

HGÜ : neue Möglichkeiten in den elektrischen Übertragungsnetzen

Autor(en): **Käuferle, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **65 (1974)**

Heft 26

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915489>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

HGÜ – neue Möglichkeiten in den elektrischen Übertragungsnetzen *)

Von J. Käuferle

621.316.12.027.3

Ausgehend von grundsätzlichen Betrachtungen über die unterschiedlichen Eigenschaften von Drehstrom- und Gleichstromübertragungssystemen werden potentielle Möglichkeiten aufgezeigt, die HGÜ ausser zur Übertragung von Energie auch zur Verbesserung des Netzbetriebes heranzuziehen. Die neuesten Entwicklungstrends bei der Geräte- und auch der Anlagentechnik werden ebenfalls kurz vorgestellt. Es zeigt sich, dass die HGÜ durchaus auch in stark vermaschten Netzen mit kleinen Übertragungsentfernungen in naher Zukunft technisch und wirtschaftlich interessante Anwendungsgebiete haben wird.

En partant de considérations fondamentales sur les propriétés différentes du système de transport d'énergie en courant triphasé et de celui en courant continu, on montre qu'il est également possible d'utiliser le transport en courant continu à haute tension pour améliorer l'exploitation du réseau. Les tendances les plus récentes en technique des appareils et des installations sont brièvement indiquées. Elles montrent que, sur de petites distances, le transport en courant continu à haute tension pourrait bientôt trouver, aussi dans des réseaux très maillés, des emplois techniquement et économiquement intéressants.

1. Einführung

Die Hochspannungsgleichstrom-Übertragung (HGÜ) kann heute in der modernen elektrischen Energieübertragung durchaus als etablierte Technik gelten. Sie wird in ihrer jetzigen Form seit etwa 20 Jahren kommerziell eingesetzt. In dieser Zeit hat sie eine stürmische Entwicklung durchgemacht, die zum einen gekennzeichnet ist durch die Steigerung der Leistung (es sind heute Anlagen bis 2000 MW im Bau) und zum andern durch die Einführung der wartungsarmen und wesentlich zuverlässigeren Thyristorventile in den letzten Jahren. Wieso also der Term «neue Möglichkeiten» im Titel?

Die HGÜ wurde bisher ausschliesslich in ihren klassischen Anwendungsgebieten

– Fernübertragung mit Freileitung
– See- und Landkabelübertragung
– Kupplung von Netzen verschiedener Frequenz
eingesetzt. Hier bietet die HGÜ wegen der geringeren Leitungs- bzw. Kabelkosten technische und wirtschaftliche Vorteile bzw. bietet die einzige realisierbare technische Lösung. Auf Grund ihrer systemtechnischen Eigenschaften bietet die HGÜ jedoch darüber hinaus Vorteile für den Netzbetrieb, die bisher nur teilweise und auch dann nur nebenher genutzt wurden. Diese Eigenschaften zusammen mit den Entwicklungstrends, die zu einfacheren und damit kostengünstigeren und zuverlässigeren HGÜ-Anlagen führen, machen ihren Einsatz auch in stark vermaschten Netzen mit relativ geringen Übertragungsentfernungen, wie sie in Europa und teilweise in den USA die Regel sind, interessant.

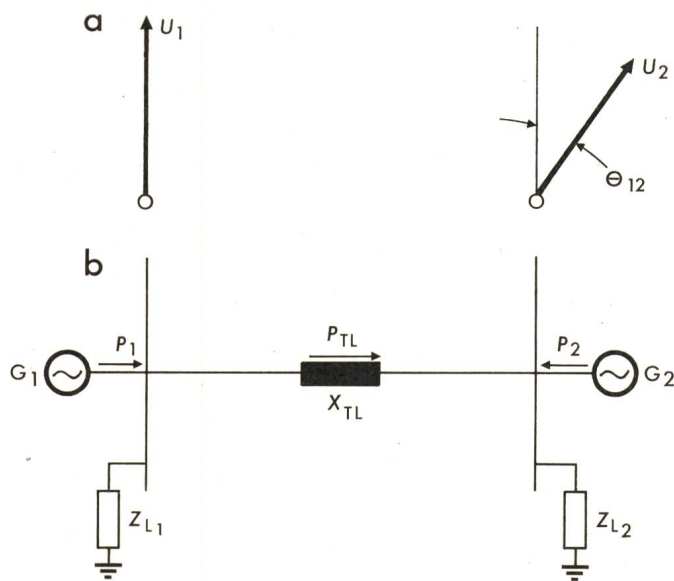


Fig. 1 Lastfluss (Drehstromsystem)
a Zeigerdiagramm der Sammelschienenspannungen
b Schema des Übertragungssystems

$$P_1 = \frac{U_1^2}{Z_{L1}} + P_{TL} \quad P_{TL} = \left(\frac{U_1 U_2}{X_{TL}} \right) \sin \theta_{12}$$

$$P_2 = \frac{U_2^2}{Z_{L2}} - P_{TL}$$

U_1 Spannung SS 1 P_{TL} Übertragungsleistung
 U_2 Spannung SS 2 P_1, P_2 Generatorleistungen
 X_{TL} Leitungsreaktanz Z_{L1}, Z_{L2} Lastimpedanzen
 θ_{12} Leitungswinkel

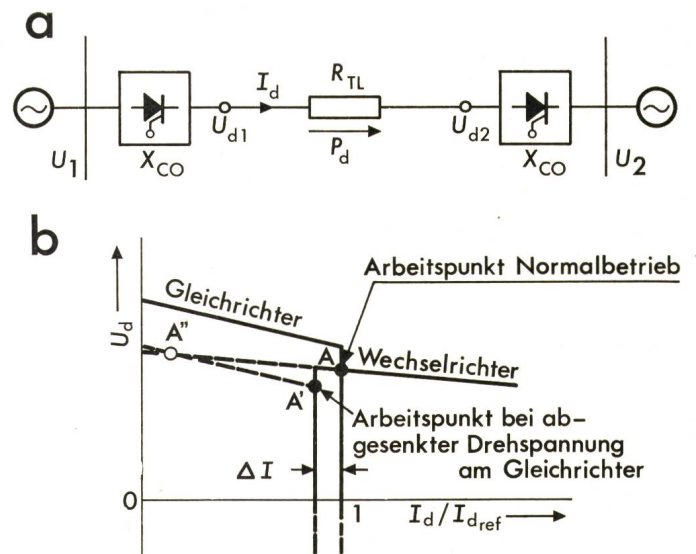


Fig. 2 Lastfluss (Gleichstromsystem)
a Schema des Übertragungssystems
b UI-Kennlinien des Übertragungssystems

$$P_{d2} = \left(\frac{U_{d1} - U_{d2}}{R} \right) U_{d2}$$

$$U_{d1} = U_1 \cos \alpha - I_d X_{c0}$$

$$U_{d2} = U_2 \cos \gamma - I_d X_{c0}$$

X_{c0} Kommutierungsreaktanz ΔI Marginalstrom
 I_d Gleichstrom R_{TL} Leitungswiderstand
 A, A', A'' Arbeitspunkte P_d Gleichstromleistung
 U_{d1} Gleichspannung am Gleichrichter U_{d2} Gleichspannung am Wechselrichter
 α Steuerwinkel γ Löschwinkel
 I_{dref} GS-Sollwert

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

*) Vortrag, gehalten am 19. Februar 1974 im Rahmen des «Seminars Hochspannungstechnik» des Laboratoriums für Hochspannungstechnik der ETH Zürich.

2. Systemvergleich

Vergleicht man die grundsätzlichen Eigenschaften der beiden Systeme bezüglich Lastfluss (Fig. 1 und 2), Stabilität (Fig. 3) und Blindleistung/Spannungshaltung (Fig. 4...7), so ergibt sich folgendes Bild [1] 1):

Drehstrom	Gleichstrom
Lastfluss:	
<ul style="list-style-type: none"> - wird hauptsächlich bestimmt durch Phasenwinkel der Spannungen - transient selbstregelnd - stationär geregelt - unempfindlich auf Spannungshaltung 	<ul style="list-style-type: none"> - wird bestimmt durch Gleichspannung und damit durch die Regelung - sehr schnell regelbar, auch transient - von Verhältnissen an den Anschlusspunkten weitgehend unabhängig - empfindlich auf kurzzeitige Spannungseinbrüche, erfordert spezielle Regelung
Stabilität:	
<ul style="list-style-type: none"> - synchrone Verbindung, deshalb Stabilitätsprobleme - Verbesserung durch kleinere Reaktanzen 	<ul style="list-style-type: none"> - asynchrone Verbindung, keine Stabilitätsprobleme - kann Stabilität des Drehstromsystems durch schnelle Lastflussregelung verbessern
Blindleistung, Spannungshaltung:	
<ul style="list-style-type: none"> - Blindleistungsverbrauch abhängig von Reaktanzen und Übertragungsentfernung - Spannung im Netz relativ flexibel - Blindleistung wird durch Generatoren und zusätzliche Erzeuger geliefert - wegen fehlender Regelbarkeit Kondensatoren begrenzt einsetzbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Blindleistungsverbrauch unabhängig von Übertragungsentfernung - Blindleistungsverbrauch der HGÜ kann zusätzlich zur Wirkleistung geregelt werden - Einsatz zur Verbesserung der Spannungshaltung möglich - Blindleistung wird vorwiegend durch zusätzliche Erzeuger geliefert - wegen Regelbarkeit der HGÜ können eher Kondensatoren eingesetzt werden

Bei näherer Betrachtung zeigt sich, dass beide Systeme ihre spezifischen Stärken und Schwächen aufweisen. Es liegt nahe, dass in einem solchen Fall die Kombination der Systeme zu einer Verbesserung des Verhaltens des Gesamtsystems führt. Bei den drei Grundeigenschaften führt das zu folgendem Ergebnis:

- **Lastfluss:** Wegen der weitgehend willkürlichen Regelbarkeit des HGÜ-Lastflusses, unabhängig von den Verhältnissen an den verbundenen Netzknoten, kann die HGÜ den Lastfluss innerhalb eines Netzes verbessern helfen [2] (Beispiel North Dakota)²⁾. Bei einer Kupplung von Netzen und Netzteilen kann die Übergabeleistung ohne Eingriffe in den Lastfluss der Teilnetze beliebig geregelt und auch begrenzt werden (Aushilfe in Notfällen). (Beispiel Kanalübertragung.)

- **Stabilität:** Da der HGÜ-Lastfluss nicht nur willkürlich, sondern auch schnell (< 20 ms) geregelt werden kann, erlaubt die HGÜ die Verbesserung der Stabilität von parallelen Drehstromübertragungen (Beispiel Pacific Intertie)³⁾ und Netzen, in die sie einspeist respektive aus denen sie Leistung entnimmt [3]. Vor allem die Möglichkeit der Stabilisierung von schwachen Verbindungsleitungen zu Nachbarnetzen ist interessant [Beispiel Nelson River]³⁾.

- **Blindleistung/Spannungshaltung:** Hier spielt vor allem eine Rolle, dass die HGÜ Wirkleistung einspeisen kann, ohne die

1) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

2) Ausgeführte oder in Ausführung befindliche Anlagen.

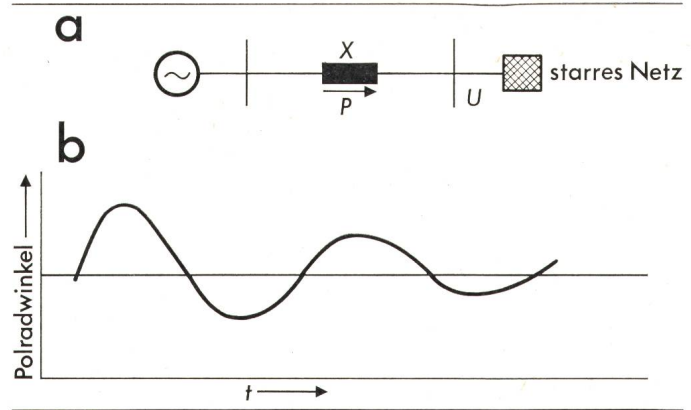


Fig. 3 Stabilität (Drehstromsystem)

a stationärer Betrieb:

$$P = \left(\frac{EU}{X + X_d} \right) \sin \theta_0$$

b Polradschwingungen:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left(\frac{T_\theta}{T_a} \right) \frac{d\theta}{dt} + \frac{\omega}{T_a} \left(\frac{EU}{X + X_d'} \right) (\cos \theta_0) \theta = 0$$

Dämpfungs- Moment	Synchronisierendes Moment
U Netzspannung	P Leistung
θ Polradwinkel	T _a Anlaufzeitkonstante
θ ₀ stationärer Polradwinkel	X _d Generatorlängsreaktanz
ω Kreisfrequenz	t Zeit
X Leitungsreaktanz	T _θ Dämpfungszeitkonstante
E Polradspannung	X _{d'} transiente Generator- Längsreaktanz

Kurzschlussleistung zu erhöhen. Ausserdem lässt sich die HGÜ-Regelung zusätzlich zur Verbesserung der Spannungshaltung heranziehen (Blindleistungsregelung) [4; 5].

3. Entwicklungstrends

Die ersten HGÜ-Anlagen waren in ihrem Aufbau relativ kompliziert. Die Gründe dafür sind vielschichtig. Die wichtigsten sind:

- begrenzte Gleichspannung der Quecksilberdampfstromrichter;
- umfangreicher Hilfsbetriebsbedarf;
- komplexe Geräte und Systeme für Steuerung, Regelung und Schutz.

Die meisten dieser Gründe sind durch den Einzug der Halbleitertechnik (Thyristoren für den Hauptstromkreis und

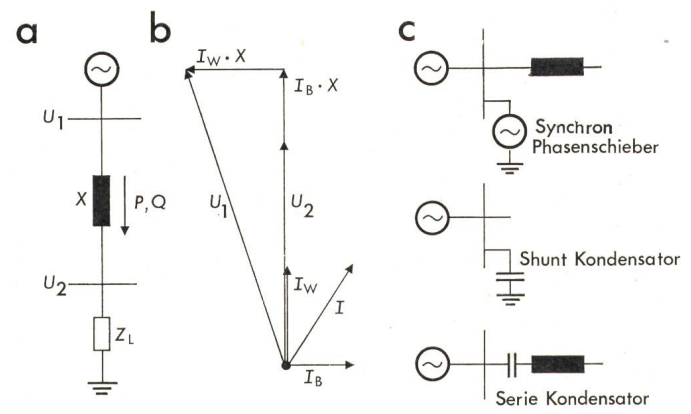


Fig. 4 Blindleistung und Spannungshaltung (Drehstromsystem)

a, b Blindleistung und Spannungsabfall

c Blindleistungskompensation

U₁ Spannung SS 1 I_w Wirkstrom Q Blindleistung

U₂ Spannung SS 2 I_B Blindstrom X Reaktanz

I Scheinstrom P Wirkleistung Z_L Lastimpedanz

integrierte Schaltungen für Steuerung, Regelung und Schutz) in die HGÜ-Technik gegenstandslos geworden. Der Entwicklungstrend geht deshalb bei der HGÜ-Technik eindeutig in Richtung Vereinfachung von Schaltung, Geräten und Hilfsbetrieben. Einige Hauptpunkte sollen im folgenden näher beleuchtet werden.

3.1 Anlagentechnik

Thyristorventile für HGÜ sind aus vielen in Reihe geschalteten Einzelthyristoren aufgebaut. Ausserdem werden je nach gefordertem Strom und Schutzkonzept zwischen 1 und 4 Thyristoren parallel geschaltet. Zusammen mit dem Wegfall der Begrenzung der Gleichspannung ergibt sich daraus eine gute Anpassungsfähigkeit an die Anlagendaten, die nur durch gewisse wirtschaftliche Grenzen eingeschränkt wird. Es ist deshalb möglich, statt einer Reihenschaltung von bis zu vier Brücken auf der Gleichstromseite die Stromrichterbrücken zu 12-puls-Gruppen für die gesamte Polspannung zusammenzufassen und wenn nötig solche 12-puls-Gruppen parallel zu schalten (Fig. 8). Es müssen dann nur Filter für die 12-puls-Oberwellen vorgesehen werden. Ausserdem ergibt sich ein sehr einfacher Anlagenaufbau ohne Gleichstromschaltanlage und mit reduziertem Erdschlussrisiko im Stationsbereich.

Die Anlagentechnik wird weiterhin wesentlich von der Frage Freiluft- oder Innenraumtechnik beeinflusst. In Fig. 9 sind schematisch die Ausführungsvarianten angedeutet. Bei der Freiluftausführung ist das Thyristorventil in einem Kessel unter Öl eingebaut. Eine Ausführung mit geerdetem

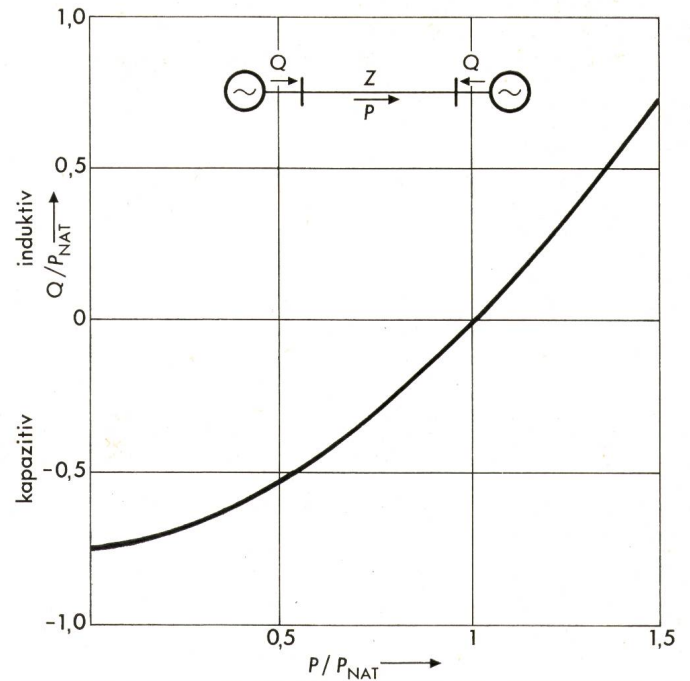


Fig. 6 Blindlastcharakteristik einer Leitung (Drehstromsystem)

P Wirkleistung P_{NAT} natürliche Leistung
 Q Blindleistung

Tank stösst aber auf praktische Schwierigkeiten, weil wegen der hohen Gleichspannungen gegen Erde Isolierbarrieren zwischen Aktivteil und Kessel notwendig sind, die den Zugang zu den Thyristoren erschweren (Wartung). Die Va-

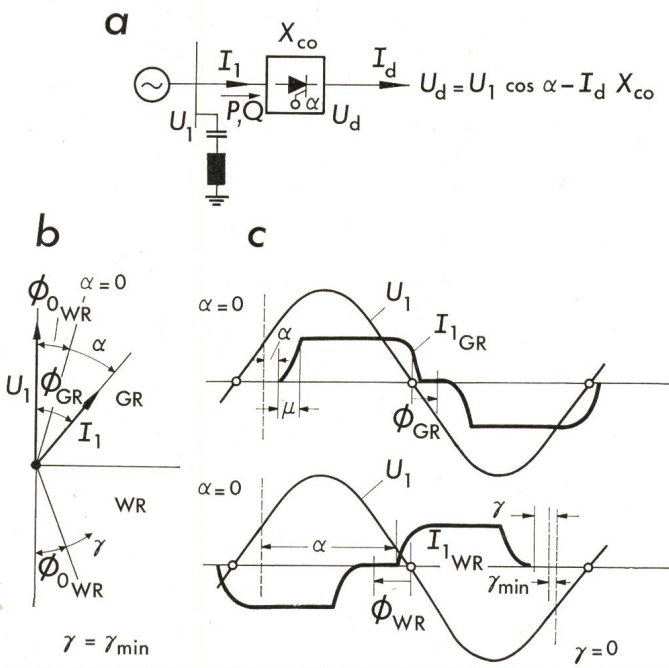


Fig. 5 Wirk- und Blindlastverhalten auf der Drehstromseite (im Gleichstromsystem)

a Schaltchema

b Zeigerbild

c Linien-Diagramm

$\Phi_{0GR} = f(I_d, X_{co})$

$\Phi_0 = f(I_d, X_{co}, \gamma_{min})$

U_1 Sammelschienenspannung

Φ Verschiebungswinkel

Φ_0 minimaler Verschiebungswinkel

GR Gleichrichter

WR Wechselrichter

$Q = U_1 I_1 \sin \Phi$

$P = U_1 I_1 \cos \Phi$

I_1 Wechselstrom in der

Zuleitung der Strom-

richterstation

α Steuerwinkel (GR)

γ Löschwinkel

μ Überlappungswinkel

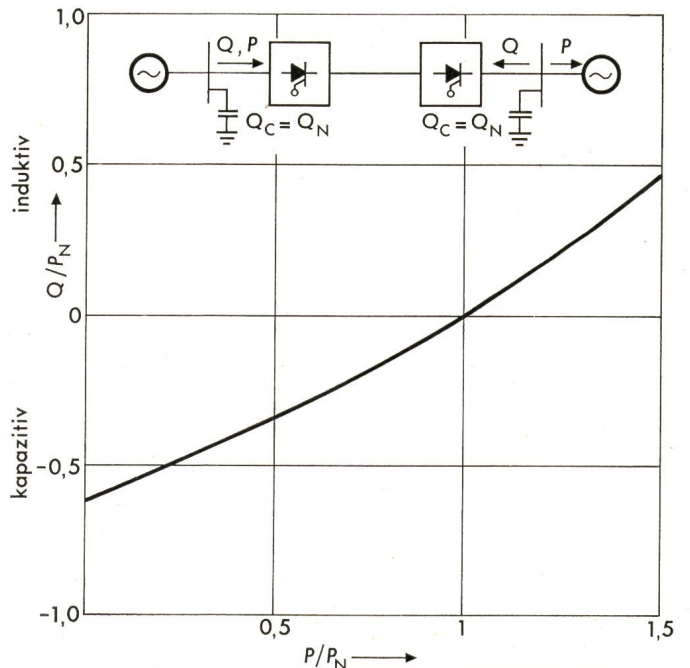


Fig. 7 Blindlastcharakteristik einer HGÜ-Station

P_N Nennleistung der Stromrichterstation

Q_C Blindleistung der Kondensatorbatterie

Q_N Blindleistung im Nennbetrieb

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 6

riante mit den Ventilen auf Isoliertischen hat ausserdem den Vorteil, dass alle Ventile der Anlage identisch sind (Reserve-Schaltung). Innenraumanlagen mit Thyristorventilen werden heute vornehmlich so ausgeführt, dass die Durchführungen von Transformator und Glättungsdrosselspule direkt in die Ventilhalle ragen und die Halle von Schalt- und Peripheriegeräten frei bleibt. Die Innenraumvariante profitiert besonders von der 12-puls-Schaltung, da sich hier der einfachere Hallenaufbau bezüglich Einsparungen und Sicherheit stärker in den Kosten auswirkt als bei Freiluftanlagen.

3.2 Schutz

Beim Überstromschutz der Thyristorventile müssen alle möglichen Fehlerfälle berücksichtigt werden, wobei sich die Überströme bei Fehlern innerhalb des Stromrichterbereichs gegenüber Fehlern auf der Gleichstromleitung um etwa den Faktor 3...5 unterscheiden (Fig. 10 und 11). Man geht deshalb bei Innenraumanlagen dazu über, durch einen besonders einfachen und sicheren Aufbau innerhalb der Ventilhalle innere Fehler ganz auszuschliessen. Der Überspannungsschutz wird mit Hilfe von Überspannungsableitern bewerkstelligt, wobei ebenfalls auf eine Anordnung Wert gelegt wird, die einen optimalen Schutz mit einer grösstmöglichen Sicherheit bei Ableiterdefekten verbindet. Auch bezüglich des Überspannungsschutzes bieten Innenraumanlagen gewisse Vorteile, da die bei inneren Fehlern auftretenden steilen Überspannungen reduziert werden bzw. wegfallen.

3.3 Gerätetechnik

Die Trends in der Gerätetechnik werden ebenfalls durch die bereits beschriebenen Zusammenhänge bestimmt. In Kurzform ergibt sich das folgende Bild:

HGÜ-Ventile

- Thyristorventile
- Freiluftvariante
 - bei grossen Leistungen und Fernübertragungen
 - bei kompakten Kurzkupplungen
- Innenraumausführung
 - bei ungünstigem Klima
 - in Stadtnähe
 - einfachere Dimensionierung
- Fernere Zukunft: Kompaktventile (SF₆-Kapselung)

HGÜ-Filterkreise und Blindleistungskompensation

- Trend zu 12-puls-Schaltungen
- Trend zu Filtern mit kleiner Güte wegen geringerer Frequenzempfindlichkeit
- Trend zu reinen Hochpassfiltern
- Trend zu relativ grossen Filtern
- damit Trend zu statischen Kompensatoren anstatt der Synchronphasenschieber

HGÜ-Transformatoren und Glättungsdrosselspulen

- Trend zu 3phasigen Einheiten bei Transformatoren
- Vorschlag der Verlegung der Glättungsdrosselspule in die Erdseite des Gleichstromkreises

Auch hier trifft man also auf das generelle Bemühen um eine möglichst einfache, sichere und zuverlässige Technik und damit um eine weitere Kostensenkung bei der HGÜ.

4. Neue Anwendungsmöglichkeiten

Die in den stark vermaschten europäischen und amerikanischen Netzen auftretenden Übertragungsprobleme [6; 7; 8] wie:

- Lastflussprobleme
- Trassenprobleme
- Stabilitätsprobleme
- zu hohe Kurzschlussleistung

lassen sich ohne Zweifel auch in den nächsten Jahrzehnten mit den Mitteln der Drehstromtechnik lösen. Die bis heute bekannten Mittel haben jedoch im allgemeinen den Nachteil, dass sie eines der Probleme auf Kosten der restlichen bekämpfen. Dadurch entsteht die Gefahr, dass entweder die Wirtschaftlichkeit oder die Betriebssicherheit oder das Betriebsverhalten des Netzes unzumutbar beeinträchtigt wird. Hier kann die HGÜ-Technik in die Bresche springen, wenn sie genügend früh in die Netzplanung mit einbezogen werden kann. Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, die auch in Zukunft ausschlaggebend sein müssen für den Netzausbau, muss dann natürlich der positive Einfluss der HGÜ auf Netzsicherheit und Betriebsverhalten ebenfalls in die Waagschale gelegt werden. Die damit zusammenhängenden Bewertungsfragen lassen sich jedoch nur schwer auf eine rationale Basis stellen. Eine qualitative Übersicht über die potentiellen technischen Möglichkeiten des Einsatzes einer HGÜ in einem stark vermaschten Netz ist die folgende:

HGÜ-Kraftwerkseinspeisung

Ermöglicht Einspeisung von Kraftwerkleistung mit folgenden Vorteilen:

- keine Anhebung der Kurzschlussleistung
- Verkabelung weniger problematisch als mit Drehstrom

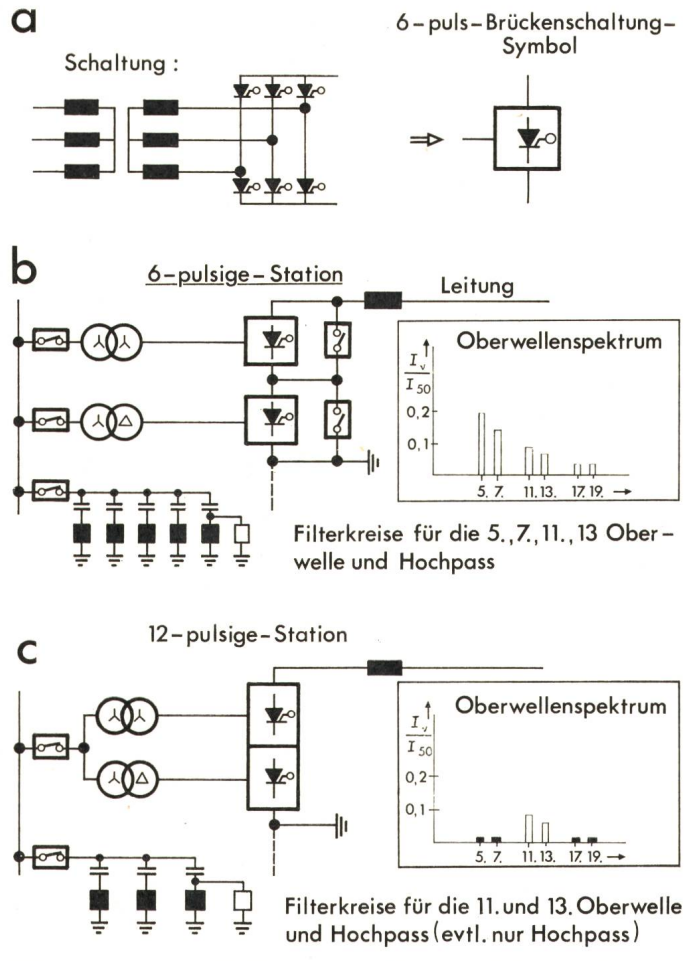


Fig. 8 Schaltungen der HGÜ-Anlagentechnik
 a Grundschaltung b 6pulsige HGÜ-Station
 c 12pulsige HGÜ-Station

- sehr gute Leistungsregelung
- Unterstützung der Spannungshaltung durch die HGÜ möglich.

HGÜ-Netzkupplung

Erlaubt die Kupplung von Netzen mit unterschiedlicher Frequenz oder Frequenzregelung und von Teilnetzen in Netzen mit zu hoher Kurzschlussleistung:

- keine Erhöhung der Kurzschlussleistung
- Austauschleistung genau und schnell regelbar (auch transient)
- Begrenzung der Austauschleistung in Notfällen möglich
- Verbesserung der Stabilität der Teilnetze.

HGÜ-Stadteinspeisung

Ermöglicht die Einspeisung von Leistung in Ballungsgebiete:

- mit wesentlich schmaleren Trassen bei Kabel- und bei Freileitung
- mit billigeren Kabeln
- ohne Erhöhung der Kurzschlussleistung
- mit sehr guter Leistungsregelung.

Die oft geäußerten Einwände gegen den Einsatz der HGÜ wie: sie sei zu teuer, sie sei nicht zuverlässig genug, sie stelle ein artfremdes Element dar in einem Drehstromnetz,

sie erzeuge zusätzliche Komplikationen durch Oberwellen, Telefonstörungen usw., mögen zum Teil für die ersten HGÜ-Anlagen zutreffend gewesen sein. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch erstens, dass die meisten durch die Entwicklungstrends der HGÜ-Technik zusehends abgeschwächt werden und zweitens, dass einige der Probleme durch die zunehmende Verbreitung leistungsstarker Stromrichter sowieso auf die Energieversorgungsunternehmen zukommen. Zu den Kosten kann generell nur gesagt werden – genaue Angaben hängen zu stark von den jeweiligen Bedingungen ab, um allgemeine Aussagen zu erlauben –, dass heute trotz der allgemeinen Teuerung HGÜ-Stationen zu Preisen angeboten werden können, die wesentlich (20...40 %) unter dem Niveau von 1968...1970 liegen.

5. Schlussfolgerung

Die HGÜ-Technik sollte wegen der ihr innewohnenden potentiellen Möglichkeiten auch für den Einsatz in stark vermaschten Netzen in Betracht gezogen werden. Damit liessen sich bereits ab den frühen 80er Jahren mit einiger Sicherheit Vorteile beim Netzausbau, wie

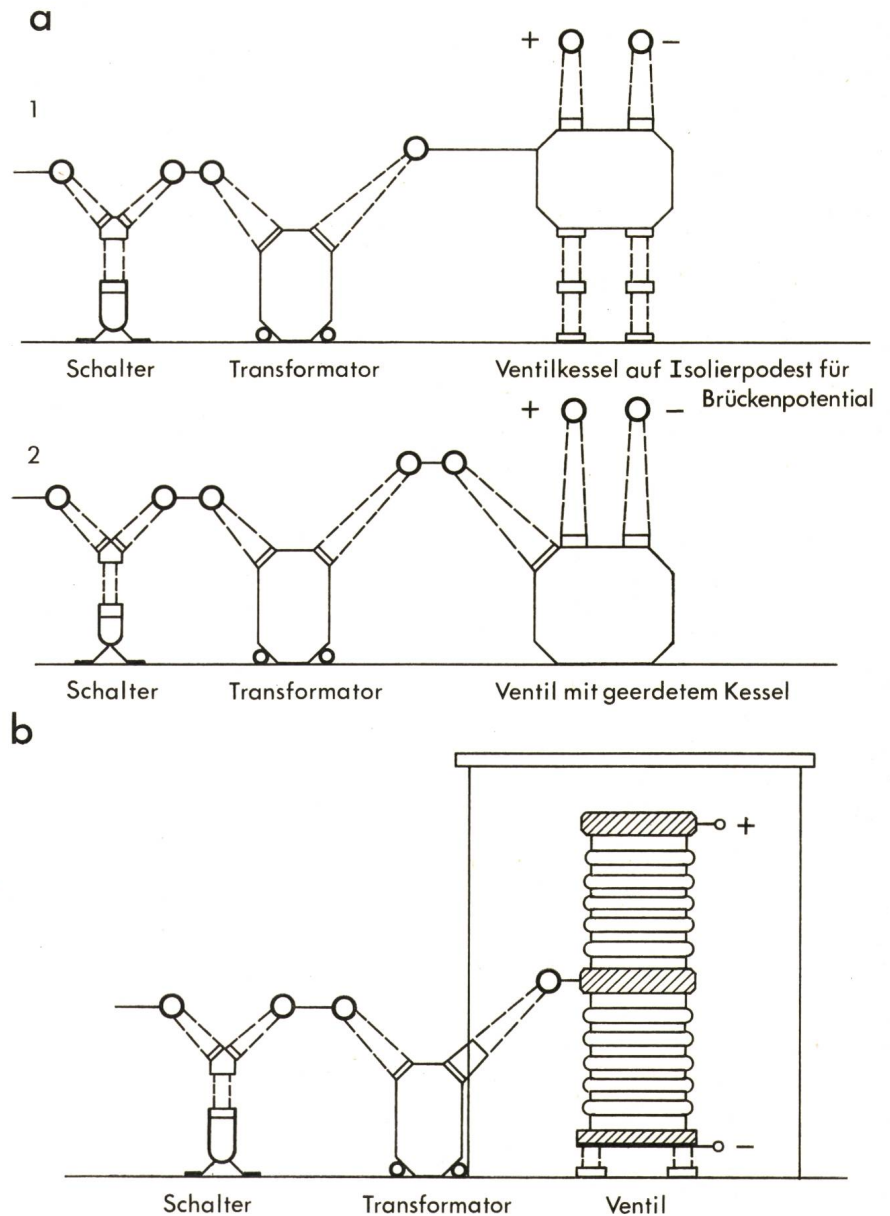


Fig. 9

Freiluft- (a) oder Innenraumausführung (b) der HGÜ-Anlagentechnik

Es ist jeweils ein Zweig einer 6-puls-Brücke mit Doppelpfeilventil dargestellt

a Freiluftausführung

- 1 mit Ventilkessel auf Potential
- 2 mit geerdetem Ventilkessel

b Innenraumausführung

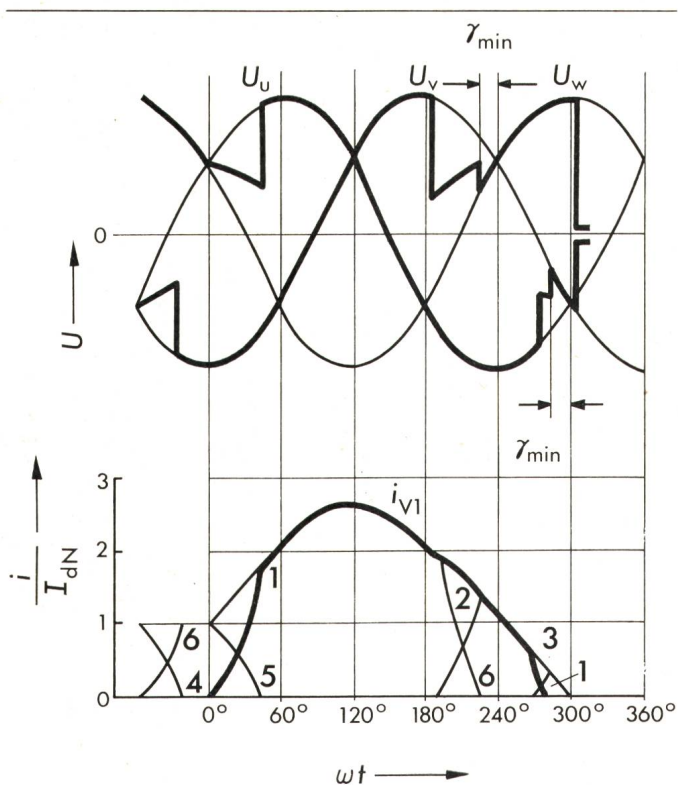


Fig. 10 Ventilüberstrom beim Leitungsfehler (optimierter Stromregler)

U Spannung i/I_{dN} bezogener Strom im Gleichstromkreis
 i_{V1} Strom im Ventil 1 γ Löschwinkel
 ωt Zeit im Winkelmass

- Herausschieben der Einführung einer höheren Spannungsebene im Verbundnetz
- kontrollierte Aushilfe in Notfällen
- verbesserte Lastflussregelung
- Begrenzung der Kurzschlussleistung in Teilnetzen
- bessere Trassenausnutzung in Ballungsgebieten

realisieren. Die dazu nötige Technik ist heute verfügbar und erprobt.

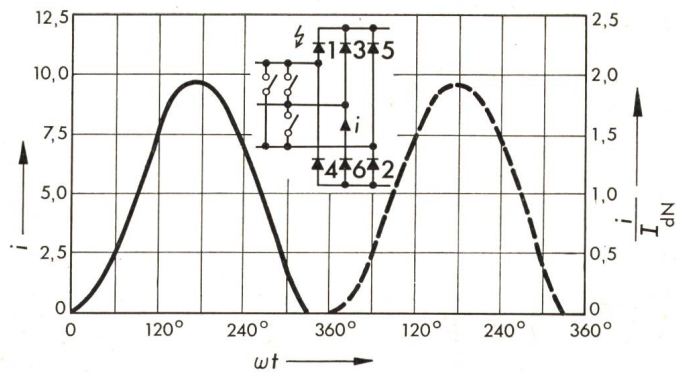


Fig. 11 Kurzschlussstrom in einem Ventil eines HGÜ-Gleichrichters bei innerem Fehler

i Momentanwert des Stromes
 I_{dN} Nenngleichstrom
 ωt Zeit in Winkelmass

Literatur

- [1] J. Käufeler: Using dc links to enhance ac system performance. Economy, stability, reliability - desirable goals for transmission systems - are improved by using dc links. IEEE Spectrum 9(1972)6, p. 31...37.
- [2] I. E. Barker and B. A. Carré: Load flow calculations for systems containing HVDC links. Conference on high voltage D. C. transmission 19th...23rd september 1966. Part I: Contributions. IEE Conference Publication -(1966)22/1, p. 115...118.
- [3] J. Käufeler et E. Rumpf: L'influence sur la stabilité de réseaux triphasés d'installations additionnelles de transmission d'énergie à courant continu à haute tension ainsi que du réglage de celles-ci. Rapport Cigré 32-15, 1970.
- [4] K. W. Kanngiesser and H. P. Lips: Control methods for improving the reactive power characteristic of HVDC links. Trans. IEEE PAS 89 (1970)6, p. 1120...1125.
- [5] J. Käufeler and C. Beriger: Possibilities to control the a. c. busbar voltage by the reactive power of an HVDC terminal. International Conference on high voltage DC and/or AC power transmission 19...23 november 1973. IEE Conference Publication -(1973)107, p. 75...79.
- [6] H. G. Busch e. a.: L'importance du niveau de tension de 380 kV pour les réseaux en Allemagne de l'Ouest. Rapport Cigré 32-04, 1970.
- [7] H. H. Begent: Transmission in the 1980's. Electr. Rev. 189(1971)-, p. 301...302.
- [8] Soaring duties call for current limiting. Electr. Wld. 180(1973)8, p. 90...91.

Adresse des Autors:

J. Käufeler, BBC AG Brown, Boveri & Cie., 5400 Baden.