Entwurf und Betrieb von grossen Gleichrichteranlagen

Autor(en): **Widmer, H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **56 (1965)**

Heft 15

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-916391

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

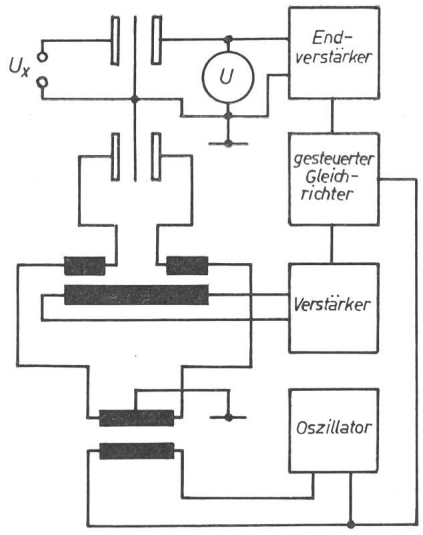


Fig. 9
Selbstkompensierendes Elektrometer als Messwertwandler

Dieses Gerät misst elektrostatische Kräfte durch Kompensation mit Hilfe einer Spannung. Dazu besitzt das Elektrometer einen spannbandgelagerten, sehr leichten metallisierten Glimmerflügel, der zwischen zwei Elektrodenpaaren spielt. Im einfachsten Anwendungsfall ist der Flügel geerdet. Das eine Elektrodenpaar dient zur Messung, das andere zur Lagenanzeige des Flügels.

Gemäss Fig. 9 bildet das zweite Elektrodenpaar zusammen mit dem Flügel einen Zweig einer Brücke. Der andere wird durch die Sekundärwicklung eines Differentialtransformators gebildet, den man mit Hochfrequenz von etwa 1 MHz erregt. Bei Mittelstellung des Flügels besteht zwischen der Mittelanzapfung des Differentialtransformators und Masse keine Hochfrequenzspannung. Verdreht sich der Flügel, dann tritt ein Signal auf, das über einen Verstärker und phasenempfindlichen Gleichrichter in bekannter Weise in eine Gleichspannung umgesetzt wird. Diese wird nochmals verstärkt und gleichzeitig dem Messinstrument sowie der einen Seite des zur eigentlichen Messung dienenden Elektrodenpaares zugeführt.

Zwischen die gegenüberliegende Elektrode und Masse wird die zu messende Spannung gelegt. Durch eine Diode im Ausgang des Verstärkers wird dafür gesorgt, dass stets nur eine Polarität der Ausgangsspannung zur Wirkung kommt, weil andernfalls Instabilität eintreten kann.

Durch das elektrische Feld der angelegten Spannung wird der Flügel in der Figur entgegen dem Uhrzeiger verdreht. Dadurch entsteht auf der anderen Seite eine kompensierende Spannung und mit ihr eine Kraft, die den Flügel in entgegengesetzter Richtung zu drehen bestrebt ist. Im Gleichgewicht sind der Effektivwert der zu messenden Spannung und der Betrag der kompensierenden Gleichspannung einander sehr nahe gleich. Es kann eine Messgenauigkeit von 10^{-4} für Effektivwerte von Spannungen der Grössenordnung von 10 V erreicht werden.

3. Zusammenfassung

Es werden sechs Beispiele für die Anwendung regelungstechnischer Prinzipien bei physikalischen Messungen besprochen. Das erste ist ein unsteter Durchflussregler, bei dem als Fühler eine Stauscheibe und als Vergleichsgrösse die Rückstellkraft einer Feder dient. Das zweite wird durch einen stetig regelnden Luftthermostaten dargestellt, der als Fühler ein Widerstandsthermometer in einer Brückenschaltung als Wärmeerzeuger besitzt. Ähnlich ist der Regelkreis aufgebaut, mit dessen Hilfe im dritten Beispiel ein Widerstandsanemometer zum schnellanzeigenden Mess- und Registrierinstrument ausgestaltet werden kann, nur sind hier Fühler und Heizleiter in einem einzigen Element vereinigt. Durch Anwendung zweier Regelkreise, eines unsteten mit programmgesteuerter Führungsgrösse und eines steten, der lediglich eine Temperaturdifferenz auf Null zu halten hat, gelingt der Aufbau eines registrierenden adiabatischen Kalorimeters. Diesem vierten Beispiel wird als fünftes ein mit selbsttätiger Regelung ausgestaltetes isothermisches Kalorimeter gegenübergestellt. Hier ist die Funktionstüchtigkeit des Regelkreises mit einem Verzicht auf streng isothermisches Arbeiten erkauft. Schliesslich wird im letzten Beispiel ein selbstkompensierendes elektrostatisches System beschrieben, das ebensogut als Regler wie als Messgerät aufgefasst werden kann.

Literatur

[1] *F. Maak* und *T. Gast:* Eine Anlage zur Klimatisierung von Luftströmen für Staubuntersuchungen. Staub 19(1959)7, S. 255...258.

[2] *F. Mechel:* Beeinflussung einer Strömung durch ein Schallfeld. Physikalische Verhandlungen 9(1964), S. 268...278.

[3] *T. Gast:* Messung der spezifischen Wärme von Kunstharz-Pressmassen bei stetig ansteigender Temperatur. Z. VDI 100(1958)23, S. 1081...1085.

[4] *L. L. van Zyl:* Isothermal Calorimeter with Sample Temperature Control. J. sci. Instruments 41(1964)4, S. 197...202.

Adresse des Autors:
Prof. Dr.-Ing. *Th. Gast,* Pfleidererstrasse 7, Berlin 45.

Entwurf und Betrieb von grossen Gleichrichteranlagen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 28. April 1965 in Zürich,
von *H. Widmer,* Zürich

621.314.6

Grossen Gleichrichteranlagen begegnet man vornehmlich in Fabrikationsstätten der Elektrochemie und der Elektrometallurgie. Chlor, Natriumchlorat, Aetznatron, Aetzkali, Natrium, Zink, Blei, Mangan, Titan, Aluminium, Magnesium und viele andere Stoffe werden in Elektrolysen hergestellt. Kupfer und hochreines Aluminium (um nur diese zu nennen) werden auf elektrolytischem Wege raffiniert, d. h. gereinigt.

Jede dieser Elektrolysearten stellt ihre spezifischen Bedingungen an den Anlagebau. Es würde den Rahmen des Referates sprengen, wollte man auf jede dieser Elektrolysen eintreten. Es seien daher zwei typische Vertreter herausgegriffen: die Aluminiumelektrolyse und die Chlor/Alkalielektrolyse mit Quecksilberzellen (Fig. 1). Beide haben eine hohe Zellenstromstärke gemeinsam, was die gleichstromseitige Parallelschaltung von zwei oder mehr Gleichrichtergruppen erfordert. In dieser Art sei auch der Begriff «grosse Gleichrichteranlagen» für die vorliegenden Betrachtungen definiert.

Im übrigen unterscheiden sich aber diese beiden Elektrolysearten. Kein Wunder, dass diese Unterschiede einer

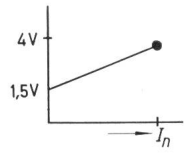
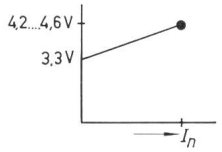
Aluminium	Chlor/Alkali
50...150 kA Schmelzfluss-Elektrolyse Badtemperatur 1000 °C Stromstärke und Leistung vornehmlich konstant	50...200 kA wässerige Elektrolyse Badtemperatur 60...90 °C Modulation der Stromstärke im Bereich 40...100 % üblich
	
Charakteristik der Zelle Zellenhalle: schmal/lang	Charakteristik der Zelle Zellenhalle: breit/kurz

Fig. 1
Gegenüberstellung der Aluminiumelektrolyse und der Chlor-Alkalielektrolyse mit Quecksilberzellen

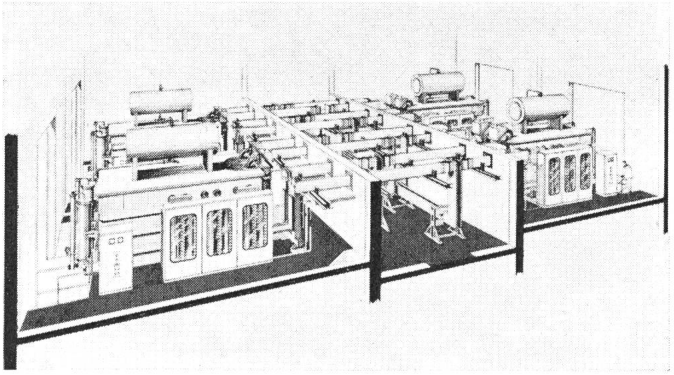


Fig. 3
Si-Gleichrichteranlage in Kompaktbauweise
Die Diodenschränke (6 pro Gleichrichtergruppe) stehen unmittelbar beim Gleichrichtertransformator. *Rechts* der Gruppe die Gleichstromtrenner und im Zentrum die Sammelschienen. (Die Zellenwände zwischen den Gruppen sind aus Darstellungsgründen weggelassen)

unterschiedlichen Anlagedisposition und in einer unterschiedlichen Auslegung der Gleichrichteranlage ihren Niederschlag finden.

Bevor aber auf die Gesamtkonzeption einer Silizium-Grossgleichrichteranlage eingegangen wird, sei der hauptsächlichste Baustein, nämlich die einzelne Gleichrichtergruppe etwas näher betrachtet.

Es überrascht nicht, dass die ersten Bauformen auf der vorhandenen «klassischen Disposition» einer Quecksilberdampfgleichrichtergruppe basierten, und dass sich die spezifischen Formen der Si-Gleichrichter erst im Laufe der Zeit entwickelt haben (Fig. 2).

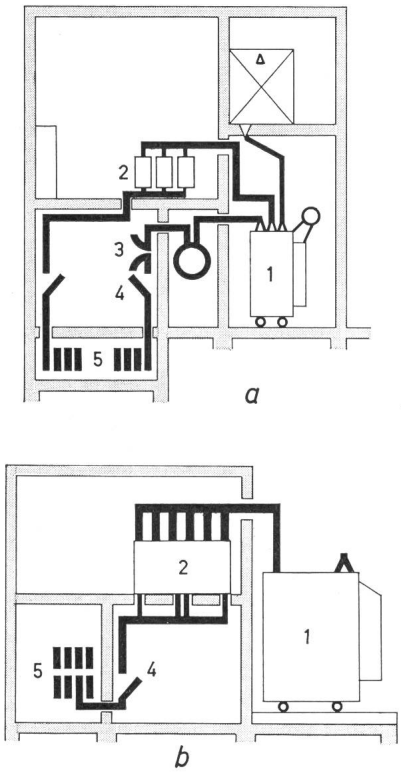


Fig. 2
Bauformen
a klassische Disposition einer Quecksilberdampf-Gleichrichtergruppe. Zellenteilung: ca. 5 m für 7 MW
b erste Bauform des Si-Gleichrichters. Zellenteilung: ca. 8,5 m für 20 MW.
1 Gleichrichtertransformator; *2* Gleichrichter; *3* Schnellschalter; *4* Gleichstromtrenner; *5* Sammelschiene

Beachtlich ist der bedeutend geringere Raumbedarf der Si-Gruppe gegenüber dem Hg-Gleichrichter. Nachteilig in dieser ersten Disposition sind insbesondere die relativ langen Zuleitungen zwischen Transformator und den Si-Schränken. Sie sind kostspielig, benötigen viel Montagezeit, verschlechtern den cos φ und ergeben beachtliche Verluste.

Mit dem Ziel, diese Nachteile zu beseitigen, ist die Kompaktbauweise entwickelt worden. Fig. 3 zeigt eine Anlage dieser Art. Die Anlage ist nur noch einstöckig, was vom betrieblichen Standpunkt zu begrüssen ist. Das Bemerkenswerte dieser Konzeption sind die kleine Gebäudekubatur und die einfachen und kurzen Stromschienen.

Diese Bausteine sollen nun zur Konzeption der Gleichrichtergesamtanlage dienen.

Wie zuvor erwähnt, sind die Elektrolysenhallen bei neueren Chlor/Alkalielektrolysen mit Quecksilberzellen breit und relativ kurz. Im Zeitalter der Quecksilberdampfgleichrichter war dies noch anders; der schlechte Wirkungsgrad dieser Gleichrichterart bei niedrigen Spannungen zwang — aus wirtschaftlichen Überlegungen — zu Gesamtspannungen von 800...1000 V. Der Silizium-Gleichrichter mit gutem Wirkungsgrad auch bei niedrigen Spannungen hat der Chlor/Alkalielektrolyse einen weitern Freiheitsgrad geschenkt. Um den Arbeitsstundenaufwand zu reduzieren, geht die Entwick-

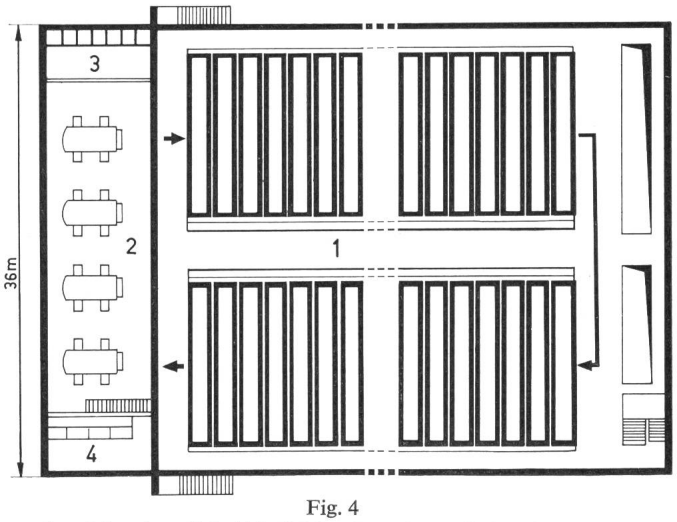


Fig. 4
Grundriss einer Chlor/Alkalielektrolyseanlage mit Quecksilberzellen
1 Elektrolysenhalle; *2* Gleichrichteranlage; *3* Drehstromschaltanlage; *4* Kommandoraum

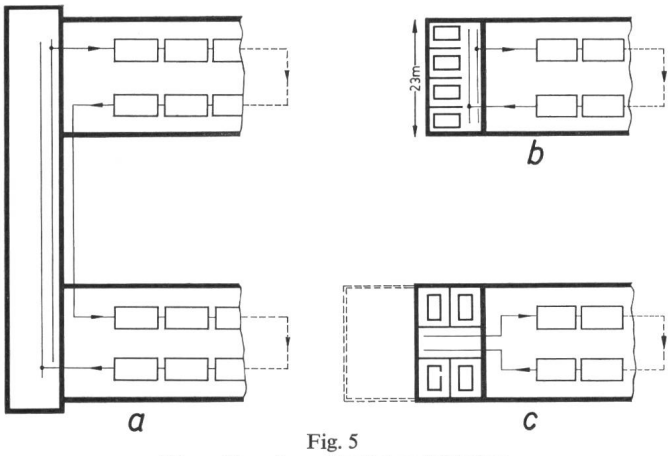


Fig. 5
Disposition einer Aluminiumelektrolyse
a Bauform mit einer Quecksilberdampfgleichrichteranlage 850 V, 90 kA, als Querbau; *b* Bauform mit einer Si-Gleichrichteranlage 600 V, 110 kA, «in Linie»; *c* Bauform mit einer Si-Gleichrichteranlage «beidseits der Hallenachse»
(punktiert: Platz für Kommandoraum, Hilfsräume und Treppenhaus)

lung bei dieser Elektrolyseart heute dahin, die gewünschte Leistung in einer kleinen Anzahl, aber dafür grosser Zellen

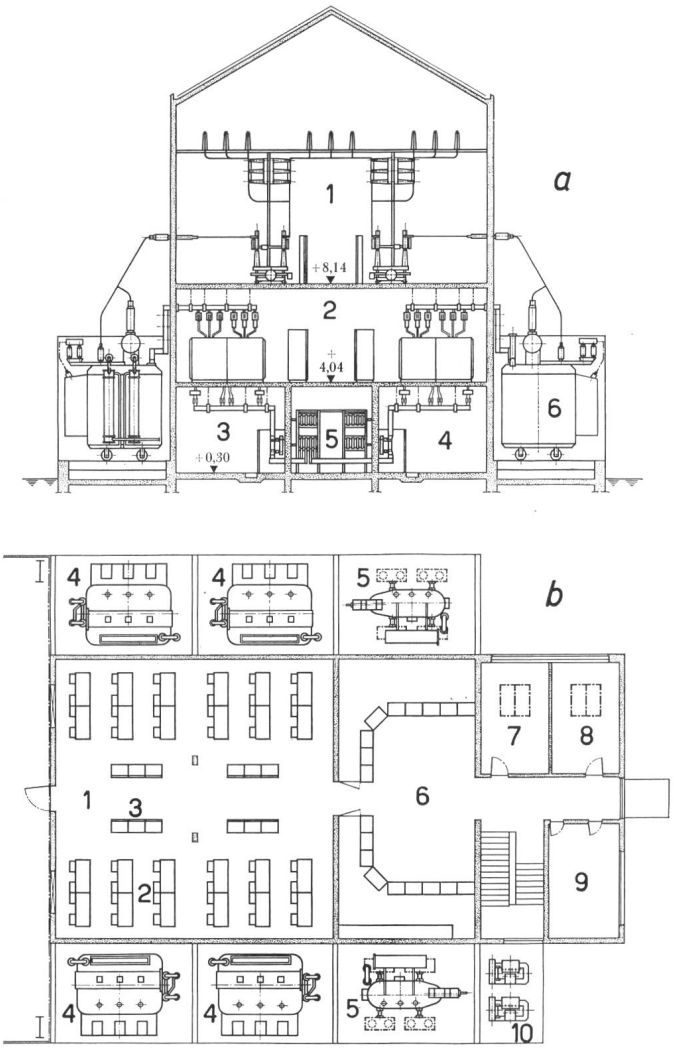


Fig. 6
Si-Gleichrichteranlage für Aluminiumelektrolyse
a Querschnitt. *1* 65-kV-Schaltanlage; *2* Gleichrichterraum; *3, 4* Trennerraum; *5* Sammelschienenraum; *6* Gleichrichtertransformator
b Grundriss. *1* Gleichrichterraum; *2* Diodenschränke; *3* Hilfsapparate; *4* Gleichrichtertransformator; *5* Transformator 65/16 kV, 8 MVA; *6* Kommandoraum; *7, 8* Büro; *9* sanitäre Anlagen; *10* Hilfstransformatoren 16 kV/380 V, 640 kVA

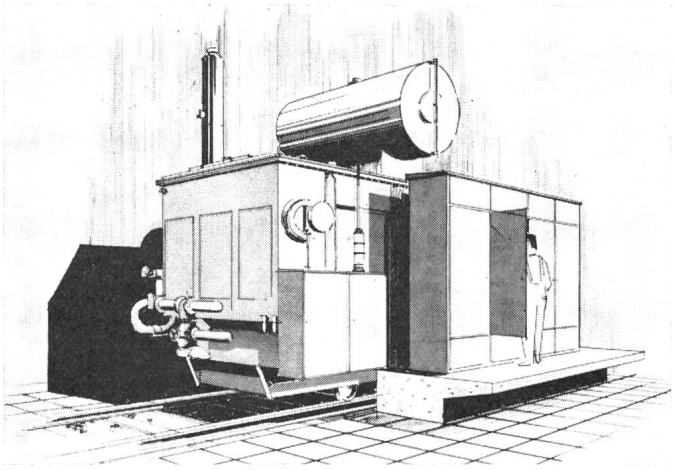


Fig. 7
Gleichrichtergruppe in Freiluftaufstellung

unterzubringen. Daten wie 20...70 Zellen, 100...300 V, 150 kA sind in solchen Anlagen heute üblich (Fig. 4). Entsprechend der Breite der Elektrolysenhalle von 30...40 m ist hier die Anordnung «in Linie» entlang der Breitseite die übliche Konzeption. Auch der Kommandoraum und die Drehstromschaltanlage sowie ein eventuelles Treppenhaus können «in Linie» noch plaziert werden. Diese Konzeption eignet sich somit für ein- oder mehrstöckige Anlagen.

Anders liegen die Verhältnisse bei der Aluminium-Elektrolyse (Fig. 5). Die Hallenbreite beträgt hier nur ca. 23 m. Wenn das Lichtraumprofil der Elektrolysenhalle nicht überschritten werden darf, so finden nur 4 schmale Gleichrichtergruppen «in Linie» Platz. Weder ein Kommandoraum noch ein Treppenhaus können «in Linie» angeordnet werden. Demzufolge kommt diese Anordnung nur für einstöckige Anlagen in Frage. Der Kommandoraum muss anderswo plaziert werden, beispielsweise im separaten Drehstromschaltanlagen-Gebäude.

Mehr Freiheit bietet die Anordnung «beidseits der Hallenachse». Sie kommt für ein- und mehrstöckige Anlagen in Frage. Der Kommandoraum kann fremdfeldfrei angefügt werden. Auch das Treppenhaus und eventuelle Hilfsräume lassen sich gut in der Gebäudeverlängerung unterbringen (vgl. Fig. 6).

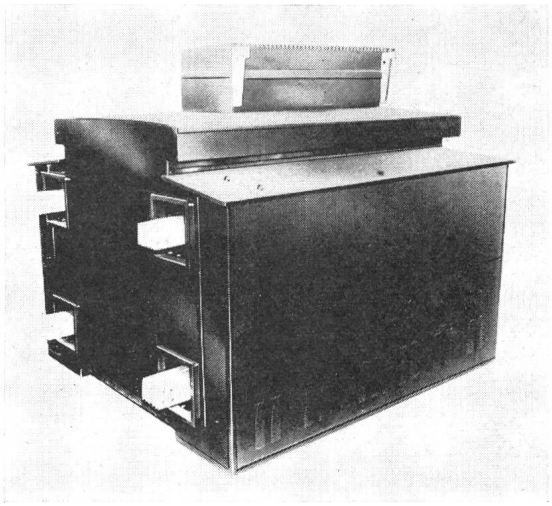
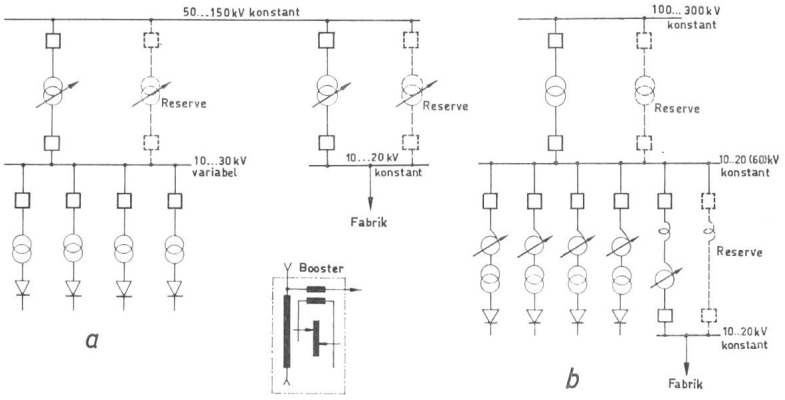


Fig. 8
Stahlblechgekapselte Gleichrichtergruppe für Freiluftaufstellung

Fig. 9
Schemata von Si-Gleichrichteranlagen
a Stufenschalter der Hauptabspannung zugeordnet; *b* Stufenschalter der einzelnen Gleichrichtergruppe zugeordnet



Im Bestreben, die Gesamtkosten einer Gleichrichteranlage herabzusetzen, kommt man natürlich auch auf die Idee, das Gebäude wegzulassen und den Gleichrichter *im Freien* aufzustellen. In Europa und in Amerika sind Bausteine hiezu entwickelt worden (Fig. 7 und 8).

Der Referent sieht den Einsatz solcher Freiluftblöcke eher in kleinen Anlagen mit einer einzigen oder gegebenenfalls zwei Gleichrichtergruppen, in Anlagen also, bei denen der spezifische Anteil der Gebäudekosten erheblich ist. Bei grossen Anlagen dagegen — mit beispielsweise vier Gruppen — die kompakt an das Elektrolysegebäude angebaut sind —, wird man ohnehin Brandschutzmauern zwischen die Gruppen stellen. Ein leichtes Dach ist dann sicher kein Luxus mehr, gemessen am Vorteil, bei jeder Witterung im Trockenen eine eventuelle Störung beheben zu können. Zudem bietet ein Dach Schutz gegen intensive Sonnenbestrahlung. Ein geschlossenes Gebäude, das man unter Überdruck setzt, ist überall da angezeigt, wo die Umgebungsluft korrosive Gasspuren oder Salz enthält. In Meeresnähe und in elektrochemischen Betrieben ist es daher kaum ratsam, eine Freiluftaufstellung zu wählen.

Indessen werden sich diese Freiluftblöcke bestimmt als leicht umstellbare Einheiten in Elektrolysen-Anlagen einbürgern. Oft fordert nämlich der Elektrolysenbetrieb vorübergehend für Entwicklungsversuche einen Zusatzstrom über einige für den Versuch ausgewählte Zellen. Man ist froh, in solchen Fällen über einen Gleichrichter zu verfügen, der rasch aufgestellt ist und — nach Beendung des Versuches — wieder anderweitig eingesetzt werden kann.

In den folgenden Betrachtungen über das Schema einer Si-Grossanlage (Fig. 9) sei vorausgesetzt, dass die Einspeisung in Drehstrom von 50...300 kV erfolgt, die Anlage vier Gleichrichtergruppen enthalten soll, und dass des weitern die Fabrikanlage mit einer Mittelspannung von 10...20 kV für motorische Verbraucher und Wärmezwecke zu versorgen ist. Ferner soll die Gleichspannung in weiten Grenzen einstellbar sein, um die Spannung am Gleichrichter, der Anzahl der in Serie geschalteten Zellen und der Zellen-Charakteristik anpassen zu können.

Die Variationsmöglichkeiten der Dispositionen sind mannigfach. Nach der Zuordnung der Stufenschalter lassen sich jedoch gemäss Fig. 9 zwei Hauptgruppen bilden. In der Variante Fig. 9a liegt die technische Schwierigkeit darin, dass der Stufenschalter Ströme von 1000 bis ca. 2500 A schalten muss. Das bewältigt ein normaler Stufenschaltertyp in der üblichen Schaltung nicht mehr. Oft wird dann die Boosterschaltung angewandt, welche allerdings nicht billig ist. Demgegenüber kommt die Lösung nach Fig. 9b mit normalen Stufenschaltertypen von ca. 400 A Nennstrom aus.

Die Lösung gemäss Fig. 9a benötigt vier Hochspannungsschaltfelder, diejenige gemäss Fig. 9b nur zwei.

Im allgemeinen ist die Variante in Fig. 9b preisgünstiger, insbesondere bei hohen Eingangsspannungen. Betrieblich steht sie der Variante in Fig. 9a nicht nach.

Das Schema in Fig. 9b kann nun verschieden variiert werden. Die Regeltransformatoren können als Auto- oder Zweiwicklungstransformatoren ausgeführt werden, die Stufenschalter können der Primär- oder der Sekundärwicklung gegebenenfalls auch der Primärwicklung des Gleichrichtertransformators zugeordnet werden, die Regel- und Gleichrichtertransformatoren lassen sich in ein und denselben oder in zwei getrennte Kessel stellen usw. Kurz, für die Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten sind die Lösungsmöglichkeiten beim Schema in Fig. 9b vielfältiger.

In der Auslegung unterscheiden sich Anlagen für Aluminimum und solche für Chlor/Alkali grundlegend. Aluminium, eine Schmelzflusselektrolyse (mit einer Badtemperatur von ca. 1000 °C), ist unempfindlich auf kürzere Unterbrüche in der Energieversorgung, empfindlich aber auf Energieunterbrüche von mehreren Stunden. Die Bäder frieren nach ca. 5 h Energieunterbruch ein und müssen dann in mühsamer Arbeit ausgespitzt und wieder frisch angefahren werden. Langdauernde Energiereduktionen bringen die Bäder aus ihrem thermischen Gleichgewicht, und die Folge sind schlechte Betriebszahlen eventuell über Wochen hinaus. Gegen solche Betriebsbeeinträchtigungen muss man sich durch entsprechende Mehrinvestitionen auf der elektrischen Seite schützen. Die Einspeisung erfolgt demzufolge doppelt, je für die volle Leistung. Den Haupttransformatoren ist eine Reserveeinheit beigestellt (gegebenenfalls drei Einphasentransformatoren und ein Reservepol), und die Gleichrichter werden so dimensioniert, dass eine Gruppe ausser Betrieb gesetzt werden kann, ohne dass deshalb die Elektrolysenstromstärke reduziert werden muss. Es hat sich hiefür der Begriff «n-1-Prinzip» eingebürgert, wobei «n» die Anzahl der im Normalbetrieb eingeschalteten Gruppen bedeutet. Eine 100-kA-Anlage wird daher beispielsweise vier Gruppen für je 33,3 kA aufweisen. Im Normalbetrieb werden alle vier Gruppen mit je 25 kA betrieben. Im Falle einer Störung an einer Gruppe arbeiten drei Gruppen mit ihrer Nennstromstärke von 33,3 kA. Die vier Gruppen werden so geschaltet, dass sie eine 24- oder 48-phasige Rückwirkung ins Netz ergeben. Nur im gestörten, also 3-Gruppenbetrieb muss eine unsymmetrische Rückwirkung in Kauf genommen werden.

Es sei nicht verschwiegen, dass nicht alle Aluminium-Produzenten ihre Anlagen nach diesem Prinzip dimensionieren, sondern das «$n + 1$-Prinzip» vorziehen, d. h. im Falle einer 100-kA-Anlage beispielsweise vier Gruppen zu 25 kA im Betrieb stehen und eine fünfte Gruppe zu 25 kA als «stillstehende Reserve» dient.

Der Referent hält eine Auslegung nach dem n-1 Prinzip als vorteilhafter, und zwar aus folgenden Gründen:

1. Die «mitlaufende Reserve» verbessert den Wirkungsgrad. Gleichrichter haben im allgemeinen einen besseren Wirkungsgrad bei 75 % als bei 100 % Nennstrom.

2. Die «mitlaufende Reserve» muss im Störungsfall nicht erst zugeschaltet werden, sondern sie ist sofort greifbar.

3. Oft wird die Nennstromstärke der Bäderreihe im Laufe der Jahre auf Wunsch des Elektrolysenbetriebes erhöht. Bei der n—1-Dimensionierung und im Normalbetrieb ist dies ohne Überlastung der einzelnen Gleichrichtergruppen und ohne Störung der Oberwellensymmetrie möglich. Demgegenüber muss bei der $n + 1$-Dimensionierung die Reservegruppe zugeschaltet werden, was notgedrungen die Oberwellensymmetrie stört.

(Bei Ausfall einer Gleichrichtergruppe muss bei beiden Dimensionierungsarten in gleicher Weise eine Reduktion des Bäderstromes auf die frühere Nennstromstärke in Kauf genommen werden.)

Anders liegt die Auslegung bei der Chlor/Alkali-Elektrolyse, einer wässrigen Elektrolyse mit einer Badtemperatur von 60...80 °C. Sie ist unempfindlich auf Stromreduktionen im Bereich 40...100 I_n. Die Bäder frieren bei einem vielstündigen Unterbruch nicht ein, wie dies bei einer Schmelzflusselektrolyse der Fall ist. Hier wird daher meist auf eine Doppeleinspeisung und eine Reserve in der Hauptabspannung verzichtet. Die Gleichrichtanlage wird auf n dimensioniert, d. h. im Falle einer 100-kA-Elektrolyse beispielsweise vier Gruppen von 25 kA. Die Reduktion der Stromstärke im Falle einer Störung in einer Gleichrichtergruppe kann hingenommen werden, denn die Zeilen nehmen dabei keinen Schaden.

Wie zuvor erwähnt, bedarf der Gleichrichter einer Spannungsregelung zur Anpassung der Gleichrichterausgangsspannung an die Zellenzahl und an die Charakteristik der Elektrolyse. Die bekanntesten Möglichkeiten sind in Fig. 10 dargestellt.

Der konventionelle Stufenschalter ist langsam (3...5 s pro Schaltung) und eignet sich nicht für Schaltzahlen grösser als ca. 100 pro Pol und Tag, ansonst der Unterhaltsaufwand zu gross wird. Der Lokomotivstufenschalter ist bedeutend schneller (0,3 s pro Schaltung), eignet sich demzufolge für eine Schnellregelung. Er ist speziell hochgezüchtet für grosse Schaltzahlen. Kontaktersatz ist erst nach mehr als einer Million Schaltungen notwendig. Im Bahnbetrieb sind Schaltzahlen bis 20 000 pro Tag üblich. Im Aluminiumbetrieb werden jedoch nur 1500...3500 Schaltungen pro Tag registriert.

In Chlor/Alkali-Elektrolysen ist die Kombination konventioneller Stufenschalter mit Transduktor (Anschnittregelung) gebräuchlich. Sie ist aber auch in Aluminium-Elektrolysen anzutreffen. Diese Regelungsart ist stufenlos. Nachteilig ist jedoch die Verschlechterung des cos φ durch die Rücksteuerung.

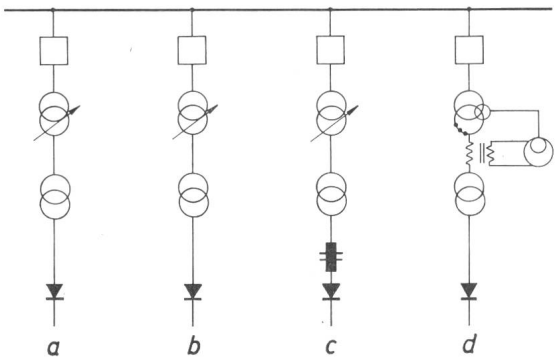


Fig. 10

Bekannteste Möglichkeiten für die Regelung einer Gleichrichteranlage

a konventioneller Stufenschalter; *b* Lokomotiv-Stufenschalter; *c* konventioneller Stufenschalter, kombiniert mit Transduktor; *d* Induktionsregler in Booster-Schaltung

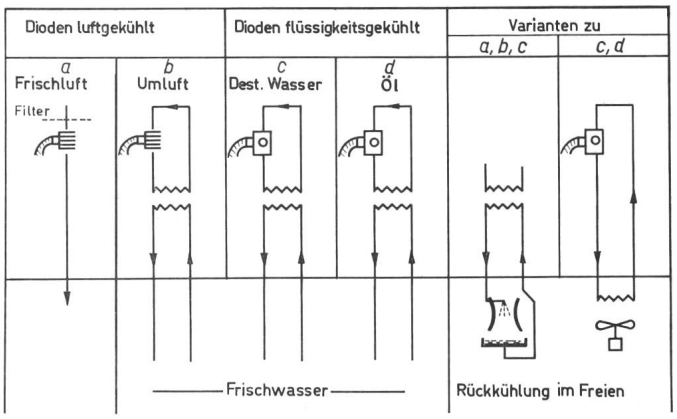


Fig. 11

Zusammenstellung der Kühlungsarten für Diodenschränke

Schlussendlich ist noch die Regelung mit Induktionsregler in Boosterschaltung zu erwähnen, die in verschiedenen Aluminiumhütten realisiert worden ist.

Wenn der Si-Gleichrichter auch bedeutend verlustärmer ist, als beispielsweise der Hg-Gleichrichter, so sind die abzuführenden Verluste in Form von Wärme doch recht beachtlich (beispielsweise 1000 kW für eine 60-MW-Anlage).

Bei der Wahl der Kühlart für die Gleichrichteranlage gibt es kein Rezept, sondern bestenfalls Gesichtspunkte. Für die Transformatoren kommen die bekannten Kühlarten mit Luft und Wasser als Kühlmedium in Frage. Für die Diodenschränke muss man sich bei jeder Anlageprojektierung die Frage stellen, welches Kühlmedium in geeigneter Qualität zur Verfügung steht. Die Erfahrung hat gezeigt, dass sowohl bei der Frischluft als auch beim Kühlwasser mit Enttäuschungen (erhöhter Reinigungsaufwand) zu rechnen ist.

Fig. 11 zeigt eine Zusammenstellung der verschiedenen Möglichkeiten, die Verlustwärme des Gleichrichterteils aus dem Gebäude wegführen.

Die Frischluftkühlung scheint die einfachste zu sein. Indessen ist es immer ratsam, die Frischluft zu filtrieren, ansonst der Aufwand für das Reinigen der Diodenschränke zu gross wird. Bei grossen Anlagen wird der bauliche Aufwand für die Kühlkanäle sehr gross. Wer auf kompakte Bauweise tendiert, wird daher eher eine Variante mit Wasser oder Öl wählen, Kühlmedien, die pro Volumeneinheit ein Vielfaches an Wärme gegenüber Luft abführen können.

Die Möglichkeiten sind also mannigfaltig und gestatten eine gute Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten.

Si-Gleichrichteranlagen sind betriebssicher und erfordern wenig Aufwand für den Betrieb und den Unterhalt. Sie laufen in der Regel ohne 24-stündige Aufsicht. In der Tagesschicht werden die laufenden Unterhaltsarbeiten und Kontrollen vorgenommen. Ausser Tagesschicht genügt ein Pikettdienst. Der Pikettmann muss nur erreichbar sein, kann aber im übrigen über seine Freizeit verfügen. Das Alarmdispositiv unterscheidet zwischen Störungen, die sofort behoben werden müssen und solchen, bei welchen es genügt, dass sie bei der nächsten Tagesschicht in Ordnung gebracht werden. Nur die ersteren werden an den Pikettdienst weitergemeldet.

Relativ selten sind Diodenausfälle. Anfänglich hatten allerdings ziemlich alle Hersteller ihre Schwierigkeiten. Heute dürfen etwa nachfolgende Richtwerte für den Diodenausfall gelten: erstes Betriebsjahr weniger als 5 ‰, nachfolgende Betriebsjahre weniger als 1...2 ‰ pro Jahr.

Je mehr langjährige Erfahrungen vorliegen, um so mehr wird man die Dioden-Ausfallsignalisierung vereinfachen können. Der Betriebsmann wird dies begrüssen, denn komplizierte Signalanlagen neigen zu unerwünschten Fehlalarmen.

Sicherungen als Elemente der inneren Kurzschluss-Wegschaltung haben sich im allgemeinen bewährt. Sie erfordern keinen Unterhalt und bedeuten gegenüber der bei den Hg-Gleichrichtern gebräuchlichen Apparaturen (Gitterrelais, Schnellschalter) einen grossen Fortschritt. Indessen darf nicht verschwiegen werden, dass nicht alle Fabrikate befriedigt haben. Man kann sich vorstellen, was mit einem Schrank passiert, wenn eine Sicherung explodiert. Auch Unterbrüche im Schmelzleiter dürfen nicht vorkommen.

Die Kurzschliesser sind aus grossen Neuanlagen verschwunden. Den äusseren Kurzschlußschutz übernehmen allein die Drehstromschalter mit den entsprechenden Relais. Im Gegensatz zu kleineren Anlagen (von beispielsweise 10 kA Nennstrom) bieten grosse Anlagen (von beispielsweise 100 kA) weniger Probleme bezüglich Schutz gegen äussere Kurzschlüsse. Während bei kleinen Anlagen Kurzschlussströme in der Grössenordnung des 6-fachen Nennstromes möglich sind, ist es bei grossen Anlagen jedoch praktisch ausgeschlossen, Kurzschlüsse einzuleiten, die einen Stromfluss von mehr als 200...300 kA bewirken.

Relativ häufig sind Störungen in der Regelung. Dies soll eine Anregung sein einerseits an die Adresse der Bauherren, die Regelbedingungen nicht zu hoch zu schrauben und anderseits an die Adresse der Konstrukteure, einfache betriebssichere Regelapparaturen zu konzipieren. Oft, aber nicht immer, werden in Elektrolysen-Anlagen an die Stufenschalter Anforderungen gestellt, denen sie nicht gewachsen sind. Nicht jeder Stufenschaltertyp, welcher mit Erfolg bei Stationstransformatoren (mit kleiner Schaltzahl pro Tag) eingesetzt wird, eignet sich für den rauhen Elektrolysenbetrieb.

Es sind grosse Anstrengungen unternommen worden, um der Elektrochemie und -metallurgie Gleichrichter zur Verfügung zu stellen, die verlustärmer, genügsamer, betriebssicherer und billiger sind, als was zuvor auf dem Markte erhältlich war. Der Erfolg ist nicht ausgeblieben (Tabelle I).

Daten einiger ausgeführter Anlagen

(Die Kosten beziehen sich auf die schlüsselfertige Anlage, gemäss Fig. 9b, ohne Landerwerb, Bauzinsen und Honorare)

Tabelle I

Art der Gleichrichter-Anlage	Inbetriebsetzung Jahr	Wirkungsgrad Hochspannung bis Gleichstrom n-Gruppenbetrieb %	Brutto-Investitionskosten sFr./kWn-1
Hg-Anlage 850 V; 90 kA$_{n\text{-}1}$	1958	94,5	175.—
Si-Anlage 475 V; 108 kA$_{n\text{-}1}$	1961	98	110.—
Si-Anlage 600 V; 110 kA$_{n\text{-}1}$	1966	98,5	< 100.—

Adresse des Autors:

H. Widmer, Vizedirektor der Schweiz. Aluminium AG, Feldeggstrasse 4, 8034 Zürich.

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Sitzungen des SC 14C, Bobines d'Inductance, vom 26. und 27. April 1965 in Bruxelles

Das SC 14C hielt am 26. und 27. April 1965 in Brüssel seine zweite Sitzung ab. Unter der Leitung des Präsidenten A. Frémineur, Belgien, nahmen 37 Delegierte aus 16 Ländern an den Verhandlungen teil.

Nach der Genehmigung des Protokolls der letzten Sitzung vom 18....21. Mai 1964 in Aix-les-Bains, Dokument *PV 856/SC 14C,* war der grösste Teil der Tagung der Diskussion des Dokumentes *14C(Secrétariat/Bruxelles)2,* Projet de Recommandations pour Réactances, gewidmet. Auf Grund der letztjährigen Beschlüsse von Aix-les-Bains war der damals vorliegende Entwurf *14C(Secrétariat)1* vom Sekretär des Sous-Comité, J. J. Steensels, Belgien, neu überarbeitet und als Dokument *14C(Secrétariat)2* im Oktober 1964 verteilt worden. Zur Entlastung der Diskussion wurden die rein redaktionellen Bemerkungen aus den in der Folge eingegangenen Stellungnahmen der verschiedenen Nationalkomitees herausgezogen und im bereits erwähnten Dokument *14C(Secrétariat/Bruxelles)2* berücksichtigt. Auf diese Weise mussten nur noch die sachlichen Bemerkungen zur Diskussion gebracht werden.

Behandelt wurden in erster Linie verschiedene Einzelheiten über technische Daten und Prüfungen. Zum besseren Verständnis wurde die Tabelle I über Prüfspannungen von *Seriedrosselspulen* in zwei Tabellen aufgeteilt, eine für Öl- und eine für Luftspulen, von welcher jede Werte für volle und reduzierte Isolation enthält. Für die Wiederholung der Spannungsproben nach Kurzschlussversuchen wurde ein Wert von 75 % der Prüfspannungen festgelegt.

Da die Messung der Verluste bei Paralleldrosselspulen wegen des sehr kleinen Leistungsfaktors schwierig ist, wurde lediglich festgelegt, dass die Messmethode zwischen Hersteller und Verbraucher zu vereinbaren ist. Die kalorische Methode wird als mögliche Alternative genannt. Die Verluste sollen proportional zum Quadrat des Stromes auf den wirklichen Strom der Drosselspulen bei Nennspannung korrigiert werden. Die Toleranz für die Stromkurvenform für Drosselspulen mit geerdetem Nullpunkt wurde von 5 auf 3 % der Grundwelle reduziert.

Für Erdungs- und Löschdrosselspulen wurden die Nenndaten der Ströme und Spannungen sowie die Belastungsdauer besser definiert. Auf dem Leistungsschild der Löschdrosselspulen erscheinen gemäss dem schweizerischen Vorschlag nur noch die in den Endlagen der Regulierung gemessenen Impedanzen und nicht mehr wie bisher die Impedanzen für alle Anzapfungen. Die Stromtoleranzen für Löschdrosselspulen werden auf den Strom bei Nennspannung bezogen und betragen ± 5 % bei maximalem Strom und ± 10 % bei Einstellung auf kleinere Stromwerte.

Bei den Erdungstransformatoren entfällt ein von den Paralleldrosselspulen übernommener Artikel über Vibrationsfestigkeit, der für die ersteren nicht sinnvoll ist. Der Kurzschlussversuch ist nicht bei Nennspannung, sondern beim Kurzzeit-Nennstrom durchzuführen. Die Toleranzgrenzen für die Nullreaktanz bei diesem Strom werden von +10 auf +20 %, bzw. von —10 auf 0 % geändert.

Das auf Grund der Sitzungsbeschlüsse neu zu erstellende Dokument wird der 6-Monate-Regel unterstellt.