Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 69 (1978)

Heft: 20

Artikel: Summenstrom-Messeinrichtung für Gleich- und Wechselstrom

Autor: Wirth, H.P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-914948

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

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

Summenstrom-Messeinrichtung für Gleich- und Wechselstrom [1])

Von H. P. Wirth

621.317.31::621.316.9;

Die Verwendung von Gleichstromkreisen in netzbetriebenen Geräten bringt es mit sich, dass auftretende Fehlerströme auch Gleichstromkomponenten enthalten. Das vorgestellte Messprinzip erfasst Gleich- und Wechselströme und überwacht ausserdem die Isolation zwischen Null- und Schutzleiter. Es erlaubt den Aufbau von FI-Schaltern, die nach dem Arbeitsstrom- oder Ruhestromprinzip arbeiten. Die mit den angegebenen, zusätzlichen Schaltungsmassnahmen erreichte Auslöseempfindlichkeit übertrifft diejenige der heute üblichen FI-Schalter um etwa das Dreifache.

Cet article résume le travail présenté dans le cadre du 23e thème de Concours de la fondation Denzler «dispositif de mesure de la somme de courants». Il propose et analyse des dispositifs basés sur la saturation d'un noyau magnétique en anneau, utilisables pour courants continus et alternatifs.

1. Aufgabenstellung

Es ist eine Summen-Messeinrichtung, die Gleich- und Wechselstrom erfasst, mit den folgenden Eigenschaften zu entwickeln:

Eingang:	2 bis 4 Leiter, Prüfungsspannung $\geqq 3$ kV$\sim$; Gleich- und Wechselstrom, auch mit Phasenanschnitt, symmetrisch oder asymmetrisch; Ströme etwa 10...100 A.
Ausgang:	ungefähr proportional $\Sigma\,(i_1 + i_2 + ... + i_n)$ (Summe der Momentanwerte); keine eng tolerierte Linearität, sondern gute Reproduzierbarkeit eines Grenzwertes, d.h. im Frequenzbereich 10...200 Hz etwa $\pm$ 10% des Grenzwertes. Für höhere und tiefere Frequenzen sind höhere Werte zulässig. kleinste erfassbare Summe: $^1/_{20\,000}$ des grössten Eingangsstromes.
Rand-bedingungen:	kleines Volumen, niedriger Preis, Eigenverbrauch < 50 W, Temperaturbereich: -10 bis $+60$ °C, Verwendung von Hilfsenergie ist zulässig.

2. Das Sättigungsprinzip

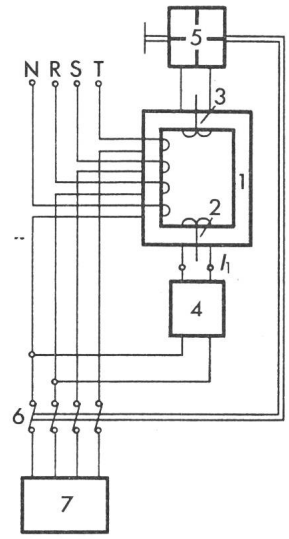
Die Aufgabe lässt sich theoretisch durch verschiedene Grundprinzipien lösen. Die meisten scheitern jedoch an der Dimensionierung, da der Nutzeffekt die Störeinflüsse zuwenig überragt. Einzig diejenigen Methoden haben Aussicht auf Erfolg, die auf der Nichtlinearität der Magnetisierungskennlinie eines Summenstromwandlers beruhen, denn es stehen magnetische Materialien zur Verfügung, deren differentielle Permeabilität sich im (mit Ringkernen) erreichbaren Feldstärkebereich von 0...20 mA cm um mehr als eine Zehnerpotenz ändert.

Aus der Vielzahl der Auswertungsmöglichkeiten für diese magnetische Eigenschaft wurde die im folgenden als Sättigungsprinzip bezeichnete Methode ausgewählt und näher untersucht. Fig. 1 zeigt die Anwendung des Sättigungsprinzips in einem Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter).

Der zu messende Summenstrom (Fehlerstrom) der Leitungen R, S, T, N erzeugt im Ringkern einen netzfrequenten Hauptfluss. Dieser überlagert sich dem von I_1 erzeugten niederfrequenten Hilfsfluss. Weil die Permeabilität des Kernes eine Funktion der Feldstärke ist, wird die Induktion und damit die Spannung an den Wicklungen im Takt des Hauptflusses moduliert. Diese Spannungsänderung bewirkt in einer Auswerteschaltung (5) mit Schwellwertbildung und Schaltschloss das Öffnen der Kontakte, womit der Verbraucher vom Netz getrennt wird.

Die in Fig. 2 dargestellte Schaltung dient zur Untersuchung der Eigenschaften des Sättigungsprinzipes. In der Primärwicklung wird vom Stromgenerator ein tonfrequenter Strom I_1 eingeprägt. Dieser erzeugt in der Sekundärwicklung die Spannung U_2, die abhängig ist vom Strom I_s, der den Summenstrom in den Phasenwicklungen R, S, T, N darstellt.

Fig. 1
Das Sättigungsprinzip im FI-Schalter
1 Stromwandler-Kern
2 Primärwicklung
3 Sekundärwicklung
4 Oszillator
5 Elektromechanischer Auslöser
6 Kontakte
7 Angeschlossener Verbraucher
I_1 Primärstrom



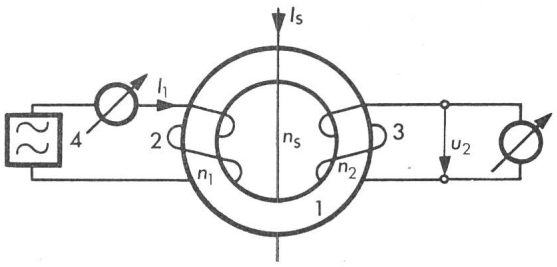


Fig. 2 **Messanordnung**
1 Ringkern aus Ultraperm Z, Typ 23/16
2 Primärwicklung mit $n_1 = 10$ Windungen
3 Sekundärwicklung mit $n_s = 10$ Windungen
4 Oszillator
I_1 Primärstrom
I_s Summenstrom
n_s Summenstromwicklung mit $n_s = 1$ Windung
U_2 Sekundärspannung

[1]) Dieser Aufsatz entspricht der Arbeit, die der Autor zur 23. Preisaufgabe der Denzler-Stiftung eingereicht hat und deren Preis ihm anlässlich der SEV-Generalversammlung vom 26. August 1978 überreicht worden ist. Die vollständige Aufgabenstellung wurde im Bull. SEV/VSE 67(1976)18, S. 1009 veröffentlicht.

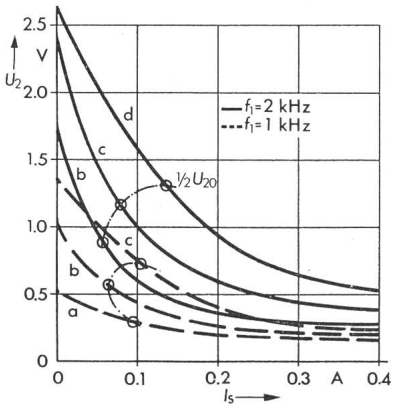


Fig. 3 **Einfluss des Summenstromes I_s auf die Ausgangsspannung U_2 für f_s = 50 Hz**
a I_1 = 10 mA b I_1 = 15 mA c I_1 = 20 mA d I_1 = 25 mA

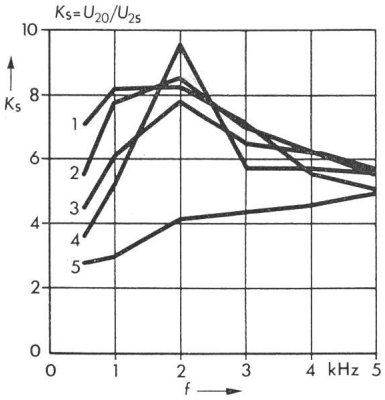


Fig. 4 **Frequenzabhängigkeit des Steuerfaktors bei I_s = 0,5 A, 50 Hz**
Werte für I_1:
1 15 mA 2 20 mA 3 25 mA 4 30 mA 5 35 mA

3. Kennlinien

Das Kennlinienfeld $U_2 = F(I_s)$ in Fig. 3 erlaubt es, einen Standard-Summenstrom I_s zu definieren, dessen Überschreitung kein wesentliches Absenken der Ausgangsspannung mehr ergibt. Mit I_s kann nun ein sog. Steuerfaktor K_s definiert werden:

$$K_s = \frac{U_2 \text{ ohne } I_s}{U_2 \text{ mit } I_s} = \frac{U_{20}}{U_{2s}}$$

Ein grosser Steuerfaktor ergibt auch mit einer einfachen Auswerteschaltung eine gute Reproduzierbarkeit der Ansprechschwelle, reduziert jedoch die erreichbare Empfindlichkeit. Für eine eindeutige Auslösung ist $K_s \geqq 2$ anzustreben.

Fig. 4 zeigt, dass es für jeden Strom I_1 eine günstigste Frequenz gibt. Mit I_s = 0,5 A findet man einen höchsten Steuerfaktor von K_s = 9,5 für I_1 = 20 mA und f = 2 kHz.

Bei vorgegebenem Steuerfaktor K_s = 2 erhält man den optimalen Arbeitspunkt, indem man in Fig. 3 auf jeder Kurve den Punkt für K_s = 2 sucht und diese Punkte in der angegebenen Weise miteinander verbindet. Optimal ist dasjenige Parameterpaar (I_1, f), das den gewünschten K_s-Wert bei kleinstem Summenstrom I_s ergibt. Für das bestgeeignete Kernmaterial Ultraperm Z ergeben sich die Parameterwerte I_1 = 15 mA, f = 2 kHz. Der dazu notwendige Summenstrom beträgt I_s = 60 mA.

4. Abschätzung der Realisierbarkeit am Beispiel des 4poligen FI-Schalters mit I_n = 40 A, $I_{\Delta n}$ = 30 mA

FI-Schalter müssen beim Nenn-Fehlerstrom $I_{\Delta n}$, im Beispiel bei 30 mA, auslösen, dürfen jedoch bei $0{,}5 \times I_{\Delta n}$, also bei 15 mA nicht auslösen. Man legt deshalb den Ansprechwert auf I_s = 20 mA.

Die untersuchten Wandlerkerne hatten Abmessungen, wie sie für FI-Schalter konventioneller Art üblich sind. Die vorhandenen 3 Windungen pro Phase ergeben bei I_s = 20 mA eine Auslöse-Durchflutung von $n \cdot I_s$ = 60 mA. Damit erreicht man bei 50 Hz Wechselstrom den ausreichenden Steuerfaktor K_s = 2, bei Gleichstrom sogar K_s = 3.

5. Möglichkeiten zur Steigerung der Empfindlichkeit

Man kann die Empfindlichkeit steigern, indem man nicht direkt die Spannung U_2, sondern die Differenzspannung ($U_{20} - U_{2s}$) auswertet. Je nachdem, ob die Gesamtanordnung nach dem Arbeitsstromprinzip oder konsequent nach dem selbstüberwachenden Ruhestromprinzip arbeiten soll, sind die Auswerte-Schaltungen verschieden.

5.1 Das Arbeitsstromprinzip

Fig. 5 zeigt eine bezüglich Selbstüberwachung günstige Schaltungsvariante, bei der jedes der beiden verstärkten Signale U_{ref} und U_2 einer Wicklung des Auslösers zugeführt wird. Bei fehlendem Fehlerstrom I_s kompensieren sich die Kraftwirkungen im Magnetkreis des Auslösers. Dieser Null-Abgleich bleibt auch bei variierender Netzspannung erhalten, da beide Teilströme gleichermassen beeinflusst werden. Der Schwellwert wird entweder durch Rückstellfeder und Reibungskräfte des Auslösers bestimmt oder durch eine nichtlineare Charakteristik des Verstärkers für U_2.

5.2 Das Ruhestromprinzip

In FI-Schaltern nach dem Ruhestromprinzip bewirkt jeder innere Defekt das Öffnen der Kontakte. Im Schaltungsvorschlag von Fig. 6 ist für die Auswertung der Differenz $U_{ref} - U_2$ ein weiterer Ringkerntransformator vorgesehen.

Tritt eine (Gleichstrom-)Differenz auf, dann transformiert sich die niederfrequente Spannung U_3 wegen der Kernsättigung nur noch teilweise auf die Sekundärseite, womit der Haltemagnet abfällt.

5.3 Frequenzselektive Auswertung der Ausgangsspannung

Die bisherigen Messungen wurden mit frequenzlinearen Messgeräten durchgeführt. Schaltet man jedoch ein auf das dreifache der Hilfsfrequenz f_1 abgestimmtes Resonanzfilter zwischen die Ausgangswicklung des Wandlers und den Verstärker, erhält man Steuerkurven gemäss Fig. 7, Kurven 1 und 2.

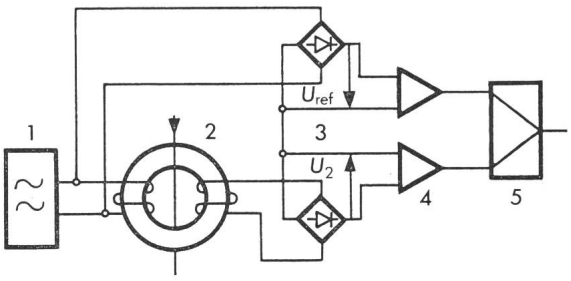


Fig. 5 **Hochempfindliche Schaltung für Arbeitsstrom-Auslöser**
1 Oszillator 3 Gleichrichter 5 Auslöser
2 Wandler 4 Verstärker

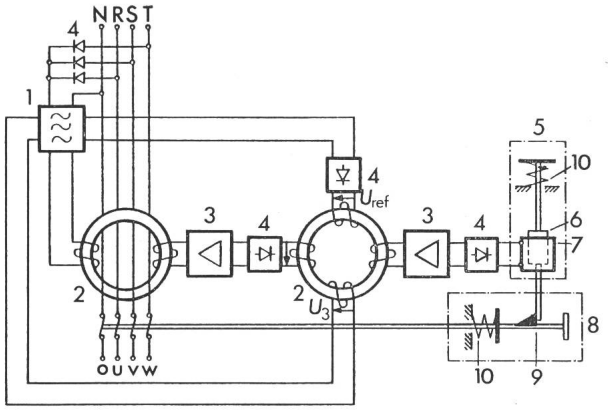


Fig. 6 Hochempfindliche Schaltung für Ruhestrom-Auslöser

1 Oszillator
2 Summenstromwandler
3 Verstärker
4 Gleichrichter
5 Auslöser
6 Anker
7 Spule
8 Schaltschloss
9 Klinke
10 Feder

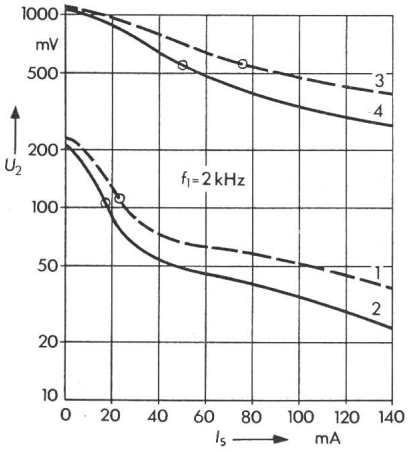


Fig. 7 Einfluss des Filters für die dreifache Frequenz von f_1

1 Mit Filter, I_s = Wechselstrom, f_s = 50 Hz
2 Mit Filter, I_s = Gleichstrom
3 Ohne Filter, I_s = Wechselstrom, f_s = 50 Hz
4 Ohne Filter, I_s = Gleichstrom

Ein Vergleich mit den Kurven ohne Filter zeigt, dass das Filter für $K_s = 2$ eine Empfindlichkeitssteigerung um den Faktor 3 bewirkt. Damit ergibt sich die Möglichkeit, einen 30-mA-FI-Schalter mit einem Wandler zu bauen, bei dem die Phasenwindungen lediglich durchgesteckt werden. Die hohe Auslöseempfindlichkeit löst somit auch die Verlustleistungs- bzw. Erwärmungsprobleme, die sich bei den konventionellen FI-Schaltern stellen.

6. Der Frequenzeinfluss

Fig. 8 zeigt, dass die Ansprechgrenze mit zunehmender Frequenz von I_s ansteigt, d.h., dass der Auslöser unempfindlich wird. Für dieses Verhalten sind drei Effekte verantwortlich: Die Hysteresis-Kurve des Wandlermaterials wird breiter, der von I_s induzierte Spannungsanteil nimmt zu und zudem fallen mehr Oberwellen in den Frequenzbereich des Auswertefilters.

Diese Effekte führen dazu, dass oberhalb einer bestimmten Frequenz ein Steuerfaktor von $K_s = 2$ nicht mehr erreicht werden kann. Das vorliegende Prinzip eignet sich also speziell für den tieferen Frequenzbereich von 0...ca. 200 Hz.

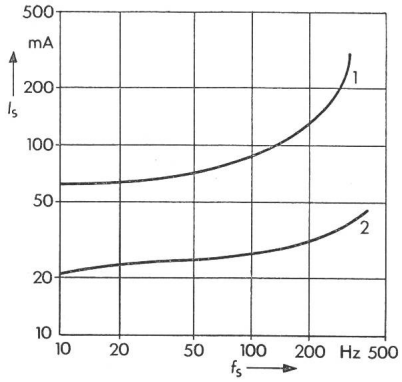


Fig. 8 Ansprechgrenze (K_s = 2) als Funktion der Frequenz

1 Ohne Filter 2 Mit Filter

7. Überwachung des Nulleiters

Fig. 9 zeigt, dass bei einem Kurzschluss zwischen dem Null- und dem Schutzleiter (bzw. «Erde») ein geschlossener Stromkreis entsteht, der als Kurzschlusswindung des Stromwandlers wirkt. Der Widerstand R_E dieser Windung reduziert die Spannung U_2 um einen Faktor K, der sich wie folgt berechnet:

$$K = \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_E}\left(\frac{n_s}{n_1}\right)^2}$$

Für $K = 2$ liegt R_E im Bereich von einigen Ohm.

8. Die Verlustleistung

Die für die Magnetisierung des Kerns benötigte Scheinleistung liegt z.B. für f_1 = 1000 Hz bei P_1 = 45 mW (Fig. 3). Zur Deckung der Verluste in der Stromstabilisierungsschaltung, die zur Bildung einer Stromquelle für die Primärwicklung dient, werden etwa weitere 45 mW benötigt, so dass sich bei einem Oszillatorwirkungsgrad von 50% für den Oszillator eine Eingangsleistung von ca. 0,18 W ergibt.

Die Leistung des Magnet-Auslösers (einige Watt) tritt beim Arbeitsstromprinzip nur während der kurzen Auslösezeit von ca. 5...10 ms auf und fällt dabei in bezug auf die Schaltererwärmung nicht in Betracht. Beim Ruhestromprinzip dagegen muss permanent eine Halteleistung von ca. 1...2 W aufgebracht werden.

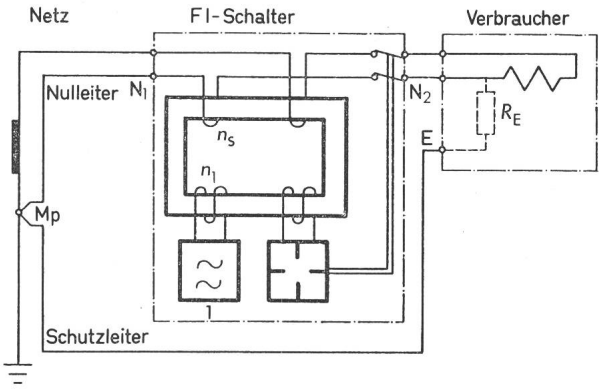


Fig. 9 Bildung einer geschlossenen Windung bei Kurzschluss zwischen Nulleiter und Schutzleiter bzw. Erde

Kurzschlussweg: $M_p - N_1 - N_2 - R_E - E - M_p$
1 Tonfrequenz-Generator mit Innenwiderstand R_i
R_E Widerstand der Kurzschlusswindung
n_1 Windungszahl der Primärwicklung
n_s Windungszahl der Nulleiter-Wicklung

Als grösste Wärmequelle im FI-Schalter wirken die stromführenden Phasenleiter, deren Verlustleistung das eigentliche Kriterium für die Realisierbarkeit des Schalters darstellt.

Für das Beispiel des 4poligen Typs 40 A/30 mA liegt die gemessene Verlustleistung etwa bei $P = 5$ W, so dass die in der Aufgabe genannte Grenze von $P = 50$ W bei weitem nicht beansprucht wird.

9. Zusammenfassung

Das gewählte Sättigungsprinzip hat folgende Vorzüge:

- einfache, übersichtliche Funktionsweise
- gute Frequenz- und Temperaturunabhängigkeit
- überwacht zusätzlich die Isolation zwischen Nulleiter und Schutzleiter
- bei einem Steuerfaktor von $K_s = 2$ ist die Empfindlichkeit der günstigsten Schaltung dreimal höher als bei konventionellen FI-Schaltern
- die Möglichkeit ist gegeben, den ganzen FI-Schalter nach dem selbstüberwachenden Ruhestrom-Prinzip aufzubauen

Die zur Auslösung benötigte Durchflutung ist bei der einfachsten Version gemäss Fig. 1 für $K_s = 2$ etwa gleich gross wie bei den konventionellen FI-Schaltern.

In einer Anordnung nach Fig. 5 oder Fig. 6 ist eine Auslöseempfindlichkeit von 5 mA bei $I_n = 25$ A für den 4poligen Typ durchaus realisierbar.

Bei der frequenzselektiven Auswertung der dritten Harmonischen der Steuerfrequenz kann entweder die Empfindlichkeit oder der Nennstrom noch um den Faktor 3 gesteigert werden.

Vor allem das lückenlos angewendete selbstüberwachende Ruhestromprinzip dürfte die Einführung von FI-Schaltern mit elektronischen Auslösern wesentlich begünstigen und würde damit einen Beitrag leisten zur Erhöhung des Schutzniveaus in Installationen, in denen im Fehlerfall dem Summen-Wechselstrom auch Gleichstromanteile überlagert sein können.

Adresse des Autors
Herbert P. Wirth, dipl. El.-Ing. ETHZ, c/o Weber AG, 6020 Emmenbrücke.

Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC)

Sitzung des TC17B, Appareillage à basse tension, vom 3. bis 5. Juli 1978 in Frankfurt

Zu der unter dem Vorsitz von K. W. W. Wolff (UK) abgehaltenen Sitzung fanden sich 18 Delegierte aus 7 Ländern in Frankfurt zusammen. Auf der Traktandenliste stand die laufende Harmonisierungsarbeit der CEI-Publikationen 157, Disjoncteurs; 158, Contacteur; 292, Demarreurs de moteurs à basse tension; 337, Auxiliaires de commande à basse tension und 408, Interrupteurs à basse tension dans l'air.

Die sehr vielen Länderabweichungen zu diesen Dokumenten führten bis heute zu keiner Harmonisierung. Es war nun Zweck dieser Zusammenkunft, die Länderabweichungen möglichst zu eliminieren, um die angestrebte Harmonisierung auf CENELEC-Ebene zu erreichen. Grundsätzlich wurde beschlossen, dass die Abweichungen auf der Basis der CEI bereinigt werden sollen und dass diejenigen Abweichungen, die von CEI nicht angenommen werden, durch CENELEC auch nicht zu berücksichtigen sind. Ferner sollen durch CENELEC gemeinsam beschlossene Abweichungen der CEI unterbreitet werden. So wird erreicht, dass nach der Revision der vorerwähnten CEI-Publikationen die Harmonisierungsdokumente von CENELEC einigermassen mit den neuen CEI-Publikationen in Übereinstimmung sein dürften.

Die Abweichungen der Schweiz bezogen sich auf die Feuchtigkeitsprüfung, den Tropfwasser- und Wasserschutz; die beiden letzteren Abweichungen konnten von unserm Nationalkomitee bereits vor der Sitzung zurückgezogen werden. Ebenfalls zurückgezogen wurde der Erwärmungsversuch mit 1,3 xIn zu CEI-Publikation 408.

Der Test für die Feuchtigkeitsbeständigkeit wurde von der Schweizer Delegation mit der Begründung verteidigt, dass in allen CEI-Publikationen darauf hingewiesen wird, dass die Apparate bestimmten Feuchtigkeitswerten zu genügen haben. Es fehlen aber Hinweise für die Durchführung solcher Prüfungen. Dieser Feuchtigkeitstest ist zudem in der Sicherheitsvorschrift des SEV für Schütze enthalten. Diese Abweichung wurde jedoch vom gesamten CENELEC-Gremium abgelehnt, soweit es die Leistungsschalter und Trennschalter in Luft betrifft.

Aus Zeitgründen konnten nur die Abweichungen der CEI-Publikationen 157 und 408 bearbeitet werden, so dass die Frage des Feuchtigkeitstestes bei den übrigen Dokumenten noch offen ist. Vom schweizerischen Nationalkomitee wurde bereits vor der CENELEC-Sitzung eine Eingabe an die CEI erstellt, die bezweckt, dass der Feuchtigkeitstest bei der kommenden Revision in diese Publikation aufgenommen wird.

Die Bereinigung der Abweichung der übrigen CEI-Publikationen, die nicht mehr zur Diskussion kamen, wird in zwei Arbeitsgruppen vorgenommen, welche Ende August und anfangs September 1978 in Zürich tagen. Im Herbst 1978 soll dann in einer Sitzung das TC 17B die endgültigen Entscheide fällen.

In der Zwischenzeit werden der Vorsitzende und der Sekretär einige Verfahrensfragen betreffend die Harmonisierung zu klären suchen. Es betrifft dies im speziellen das Vorgehen bei gemeinsam beschlossenen Abweichungen. *EK*