

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 63 (1972)
Heft: 21

Artikel: Anlagetechnik von Dauerstromversorgungsanlagen
Autor: Derighetti, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915751>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 01.04.2025

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

Anlagentechnik von Dauerstromversorgungsanlagen

Vortrag, gehalten an der Informationstagung des SEV über Notstrom- und Dauerstromversorgungseinrichtungen
am 7. Juni 1972 in Luzern,
von R. Derighetti

621.311.8

1. Anlagentechnik. Allgemeine Betrachtungen

Die Unterbrechungslosigkeit der Dauerstromversorgung wird heute im allgemeinen durch geeignete Kopplung von wenigstens zwei unabhängigen Stromversorgungen mit kleinen Ausfallwahrscheinlichkeiten realisiert. Schon die einfachste Dauerstromanlage, die aus dem öffentlichen Netz und in unserem Fall mit wenigstens einem Wechselrichter aufgebaut ist, ermöglicht verschiedene von den Eigenschaften der Last bestimmte Betriebsarten, die je mit einer besonderen Kopplungstechnik zu realisieren sind.

Der Kopplungsteil verkleinert durch seine Ausfallwahrscheinlichkeit die durch mehrere Stromversorgungen theoretisch erreichte Sicherheit. Nur in ganz speziellen Fällen mit langer zulässiger Unterbruchzeit ist es möglich, dieses Kopplungsglied so einfach zu konstruieren, dass sein Einfluss auf die Sicherheit vernachlässigt werden kann. Dieses Kopplungselement enthält neben dem Leistungsteil noch eine Anzahl Bedienungs- und Kontrolleinheiten, die zum Teil für den Kundenbetrieb und zum Teil wegen Installationsvorschriften unerlässlich sind. Der ganze Kopplungsteil muss so einfach wie möglich konzipiert und nach einer besonderen Technik realisiert werden. Sein Versagen kann einen Ausfall der Last bedeuten.

Stromversorgungen und Kopplungsteil bilden die eigentliche Dauerstromanlage. Hier werden nur diese weiter analysiert. Ein störungsfreier Betrieb ist nur möglich, wenn zusätzlich bei der Installation und während dem Betrieb noch folgende wichtige Aspekte beachtet werden:

Eine unterbrechungslose Versorgung ist im allgemeinen keine Energiequelle mit unendlich grosser Leistung und nicht wie ein normales Netz überlastbar. Daher sollte man keine ungegeschickte Gruppierung und Absicherung von Lasten vornehmen. Eine höhere Überlastbarkeit verlangt höhere Anschaffungskosten. Auch muss die von der Anlage entwickelte Wärme abgeführt werden. Ein Betrieb auf der für die Anlage angegebenen maximalen Kühllufttemperatur gibt einen minimalen Aufwand für die Lüftung. Die Lebensdauer der Bauteile sinkt aber, und die Anlage wird nicht optimal ausgenutzt.

Aus diesen Gründen soll bei der Anschaffung einer Dauerstromversorgung dem Lieferanten der eigentlichen Dauerstrom-Anlage das Gesamtprojekt präsentiert werden. Nur dann kann die grosse Flexibilität der statischen Anlagen vollständig zugunsten des Kunden eingesetzt werden.

2. Der Begriff Dauerstrom

Der Begriff Dauerstrom ist je nach Verbraucher verschieden, und wird aus der Eigenschaft der Last als Vorschrift für das Kurzzeitverhalten der Ausgangsspannung definiert. Man unterscheidet hier Dauerstromanlagen mit maximal erlaubter Unterbruchdauer und mit maximal erlaubter Formabweichung der Ausgangsspannung.

Als Unterbruch wird ein Absinken der Effektiv-, der Mittel- oder der Spitzenspannung unter einen vorgeschriebenen Wert verstanden. Die in Frage kommende Unterbruchdauer ist sehr verschieden und geht von einigen Minuten bei Schmelzöfen, einer Sekunde für Flughafenbeleuchtungen bis zu einer halben Periode für Steuerungen und kleine Rechner. Unterbruchzeiten kleiner als eine halbe Periode sind eigentlich als Spannungsformabweichungen zu berücksichtigen.

Die Angaben über die erlaubten maximalen Formabweichungen für die Spannung beschränken sich im allgemeinen auf die Höhe des Scheitelwertes der Sinusform, während die angeschlossenen Geräte nur auf Abweichungen der gleichgerichteten Spannung empfindlich sind. Bis jetzt hat nur eine Computerfirma Vorschriften für das Verhalten der Spannung an einer Meßschaltung mit Gleichrichtung angegeben.

Das kurzzeitige Verhalten der Ausgangsspannung wird für den Entwurf der Stromversorgung und des Kopplungsteiles bestimmend sein. Dagegen wird das Langzeitverhalten, wie statische Abweichung des Effektivwertes, Frequenz, Klirrfaktor, nur die Eigenschaften der Stromversorgung betreffen.

Der Begriff Dauerstrom wird oft erweitert zu störungsfreier Dauerstrom im Sinne von «Strom ohne überlagerte Störungen». Überlagerte Störungen kommen praktisch nur auf dem Netz vor und werden im Hoch- und Mittelfrequenzbereich mit Entstörfiltern beseitigt. Störungen im tiefen Frequenzbereich (5 ... 2000 Hz), auch von kurzer Dauer, können nur mit grossem Aufwand unterdrückt werden und sind oft der Grund für die Anschaffung einer getrennten Stromversorgung.

3. Bestimmung des Dauerstromanlagen-Prinzipes

Das Prinzip der Anlage wird durch sorgfältige Analyse der Eigenschaften der Last bestimmt. Nach Möglichkeit berücksichtigt man auch die durch die Last gegebenen Betriebsbedingungen. Anschliessend kann die optimale Dauerstromanlage aufgebaut werden. Dies ist aber nur für einen konkreten Fall sinnvoll. Eine Tabelle des möglichen Bedarfes und der dazugehörigen Lösungen würde hier zu weit führen.

Wir werden hier umgekehrt vorgehen, d. h. die verschiedenen Eigenschaften der Dauerstromanlagen aus heute vorhandenen Einheiten beschreiben. Zunächst sei eine Anlage betrachtet, die aus einem öffentlichen Netz und einer statischen Dauerstromversorgungsanlage besteht.

3.1 Dauerstromanlage aus einem Netz und einer statischen Stromversorgungsanlage Verschiedene Kopplungsarten

In Tabelle I sind die möglichen Betriebsarten nach sinkendem Wirkungsgrad aufgeführt. Diese Reihenfolge ergibt aber eine Steigerung der Ansprüche, die an die Anlage gestellt werden können. Gleichzeitig vergrössert sich der Aufwand.

3.1.1 Dauerstromanlage mit normalem Betrieb der Last auf Netz, Wechselrichter ausgeschaltet

Die Unterbreuchszeit bei Netzausfall setzt sich zusammen aus der Zeit zur Erkennung der Netzspannungsänderung und der Startzeit des Wechselrichters.

Die erste Zeit ist von der Definition der noch zulässigen Spannung bestimmt; bei vorgeschriebener Spannungsformänderung (Sinus), ist eine Detektion des Fehlers innerhalb $1/20$ bis $1/40$ Periode ohne grossen Aufwand möglich. Fehler von U_{eff} , $U_{\text{Mittelwert}}$ usw. können leicht innerhalb einiger Perioden festgestellt werden.

Bei eingeschalteter Wechselrichter-Elektronik erfolgt der Start des Leistungsteiles ohne Verzögerung, jedoch braucht das Einschwingen und die Einregulierung der Ausgangsspannung 4 ... 6 Perioden.

Man sieht, dass mit einem elektronischen Kopplungsteil (Thyristoren, Triacs) die Dauer des Unterbruchs innerhalb 8 ... 10 Perioden gehalten werden kann. Für einen elektromechanischen Kopplungsteil wird die Unterbreuchszeit durch Abfall- und Einschaltzeit der Schütze gegeben.

Die theoretische Ausfallwahrscheinlichkeit der Anlage ist gleich dem Produkt der Ausfallwahrscheinlichkeit des Netzes und der statischen Energiequelle, addiert mit der Ausfallwahrscheinlichkeit des Kopplungsteiles. Die Abgrenzung des Kopplungsteiles ist nicht eindeutig. Meistens muss der Fehlerdetektor auch mit einbezogen werden.

Der Konzeption und dem Aufbau des Kopplungsteiles muss besondere Beachtung geschenkt werden. Das Pflichtenheft muss dem reellen Bedarf entsprechen. Die Wahl der schnellstmöglichen und für den Benutzer einfach zu bedienenden Schaltung bringt sicher nicht gleichzeitig die optimale Sicherheit, da eine solche Lösung den grössten Aufwand verlangt.

Als weiterer Faktor ist der Verlauf der «Schäden als Folge des Unterbruchs» in Funktion der «Unterbreuchsdauer» zu berücksichtigen. Einige grundsätzlich verschiedene Verläufe sind in Fig. 1 dargestellt. Im Falle des Verlaufs C entstehen dank einer ersten Umschaltmöglichkeit innerhalb der Zone 0 bis t_1 keine Schäden. Man muss innerhalb t_1 und t_2 eine zweite Umschaltmöglichkeit einbauen, um nicht in den rasch steigenden Teil der Kurve zu gelangen. Beträgt z. B. t_1 12 Perioden und t_2

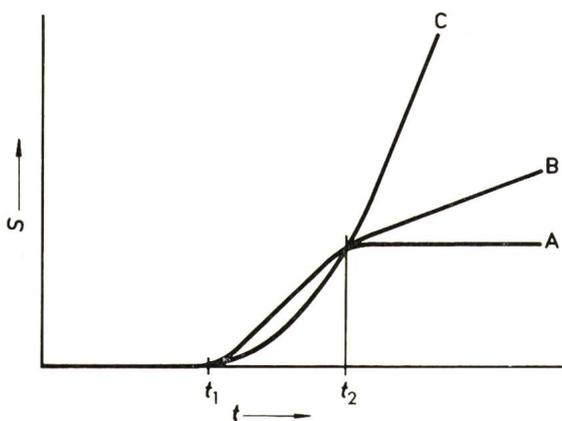


Fig. 1

Mögliche Verläufe der Schäden in Funktion der Unterbreuchsdauer

- S Schaden
- t Zeitdauer
- A mit der Zeit sättigender Schaden
- B mit der Zeit linear steigender Schaden
- C mit der Zeit quadratisch ansteigender Schaden

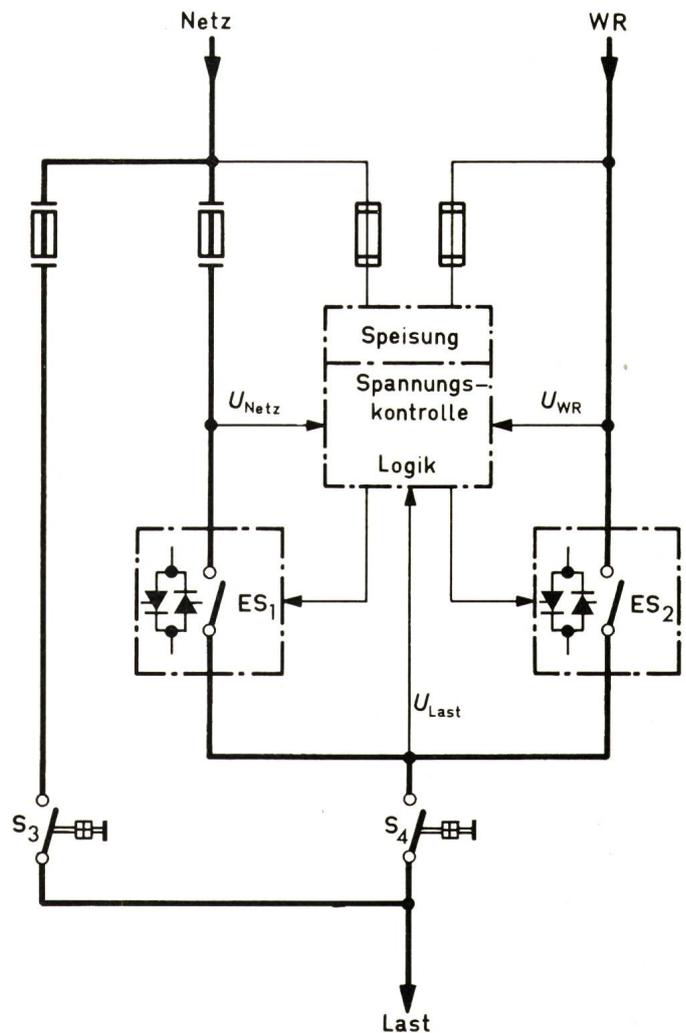


Fig. 2

Dauerstromanlage bestehend aus dem Netz und einer statischen Stromversorgung Funktionsschaltung

- WR Wechselrichteranschluss
- U_{WR} Wechselrichterspannung
- ES_1, ES_2 statische Schalter; erstes Umschaltsystem
- S_3, S_4 Handschalter; zweites Umschaltsystem

5 min, dann ist die Funktionsschaltung von Fig. 2 eine mögliche Lösung.

Man sieht, dass die Einheitsspannungskontrolle vom Netz und vom Wechselrichter gespeist wird. Ein kleiner Energiespeicher überbrückt bei Ausfall des Netzes die Startzeit des Wechselrichters. Eine Logik sorgt dafür, dass, unabhängig von der Spannungskontrolle, durch Zündstromkontrolle der Thyristoren bei Fehlen des Zündstromes von S_2, S_1 automatisch eingeschaltet wird. Dadurch kann man eine Redundanz für einen Fehler in der Kontrolleinheit einbauen. Bei Verwendung einer einfachen Logik ist jedoch mit einem Unterbruch zu rechnen.

Ist das Netz unter Spannung, so ermöglicht eine manuelle Umschaltung die Revision der automatischen Anlage ohne Spannungsunterbruch und sorgt bei Ausfall der Automatik für eine Umschaltung innerhalb der menschlichen Interventionszeit.

Im Falle des Verlaufs A in Fig. 1 ist es denkbar, auf ein zweites Umschaltsystem zu verzichten, denn 99% der Fehler werden vom ersten System innerhalb t_1 ohne Konsequenzen beseitigt. Ab t_2 ist der maximal mögliche Schaden schon erreicht und bleibt konstant.

3.1.2 Dauerstromanlage mit normalem Betrieb der Last auf Netz, Wechselrichter eingeschaltet

Die Last liegt bei normalem Betrieb am Netz. Der eingeschaltete Wechselrichter arbeitet im Leerlauf und steht als redundante Stromversorgung zur Verfügung. Die Unterbrechungszeit bei Netzausfall bzw. Netzstörung berechnet sich in diesem Fall aus der Summe der Zeit zur Erkennung des Fehlers und der Einschaltzeit des Schalters wechselrichterseitig.

Um die Störung auf ein Minimum zu reduzieren, wird im normalen Betrieb die Ausgangsspannung der statischen Stromversorgung synchron und in Phase mit dem Netz gehalten. Als Schalter werden Triacs oder Thyristoren eingesetzt.

Wird zum Beispiel eine Abweichung von maximal $\pm 10\%$ von der Sinusform gestattet, dann kann bei 50/60 Hz eine Überschreitung der Toleranz innerhalb 0,1 ms festgestellt werden. Die Thyristoren zünden innerhalb 10 μs . Diese totale Reaktionszeit von 0,11 ms ist aber nicht ohne weiteres als maximale Dauer der Störung zu betrachten, denn durch diese schnelle Einwirkung wurde der Wechselrichter parallel zum gestörten Netz eingeschaltet. Das Netz stellt, ausser im Fall der Unterbrechung der Leitung, immer eine Quelle mit sehr niedriger Impedanz (wenigstens im Bereich niedriger Frequenzen) dar. Es müssen deswegen Massnahmen getroffen werden, um eine Überlastung der statischen Stromversorgung zu vermeiden.

Bei vorgeschriebener Spannungsform wird der grösste Aufwand benötigt, denn eine Überlastung des Wechselrichters bringt eine weitere Störung.

Eine Lösung dieses Problemes besteht aus einer Begrenzung des Stromanstieges und einer elektronischen Abschaltung des Netzanschlusses, bevor der Kurzschlußstrom einen für den Wechselrichter zu hohen Wert annimmt. Die heute erreichte Abschaltzeit liegt um die 30 μs . Die untere Grenze ist nur durch die Thyristoren gegeben.

Der Verlauf der Spannung an der Last zeigt zuerst die Netzstörung und dann die Verformung der Spannung beim plötzlichen Einschalten des Wechselrichters, der im ersten Moment überlastet wird. Während kurzer Zeit ist noch die Netzimpedanz parallel zum Wechselrichterausgang geschaltet. Ohne Überdimensionierung der statischen Stromversorgung sind mit dieser Anordnung z. B. für die Versorgung von Computer angegebene Toleranzen nicht zu erreichen. Es können jedoch Anlagen angeschlossen werden, für die Spannungseinbrüche von 100% innerhalb einer halben Periode zulässig sind.

Der Hauptvorteil dieser Methode ist der Wirkungsgrad der gesamten Anlage. Die Verluste im Normalbetrieb sind lediglich die Leerlaufverluste des Wechselrichters und des Gleichrichters.

Als Hauptnachteil kann man die Tatsache annehmen, dass die Art und Weise, mit welcher ein Netz gestört wird oder ausfällt, nicht genormt ist. Um die Funktion der Umschalter unter jeder Bedingung zu garantieren, müssen Schutzmassnahmen getroffen werden. Im besonderen sind Überspannungen abzufangen. Ein weiterer Nachteil ist die Unfähigkeit des Fehlerdetektors, innerhalb einer halben Periode zu unterscheiden, ob eine Spannungssenkung durch einen Netzausfall oder einen Kurzschluss der Last verursacht wird. Eine Umschaltung vor dem Schmelzen der internen Sicherung der Last kann eine Überlastung des Wechselrichters bedeuten. Oft muss eine automatische Rückführung nach Ablauf der Störung auf Normalbetrieb eingebaut werden.

3.1.3 Dauerstromanlagen mit normalem Betrieb der Last auf Wechselrichter

(Das Netz ist unter Spannung)

Die Last liegt bei normalem Betrieb an der statischen Stromversorgung. Der Wechselrichter wird in Funktion der Last di-

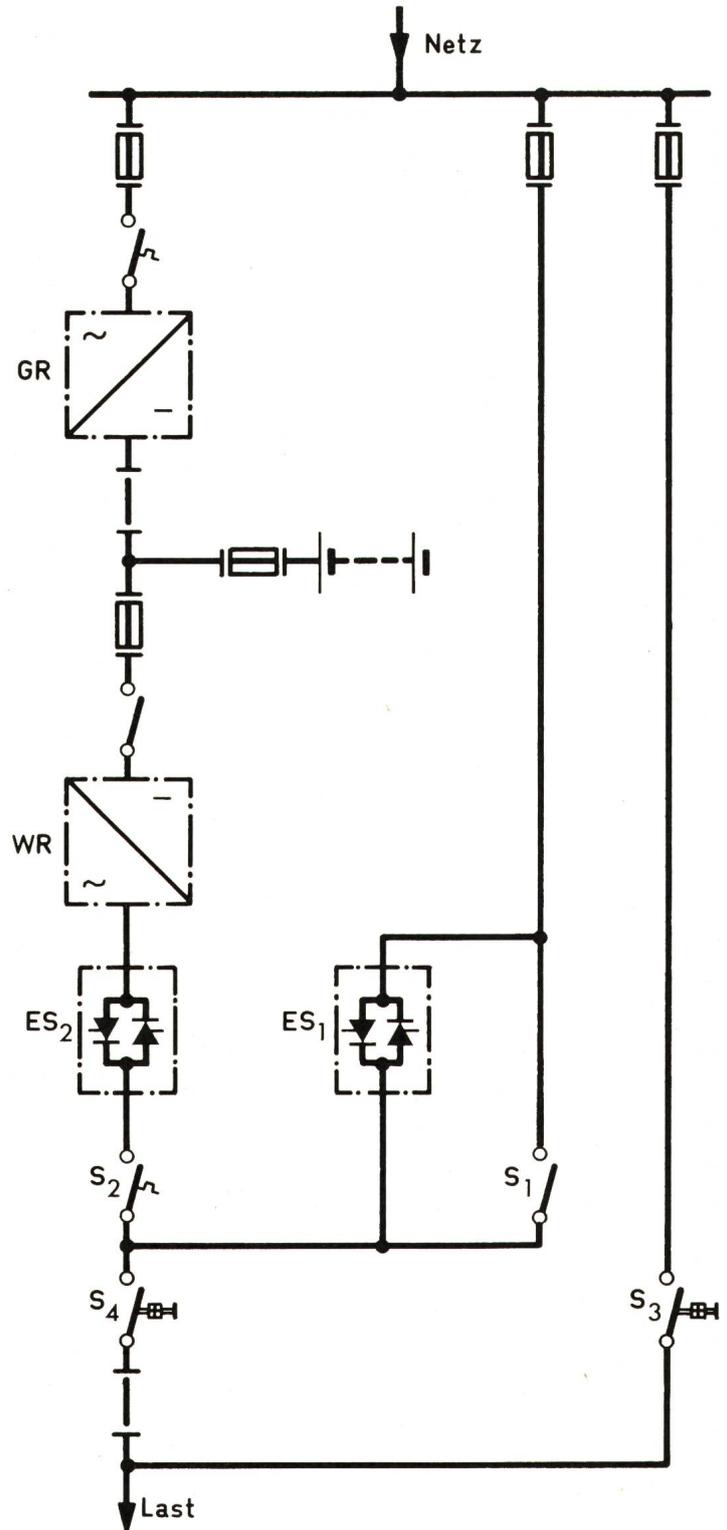


Fig. 3
Dauerstromanlage bestehend aus dem Netz und einer statischen Stromversorgung
Definitive Schaltung

- GR Gleichrichter
- WR Wechselrichter
- ES₁, ES₂ statische Schalter; erstes Umschaltssystem
- S₁, S₂ elektromechanische Schalter
- S₃, S₄ Handschalter; zweites Umschaltssystem

mensioniert. Neben den statischen Angaben dürfen auch die während dem Betrieb eintretenden Laständerungen keine unzulässigen Spannungsschwankungen verursachen. Dies wird meistens durch eine möglichst schnelle Regelung und einen genügend grossen Parallel L - C -Schwingkreis erreicht. Die Anlage soll nicht durch mehrfaches Multiplizieren der Anforderungen mit Sicherheitsfaktoren unnötig überdimensioniert werden. Man vermeidet damit eine Verteuerung und eine Verminderung der Sicherheit durch Komplizierung der Anlage.

Der Betrieb mit eigener Stromversorgung schliesst äussere Einstreuungen von Störungen aus. Dies ist immer, besonders aber für Computer, eine willkommene Voraussetzung für eine einwandfreie und regelmässige Arbeit.

Bei Wechselrichter ausfall oder bei unzulässiger Abweichung der Ausgangsspannung von der vorgeschriebenen Sinusform wird die Last auf das Netz umgeschaltet. Als Ursache der Spannungsformabweichung ist nicht nur ein Wechselrichter-Ausfall möglich, sondern auch ein schneller Lastzuwachs.

Der Grund dieser Laständerung kann eine zusätzliche Einschaltung sein oder ein Kurzschluss in einem schon gespiesenen Teil der Last. In beiden Fällen erfolgt sofort eine Umschaltung. Die ganze Anlage verhält sich also praktisch wie das Netz mit seinem kleinen Innenwiderstand. Daraus folgt eine Vereinfachung der selektiven Absicherung der Last. Eine Grenze wird jedoch von der Dimensionierung des netzseitigen statischen Schalters gegeben. Die zur Umschaltung benötigte Zeit setzt sich wieder aus der Zeit zur Fehlerdetektion und Zuschaltzeit des Netzes zusammen und beträgt (bei einem mittleren Aufwand an Schaltelementen) maximal 0,12 ms für 50- und 60-Hz-Anlagen.

Selbstverständlich wird auch hier die statische Anlage immer in Phase mit dem Netz gehalten. Im Gegensatz zur Umschaltung der Last auf den Wechselrichter hat die Umschaltung auf das Netz den Vorteil, dass sie eine bessere Ausnutzung der Leistung der statischen Anlage erlaubt. Zur Umschaltung braucht man hier keine Reserveleistung vorzusehen, denn das Netz kann, wenn geeignet dimensioniert und abgesichert, ein Vielfaches der Nennleistung als Spitzenleistung liefern.

Die Umschaltung der Last erfolgt hier auch in drei Etappen: Feststellen des Fehlers, Einschalten des Netzes und Abschalten des Wechselrichters. Während einer kurzen Zeit muss das Netz die Last und die Impedanz der defekten statischen Anlage speisen. Diese Impedanz ist aber endlich, ausser im Fall eines Kurzschlusses unmittelbar vor dem statischen Schalter. Der Strom kann vor der Abschaltung maximal $2 I_n$ erreichen und ist also für das Netz noch tragbar.

Das Prinzipschema der Anlage ist aus Fig. 2 ersichtlich. Eine definitive Lösung wird in Fig. 3 gegeben.

Zum elektronischen Schalter ES_1 liegt ein elektromechanischer Schalter S_1 parallel und in Serie mit ES_2 wurde ein Schutzschalter S_2 geschaltet. Im normalen Betrieb, mit der Last am Wechselrichter WR angeschlossen, sind ES_2 und S_2 geschlossen bzw. ES_1 und S_1 sind geöffnet. Beim Auftreten eines Fehlers im Wechselrichter werden zunächst die statischen Schalter betätigt (ES_1 schliesst, ES_2 öffnet). Einige Perioden nach der Umschaltung der Last auf das Netz wird durch S_2 und S_1 der neue Schaltzustand elektromechanisch gesichert.

Während des Ausnahmezustandes ist die Last mit dem Netz über einen Schutzschalter verbunden. Dieser enthält weniger Bestandteile als der statische Schalter und ist aus diesem Grund sicherer.

Während einer Revision kann man durch Schliessen von S_3 und Öffnen von S_4 die ganze Dauerstromanlage spannungsfrei machen. Die Last erleidet dabei keinen Stromunterbruch.

Um den Ausnahmezustand, d. h. die Zeit der direkten Netzabhängigkeit, kurz zu halten, muss die Revision sehr schnell ausgeführt werden. Die Anlage ist deswegen in Einheiten unterteilt, die eine bestimmte Funktion erfüllen und als steckbare Einschübe aufgebaut sind. Der Servicetechniker, oft aber auch der Kunde kann in sehr kurzer Zeit den Fehler lokalisieren und eventuell gleich den Einschub wechseln.

Die Wiederherstellung des Normalbetriebes «Last auf WR» erfolgt durch gesteuerte Umschaltung auf den Wechselrichter WR ohne Unterbruch (By-Pass).

3.2 Dauerstromanlagen aus wenigstens zwei statischen Stromversorgungsanlagen

Dauerstromanlagen aus nur statischen Stromversorgungsanlagen werden aus verschiedenen Gründen eingesetzt. Zunächst wenn die Speisefrequenz der Last verschieden von der des vorhandenen Netzes ist und die Sicherheit einer einfachen Anlage nicht ausreicht. Aber auch bei guten Netzen mit sehr kleiner mittlerer Störungs- und Ausfallwahrscheinlichkeit ist diese weder über 24 h noch über ein Jahr konstant. Das Netz kann z. B. während Gewitterperioden, Schneefällen oder bei der Überlast um die Mittagszeit als redundante Quelle zuwenig sicher sein. In diesem Fall können mehrere statische Stromversorgungen für den Aufbau einer Dauerstromanlage eingesetzt werden.

Für die Speisung grosser Rechner werden heute so grosse Leistungen verlangt, dass eine statische Stromversorgung nur aus Parallelschaltungen mehrerer Grundeinheiten realisiert werden kann. Anstatt diese zusammengesetzte Anlage mit dem Netz in eine redundante Dauerstromanlage zu verbinden, kann man mit einer mässigen Erhöhung der Installationskosten eine sichere Anlage ohne Netz realisieren.

Die Dauerstromanlage wird aus n (wenigstens zwei) parallelgeschalteten statischen Stromversorgungen zusammengesetzt. Die Last kann aber mit $n-1$ Anlagen gespiesen werden. Bei Ausfall einer der n -Anlagen müssen die $n-1$ übrigen Anlagen die Last ohne Störung übernehmen können.

Bei zwei parallelgeschalteten Anlagen spricht man von einer Dauerstromversorgung mit Halbblastbetrieb, bei drei Anlagen von Zweidrittelbetrieb usw. Auch hier ist das Hauptproblem die Kopplung der verschiedenen Anlagen, die Detektion von Fehlern und die schnelle Abschaltung der defekten Einheit.

3.2.1 Dauerstromanlagen aus zwei statischen nicht parallelgeschalteten Stromversorgungsanlagen

Tabelle I ergibt alle möglichen Kopplungsarten, wenn man statt «Netz» einen zweiten Wechselrichter WR 2 einsetzt. Die in diesem Fall möglichen Betriebsarten wurden in Tabelle II zusammengestellt.

Die Betriebsart 1 mit zwei statischen Anlagen hat praktisch die gleiche Eigenschaft wie die Kombination Netz-WR (siehe Abschn. 3.1.1). Die Betriebsarten 2 und 3 bleiben gleich. Die Realisierungsprobleme und Eigenschaften entsprechen jenen der Umschaltung auf statische Anlagen (WR) beim Ausfall des Netzes (siehe Abschn. 3.1.2).

Die Höhe der Fehlerströme in defekten Anlagen ist im allgemeinen kleiner als beim Betrieb vom Netz.

Dauerstromanlagen aus einem Netz und einer statischen Stromversorgung
Tabelle der möglichen Betriebsarten

Betriebsart	Normalbetrieb (mit Redundanz)		Ausnahmebetrieb (ohne Redundanz)		Übergangssequenz	Übergang mit/ohne Unterbruch	Unterbruchsdauer (für Serie-Aus- führungen)	Maximale Spannungs- änderung (für Serie-Ausführungen)	Typisches Anwendungsgebiet	
	Netz	WR	Netz	WR						
1	vorhanden belastet	Aus -	ausgefallen getrennt	Ein belastet	Netz trennen und WR Ein, dann WR zuschalten	mit	-	max. 10 Perioden	Notbeleuchtungen, chemische Prozess- steuerungen, Mess-Kontrollgeräte, Betrieb netzunempfindlicher Geräte	
2a	vorhanden belastet	Ein Leerlauf	ausgefallen getrennt	Ein belastet	Netz trennen, dann WR zuschalten	mit	-	für 50... 60 Hz max. 0,11 ms	wie oben + einige Kleinrechner	
2b					WR zuschalten, dann Netz trennen	-	*ohne		+ 10 % - 25 % während einiger Perioden	
für 2a + 2b			vorhanden belastet	ausgefallen getrennt	WR Bereitschaft annullieren	-	ohne		+ 10 % - 50 %	
3a	vorhanden Leerlauf	Ein belastet	vorhanden belastet	ausgefallen getrennt	WR trennen, dann Netz zuschalten	mit	-	für 50... 60 Hz max. 0,11 ms	Einschalten von 100% der Last: + 10 % - 25 % während einiger Perioden	Notbeleuchtungen, Prozeßsteuerun- gen, Mess-Kontrollgeräte, Betrieb netzempfindlicher Geräte
3b					Netz zuschalten dann WR trennen	-	ohne		+ 10 % - 8 %	Computer (gutes Netz)
für 3a + 3b			ausgefallen getrennt	Ein belastet	Netzbereitschaft annullieren	-	ohne		keine	
Dauerstromanlagen aus einem Netz und mehreren parallelgeschalteten Stromversorgungen (mit Redundanz)										
	Netz vor- handen, Leerlauf (Umschalt- system ge- sperrt)	n WR Last $\frac{n-1}{n}$ %	Netz vor- handen, Leerlauf	(n-1) WR Last 100%	Trennung des defekten WR's Bereitstellung des Netzumschalters	-	ohne		Übergang n + (n-1) n = 3: + 10 % - 8 % Übergang (n-1) + Netz n = 3: + 10 % - 8 %	Computer (gestörtes Netz)

In der Tabelle werden folgende Abkürzungen benützt:
 WR = Gleichrichter + Batterie + Wechselrichter
 WR Ein/Aus = WR eingeschaltet / WR ausgeschaltet
 WR belastet = WR auf die Last geschaltet
 * mit Vorbehalt, spezielle Ausführung nötig
 WR Leerlauf = WR eingeschaltet im Leerlauf
 WR/Netz zuschalten = WR/Netz auf die Last zuschalten
 WR/Netz trennen = WR/Netz von der Last trennen

3.2.2 Dauerstromanlagen aus wenigstens zwei parallelgeschalteten Stromversorgungsanlagen

Ein Prinzipschema ist in Fig. 4 dargestellt. Jede Grundeinheit besteht aus dem Gleichrichter, der Batterie, dem Wechselrichter und einem statischen Schalter (ESP = elektrischer Schalter zur Parallelschaltung) mit eingebautem Fehlerdetektor. Wird eine Grundeinheit für die Redundanz vorgesehen, kann für eine Dauerstromanlage die Anzahl der Einheiten von 2...5 variieren. Die obere Grenze ist durch Sicherheitsgründe und Wirtschaftlichkeit gegeben.

Wird nun, wie oft in der Literatur, die Ausfallwahrscheinlichkeit der Dauerstromanlage definiert als Wahrscheinlichkeit des Ausfalls einer zweiten Einheit während der Reparaturzeit der ersten ausgefallenen Einheit, dann steigt die Unsicherheit mit n . Man hat also ein Optimum für $n = 2$. Betrachtet man aber die Ausfallwahrscheinlichkeit des Kopplungsteiles, besonders während des Umschaltens, dann ist die Lage ganz anders. Mit steigendem n kann nämlich der Kopplungsteil mit wenig Aufwand immer funktionssicher realisiert werden. Der ideale Zustand ist erreicht, wenn mit steigendem n der Kopplungsteil wegen seiner einfachen Konzeption die Trennfunktion mit einer Sicherheit garantieren kann, die einige Größenordnungen höher wird als diejenige einer Wechselrichter-Einheit. Während der Trennung stehen für die Speisung der Last und der defekten Anlage $n-1$ gesunde Anlagen zur Verfügung.

Die Analyse dieser Trennphase zeigt, dass ein Zusammenhang existiert zwischen Eigenschaften des Kopplungssystems, Dimensionierung der einzelnen Anlagen und Anzahl Anlagen.

Man kann annehmen, dass die Kopplungseinheit, bestehend aus einem Fehlerdetektor und einem statischen Schalter, im ungünstigsten Fall die Dauer des Fehlerstroms auf maximal 0,1 ms begrenzt. Der Fehlerstrom beträgt höchstens $2 I_n$.

Fig. 5 zeigt die Belastung einer Anlage in Funktion von n während der drei verschiedenen Perioden: Normalbetrieb mit n Anlagen, Übergangszeit und Ausnahmezustand mit $n-1$ Anlagen.

Die Überlastbarkeit des Wechselrichters während dieser Übergangszeit wird sowohl durch eine geeignete Dimensionierung des Parallelfilters erreicht wie auch durch eine Überdimensionierung anderer Teile des Wechselrichters.

Berücksichtigt man die Kosten (Überdimensionierung), die Ausfallwahrscheinlichkeit der einzelnen Anlagen, die dyna-

Dauerstromanlagen aus wenigstens zwei statischen Stromversorgungsanlagen
Tabelle der möglichen Betriebsarten

Tabelle II

Betriebsart	Normalbetrieb (mit Redundanz)		Ausnahmebetrieb (ohne Redundanz)		Übergangssequenz	Übergang mit/ohne Unterbruch	Unterbruchdauer (Für Serie-Ausführungen)	Maximale Spannungsänderung (für Serie-Ausführungen)	Typisches Anwendungsgebiet $f_{Last} \neq f_{Netz}$ Netz stark gestört
	WR 1	WR 2	WR 1	WR 2					
1	vorhanden belastet	Aus	ausgefallen getrennt	Ein belastet	WR 1 trennen und WR 2 Ein, dann WR 2 zuschalten	mit	max. 10 Perioden		Notbeleuchtungen, chemische Prozesssteuerungen, Mess-Kontrollgeräte
2a	vorhanden belastet	Ein Leerlauf	ausgefallen getrennt	Ein belastet	WR 1 trennen, dann WR 2 zuschalten	mit	für 50 ... 60 Hz max. 0,11 ms	Einschalten von 100 % der Last: + 10 % während einiger Perioden	wie oben + einige Kleinrechner
2b					WR 2 zuschalten, dann WR 1 trennen	—		+ 10 % — 50 %	
für 2a + 2b			vorhanden belastet	ausgefallen getrennt	WR 2 Bereitschaft annullieren	—		keine	
3	zwei WR parallel Last 50%		ausgefallen getrennt	Ein belastet	WR 1 trennen	—		+ 15 %	Computer
			Ein belastet	ausgefallen getrennt	WR 2 trennen	—		Spezialausführung für Halbblastparallelbetrieb + 10 % — 8	
4	drei WR parallel Last 66%		ein WR ausgefallen	zwei WR Last 100%	Trennung des defekten WR	—		+ 10 % — 8	Computer
5	n WR parallel Last $\frac{n-1}{n}$ %		ein WR ausgefallen	($n-1$) WR Last 100%	Trennung des defekten WR	—		$n = 3 : \pm 8\%$ $n = 4 : \pm 6\%$	Computer

Bezeichnungen siehe Tabelle I

mische Spannungsabweichung während des Umschaltens und die Anzahl n der parallelgeschalteten Anlagen, dann ist die Bestimmung eines Optimums wegen der Verschiedenheit der Parameter sehr schwer. Praktisch haben Statistiken über das Verhalten von mehr als 60 Anlagen mit parallelgeschalteten Wechselrichtern gezeigt, dass mit der heutigen Technik ein Optimum für n zwischen drei und vier liegt.

4. Aufbau der Dauerstromanlage

Es werden hier nicht die verschiedenen Bestandteile der Dauerstromanlage im Detail behandelt. Neben den Bedingungen, die durch die Wahl des Prinzips entstanden sind, müssen noch Angaben über die Eigenschaften der Dauerstromanlage angegeben werden. Nur dann ist eine Dimensionierung der einzelnen Teile möglich.

Bestimmend für die Batterie sind:

Gewünschte Notstromdauer, maximale Zeit zur Wiederherstellung der Notstrombereitschaft nach vollständiger Batterieentladung (man beachte den maximalen Lade- und Entladestrom), minimale Lebensdauer der Batterie.

Bestimmend für den Gleichrichter sind:

Aufladezeit der entladenen Batterie bei gleichzeitiger Speisung des belasteten Wechselrichters, Einhalten der maximalen Stromwelligkeit auf der Batterie zur Gewährleistung der gewünschten Lebensdauer.

Der Wechselrichter soll eine genügend kleine Ausfallwahrscheinlichkeit besitzen. Dies wird zum Teil durch Verdopplung wichtiger Teile und allgemeiner Überdimensionierung der Bestandteile erreicht.

Massgebend für die Konstruktion ist die maximale Revisions- und Reparaturzeit der Dauerstromanlage. Eine jährliche gründliche Revision garantiert das gute Verhalten der Anlage. Während dieser Revisionszeit muss man auf die Redundanz verzichten (Betrieb am Netz oder mit $n-1$ Wechselrichter).

Eine rasche mechanische und elektrische Kontrolle sämtlicher Bauteile und Verbindungen kann nur bei zugänglichen Elementen ausgeführt werden. Die Einschubtechnik erlaubt eine simultane Kontrolle der trennbaren Einheiten und der in den Schränken zurückgebliebenen Elemente. Heute werden damit Revisionszeiten von 8 h eingehalten.

Bei der Reparatur spielt die Zugänglichkeit der Bauteile eine noch wichtigere Rolle. Infolge der angewendeten Einschubtechnik genügt die Lokalisierung des Fehlers in einer auswechselbaren Einheit, um die Reparatur abzuschliessen. Es entstehen somit nur kurze Betriebszeiten ohne Redundanz.

Da ein zugänglicher Aufbau immer ein grosses Volumen aufweist, steht er leider im Gegensatz mit dem Bodenpreis. Man ist wegen gegebenen Räumlichkeiten oft gezwungen, kompakte Konstruktionen zu realisieren. In diesem Fall ist eine forcierte Kühlung mit Redundanz besonders wichtig.

Fig. 4
Dauerstromanlage bestehend aus n parallelgeschalteten statischen Stromversorgungen

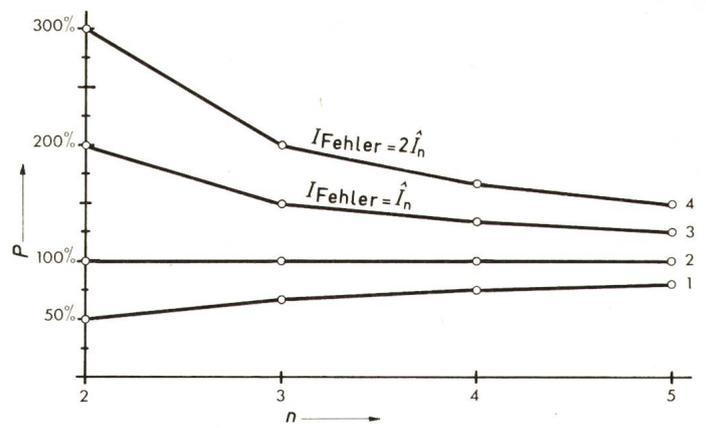
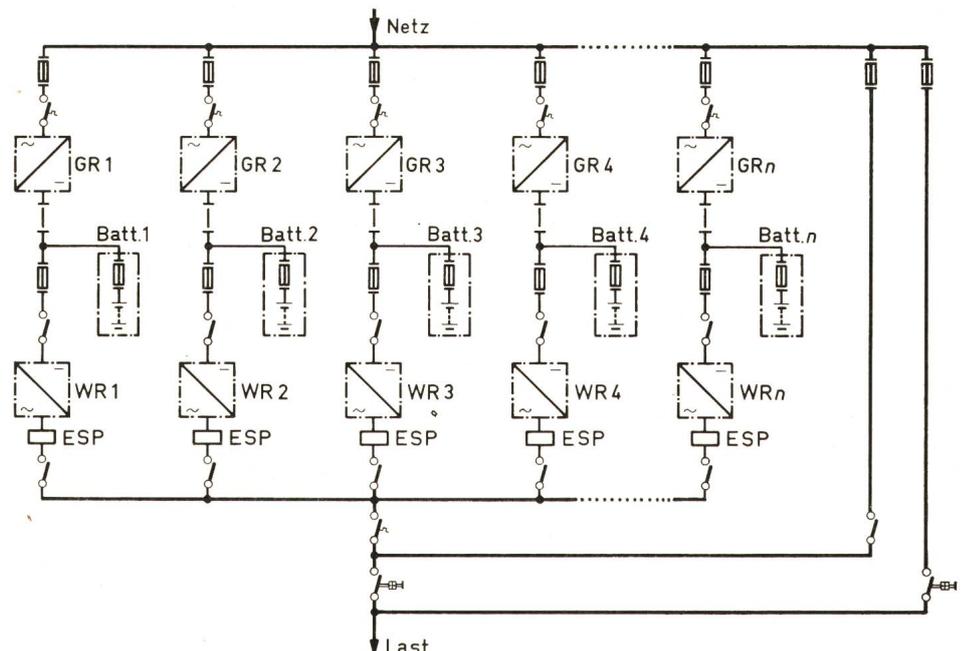


Fig. 5
Verlauf der Belastung einer Anlage während der Umschaltung in Funktion von n

- P Belastung
- 1 Belastung einer stat. Stromversorgung bei Normalbetrieb
- 2 Belastung einer stat. Stromversorgung im Ausnahmezustand
- 3, 4 Belastung einer stat. Stromversorgung in der Übergangszeit

Durch diese Kompromisse wird auf einen Teil der oben genannten Vorteile bewusst verzichtet.

5. Anhang

Frage 1:

1. Frage über die selektive Absicherung von Lasten bei Anschluss an statische Stromversorgungen. Das Netz unterstellt sich den thermischen und magnetischen Abschaltensystemen mit ihren bekannten Kennlinien. Wechselrichter enthalten zum Schutz von Halbleitern superflinke Schmelzsicherungen sowie aktive Strombegrenzer.

Man möchte gerne wissen, welche Erfahrungen bestehen mit der selektiven Absicherung bei statischen Anlagen. (Wie muss man sich verhalten bei Zusammenschalten von Wechselrichtern und Netz?)

Antwort:

Die Frage selektiver Absicherung bei statischen Anlagen kann wegen der gegenüber dem Netz kleineren Überlastbarkeit nicht wie beim Netz gelöst werden. Die Energie zum Schmelzen von Schmelzsicherungen oder zur Auslösung von schnellen magnetischen Schutzschaltern wird hauptsächlich vom Paral-

lresonanzkreis des Filters und nur zum Teil durch eine schnelle Amplitudenregulierung geliefert. Diese Energie ist von der Dimensionierung der Anlage gegeben und beeinflusst damit den kW-Preis der statischen Energie.

Heutige Anlagen gestatten den beliebigen Einsatz von Schmelzsicherungen, deren Stärke $1/10$ des Nennstromes der Anlage betragen. Für Ströme zwischen $1/10$ bis $1/2$ des Anlagenennstromes muss die Art des Kurzschlusses angegeben werden. Das Absicherungsproblem wird in Funktion der Auswirkung des Kurzschlusses auf der Verteilungsschiene behandelt.

Als obere Grenze des nötigen Aufwandes kann man den Fall der Absicherung einer Last betrachten, die in zwei Gruppen von je 50% unterteilt ist. Verlangt wird, dass bei Kurzschluss auf einer der Lashälften die maximale Verformung der Schienenspannung innerhalb $+10 \dots -8\%$ bleibt. Praktisch muss hier zur Abschaltung des Kurzschlusses ein elektronischer Schalter eingesetzt werden. Der Fehlerdetektor darf aber bei Einschaltströmen nicht ansprechen.

Bei Speisung von Computer ist die Unterteilung der Last praktisch immer möglich, und es genügt, wenn man keine ungeschickte Gruppierung vornimmt. Bei Umschaltung der Last

auf das Netz stellt die für die statische Anlage entworfene Absicherung kein Problem dar.

Frage 2:

Werden die Angaben über das dynamische Verhalten für einen Schritt von Halblast bis Vollast oder von Leerlauf bis Halblast gegeben?

Antwort:

Für statische Anlagen, die im Halblastparallelbetrieb arbeiten, müssen die Angaben $+10 \dots -8\%$ für einen Schritt von Vollast bis Halblast eingehalten werden. Für andere Anlagen genügen Angaben über Schritte von 30% der Vollast. Allgemein verursacht das Zuwachsen der Last keine Schwierigkeiten. Dagegen können zum Beispiel bei der Entlastung von 50% auf Null Überschwingungen der Spannung des Parallelfilters auftreten. Deswegen ist es sinnvoller, für den der Praxis entsprechenden Schritt von 60% (bzw. 40%) eine Toleranz von 10% zuzugeben. Bei sehr empfindlichen Lasten kann dieses Überschwingen durch zusätzlichen Einbau eines dynamischen Spannungsbegrenzers auf $+5\%$ gehalten werden.

Adresse des Autors:

Dr. R. Derighetti, AGIE, AG für industrielle Elektronik, 6616 Losone.

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Sitzungen des SC 13A, Compteurs, vom 22. bis 27. Juni 1972 in Toronto

Der wiederholten Einladung des kanadischen Nationalkomitees folgend, tagte das SC 13A unter dem Vorsitz von M. Whitehead (UK) vom 22. bis 27. Juni in Toronto. An den Sitzungen nahmen 40 Delegierte aus 15 Ländern teil. Als Vertreter der OIML war R. Seite (SIM-F) anwesend. Zur Erleichterung der Teilnahme organisierte das Bureau Central mit A. Riaplov als Reiseleiter und Dolmetscher einen Gruppenflug zusammen mit dem SC 13B.

In einem knappen Rückblick machte der Vorsitzende auf die neu erschienene Publikation 387, Symboles pour compteurs à courant alternatif, aufmerksam. Anschliessend wurde das Dokument 13A(Secrétariat)241, Essais de réception des wattheure mètres à courant alternatif de la classe 2,0 zu welchem auch das CES Stellung genommen hatte, behandelt. Obschon der Vorsitzende darauf hinwies, dass das Dokument vorerst als CEI-Rapport erscheint und somit keine Perfektion angestrebt werden müsse, wurde einem Änderungsvorschlag zugestimmt, der für die Variablenprüfung, sowohl bei der Methode der Standardabweichung wie auch der mittleren Rangmethode, die gleiche Stichprobengrösse vorsieht und damit abweichende Prüfschärfen zulässt. Die Operationscharakteristiken sind daher neu zu bestimmen und gleichzeitig in den Anhang zu verlegen. Nach einem weiteren Antrag ist der Begriff des AQL in das Dokument einzuführen, obwohl damit wegen des Nebeneinanders von Stückprüfung und Stückprobenprüfung begriffliche Schwierigkeiten zu erwarten sind.

Die abschnittsweise Behandlung führte zur Streichung der Prüfung des Spannungsleerlaufes bei umgekehrter Drehrichtung, während die lange Diskussion über Zählerfehlergrenzen, Fremdfeldbestimmung, Messunsicherheit sowie die Genauigkeit der Prüfstationen keine Änderung des Dokumentes erfordert.

Der Vorsitzende entschied, dass der Appendix, der in einer späteren Empfehlung weggelassen werden soll, nicht behandelt wird und, dass durch eine gemischte Arbeitsgruppe, bestehend aus Mitgliedern der GT 3 und des Redaktionskomitees ein Bureau-Central-Dokument erarbeitet wird, das der 6-Monats-Regel unterstellt werden soll.

Weniger Erfolg war dem Dokument 13A(Secrétariat)240, Compteurs à courant alternatif des classes 0,5, 1,0 et 2,0, beschieden, wurde es doch nach zähen Verhandlungen zur Überarbei-

tung an eine gemischte Kommission, bestehend aus Mitgliedern der GT 4 und dem Redaktionskomitee zurückgewiesen. Es soll dem SC 13A als neues Sekretariatsdokument vorgelegt werden.

Grundsätzlich wurden am Dokument die vielen Änderungen bemängelt, welche entgegen der ursprünglichen Absicht, lediglich die drei separaten Empfehlungen über die Typenprüfung der Zählerklassen 2,0, 1,0 und 0,5 in einer einzigen zusammenzufassen, vorgenommen wurden. Abgesehen davon, dass die Glaubwürdigkeit der CEI-Dokumente damit nicht gefördert wird, fehlen wesentliche Verbesserungen wie etwa bezüglich der Zählerfehlergrenzen bei inversem Drehfeld von Mehrphasenzählern.

In der abschnittweisen Beratung, die mit der Ziffer über mechanische Anforderungen begann, blieben Änderungsvorschläge hinsichtlich Präzisierung des Ausdrucks «matières combustibles», Erdungsklemme und Kriechstromabstände unberücksichtigt, hingegen wurde 15 A als Basisstrom (für Zähler mit Direktanschluss) und 110 V als Nennspannung für Messwandlerzähler akzeptiert. Auf Verlangen der Delegation aus Kanada und USA wurde die zulässige Verlustleistung der Spannungskreise für Mehrphasenzähler auf 2 W und 10 VA geändert.

Eine zeitraubende Diskussion über die maximale Temperatur im Zähler, in deren Verlauf auch auf die Bedeutung der Zuleitungen hingewiesen wurde, führte zu keiner Änderung des Dokumentes. Dasselbe gilt auch für die Kontroverse über die Wechselstromprüfung und Schutzisolation, wobei einmal mehr festgestellt werden musste, dass die Haushaltzähler nicht unter die Sicherheitsvorschriften Publ. 335-1 der CEI, Haushaltgeräte, fallen.

Hingegen soll durch die Prüfung der inneren Stossfestigkeit (6 kV) eine grössere Sicherheit gegen Spulenunterbruch bei Mehrphasenzählern erzielt werden.

In der alten Streitfrage, ob auf dem Leistungsschild die Spulen- oder die Netzspannung oder beide zusammen anzugeben seien, wurde schlussendlich auf Freiheit der Wahl entschieden [wie im Dokument 13A(Bureau Central)29].

Die Prüfbedingungen erfuhren eine Verschärfung hinsichtlich der zulässigen Spannungsabweichungen bei Mehrphasenzählern und der Schrägaufhängung ($\pm 0,5^\circ$ für alle Zählerklassen), während der Klirrfaktor der Klasse 2,0-Zähler 3% betragen darf. Die Fehlergrenze bei $5\% I_b$ und $\cos \varphi = 1$ der Klasse