

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	81 (1990)
Heft:	7
Artikel:	Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme mit Mittelfrequenzzwischenkreis
Autor:	Alexa, Dimitrie
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-903102

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 27.01.2026

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

Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme mit Mittelfrequenzzwischenkreis

Dimitrie Alexa

Im vorliegenden Aufsatz wird eine neue Variante einer unterbrechungsfreien Stromversorgung mit Mittelfrequenz-Zwischenkreis vorgestellt. Sie kommt mit einfachen Steuercircuits aus und vermeidet durch den Einsatz mehrerer Wechselrichter im Gleichstromabschnitt die Parallelschaltung von Leistungstransistoren.

L'article présente une nouvelle variante d'une alimentation ininterrompue en courant avec circuit intermédiaire à moyenne fréquence. Elle se contente de circuits de commande simples et évite le montage parallèle de transistors de puissance, en utilisant côté courant continu plusieurs onduleurs.

Der ununterbrochenen Wechselstromversorgung gewisser Verbraucher muss zur Absicherung des einwandfreien Funktionierens von Produktionsprozessen, der Überwachungs- und Kontrollinstallationen des Eisenbahnverkehrs, der Datenübertragung und -verarbeitung, der Krankenhausapparaturen usw. grosse Aufmerksamkeit geschenkt werden. Dies kann durch den Einsatz von unterbrechungsfrei arbeitenden Stromquellen (USV) bewerkstelligt werden. An den Betrieb solcher Anlagen werden hohe Ansprüche gestellt, da er, wenn er fehlerhaft ist, bedeutende materielle Schäden verursachen kann.

Die neu verzeichneten Fortschritte auf dem Gebiet der Kommutierungstransistoren für hohe Ströme hat die Erweiterung der USV-Anwendungen begünstigt. Durch Ausdehnung der SOA (Safe Operating Area) der Kenngrösse I_C - U_{CE} wurde eine Reduzierung der Dimensionen der Elemente in den RCD-Schutzkreisen dieser Transistoren erreicht. Meistens werden die USV durch Akkumulatorenbatterien gespeist, und man geht zu grossen Ausgangsleistungen bis zu 70...100 kVA. Da der maximal erlaubte Kollektorstrom der bipolaren Leistungstransistoren im allgemeinen 300...400 A nicht überschreitet, ist es in USV notwendig, die Wechselrichter mit parallel geschalteten Transistoren auszustatten. Diese Lösung hat aber den Nachteil, dass beim Einschalten dieser Transistoren der Laststrom nicht gleichmässig auf alle Transistoren verteilt wird. Um diesen Nachteil zu vermeiden, kann man mehrere, von derselben Akkumulatorenbatterie gespeiste Wechselrichter verwenden und die Ausgangsspannungen der Wechselrichter, die zur Reduzierung der Spannungsharmonischen auf dem Prinzip der Pulsbreitenmodulation arbeiten,

durch einen speziellen Transformator aufsummieren.

Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme sollen ein möglichst kleines Gewicht und ein möglichst geringes Volumen haben. Sie müssen auch zu kleinstmöglichen Kosten herstellbar sein. Eine der Möglichkeiten, dies zu erreichen, besteht in der Umwandlung von Gleichstrom (DC) in Wechselstrom (AC) mit Hilfe eines Mittelfrequenzzwischenkreises (MF). Dadurch kann an Stelle eines Leistungstransformators niederer Frequenz mit Eisenkern ein Ferrittransformator mit kleineren Abmessungen und niedrigeren Kosten verwendet werden. Zum Beispiel hat ein bei 25 kHz arbeitender Ferrittransformator für eine Ausgangsleistung von 10 kVA ein um etwa neunmal kleineres totales Gewicht (Wicklungen und Kern) als ein Transformator mit Trafoeisenkern für die gleiche Leistung, aber für eine tiefere Frequenz. Die Herstellkosten des Ferrittransformators betragen nur 40% des entsprechenden Transformators mit Eisenkern. Aufgrund dieser Ideen wird eine neue USV-Variante mit Mittelfrequenzzwischenkreis vorgestellt, die gegenüber der in der Arbeit [1] wiedergegebenen Variante die Vorteile aufweist, dass sie mit einfachen Steuercircuits arbeitet sowie die Parallelschaltung mehrerer einphasiger Wechselrichter auf dem Gleichstromteil erlaubt und dadurch die Parallelschaltung mehrerer Leistungstransistoren vermeidet.

Funktionsprinzip

In Bild 1 wird das Prinzipschaltbild der unterbrechungsfreien Stromversorgung mit Mittelfrequenzzwischenkreis dargestellt. Die Anlage wird von einer Akkumulatorenbatterie mit der Spannung E versorgt und besteht aus

Adresse des Autors

Prof. Dr.-Ing. Dimitrie Alexa, Lehrstuhl für Elektronik am Polytechnischen Institut Iassy, Strada 23 August Nr. 22, RO-6600 Iassy, Romania

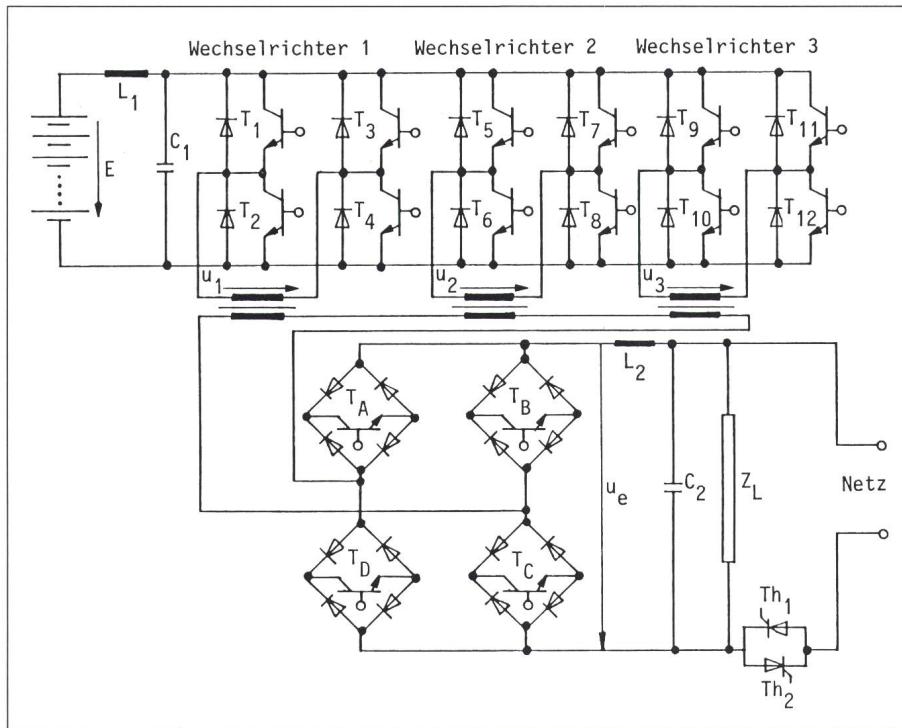


Bild 1 Prinzipschema der unterbrechungsfreien Stromversorgung mit Mittelfrequenzzwischenkreis

E Spannung der Akkumulatorenbatterie
 L_1, C_1 Selbstinduktion und Kapazität des Eingangsfilters
 L_2, C_2 Selbstinduktion und Kapazität des Ausgangsfilters
 $T_1 \dots T_{12}$ Transistoren der Wechselrichter 1...3
 $u_1 \dots u_3$ Ausgangsspannungen der Wechselrichter
 $T_A \dots T_D$ Transistoren des Direktumrichters
 u_e Ausgangsspannung des Direktumrichters
 Z_L Lastimpedanz
 Th_1, Th_2 Thyristoren für statische Netzrückschaltung

drei einphasigen Brückenwechselrichtern mit bipolaren Leistungstransistoren, drei Ferrittransformatoren und einem Direktumrichter. Am Eingang und am Ausgang der USV befinden sich die Filter L_1, C_1 und L_2, C_2 . Die Ferrittransformatoren haben sekundäre Wicklungen in Reihenschaltung und werden, um die Abmessungen zu reduzieren, bei einer Frequenz zwischen 20 und 25 kHz betrieben. Bei dieser Frequenz sind auch die Kommutierungsverluste in den Wechselrichtern kleiner. Der Direktumrichter setzt sich aus den bipolaren Transistoren T_A , T_B , T_C und T_D zusammen, die in einigen Brücken mit Kommutierungsdioden beschaltet sind. Die Lastimpedanz Z_L kann entweder über die Thyristoren Th_1 und Th_2 vom Netz oder, im Falle einer Unterbrechung der Netzspannung, durch die USV gespeist werden.

Die Bildung der USV-Ausgangsspannung kann mit Hilfe von Bild 2 erklärt werden. Die Wechselrichter erzeugen an ihren Ausgängen Sequenzen

von Rechteckpulsen. Die Länge der Pulse einer gegebenen Sequenz beträgt entweder T_1 oder $T_1/2$. Während einer Periode T der zu erzeugenden Ausgangsspannung (von 50 oder 60 Hz) folgen sich abwechselnd je zwei Sequenzen dieser beiden Pulsarten. Sequenzen der T_1 -Pulse haben eine Dauer von $5T/16$ und Sequenzen der $T_1/2$ -Pulse eine solche von $3T/16$ (Spannungen u_1 , u_2 , u_3 ; siehe Bild 1). Die Pulssequenzen u_1 , u_2 und u_3 der Wechselrichter sind untereinander um $T/16$ phasenverschoben (siehe Bild 2).

Durch Aufsummieren der Spannungen u_1 , u_2 und u_3 (der Einfachheit halber wurde in Bild 2 angenommen, dass die Transformationsverhältnisse der drei Transformatoren gleich 1 sind) und durch Umrichten im Direktumrichter ergibt sich schliesslich die Ausgangsspannung u_e . Die durch eine geeignete Steuerung der Transistoren T_A , T_B , T_C und T_D erhaltene Modulation $m(t)$ ist eine sehr gute Näherung einer Sinuswelle und lässt sich durch eine Fourier-Reihe der folgenden Form darstellen:

$$\begin{aligned}
 m(t) = & 2 N E \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1 - \cos(n \pi)}{n \pi} \\
 & \cdot \cos\left(n \frac{3\pi}{16}\right) 2 \cos\left(n \frac{\pi}{8} + 1\right) \\
 & \cdot \sin\left[n\left(\omega t - \frac{\pi}{16}\right)\right] \quad (1)
 \end{aligned}$$

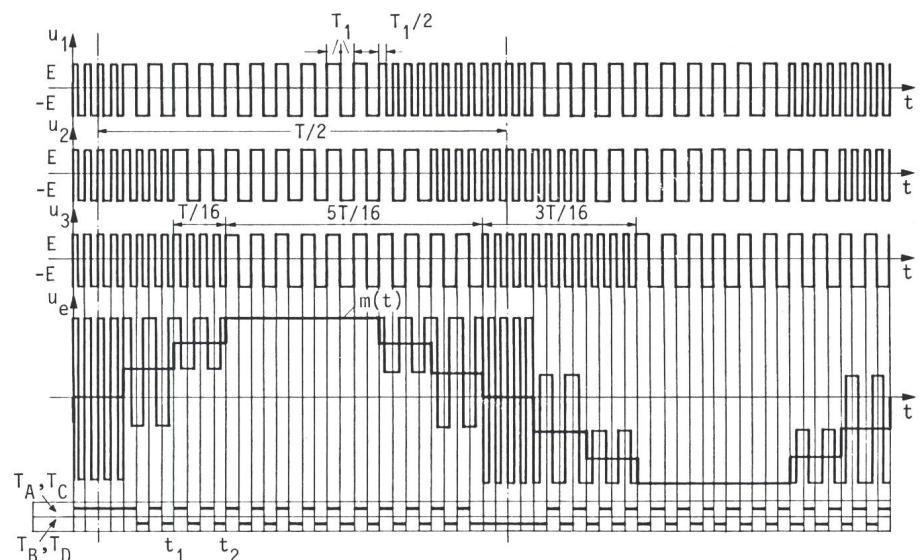
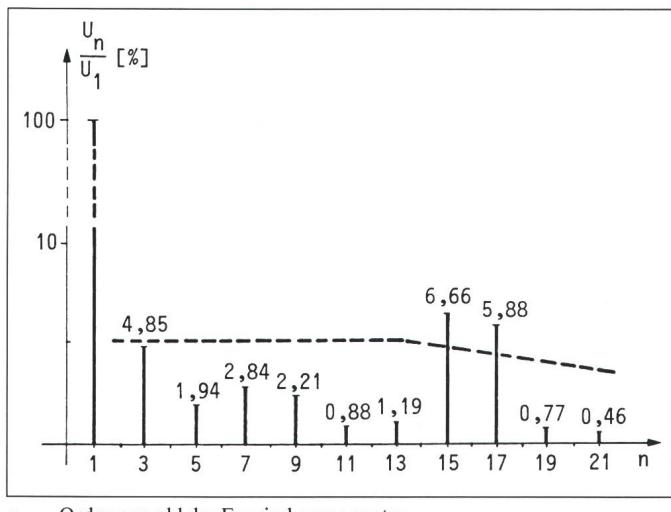


Bild 2 Funktionsprinzip der unterbrechungsfreien Stromversorgung

$u_1 \dots u_3$ Ausgangsspannungen der Wechselrichter 1...3
 $T_1, T_1/2$ Impulslängen
 T Periode der zu erzeugenden Ausgangsspannung
 u_e Ausgangsspannung des Direktumrichters
 $T_A \dots T_D$ Schaltzustand des Direktumrichters
 t_1, t_2 siehe Bild 4
 $m(t)$ Modulation der Ausgangsspannung



n Ordnungszahl der Fourierreihe
 U_n Amplitude der n-ten Fourierreihe

E Spannung der Akkumulatorenbatterie
N Transformationsverhältnis der Ferrittransformatoren
 ω Ausgangskreisfrequenz $\omega = 2\pi/T$
n Ordnung der Harmonischen.

In Bild 3 sind die Werte der Verhältnisse zwischen den Amplituden der hauptsächlichen höheren Harmonischen und der Amplitude der Grundschwingung wiedergegeben. Man bemerkt, dass sich alle Amplituden der Harmonischen, ausser der Harmonischen 15. und 17. Ordnung, unter den durch VDE 0160 erlaubten Grenzen befinden (in Bild 3 punktiert angegeben). Der Grundschwingungsgehalt des Modulationssignals $m(t)$ beträgt 0,9913. Zur Verkleinerung der Harmonischen 15. und 17. Ordnung auf zulässige Grenzen kann man eine USV-Schaltung statt mit 3 mit 4 entsprechend gesteuerten Wechselrichtern aufbauen, oder man sieht am USV-Ausgang entsprechende LC-Filter für die Reduktion dieser Harmonischen vor.

Da die Spannung E der Akkumulatorenbatterie während des USV-Betriebs nicht konstant bleibt, ist es notwendig, die Ausgangsspannung u_e laufend auf einen bestimmten Wert möglichst nahe der Nennspannung zu re-

geln. Eine Änderung der Grundschwingungsamplitude der Spannung u_e kann durch einen Betrieb mit ungleichen Einschaltintervallen für die Transistorenpaare T_A-T_C und T_B-T_D erreicht werden. So betragen z.B. in Bild 4, das sich auf den USV-Betrieb zwischen den in Bild 2 markierten Zeitpunkten t_1 und t_2 bezieht, diese Zeitintervalle $T_1 + \Delta t$ und $T_1 - \Delta t$. Durch Variation von Δt zwischen Null und einem maximal zulässigen Wert kann die Grundschwingungsamplitude der Ausgangsspannung u_e vom maximalen auf den minimalen Wert reduziert werden.

Schlussfolgerungen

- Durch die Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom mit Hilfe eines Mittelfrequenzwischenkreises können in einer USV-Anlage Ferrittransformatoren mit kleinen Abmessungen und niedrigen Kosten verwendet werden.

- Durch Verwendung von wenigstens drei, im Gleichstromkreis entsprechend Bild 2 parallel geschalteten, einphasigen Wechselrichtern kann eine USV-Ausgangsspannung mit einem niedrigen Anteil an höheren Harmonischen erzeugt werden.

Bild 3
 Spektrum der Modulationsfunktion $m(t)$

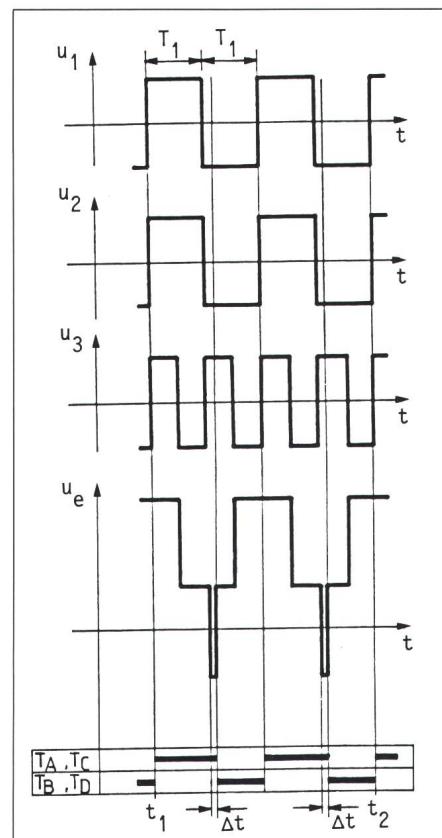


Bild 4 Methode zur Variation der Ausgangsspannung u_e

t_1, t_2 Grenzen des Ausschnitts aus Bild 2

Δt Verschiebung der Ein-/Ausschaltzeitpunkte der Transistoren $T_A \dots T_D$ des Direkturnrichters

Literatur

- [1] S. Manias, P.D. Ziogas and G. Olivier: Bilateral DC to AC convertor using a high frequency link. IEE Proceedings Part B: Electric Power Applications 134(1987)1, p. 15...23.
- [2] J. Schmidt: Unterbrechungsfreie Wechselstrom-Versorgungssysteme mit Thyristorstromrichtern. Technische Mitteilungen AEG-Telefunken 67 (1977)1, S. 52...57.
- [3] J. Holtz, W. Lotzkar and K.-H. Werner: A high-power multi transistor-inverter uninterruptible power supply system. IEEE Power Electronics Specialist Conference (PESC) 1986, p. 311...320.
- [4] T. Mizutani a. o.: Power transistorized uninterruptible power supply. IEEE Trans. on Industry Applications IA-20(1984)4/I, p. 961...966.