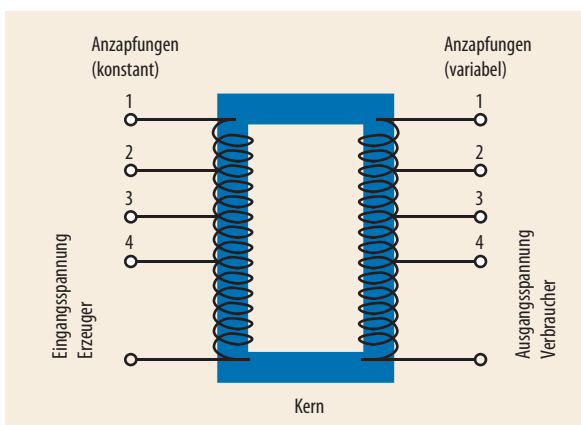
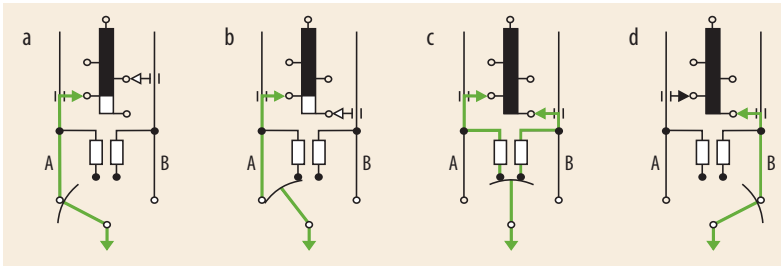


Abb. 1 Das Übersetzungsverhältnis eines regelbaren Transformators ändert sich, wenn die Windungszahl einer Spule durch das Wählen einer neuen Anzapfung variiert wird.



**Abb. 2** Beim Lastumschalter-Wählerprinzip kontaktiert ein Drehschalter die Leitung zur gewählten Anzapfung (a). Mit dem Beginn des Schaltens erfolgt das Ansteuern der neuen Anzapfung (b).

sionierter Drehkontakt wechselt zwischen den Seiten und ändert damit Anzapfung und Windungszahl der Spule. Dabei gilt es, den Kurzschluss zu vermeiden, der zwangsläufig entsteht, wenn der Drehkontakt beide Leitungen kontaktiert. Deshalb gehen auf beiden Seiten jeweils zwei Leitungszweige nach innen ab, von denen einer mit einem hochohmigen Überschaltwiderstand ausgestattet ist. Beim Schalten fließt der Strom unterbrechungsfrei zunächst über die erste Leitung (**Abb. 2a, b**), dann parallel über die beiden Leitungszweige mit Überschaltwiderständen (**Abb. 2c**) und schließlich über die zweite Leitung in die neue Anzapfung (**Abb. 2d**).

Ohne Drehkontakt kommt das Lastwählerprinzip aus: An der Anzapfung sind zwei Kontaktpfade angeschlossen, über die der Strom zu gleichen Teilen fließt (**Abb. 3a**).

Der Strom (grün) fließt nach der Hälfte des Schaltvorgangs über die Leitungszweige mit hochohmigen Widerständen (**Abb. 2c**). Nach dem Schalten ist die neue Anzapfung erreicht (**d**).

Zunächst löst sich ein Kontaktpfad, sodass der Strom vollständig über den verbleibenden fließen muss (**Abb. 3b**). In der Brückenposition ist der Kontaktpfad mit der neuen Anzapfung verbunden, und ein hochohmiger Widerstand vermeidet den Kurzschluss (**Abb. 3c**). Der zweite Kontaktpfad wechselt danach zur neuen Anzapfung (**Abb. 3d**).

Eine Alternative zu mechanischen Schaltern sind Thyristoren: Diese leistungselektronischen Schalter ermöglichen es, Zusatz-

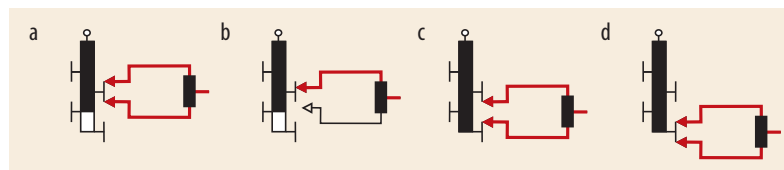
transformatoren zum unregulierten Transformator zuzuschalten und die Spannung kontinuierlich zu regeln. Thyristoren können schnell und häufig aufeinander folgend schalten. Das ist in öffentlichen Stromnetzen aber meist nicht nötig. Daher bevorzugen viele Netzbetreiber die kostengünstigeren mechanischen Schalter.

Heutzutage sind in den Verteilernetzen bereits über tausend regelbare Ortsnetztransformatoren in Betrieb. Laut der Verteilernetzstudie<sup>#)</sup> des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie werden in einigen Jahren zwischen fünf und fünfzehn Prozent der rund 650 000 Ortsnetztransformatoren regelbar sein. Dann sollten auch in Zukunft Stromausfälle selten bleiben.

\*

Ich danke Michael Suriyah vom KIT und Oliver Brückl von der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg für hilfreiche Erläuterungen.

Nina Beier



**Abb. 3** Das Lastwählerprinzip arbeitet mit zwei Kontaktpfaden (a), auf die sich der Strom (rot) gleichmäßig verteilt. Beim Schalten löst sich zunächst nur ein Kontakt, sodass der gesamte Strom über

den verbleibenden fließt (b). In der Brückenposition sitzen die Kontakte an verschiedenen Anzapfungen (c). Dann löst sich der zweite Kontaktpfad und erreicht schließlich auch die neue Anzapfung (d).

ISBN: 978-3-527-33007-2.  
November 2012  
906S. mit 1200 Abb., davon 800 in Farbe  
Gebunden € 79,-

# DER CALLISTER JETZT AUCH AUF DEUTSCH KANN'S

W. D. CALLISTER  
D. G. RETHWISCH  
Übersetzungsherausgeber:  
M. Scheffler

**Materialwissenschaften  
und Werkstofftechnik**  
Eine Einführung

Der „Callister“ bietet für Hauptfachstudenten an Universitäten und Fachhochschulen den gesamten Stoff der Materialwissenschaften für den Bachelor und das beginnende Masterstudium.

Das Buch ist auch perfekt als Lehrbuch in Wahlpflichtvorlesungen für Nebenfachstudenten geeignet.

Wiley-VCH • Tel. +49 (0) 62 01-606-400 • E-Mail: [service@wiley-vch.de](mailto:service@wiley-vch.de)  
Irrtum und Preisänderungen vorbehalten. Stand der Daten: Dezember 2013

WILEY-VCH