

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 59 (1968)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Die Rückwirkungen der elektronischen Energieregler auf die elektrischen Verteilnetze  
**Autor:** Schmucki, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916029>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Energie-Erzeugung und -Verteilung

## Die Seiten des VSE

### Die Rückwirkungen der elektronischen Energieregler auf die elektrischen Verteilnetze

von W. Schmucki, Luzern

621.316.722:621.382

Die Kommission des VSE für Netzkommandofragen stellte mit einiger Besorgnis fest, dass die Form der Netzspannung immer mehr von der Sinusform abweicht, d. h. dass der Oberwellengehalt ansteigt. Herr Dir. W. Schmucki, Luzern, der Präsident dieser Kommission, weist im nachstehenden Artikel, der eine Zusammenfassung eines Berichtes von Herrn H. J. Sheppard, London, an das «Comité de Distribution» der UNIPEDE darstellt, auf eine weitere Quelle solcher Oberwellen hin: die elektronischen Energieregler als Phasenanschnittregler.

Die Redaktion

#### Einleitung

Seit einigen Jahren werden Thyristoren (Silicon controlled rectifiers) für die Energieregulation in Industrie- und Bahnanlagen verwendet. Sie sind neuerdings auch für kleinere Leistungen und verschiedene Anwendungen im Haushalt in den Handel gekommen, z. B. für Waschmaschinen, Mixer usw. Die gegenwärtigen Entwicklungsarbeiten gehen in Richtung einer Einführung solcher Apparate bei der elektrischen Raumheizung und elektrischen Herden. Es ist daher zu erwarten, dass ein immer grösser werdender Anteil an der Niederspannungs-Netzlast, die in der Spitze vorwiegend ohmschen Charakter hat, in Zukunft elektronisch geregelt wird.

Der Einfluss dieser Reglerart auf die Kurvenform der Verteilspannung ist daher ein ernstzunehmendes Problem.

#### Regelmethode

Thyristoren sind gegenwärtig für Spannungshöchstwerte von 400, 600, 800 und 1200 Volt und ein Schaltvermögen bis 300 Amp. erhältlich. Es scheint, dass sie gegenüber den heute üblichen Regelgeräten konkurrenzfähig sind. Beispielsweise kostet in England ein Thyristor für 400 V, 10 A weniger als 1 US-Dollar.

Ein solcher Thyristor arbeitet nach einer der drei folgenden Arten:

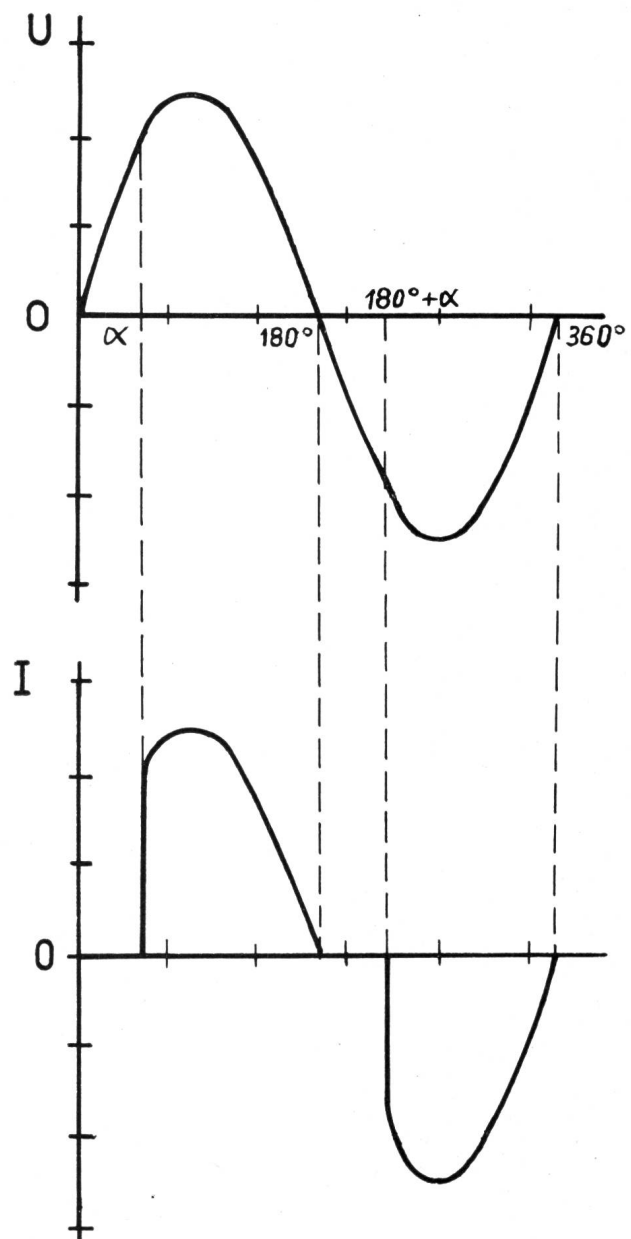
##### a) Statischer Schalter (Solid-state switch)

Der verwendete Thyristor ersetzt das konventionelle Relais oder den konventionellen Schalter und wird weniger Störungen als ein Schalter in Luft verursachen. Der Stromunterbruch wird nicht auf einen beliebigen Punkt der Spannungskurve festgelegt; der Schalter wird aber kaum häufiger als einmal innert einiger Stunden betätigt.

##### b) Phasen-Anschnittregelung

Der Thyristor schaltet in einem bestimmten Kurvenpunkt (Schaltwinkel) der angelegten Spannung, wobei dieser Win-

kel bei der positiven und negativen Halbwelle der gleiche ist (Fig. 1). Der Stromunterbruch erfolgt bei jedem Nulldurchgang. Der erste Teil jeder Strom-Halbwelle wird gesperrt und



VSE 2238

Fig. 1  
Thyristor-Regler mit ohmscher Last  
 $U$  = Spannung;  $I$  = Strom;  $\alpha$  = Schaltwinkel

der Rest durchgelassen. Durch Verändern des Schaltwinkels lässt sich eine kontinuierliche Regulierung zwischen Null und Vollast erreichen.

### c) Intervallregler (Burst-firing)

Der Strom wird in Paketen aus mehreren Vollwellen (Zyklen) ein- oder ausgeschaltet. Die Leistung lässt sich durch Verändern der Anzahl Zyklen in den Ein- und Ausschaltperioden regeln. Die Einschaltperiode dauert normalerweise 3—4 Sekunden, und der Regler schliesst den Stromkreis, sobald die Steuerspannung zwischen Null und 10 % liegt.

### Anwendungen

Der Vorteil der Halbleiter liegt in der Fähigkeit, in einem geschlossenen Stromkreis die verschiedenen physikalischen Bedingungen zu schaffen, auf die eine Regeleinrichtung ohne Zuhilfenahme von elektromagnetischen oder thermischen Schaltelementen ansprechen soll. Als statischer Schalter eignet sich der Thyristor zum Ein- und Ausschalten von Heisswasserspeichern, zur zonalen Regelung von Raumheizungen und zur Temperatur- oder Strombegrenzung in Schutzschaltungen.

Die Phasen-Anschnittsregelung und die Intervall-Regelung werden für die Drehzahlverstellung von Motoren verwendet, z. B. in Waschmaschinen, Tumblers, Mixern und

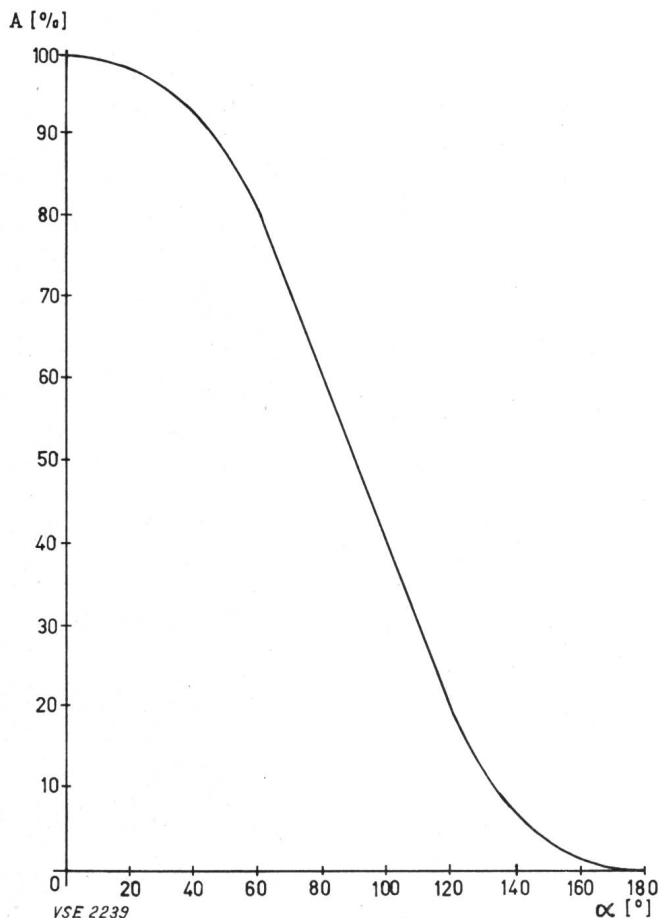


Fig. 2  
Veränderung der abgegebenen Energie in Funktion des Schaltwinkels  $\alpha$  (ohmsche Last)  
A = Energie in % der gesamten Energie;  $\alpha$  = Schaltwinkel

Ventilatoren. Sie kommen auch für die Regelung von Heizreglern und Heizplatten in elektrischen Herden in Betracht.

### Rückwirkungen auf die Verteilnetze

Sind die notwendigen Sicherheitsvorkehrungen getroffen, so werden die Thyristoren als statische Schalter und Intervallregler kaum nachteilige Rückwirkungen auf das Verteilnetz haben.

Dagegen basiert die Phasen-Anschnittsregelung auf einer Veränderung der Stromkurvenform, wie dies aus Fig. 1 hervorgeht. Der Schaltwinkel  $\alpha$  hängt vom Prozentsatz der gewünschten Ausgangsleistung ab (Fig. 2). Die Diagramme zeigen den Normalfall, bei welchem der Schaltwinkel bei ohmscher Last für die positiven und negativen Halbwellen der gleiche ist. Die Stromwelle enthält dann nur die ungeradzahligten Oberwellen. Fig. 3 zeigt die Anteile der Grundwelle und der 3., 5., 7., 9. Harmonischen in % des effektiven Gesamt-Laststromes [1]. Man sieht, dass hohe Oberwellenströme, die 50 % von der dritten und 40 % von der fünften Harmonischen ausmachen, bei Schaltwinkeln zwischen  $120^\circ$  und  $150^\circ$ , also bei kleinen Ausgangsleistungen, vorkommen können.

In einem gleichmässig belasteten Drehstrom-Vierleiternetz treten die dritte und neunte Harmonische auf der Oberspannungsseite eines in Dreieck/Stern geschalteten Transformators nicht auf; dagegen werden die fünfte und siebente Harmonische transformiert.

Wo mehrere von einander unabhängige elektronische Energieregler in ein und demselben Verteilnetz angeschlossen sind, werden die gewählten Schaltwinkel von einander verschieden sein, so dass die Stromoberwellen nicht ihr mögliches Maximum erreichen. Dessen ungeachtet werden diese Oberwellen gross genug sein, um die Spannung nennenswert zu verzerren.

Betrachtet man beispielsweise einen 500 kVA-Transformator unter Vollast, der 250 kW unregelt und 250 kW geregelt mit einem Schaltwinkel von  $90^\circ$  abgibt. In der Annahme, dass die Verbraucher gleichmässig auf die Phasen eines Niederspannungs-Kabelnetzes verteilt sind, werden die Oberwellen auf dem Weg von den Verbrauchern bis zum Transformator einen Spannungsabfall von ungefähr 10 % erleiden. In der Praxis werden die Lasten kaum immer gleichmässig auf die Phasen verteilt sein, auch die mit Energieregler geregelten nicht, so dass grössere Spannungsverzerrungen zu erwarten sind.

Falls in den benachbarten Sekundärnetzen ein ebenso hoher Prozentsatz von geregelten Energieverbrauchern angeschlossen wäre, würde der Oberwellengehalt auf der Oberspannungsebene, der auch aus andern Quellen als von Thyristoren herrühren dürfte, bedeutend angehoben.

Es wurde vorgeschlagen, den zulässigen Oberwellengehalt der effektiven Netzspannung bei den Verbrauchern auf 3—4 % sowie die kalkulierten Werte für Gleichrichter und andere Oberwellenerzeuger auf 2,0—2,4 % zu begrenzen. Darin wäre noch eine Marge für die vereinfachenden Berechnungen, Resonanzen und andere erhöhende Effekte enthalten [2] [3].

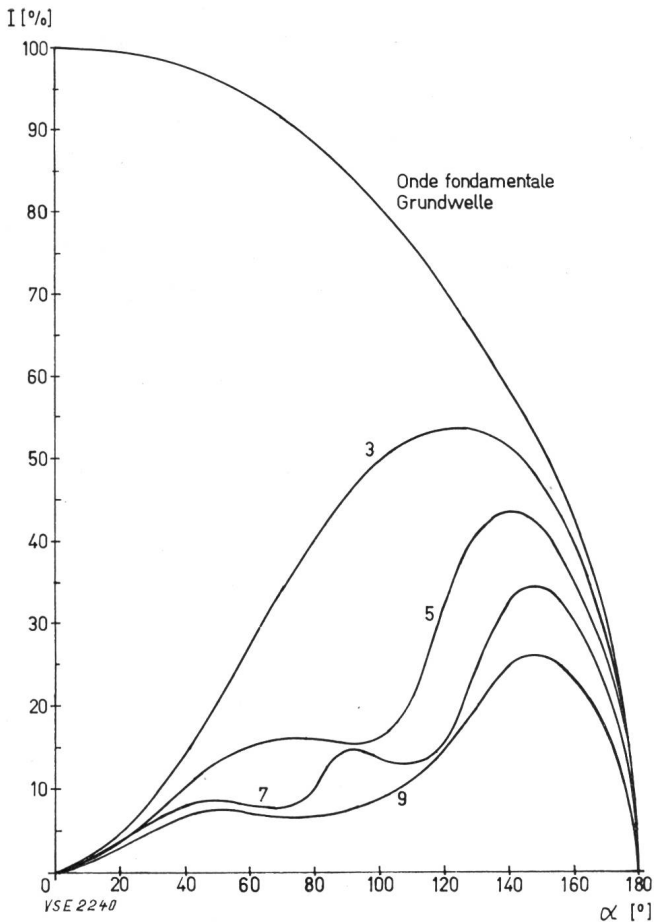


Fig. 3  
**Oberwellenstrom in Abhängigkeit vom Schaltwinkel  $\alpha$**   
 $I$  = Oberwellen im Belastungsstrom in % des Gesamtstroms

Offensichtlich würden bei einer weitverbreiteten Anwendung solcher Thyristoren zur Regelung eines wesentlichen Teils von Verbrauchern die oben erwähnten Grenzwerte überschritten. Eine grössere Verzerrung der Verteilspannungskurve würde das gute Funktionieren von vielen Apparaten beeinträchtigen, namentlich von Computern, Fernsehempfängern und von den Energieregler selbst. Im allgemeinen Interesse sollte daher eine solche Situation vermieden werden. Ausserdem ist es ein wenig verdienstliches Unterfangen, ohmsche Lasten in jeder Halbwelle statt in Intervallen von mehreren Halbwellen zu schalten. Das thermische Beharrungsvermögen von grösseren ohmschen Lasten, wie Heizregistern, elektrischen Speicheröfen, Heizplatten usw. ist so gross, dass ein Schalten in Intervallen von weniger als einigen Sekunden (oder besser länger) sicher vorteilhafter ist, sei es mit Intervallreglern oder mit den konventionellen Thermostaten.

### Schlussfolgerung

Es gilt als allgemein anerkannt, dass die Aufrechterhaltung einer unverzerrten Spannungskurve ein wichtiges Postulat für eine qualitativ gute Elektrizitätsversorgung bildet. In England können die Elektrizitätswerke dieses Ziel durch vertragliche Abmachungen mit den Abonnenten erreichen. Ein hinreichenderes Mittel wäre eine allgemeine Vereinbarung

unter allen an diesem Problem Beteiligten dahingehend, dass die Energieregulierung mit Hilfe von Thyristoren nicht für elektrische Energieverbraucher verwendet wird, die mit andern Mitteln ebenso zufriedenstellend geregelt werden können.

Der Zweck dieses Berichtes wäre erreicht, wenn sich eine solche Vereinbarung auf Grund von Diskussionen in den Komitees der CIGRE und der UNIPEDE oder auf irgendeinem andern geeigneten Weg erzielen liesse.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass auch Netzkommandoanlagen eine möglichst verzerrungsfreie Netzspannung für einen einwandfreien Betrieb benötigen. Die Ansprechspannung der Netzkommandoempfänger liegt je nach System bei 0,9—1,5 % der Netzspannung. Auch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass im Oberwellengemisch vorwiegend die dritte und fünfte Harmonische vertreten sind, scheinen uns die von Mr. Sheppard [3] angegebenen Grenzwerte von 3—4 % absolut realistisch.

Auf Antrag der Arbeitsgruppe der CEE-Kommission für die Ausarbeitung von Sicherheitsvorschriften für Anwendungen im Haushalt unter Verwendung von elektronischen Apparaten wurde an der Plenarsitzung der CEE in Cannes vom Oktober 1967 beschlossen, an die CIGRE und die UNIPEDE eine Eingabe zu richten, damit die Anwendungsgebiete der Energieregler in Berücksichtigung der Anforderungen der Elektrizitätswerke an eine möglichst verzerrungsfreie Spannungs-kurve eingeschränkt werden sollen.

In der Schweiz werden schon seit einiger Zeit Energieregler für Heizapparate verwendet. In neuester Zeit sind elektronische Lichtregler für Hausinstallationen auf den Markt gekommen, die inskünftig in grosser Anzahl für Bühnen, Dancings, Hotels, Restaurants, Bars und auch in Wohn- und Schlafzimmern Verwendung finden sollen.

Die meisten auf diese Weise geregelten Verbraucher werden einphasig an die Niederspannungsnetze angeschlossen. Messungen haben gezeigt, dass die Belastungen in ausgesprochenen Wohngebieten selten gleichmässig auf die einzelnen Phasen verteilt sind. Auch die neunte Harmonische (450 Hz) kann hier unter Umständen ziemlich hohe Werte annehmen. Es sei daher den Elektrizitätswerken angelegentlich empfohlen, sich beizeiten dieses Problems anzunehmen, um sich gegen allfällig später auftretende Überraschungen zu sichern.

### Literatur

- [1] Westinghouse Brake and Signal Co. Ltd.: «Trinistor single-phase a. c. power regulation», Application Report No. 3, Feb. 1964.
- [2] Brownsey C. M., and Csuros L.: «Harmonic distortion due to rectifier loads on a. c. supply systems». I. E. E. Conf. Report Ser. 8, 1964, p. 145.
- [3] H. J. Sheppard, The Electricity Council, London: «The effect on the power system of control devices involving the use of thyristors (Silicon controlled rectifiers). Report to the «Comité de Distribution de l'UNIPEDE» 27th July 1966.

### Adresse des Autors:

W. Schmucki, Dipl. Ing., Direktor des Elektrizitätswerkes der Stadt Luzern, 6000 Luzern.