Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 94 (2003)
Heft: 24-25

Artikel: Überspannungen auf umrichtergespeisten Kabeln
Autor: Brakelmann, Heinrich / Steinbrich, Kai
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857625

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: 06.07.2025

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

Überspannungen auf umrichtergespeisten Kabeln

Moderne Frequenzumrichter mit Spannungszwischenkreis führen in der Praxis oft zu überhöhten Spannungen an der Last. Insbesondere bei Systemen mit langen Kabelstrecken werden Spannungen gemessen, die über dem 3- bis 4fachen der Eingangsspannung liegen. Viele Berichte zu diesen transienten Überspannungen weisen aus, dass die Überspannungen von einer grossen Zahl unterschiedlicher Parameter abhängen. Drei wesentliche Parameter werden in diesem Beitrag näher untersucht: der Wellenwiderstand des Umrichters, die Kabellänge und die Taktfrequenz. Anhand von Messungen an einer Umrichter-Kabel-Anordnung und mit Hilfe des Simulationsprogrammes ATP-EMTP[1)] werden die Ursachen für kritische Betriebszustände mit extremen Überspannungen und Möglichkeiten zu deren Vermeidung vorgestellt.

Heinrich Brakelmann, Kai Steinbrich

Der Einsatz von Frequenzumrichter mit Spannungszwischenkreis ist im modernen Anlagenbau selbstverständlich geworden. Ob in der Klimatechnik, in Windkraftanlagen oder im Fahrzeugbau: flexible Frequenzumrichter/Motor-Systeme stehen für gute Regelbarkeit und einen hohen Wirkungsgrad. Der Leistungsbereich dieser Technik erstreckt sich vom unteren kW-Bereich bis in den hohen MW-Bereich [1]. Wichtigste Bausteine dieser Technik sind die Leistungs-Halbleiterschalter IGBT[2)] und IGCT[3)]. Diese erreichen heute Sperrspannungen von bis zu 6 kV und Taktfrequenzen von einigen Kilohertz [2], wobei noch höhere Kennwerte für die Zukunft zu erwarten sind.

Bei zunehmenden Sperrspannungen wird der Einsatz von statischen Umrichtern mit Spannungszwischenkreis auch im Mittelspannungsbereich interessant. So könnten beispielsweise Offshore-Windparks die produzierte Energie direkt auf der Mittelspannungsebene übertragen, und Offshore-Ölplattformen könnten vom Festland aus kostengünstig und umweltschonend mit Energie versorgt werden [3]. Ein Verzicht auf Transformatoren wäre bei diesen hohen Spannungen möglich.

Im Versorgungsnetz könnten die durch die Umrichter entkoppelten Kabelstrecken mit einer reduzierten Betriebsfrequenz betrieben werden [4, 5]. So wird es möglich, bei Drehstromkabeln die Vorteile von Gleichstromkabeln wie beispielsweise die geringen Verluste, die grossen Übertragungsentfernungen und die hohen Leistungen zu nutzen [6].

Häufig werden Frequenzumrichter aus Kosten- oder Platzgründen ohne Filter betrieben. So entstehen Spannungsimpulse mit steilen Anstiegsflanken und kurzen Impulsbreiten, die sich auf der Leitung zwischen Umrichter und Last ausbreiten. Diese Wanderwellen werden an der Last reflektiert und gebrochen und führen zu Spannungen, die weit höher sind als die Eingangsspannung am Umrichter.

Ein einzelner Spannungsimpuls kann so unter Annahme einer idealen Leitung, das heisst ohne Dämpfung und Dispersion, zu einer Verdoppelung der Spannung am Kabelende führen [7]. Voraussetzung hierfür ist ein Wellenwiderstand der Last, welcher grösser ist als der der Kabelstrecke. Der ungünstigste Fall tritt bei einem offenen Kabelende auf.

Eine weitere Voraussetzung für diese Überspannung ist, dass die Kabellänge zwischen Umrichter und Last als elektrisch lang angesehen werden kann [8], was bedeutet, dass die Wellenlaufzeit auf dem Kabel grösser ist als die Anstiegszeit des Spannungsimpulses. Ist die Wellenlaufzeit kürzer, wird der Faktor 2 am Kabelende nicht mehr erreicht [7].

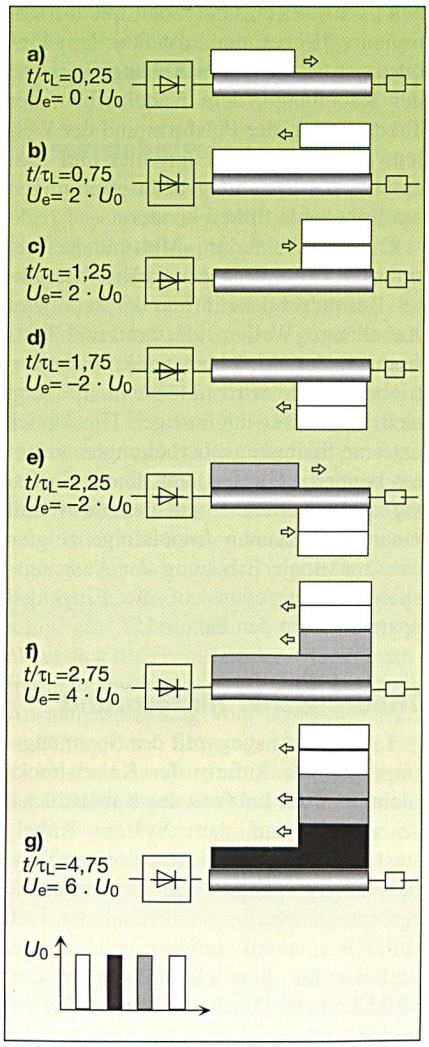


Bild 1 Entstehung kritischer Überspannungen am Kabelende auf Grund von Multiplen Reflektionen

t: Zeit; τ_L: = Impulsbreite; Spannungsverteilung auf der Leitung für t/τ_L = 0,25; 0,75; 1,25; 1,75; 2,25; 2,75 und 4,75 (Bild 1a–Bild 1g) bei einer getakteten Eingangsspannung von U_0, einem Umrichter-Innenwiderstand $Z_U \approx 0\ \Omega$ und offenem Kabelende ($Z_W \rightarrow \infty$). Der Effekt der Multiplen Reflektionen tritt immer bei einer Pulslänge auf, welche doppelt so lang ist wie die Strecke (Laufzeit der Strecke).

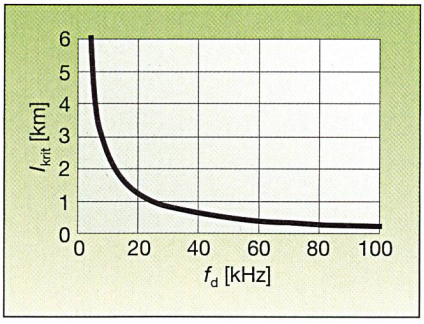


Bild 2 Kritische Kabellänge als Funktion der Taktfrequenz

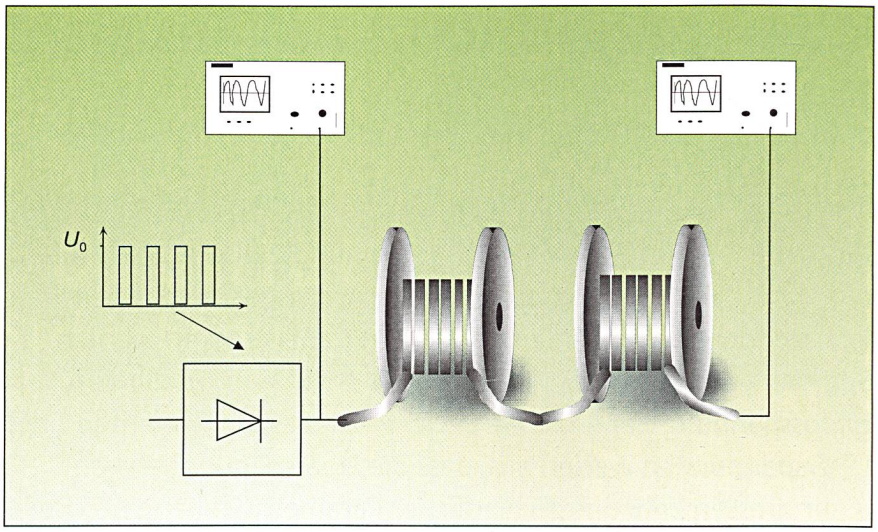


Bild 3 Messaufbau

Der Messaufbau besteht aus: Umrichter, Energiekabel und Mess-Equipment zum Erfassen von Strom und Spannung an Kabelanfang und -ende.

Wird statt eines einzelnen einlaufenden Spannungsimpulses die Taktfolge des Umrichters betrachtet, so kann die Spannung am Kabelende den Faktor 2 der Eingangspannung spürbar übersteigen [9, 10]. Es entstehen multiple Reflektionen zwischen der Last und dem Frequenzumrichter, die in Abhängigkeit von der Kabellänge, dem Kabelaufbau, der Taktfrequenz, der Pulsform und der Wellenwiderstände von Umrichter und Last zu hohen Spannungsbeanspruchungen am Kabelende führen können.

Dieser Effekt der «Multiple Reflections» wird im Folgenden näher betrachtet. Besonders der Einfluss der Parameter Kabellänge, Wellenwiderstand und Taktfrequenz des Umrichters auf kritische Betriebszustände wird untersucht. Es zeigt sich, dass unter ungünstigen Umständen extreme Spannungsüberhöhungen auftreten können. Messungen an einem einphasig aufgebauten Impulsgenerator mit einer äquidistanten Impulsfolge zeigten eine maximale Erhöhung der Ausgangsspannung, bezogen auf die Eingangsspannung, um den Faktor 15.

Theoretischer Hintergrund

Liegt die Anstiegszeit des Spannungsimpulses am Anfang der Kabelstrecke nicht über der Laufzeit der Kabelstrecke, so entsteht auf dem System Kabel–Last–Umrichter ein nichtstationärer Wanderwellenvorgang. Die einlaufenden Spannungsimpulse werden an der Last reflektiert, laufen zurück zum Umrichter und werden dort ebenfalls reflektiert (Bild 1: a–d). Durch den hohen Wellenwiderstand eines als Last verwendeten Motors ($Z_W \approx 300\ \Omega$) oder eines offenen Kabelendes ($Z_W \rightarrow \infty$) und dem geringeren Wellenwiderstand des Kabels ($Z_W \approx 30\ \Omega$) liegt der Reflektionsfaktor bei einem Wert von $r_L \approx 1$.

Umgekehrt sind die Verhältnisse am Kabelanfang. Der Innenwiderstand eines aus Leistungshalbleitern aufgebauten Umrichters mit Spannungszwischenkreis liegt um mehrere Zehnerpotenzen unter dem Wellenwiderstand des Kabels. So kommt es am Kabelanfang zu einem Reflektionsfaktor von $r_C \approx -1$. Zurücklaufende Wellen werden somit am Kabelanfang über den Umrichter kurzgeschlossen und laufen mit negativem Vorzeichen zur Last zurück. Dieser Wanderwellenvorgang zwischen Umrichter und Last wird durch die Kabeldämpfung sowie durch Verluste in Umrichter und Last gedämpft.

Wird während des noch nicht abgeklungenen Wanderwellenvorgangs ein neuer Spannungsimpuls auf das Kabel aufgeschaltet, so kann dies am Kabelende zu Spannungen führen, die die Zwischenkreisspannung um den Faktor 2 übersteigen. Besonders hohe Spannungen am Kabelende entstehen, wenn der neue Spannungsimpuls gerade dann zugeschaltet wird, wenn eine negative Wanderwelle vom Kabelende zum Umrichter läuft und dort durch den Reflektionsfaktor (–1) positiv dem neuen Impuls überlagert wird (Bild 1: e–g).

Bei einer Laufzeit $\tau_C = l \cdot (L' \cdot C')^{-1/2}$ des Kabels ergeben sich so mit der Impulsbreite t_d kritische Kabellängen nach folgender Formel.

$$l_{krit} = \frac{t_d}{2 \cdot \sqrt{L' \cdot C'}} = \frac{t_d \cdot c_0}{2 \cdot \sqrt{\mu_r \cdot \varepsilon_r}}$$

mit c_0 als Vakuumlichtgeschwindigkeit.

Für eine äquidistante Impulsfolge ergibt sich der Verlauf der kritischen

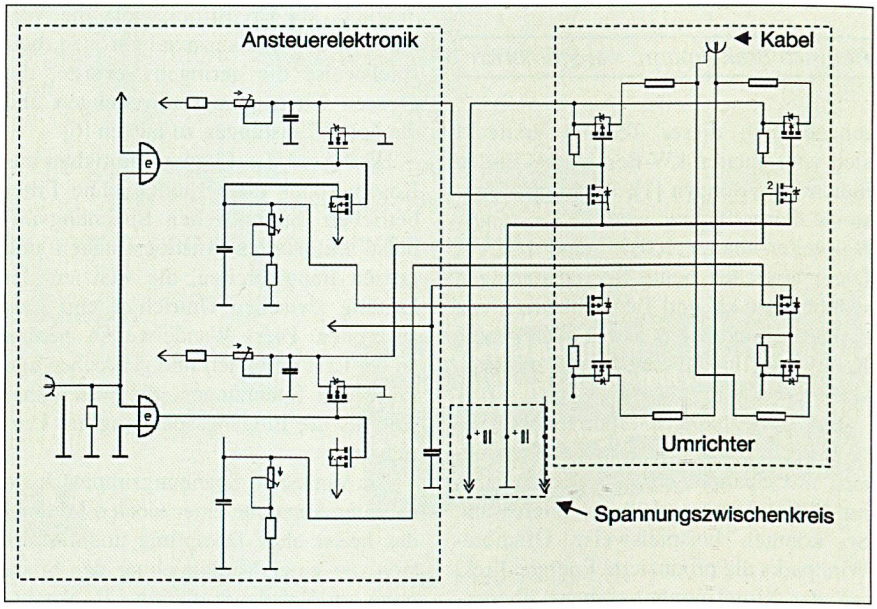


Bild 4 Schaltplan des Umrichters mit Ansteuerelektronik und Spannungszwischenkreis zur Erzeugung äquidistanter Spannungsimpulse in einem Frequenzbereich bis 100 kHz

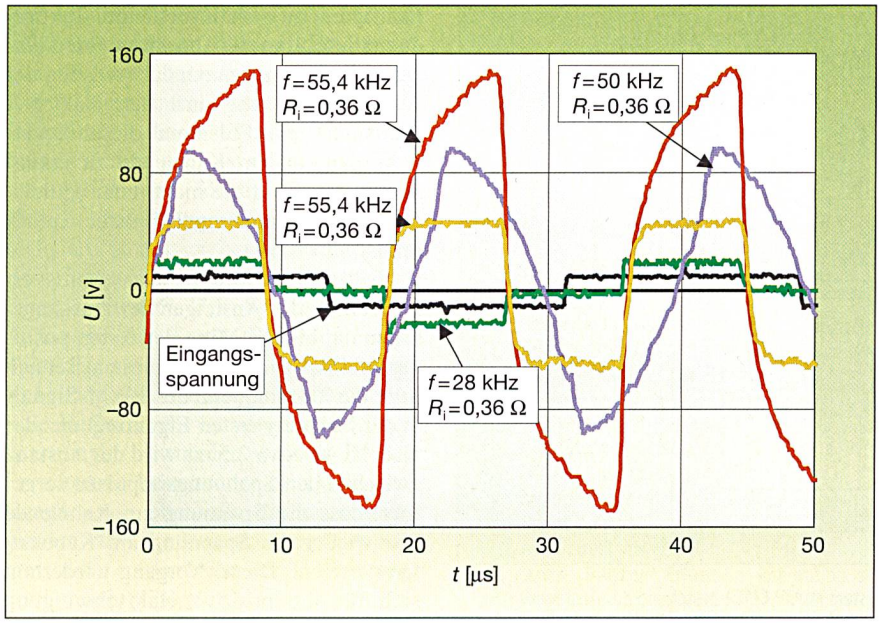


Bild 5 Gemessene Spannung am Kabelende für unterschiedliche Taktfrequenzen und Innenwiderstände bei einer Eingangsspannung von ±10 V

Die Verläufe zeigen eine starke Spannungsüberhöhung (Faktor 15) bei einer Frequenz von 55,4 kHz und einem Innenwiderstand von 0,36 Ω

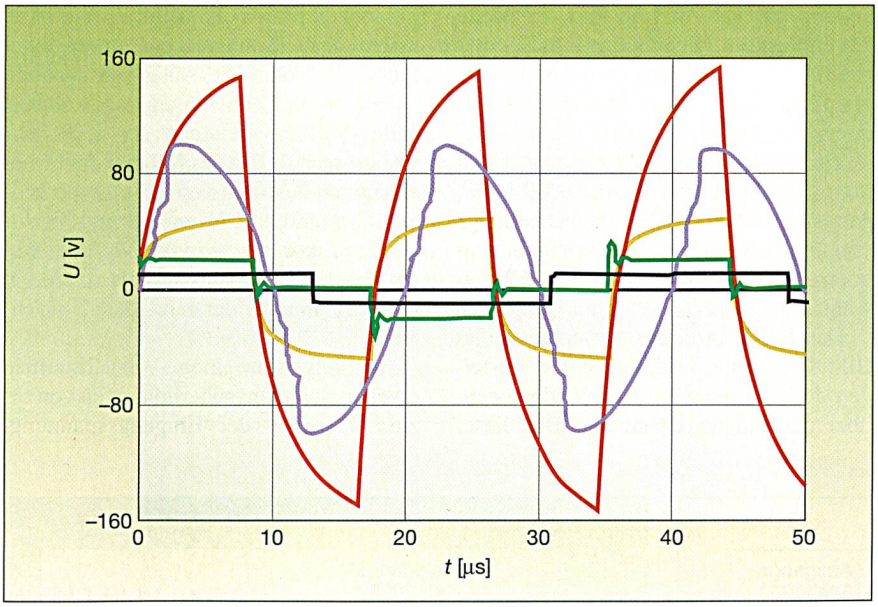


Bild 6 Simulierte Spannung am Kabelende für unterschiedliche Taktfrequenzen und Innenwiderstände bei einer Eingangsspannung von ± 10 V

Parameter der einzelnen Verläufe siehe Bild 5

Kabellänge über der Taktfrequenz $f_d = 1/(2 \cdot t_d)$ nach Bild 2.

Bei den heute üblichen Taktfrequenzen von 8, 12 oder 20 kHz ergeben sich so kritische Kabellängen von 3 km, 2 km bzw. 1,2 km. Bei den in Zukunft angestrebten Taktfrequenzen von 32 kHz oder 64 kHz würden sich die kritischen Kabellängen auf 750 m bzw. 380 m verkürzen. Diese Kabellängen liegen zum Beispiel in der Grössenordnung der Kabellängen innerhalb grosser Windparkanlagen. Ungünstige Netzkonfigurationen könnten so zu extremen Spannungsbelastungen der Betriebsmittel führen.

Messaufbau

Zur messtechnischen Erfassung von multiplen Reflektionen in einem System Umrichter–Kabel wird der in Bild 3 dargestellte Versuchsstand verwendet. Als Impulsquelle steht ein selbst entwickelter einphasiger Umrichter mit Spannungszwischenkreis zur Verfügung (Bild 4). Um einen möglichst geringen Innenwiderstand des Umrichters zu gewährleisten, wurden Leistungshalbleiter (Power-Mosfet) mit einem Drain-Source-Widerstand von 50–100 mΩ gewählt. Um unterschiedliche Eingangswiderstände simulieren zu können, befinden sich vor den Leistungsschaltern weitere zuschaltbare Widerstände.

Als Kabel steht ein 20-kV-VPE-Einleiterkabel NA2XS2Y 12/20 kV auf zwei Kabeltrommeln mit jeweils 440 m Länge zur Verfügung. Der Umrichter liefert äquidistante Spannungsimpulse in einem Frequenzbereich bis etwa 100 kHz bei einer Zwischenkreisspannung von ±5 V. Diese Impulse werden zwischen Leiter und Schirm des Kabels aufgeschaltet. Die Messpunkte für Spannung und Strom befinden sich an Kabelanfang und -ende.

Messergebnisse

Im Folgenden werden die mit dem oben beschriebenen Messaufbau erlangten Ergebnisse dargestellt. Bei den Messungen wurde die Abhängigkeit von Impulsfrequenz und Innenwiderstand des Umrichters auf die Spannung am Kabelende untersucht. Bild 5 zeigt diese Ausgangsspannung für die Frequenzen 28 kHz, 50 kHz und 55,4 kHz bei einem Innenwiderstand des Umrichters von etwa 360 mΩ. Um die Auswirkungen des Innenwiderstandes zu verdeutlichen, zeigt Bild 5 auch einen Verlauf mit einem zusätzlichen Widerstand von 1 Ω. Deutlich ist das starke Ansteigen der Spannung am Kabelende zu erkennen, je näher sich die Frequenz der ersten Eigenfrequenz des Kabels nähert. So steigt die Ausgangsspannung vom doppelten Wert (±20 V) der Eingangsspannung bei 28 kHz auf das Fünfzehnfache (± 150 V) der Eingangsspannung bei 55,4 kHz an.

Wird bei dieser maximalen Ausgangsspannung der Innenwiderstand des Umrichters um 1 Ω erhöht, verringert sich die Spannung durch den veränderten Reflexionsfaktor auf das Vierfache der Eingangsspannung. Hier zeigt sich deutlich der grosse Einfluss des Umrichter-Innenwiderstandes auf die Ausgangsspannung.

Simulation

Um auch Spannungsverläufe in einem Drei-Phasen-System betrachten zu können, wurde das Simulationsprogramm ATP-EMTP verwendet. In einem ersten Schritt wurde der einphasige Aufbau nachgebildet, um Simulation und Mes-

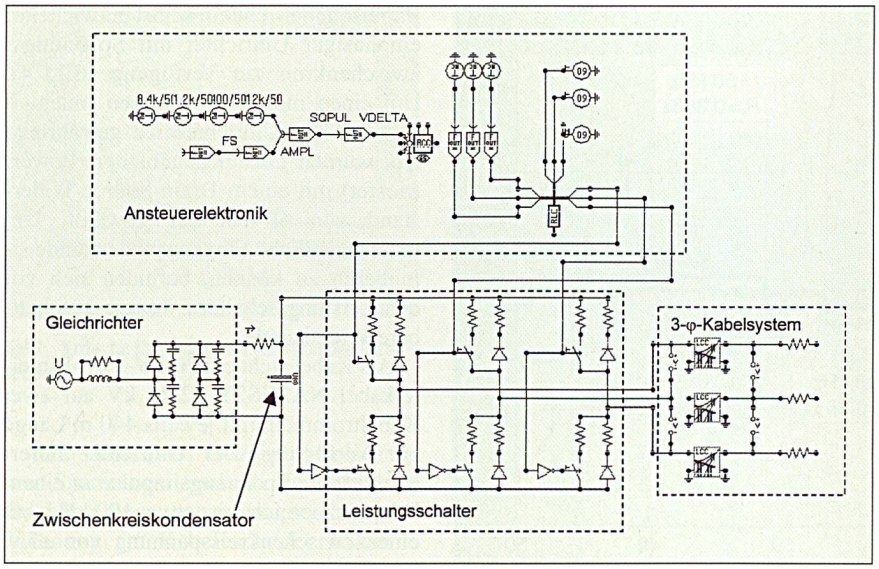


Bild 7 Aufbau eines dreiphasigen Umrichters mit Kabelsystem in ATP-EMTP, bestehend aus Ansteuerelektronik, Gleichrichter, Zwischenkreis, Leistungsschaltern und einem dreiphasigen Kabelsystem

sung vergleichen zu können. Mit der in ATP-EMTP gegebenen Routine *Cable Constants* wurde das 20-kV-VPE-Einleiterkabel nachgebildet [11, 12]. Die erlangten Simulationsergebnisse sind in Bild 6 dargestellt und zeigen eine gute Übereinstimmung zu den Messergebnissen aus Bild 5.

Im nächsten Schritt wurde der dreiphasige Umrichter nachgebildet. Bild 7 zeigt den mit ATPDraw[4)] entworfenen Umrichter mit Ansteuerelektronik, Spannungszwischenkreis, Leistungsschaltern und dreiphasigem Kabelsystem.

Die Ausgangsspannung eines realen, dreiphasigen Umrichters besteht nicht mehr aus äquidistanten Spannungsimpulsen: vielmehr werden zur Erzeugung eines sinusförmigen Stromes die Leistungshalbleiter mit pulsweitenmodulierten (PWM) Signalen angesteuert. So verändern sich der Abstand und die Breite der einzelnen Spannungsimpulse betriebsabhängig, und es kann der Ausgangsspannung keine einzelne Taktfrequenz mehr zugeordnet werden.

Zur Untersuchung der Ausgangsspannung in Abhängigkeit einer PWM-Eingangsspannung wurde eine Kabellänge von 3800 m und eine interne Taktfrequenz zur Modulation von 12 kHz gewählt.

Das Ergebnis dieser Simulation zeigt Bild 8. Deutlich wird das starke Ansteigen der Spannung am Kabelende gegenüber der Eingangsspannung. Bei dieser Konfiguration von Kabellänge, Taktfrequenz und Innen-/Abschlusswiderständen zeigt sich ein maximaler Anstieg der Ausgangsspannung um den Faktor 7. Weiter ist ein Pulsieren dieser Spannungsmaxima am Kabelende zu erkennen, welches auf die nicht mehr äquidistanten Spannungsimpulse zurückzuführen ist.

Bild 9 zeigt in einer Ausschnittsvergrösserung das Ansteigen der Ausgangsspannung bis zur Mitte der ersten positiven Halbschwingung. In diesem Bereich liegt die Taktfrequenz des PWM-Signals in der Nähe der ersten Eigenfrequenz des Kabels. Ab etwa 2,5 ms wird der Abstand zwischen den Spannungsimpulsen so gering, dass die Spannung am Kabelende fast wieder die Spannung am Kabelanfang erreicht. Dieser Vorgang wiederholt sich für die positive Halbschwingung etwa ab 5 ms, für die negative ab 10 ms bzw. 15 ms.

Zusammenfassung

Multiple Reflektionen zwischen Umrichter und Last können zu erhöhten Spannungsbelastungen der Betriebsmittel führen. So kann die Ausgangsspannung bei einem schlecht angepassten Kabelende (Wellenwiderstand der Last sehr viel grösser als der des Kabels) die bisher bekannten Faktoren von 2 bis zu 4 erheblich überschreiten. Voraussetzung hierfür ist eine Taktfrequenz in der Nähe der ersten Eigenfrequenz des Kabels sowie ein geringer Innenwiderstand des Umrichters.

Messungen an einem Versuchsaufbau ergeben Spannungsüberhöhungen von bis zum 15fachen der Eingangsspannung.

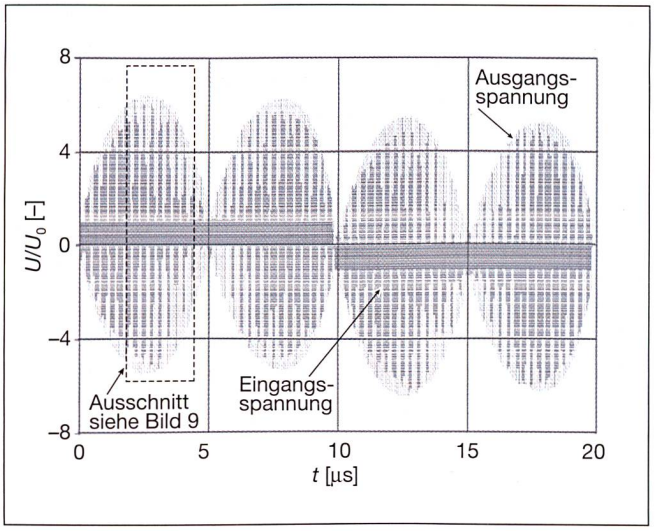


Bild 8 Spannungsverlauf am offenen Kabelende (Ausgangsspannung) bei Speisung mit einer nach dem Pulsweitenverfahren modulierten Eingangsspannung

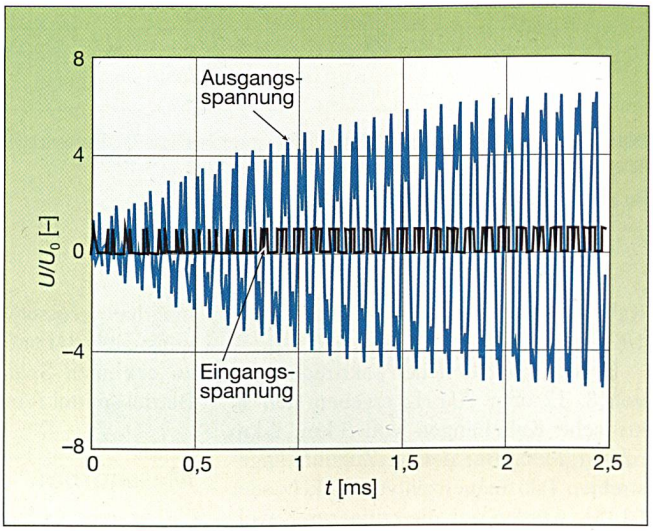


Bild 9 Spannungsverlauf am offenen Kabelende (Ausgangsspannung) bei Speisung mit einer nach dem Pulsweitenverfahren modulierten Eingangsspannung
Ausschnittsvergrösserung aus Bild 8

Bei modernen Umrichtersystemen mit Taktfrequenzen im oberen kHz-Bereich können diese Überspannungen bereits bei Kabellängen unter 1 km auftreten. Eine Reduzierung dieser Überspannungen ist durch Filter an der Last oder am Umrichter möglich, wird jedoch in der Praxis aus Kosten- und Platzgründen oftmals nicht realisiert. So müssen bei der Planung umrichtergespeister Netze oder Lasten die Eigenfrequenzen des Systems berücksichtigt werden. Durch die Reduktion der Taktfrequenz oder das Verändern der Kabellänge können mögliche, durch multiple Reflektionen hervorgerufene Überspannungen vermieden werden. Bei der Erweiterung bestehender Netzkonfigurationen muss ebenfalls darauf geachtet werden, dass die Eigenfrequenz des Systems nicht in der Nähe der Taktfrequenz der Umrichter liegt.

Referenzen

[1] *M. P. Bahrman, J. G. Johansson, B. A. Nilsson:* Voltage Source Converter. Transmission Technologies, IEEE PES General Meeting, Toronto, Kanada, Juli 2003.

[2] *W. Bresch:* IGBT oder IGCT – Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Anwendung, elektronik industrie, Heidelberg, pp. 26–30, 05/2000.

[3] *N. Hörle, K. Eriksson. A. Maeland, T. Nestli:* Electrical supply for offshore installations made possible by use of VSC technology, CIGRE, Paris, August 2002.

[4] *H. Brakelmann, K. Steinbrich:* Frequenzreduzierte Energieübertragung und -verteilung. Bulletin SEV/VSE 93 (2002) Nr.1, pp. 33–38.

[5] *H. Brakelmann, W. Rasquin, K. Steinbrich:* Steel pipe cables with reduced operating frequency. To be published in ETEP Eur. Trans. on Electr. Power (2002).

[6] *K. Steinbrich:* Reduction of Operating Frequency for Power Cables. To be published in ETEP Eur. Trans. on Electr. Power (2002).

[7] *E. Person:* Transient Effects in Application of PWM Inverters to Induction Motors. IEEE IAS Transactions, Vol. 28, No. 5, September/Oktober 1992, pp. 1095–1101.

[8] *M. Berth:* Elektrisch Belastung der Wicklungsisolierung pulsumrichtergespeister Niederspannungsmotoren. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 21 Nr. 247, Düsseldorf, VDI Verlag (1998).

[9] *Z. Peroutka:* Motor Insulation Breakdowns Due to Operation of Frequency Converters. IEEE Bologna Power Tech Conference, Bologna, Italien (2003).

[10] *R. J. Kerkman, D. Leggate, G. Skibinski:* Interaction of Drive Modulation and Cable Parameters on AC Motor Transients. In Conference Rekord of IEEE Industry Applications Conference, 1996, pp. 143-152.

[11] *M. Kizilcay, E. Ermel, S. Demmig:* Computation of surge propagation in a 400-kV XLPE cable by taking the inner semi-conducting layer into consideration. Proceedings of the EEUG Meeting 2000, Wroclaw.

[12] *K. Steinbrich:* Attenuation behaviour of single-core power cables. Veröffentlichung in Vorbereitung.

Angaben zu den Autoren

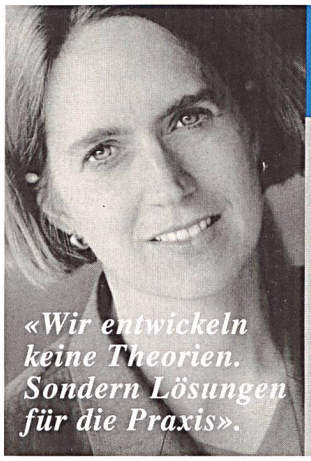
Prof. Dr. ***Heinrich Brakelmann*** ist Professor für elektrische Energieübertragung an der Universität Duisburg-Essen. Zu seinen Forschungsgebieten Energiekabeltechnik sowie Hochstrom- und Hochspannungstechnik hat er drei Bücher sowie mehr als 100 Aufsätze veröffentlicht.
Universität Duisburg-Essen, D-47057 Duisburg, brakelmann@ieea.uni-duisburg.de

Kai Steinbrich arbeitet seit 1999 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Energietransport und -speicherung der Universität Duisburg-Essen. Sein Forschungsgebiet ist das frequenzabhängige Übertragungsverhalten von Energiekabeln unter Berücksichtigung moderner Leistungselektronik in Kabelnetzen.
Universität Duisburg-Essen, D-47057 Duisburg, steinbrich@ieea.uni-duisburg.de

[1] ATP-EMTP: Version Alternative Transients Program des Electromagnetic Transients Program. Programm zur Berechnung elektromagnetischer Ausgleichsvorgänge in elektrischen Netzen.
[2] IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor.
[3] IGCT: Integrated Gate-Commutated Thyristor.
[4] ATPDraw: Grafischer Preprozessor in ATP-EMTP für den Entwurf von Schaltungen.

Les surtensions sur câbles alimentés par convertisseurs

Les convertisseurs de fréquence modernes à circuit de tension intermédiaire provoquent souvent en pratique des surtensions sur la charge. Dans les systèmes à longs câbles en particulier, on mesure des tensions de 3 à 4 fois plus élevées que la tension d'entrée. De nombreux rapports relatifs à ces surtensions transitoires montrent que celles-ci dépendent d'un grand nombre de paramètres différents. L'article analyse trois paramètres essentiels: l'impédance caractéristique du convertisseur, la longueur des câbles et la fréquence. Sur la base de mesures effectuées sur un montage de câble de convertisseur et au moyen du programme de simulation ATP-EMTP, il expose les causes des états critiques de service en cas de surtensions extrêmes ainsi que des possibilités de les éviter.



FICHTNER
Swiss Utility Partners

Hier bieten wir Lösungen für die Ver- und Entsorgungsbranche:

- **Unternehmensberatung**
- **IT**
- **Engineering**

Die Fichtner Gruppe in Zahlen:
Weltweit 200 laufende Unternehmungs- und IT-Beratungs-Mandate; Seit 1922 in der Ver- und Entsorgung tätig; über 800 qualifizierte MitarbeiterInnen

Fichtner
Swiss Utility Partners AG
Postfach · Dorfstrasse 53
8105 Regensdorf-Watt

Tel. 01 871 21 85
Fax 01 871 21 86
E-Mail: info@fichtner.ch

SYSTEMLÖSUNGEN IM ENERGIEMARKT

Publikumsliebling sein

ENERMET stattet Marktteilnehmer mit einem kompletten Orchester aus, wie es die neuen Dirigenten im Strommarkt brauchen. Unsere erfolgreiche Rundsteuerung wird mit neuen Instrumenten zu einem harmonischen Zusammenspiel ergänzt. So wird Last- und Energiedatenmanagment zu der trendgerechten Erfolgskomposition, die ihre Kunden begeistert. Mit unseren Marktkenntnissen werden Sie Publikumsliebling.

Instruments for a new Market

ENERMET

ENERMET AG ■ UNDERMÜLISTRASSE 28 ■ CH-8320 FEHRALTORF
TEL. 01/954 81 11 ■ FAX 01/954 81 01 ■ INTERNET www.enermet.ch