PTB-Prüfregeln

Meßwandler

Bearbeitet von Prof. Dr.-Ing. Erich Zinn

Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Zusammenarbeit mit den Eichaufsichtsbehörden

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Diese elektronische Version der PTB-Prüfregel Band 12 ist durch Digitalisierung der 1979 erschienenen Druckversion erzeugt worden. Die folgenden Seiten sind Bilddateien.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt und unterliegt der Creative Commons Nutzerlizenz CC BY-NC-ND 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).



Empfohlene Zitierweise:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt. Meßwandler [online]. 1. Auflage 1977, Änderungen 1979. Bearbeitet von Erich Zinn. Braunschweig, © 1979, digitalisiert 2020. PTB-Prüfregeln, Band 12. ISSN 0341-7964. Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/510.20200811C

Herausgeber:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

ISNI: 0000 0001 2186 1887

Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Bundesallee 100 38116 Braunschweig

Telefon:(05 31) 592-93 13 Telefax: (05 31) 592-92 92 www.ptb.de

Änderungen der PTB-Prüfregeln für Messwandler 1977 – Ausgabe 5/79 –

1. S. 2, Nr. 1.1.1

a) In der 2. und 3. Zeile des Textes muß die Gleichung richtig lauten:

$$\underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_B = \underline{I}_2 \left(R_B + j X_B \right)$$

b) In der 6. Zeile des Textes muß die Gleichung richtig lauten:

$$\underline{I}_{2}(R_{2}+jX_{2}) = \underline{I}_{2} \cdot \underline{Z}_{2}$$

2. S. 5, Nr. 1.1.1

Die Formel für den Gesamtfehler F_{g} muß richtig lauten:

$$F_{g} = 100 \cdot \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_{0}^{T} \left(K_{M} \cdot i_{2} - i_{1}\right)^{2} dt}}{I_{1}}$$

3. S. 6, Nr. 1.1.1

Im vorletzten Absatz wird der 2. Satz gestrichen und durch folgenden Satz ersetzt:

In den z. Z. gültigen IEC-Empfehlungen sind die Klassenzeichen 0,2 Z und 0,5 Z in 0,2 S und 0.5 S (Spezial) geändert worden.

4. S. 28, Nr. 2.2.1.1

Der Text wird gestrichen (Bild 12 mit Bildunterschrift bleibt bestehen).

5. S. 40 u. 41, Nr. 2.2.2.2

Auf S. 40 werden die letzten sechs Zeilen von "Sind die Fehler..." bis " δ_{uN} " und auf S. 41 die ersten sieben Zeilen von "Darin ist…" bis "... -wandlers." gestrichen.

6. S. 54, Nr. 3.4.2

Der erste Absatz erhält folgende Fassung:

Die Stromwandler sind mit dem im Anhang 1 Nr. 9.2.2 angegebenen Stromstärken entsprechend ihrer Klasse auf Einhalten der dort aufgeführten Fehlergrenzwerte bei Nennleistung zu prüfen. Bei der der kleineren Prüfbürde entsprechenden Scheinleistung (s. Anhang 1 Nr. 9.2.3.1 und Nr. 9.2.3.2) erfolgt eine Prüfung nur mit Nennstromstärke.

Tabelle 1 erhält folgende Fassung:

Tabelle 1
Prüfpunkte für Stromwandler

Stromwandleraus- führung Klassenzeichen	Der Prüfbürde entsprechende Scheinleistung (bei sek. Nenn- stromstärke)	Prüfpunkte (Prozentwerte der Nennstromstärken)
0,1 0,2 0,5	1/1 S _N	120-100-20-5 100
0,1 ext 150 % 0,2 ext 150 % 0,5 ext 150 %	1/1 S _N	150-100-20-5 100
0,1 ext 200 % (0,1 G) 0,2 ext 200 % (0,2 G) 0,5 ext 200 % (0,5 G)	1/1 S _N	200-100-20-5 100
0,2 S ⁺⁺⁾ 0,5 S ⁺⁺⁾	1/1 S _N 1/4 S _N +)	120-100-20-5-1

S_N Nennleistung

- +) Bei Stromwandlern mit Nennleistungen $S_N \le 2,5$ VA beträgt die der Prüfbürde entsprechende Scheinleistung 1/2 S_N . Sie darf jedoch nicht kleiner als 1 VA sein.
- ++) In den IEC-Regeln (Änderung Nr. 1, November 1977, zu Publikation 185) sind die Klassenzeichen 0,2 S und 0,5 S Stromwandlern mit einer sekundären Nennstromstärke von 5 A zugeordnet, für die zwischen 1 % und 120 % der Nennstromstärke Fehlergrenzwerte festgelegt sind. Die bisherige Kennzeichnung dieser Wandler war 0,2 ext. 1 % bzw. 0,2 Z und 0,5 ext. 1 % bzw. 0,5 Z. Es ist vorgesehen, die geänderte Bezeichnung in die

Eichordnung Anlage 20 Abschnitt 2 und in die Bestimmungen für Messwandler VDE 0414 aufzunehmen.

7. S. 55, Nr. 3.4.2

Im dritt- und viertletzten Absatz ist jeweils nach "Klassenzeichen 0,2 Z und 0,5 Z" die Ergänzung " bzw. 0,2 S und 0,5 S" einzufügen.

8. S. 56, Nr. 3.4.5

Die Nummer erhält folgende Fassung:

3.4.5 Prüfung von Stromwandlern mit mehreren Nennleistungen und Klassen

Stromwandler, bei denen die gleiche Wicklung für mehrere Nennleistungen und Klassen ausgelegt ist, müssen bei allen in der Tabelle 1 genannten Prüfpunkten die festgelegten Fehlergrenzwerte einhalten. Bei der Richtigkeitsprüfung kann jedoch auf verschiedene Prüfpunkte verzichtet werden.

Bei der höheren Nennleistung werden alle Prüfpunkte bei $1/1 \, \mathrm{S}_{\scriptscriptstyle N}$ gemessen.

Bei der kleineren Nennleistung ist eine Messung bei allen Prüfpunkten bei $1/1 \, \mathrm{S_N}$ nur dann erforderlich, wenn dem Wandler bei dieser Leistung eine genauere Klasse zugeordnet ist. Handelt es sich um eine andere Klasse (z. B. 0,5 (0,5 G)), so genügt bei $1/1 \, \mathrm{S_N}$ die Messung beim Prüfpunkt mit der höchsten Prüfstromstärke. Dieser Prüfpunkt kann bei Übereinstimmung der Klassen (z. B. 0,5 (0,5)) auch entfallen.

Die Prüfung mit Nennstromstärke bei $1/4~\rm S_N^{}$ kann auf die kleinere Nennleistung beschränkt bleiben.

In Tabelle 2 sind verschiedene Beispiele aufgeführt. Entsprechend dem Vorhergesagten kann auf die in Klammern angegebenen Prüfpunkte verzichtet werden.

Tabelle 2
Prüfpunkte für Stromwandler mit mehreren Nennleistungen und Klassen

Beispiel lfd. Nr.	Leistungsschild- angaben	Der Prüfbürde entsprechende Scheinleistung (bei sek. Nennstromstä rke)	Prüfpunkte (Prozentwert der Nennstromstä rken)
1	VA 15 (10) Kl. 0,5 (0,5 G)	15 VA; $\cos\beta = 0.8$ 10 VA; $\cos\beta = 0.8$ 3,75 VA; $\cos\beta = 1$ 2,5 VA; $\cos\beta = 1$	120 - 100 - 20 - 5 200 - (100) - (20) - (5) (100) 100
2	VA 15 (30) Kl. 0,2 (0,5)	30 VA; $\cos\beta = 0.8$ 15 VA; $\cos\beta = 0.8$ 7.5 VA; $\cos\beta = 0.8$ 3.75 VA; $\cos\beta = 1$	120 - 100 - 20 - 5 120 - 100 - 20 - 5 (100) 100
3	VA 10 (5) Kl. 0,5 (0,5)	10 VA; $\cos\beta = 0.8$ 5 VA; $\cos\beta = 0.8$ 2.5 VA; $\cos\beta = 1$ 1.25 VA; $\cos\beta = 1$	120 - 100 - 20 - 5 (120) (5) (100) 100

9. S. 87, Nr. 5.1

Im 4. Absatz wird nach den Worten "elektromagnetische Fremdfelder" eingefügt: "(0,5 Millitesla)"

10. S. 90, Nr. 5.1

Nach der 6. Zeile wird folgender Absatz eingefügt:

Das Gehäuse muß gegen Öffnen und das Leistungsschild gegen Abnahme zu sichern sein.

11. S. 93, Nr. 5.2

Nach dem letzten Absatz wird folgender Absatz angefügt:

Soweit diese Normalwandler die doppelten Fehlergrenzen ausnutzen, müssen die betreffenden Fehler als Korrektur bei der Eichung oder Beglaubigung von Messwandlern berücksichtig werden. Für die unter 2.2.1.1 bis 2.2.2.4 beschriebenen Messverfahren ist der Fehler des zu prüfenden Wandlers dann:

$$F_x = F_{AbL} + F_N$$
 bzw. $\delta_x = \delta_{AbL} + \delta_N$

Darin bedeuten:

- F Strom- oder Spannungsfehler des zu prüfenden Wandlers
- δ_x Fehlwinkel des zu prüfenden Wandlers

F_{Abl} Fehlerablesung an der Wandlermeßeinrichtung

 $\delta_{\mbox{\tiny Abl}}$ Fehlwinkelablesung an der Wandlermeßeinrichtung

F_N Strom- oder Spannungsfehler des Normalwandlers

 δ_{N} Fehlwinkel des Normalwandlers

12. S. 99, Nr. 5.3.3

- a) Im letzten Absatz erhalten die Buchstaben d und e folgende Fassung:
 - d) die Nennstromstärken oder die Nennspannungen,
 - e) die Nennbürdenstufen und die Bürdenleistungsfaktoren,
- b) Am Schluß wird folgender Absatz angefügt:
 Das Gehäuse muß gegen Öffnen und das Leistungsschild gegen Abnahme zu sichern sein.

13. S. 100/101, Nr. 5.6.1

Die Sätze 2 und 3 werden gestrichen und durch folgenden Satz ersetzt:

Danach muß die Messeinrichtung so ausgelegt sein, daß der relative Gesamtfehler in jedem Messbereich und in dem vorgesehenen Frequenzbereich weniger als 3 % des Messwertes und weniger als 2 % des Messbereichsendwertes beträgt.

14. S. 102, Nr. 6.1.1

Bei den Prüffristen für Wiederholungsprüfungen werden die dort aufgeführten Gerätebezeichnungen mit einem Sternchen als Hinweis auf eine Fußnote versehen (Wandlermesseinrichtungen⁺⁾, Normalstromwandler⁺⁾, Normalspannungswandler⁺⁾).

Die Fußnote ist am unteren Rand der Seite anzufügen und erhält folgende Fassung:

⁺⁾Sofern im Prüfungsschein keine andere Frist angegeben ist.

PTB - 2.31/8.34 - 21 436/79

PTB-Prüfregeln

Meßwandler

Bearbeitet von Prof. Dr.-Ing. Erich Zinn

Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Zusammenarbeit mit den Eichaufsichtsbehörden

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Braunschweig und Berlin

ISSN 0341-7964

Die PTB-Prüfregeln sollen als Unterlage und Richtlinie für die Prüfung von Meßgeräten und Betriebsmitteln dienen. Den wesentlichen Teil einer Prüfregel bildet demnach die ausführliche Beschreibung der Prüfverfahren, der benötigten Normalgeräte und anderer Prüfmittel. Soweit es zum besseren Verständnis nützlich erscheint, wird auch auf die Ausführung der Gerätearten und auf Besonderheiten, die bei ihrer Anwendung zu beachten sind, eingegangen. Das Gebiet der PTB-Prüfregeln umfaßt nicht nur die eichund beglaubigungsfähigen Meßgeräte, sondern auch Meßgeräte und Objekte anderer Art, die im Bereich der PTB geprüft werden. Die Prüfregeln wenden sich sowohl an die Eichbehörden, staatlich anerkannten Prüfstellen und Überwachungsorgane als auch an die Prüflaboratorien von Industrie und Wirtschaft. Sie werden ferner für die Einrichtung von Prüfstellen und Meßräumen sowie für Lehrzwecke von Nutzen sein.

Schriftleitung: Dipl.-Phys. H. Klages, Bundesallee 100, 33 Braunschweig

PTB-Prüfregeln Band 12

Alle Rechte vorbehalten

Copyright © 1977 by Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig Satz und Druck: A. Limbach, Braunschweig Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	Seite 1
1.1 1.1.1 1.1.2 1.1.3 1.1.4 1.1.5	Stromwandler Theoretische Grundlagen Magnetische Werkstoffe und Kernformen Umschaltbare Stromwandler Ausführungsformen von Stromwandlern Isolierung	1 1 6 8 9
1.2 1.2.1 1.2.2 1.2.3 1.2.4	Spannungswandler, induktiv Theoretische Grundlagen Magnetische Werkstoffe und Kernformen Umschaltbare Spannungswandler Ausführungsformen von induktiven Wandlern und die Isolierung	12 12 16 16
1.3 1.3.1 1.3.2	Kapazitive Spannungswandler Theoretische Grundlagen Ausführung der kapazitiven Wandler	19 19 21
1.4	Meßwandler als Zusammenbau von Strom- und Spannungswandlern (Kombinierte Wandler)	21
1.5 1.5.1	Beeinflussung der Fehler von Strom- und Spannungswandlern Die Beeinflussung des Fehlers eines Spannungs-	22 22
1.5.2	wandlers durch das magnetische Feld eines Stromleiters Die Beeinflussung des Fehlers eines Stromwandlers durch die angelegte Spannung	23
1.6 1.6.1 1.6.2	Normalstrom- und Normalspannungswandler Normalstromwandler Normalspannungswandler	24 24 25
2	Meßverfahren	26
2.1 2.1.1 2.1.2	Meßverfahren zur Spannungsmessung bei der Isolierungsprüfung Scheitelwert-Meßverfahren Effektivwertmessung	26 26 26
2.2 2.2.1	Meßverfahren für die Richtigkeitsprüfung Meßverfahren für die Prüfung von Stromwandlern	27 27

2.2.1.1	Differenzverfahren	2/
2.2.1.2	Kompensationsverfahren mit Zwischenwandlern	31
2.2.1.3	Verfahren mit Differenzstromwandlern	33
2.2.1.4	Selbsttätig anzeigende elektronische Strom-	
	wandlermeßeinrichtung	35
2.2.2	Meßverfahren für die Prüfung von Spannungswandlern	37
2.2.2.1	Differenzverfahren	37
2.2.2.2	Kompensationsverfahren mit Zwischenwandlern	39
2.2.2.3	Verfahren mit Differenzwandler	42
2.2.2.4	Selbsttätig anzeigende elektronische Spannungs-	40
	wandlermeßeinrichtung	43
2.3	Meßverfahren für die Bürdenprüfung	44
2.3.1	Messung von Stromwandlerbürden	45
2.3.1.1	Messung der Wirk- und Blindwiderstände mit Hilfe	
	des Bürdenmeßteiles kommerzieller Stromwandler-	
	meßeinrichtungen	45
2.3.1.2	Messung der Stromwandlerbürden mittels Kompensator	47
2.3.2	Messung von Spannungswandlerbürden	47
2.3.2.1	Messung der Wirk- und Blindleitwerte mit Hilfe	
	des Bürdenmeßteiles kommerzieller Spannungs- wandlermeßeinrichtungen	47
2.3.2.2	Messung der Spannungswandlerbürden mittels	47
2.0.2.2	Kompensator	51
		0,
3	Prüfung	52
3.1	Beschaffenheitsprüfung	52
3.1.1	Einhaltung der geltenden Vorschriften	52
3.1.2	Ordnungsgemäße Herrichtung	52
3.2	Ort der Prüfung	52
3.3	Prüfung der Isolierung	52
3.4	Richtigkeitsprüfung der Stromwandler	53
3.4.1	Entmagnetisierung der Stromwandler	53
3.4.2	Prüfung auf Einhalten festgesetzter Fehlergrenzen	
	(Richtigkeitsprüfung)	54
3.4.3	Prüfung umschaltbarer Stromwandler	56
3.4.4	Prüfung von Mehrkernwandlern	56
3.4.5	Prüfung von Stromwandlern mit mehreren Nenn-	56
	leistungen und Klassen	nh

3.4.6 3.4.6.2 3.4.6.3 3.4.6.4	Summenstromwandler Theoretische Grundlagen Einzelprüfung der Summenstromwandler Prüfung der Zusammenschaltung des Summenstromwandlers mit den Hauptwandlern Summenschaltung ohne Summenstromwandler	57 57 60 62 64
3.5 3.5.1 3.5.2 3.5.3 3.5.4	Richtigkeitsprüfung der induktiven Spannungswandler Spannungswandler einfacher Ausführung Spannungswandler mit mehreren Sekundärwicklungen Spannungswandler mit mehreren Nennübersetzungen Spannungswandler mit zwei Nennleistungen und	64 64 67 67
3.5.5 3.5.6 3.5.7.	zugeordneten Klassen Umschaltbare Spannungswandler Wicklung für Erdschlußerfassung Zwischenspannungswandler	67 68 68
3.6	Richtigkeitsprüfung der kapazitiven Spannungswandler	68
3.7	Richtigkeitsprüfung der zusammengebauten Strom- und Spannungswandler (Kombinierte Wandler)	68
3.8.1 3.8.2 3.8.3	Messung der Beeinflussung der Fehler von Strom- und Spannungswandlern Allgemeines Messung der Beeinflussung der Fehler des Spannungs- wandlerteiles eines kombinierten Wandlers durch das magnetische Feld eines Stromleiters Messung der Beeinflussung der Fehler des Strom- wandlerteiles eines kombinierten Wandlers durch	69 69
4	die angelegte Spannung Einrichtung der Prüfräume	71 73
4.1	Prüfräume	73
4.2 4.2.1 4.2.2 4.2.3 4.2.4 4.2.5 4.2.6	Erzeugungsanlage Stelltransformator Generator Frequenzumformer Hochspannungsprüftransformator Hochstromtransformator Finstellung der Prüfpunkte	75 76 77 77 79 83 85

5	Anforderung an die Prüfmittel	86
5.1	Wandlermeßeinrichtung für die Richtigkeitsprüfung	86
5.2	Normalwandler	90
5.3 5.3.1	Normbürden Normbürden für Stromwandlermessungen (Stromwandlernormbürden)	95 95
5.3.2	Normbürden für Spannungswandlermessungen (Spannungswandlernormbürden)	97
5.3.3	Gemeinsame Bedingungen für Strom- und Spannungs- wandlernormbürden	99
5.4	Bürdenmeßgeräte	99
5.5	Meßgeräte zur Messung von Strom, Spannung und Frequenz bei der Richtigkeitsprüfung	100
5.6	Meßgeräte zum Prüfen der Isolierung	100
5.6.1	Scheitelspannungs-Meßeinrichtungen für Hochspannung	100
5.6.2	Effektivwert-Meßgeräte für Hochspannung	101
6	Überwachung der Prüfmittel	102
6.1	Anschluß an höherwertige Normale	102
6.1.1 6.1.2	Prüffristen für Gebrauchsnormalgeräte Prüffristen für Hilfsmeßgeräte	102 102
ANHANG	1	103
1	Gesetzliche Fehlergrenzen in der Bundesrepublik Deutschland	103
1.1	Eichfehlergrenzen	103
1.2	Verkehrsfehlergrenzen	107
ANHANG	2	109
	Nachweis des Isoliervermögens	109
1	Allgemeine Bestimmungen	109
2	Bestimmungen für Stromwandler	110 111
3 4	Bestimmungen für induktive Spannungswandler Bestimmungen für kapazitive Spannungswandler	112
Anlage zu	Anhang 2	113
· IUISPAIIII	ATIGOTE TO TATELLA VOLITOTO	

1 Grundlagen

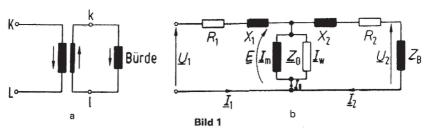
1.1 Stromwandler

1.1.1 Theoretische Grundlagen

Der Stromwandler stellt einen Transformator dar, der primär von dem zu messenden Strom durchflossen wird und sekundär über die Stromspulen der angeschlossenen Geräte, z. B. Elektrizitätszähler, geschlossen ist (Bild 1a). Er besteht aus einem Eisenkern, auf dem im allgemeinen zunächst die Sekundärwicklung und darüber durch Isolierstoff getrennt, die Primärwicklung aufgebracht ist. Bei einem idealen, d. h. verlustfreien und unbelasteten Stromwandler ist die primäre elektrische Durchflutung $\Theta = I_1 \cdot W_1$ gleich der sekundären elektrischen Durchflutung $\Theta = I_2 \cdot W_2$. Daraus folgt

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

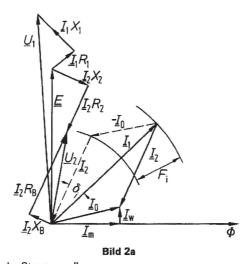
Die Primärstromstärke I_1 verhält sich demnach zur Sekundärstromstärke I_2 umgekehrt wie die Windungszahlen der zugehörigen Wicklungen. Die Summe der Durchflutungen von Primär- und Sekundärwicklung ist Null und der Eisenkern wird nicht magnetisiert. Dieser Idealfall ist jedoch nicht zu verwirklichen. Das tatsächliche Verhalten des Wandlers läßt sich aus seiner Darstellung als Vierpol erklären, wobei man sich die inneren Widerstände herausgezogen und vorgeschaltet denkt (Bild 1b). Die Übersetzung sei gleich 1:1, also die Windungszahl der Primärwicklung W_1 gleich der Windungszahl der Sekundärwicklung W_2 . Aus dem Bild 1b kann unmittelbar abgelesen werden, daß $-I_2 = I_1 - I_0$ ist. I_0 ist der Leerlaufstrom des Stromwandlers, der nicht durch die Bürde fließt und um den der Sekundärstrom vom Primärstrom abweicht.



Stromwandler

a) Schaltbild b) Ersatzschaltbild

 \underline{I}_1 Primärstrom; \underline{I}_2 Sekundärstrom; \underline{I}_0 Leerlaufstrom; \underline{U}_1 primäre Klemmenspannung; \underline{U}_2 Sekundärspannung; \underline{Z}_0 Leerlaufwiderstand; R_1 Wirkwiderstand und X_1 Blindwiderstand der Primärwicklung; R_2 Wirkwiderstand und X_2 Blindwiderstand der Sekundärwicklung; Z_B Scheinwiderstand der Bürde



Zeigerdiagramm des Stromwandlers

11 Primärstrom; 12 Sekundärstrom; 10 Leerlaufstrom; 1m Magnetisierungsstrom; 1 Wirkanteil des Leerlaufstromes: 11R1 Wirkspannungsabfall in der Primärwicklung; I1X1 Blindspannungsabfall in der Primärwicklung; U1 primäre Klemmenspannung; 12R2 Wirkspannungsabfall in der Sekundärwicklung; 12X2 Blindspannungsabfall in der Sekundärwicklung; 12RB Wirkspannungsabfall in der Bürde; $I_2X_{
m B}$ Blindspannungsabfall in der Bürde; U_2 Sekundärspannung; $oldsymbol{arPhi}$ resultierender Fluß; E vom Fluß Φ in den Wicklungen eingeprägte Spannungen; F_i Stromfehler;

Der Winkel zwischen \underline{I}_1 und $-\underline{I}_2$ ist der Fehlwinkel δ_i (Bild 2a). Der Sekundärstrom I_2 erzeugt an der Bürde Z_B einen Spannungsabfall $I_2 \cdot Z_B =$ I_2 (R_B -j X_B), der gleich der an den Sekundäranschlüssen liegenden Spannung U_2 ist, und an den inneren Widerständen der Sekundärwicklung (ohmscher Widerstand R2 und durch den Streufluß hervorgerufener induktiver Widerstand X_2) den Spannungsabfall I_2 $(R_2+jX_2) = I_2 \cdot Z_B$. Die geometrische Summe dieser beiden Spannungsabfälle ergibt die eingeprägte Spannung E. Diese ist maßgebend für den Leerlaufstrom Io und damit für den Fehler des Wandlers. Der Spannungsabfall an den inneren Widerständen der Primärwicklung, der der Spannungsquelle zugeschlagen werden muß, ist ohne Einfluß auf den Fehler, nicht dagegen der Spannungsabfall an der Sekundärwicklung. Daher wird diese immer unmittelbar auf den Kern gewickelt, um kleinste Wirk- und Blindwiderstände der Sekundärseite zu erreichen.

Der Gesamtfehler des Stromwandlers ist definiert zu

$$E = \frac{I_2 - I_1}{I_1} = -\frac{I_0}{I_1} \approx -\frac{I_0}{I_2}$$

Nach Bild 1b ist

$$\underline{E} = \underline{I}_2 \cdot (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_B) = \underline{I}_2 \cdot \underline{Z}$$

Nach dem Induktionsgesetz ist

$$\underline{E} = j\omega w_2 A_E \cdot \underline{B}$$

und nach dem Durchflutungsgesetz ist

$$\underline{B} = \mu_{o} \cdot \mu_{r} \underline{H} = \mu_{o} \cdot \mu_{r} \cdot \frac{\underline{I}_{o} \cdot w_{2}}{I_{E}}$$

Daraus folgt für den Betrag des Fehlers

$$|F| = \frac{I_{\mathsf{E}}}{\omega w_2^2 A_{\mathsf{E}} \cdot \mu_{\mathsf{O}} \cdot \mu_{\mathsf{r}}} \cdot Z$$

Hierin bedeuten

/E Eisenweglänge

w₂ sekundäre Windungszahl

A_E Eisenquerschnitt

 $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$ Magnetische Feldkonstante

μ_r Relative Permeabilität

Z Widerstand des Sekundärkreises

Aus dieser Formel kann man wichtige Größen für die Bemessung des Wandlers ablesen. Der Fehler ist proportional der Eisenweglänge und umgekehrt proportional dem Eisenquerschnitt, dem Quadrat der Windungszahl und der Permeabilität. Der Fehler wird größer mit zunehmender Belastung.

Der Leerlaufstrom und damit der Fehler wird um so kleiner, je kleiner die für die Magnetisierung des Eisenkerns erforderliche Durchflutung ist und je geringer die Verluste im Eisenkern sind. Das Eisen muß daher möglichst hohe Permeabilität und geringe Eisenverluste aufweisen. Da die Wandler bereits bei kleiner Induktion nur kleine Fehler haben dürfen, ist besonders eine hohe Anfangspermeabilität erwünscht.

Das Zeigerdiagramm Bild 2a ist nicht maßstäblich gezeichnet. In Wirklichkeit sind \underline{I}_1 und \underline{I}_2 wesentlich größer, so daß man \underline{I}_1 und \underline{I}_2 als parallel ansehen kann, ohne einen größeren Fehler zu machen.

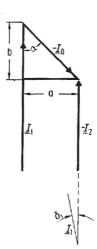


Bild 2bFehlerdiagramm des Stromwandlers Legende im Text

Dann ist nach Bild 2b

$$b = I_0 \cdot \cos \alpha$$

proportional dem Stromfehler Fi und

$$a = I_0 \sin \alpha$$

proportional dem Fehlwinkel δ_i .

Der Stromfehler bei der Nennübersetzung K_N ist

$$F_i = 100 \cdot \frac{I_2 \cdot K_N - I_1}{I_1}$$

Hierin bedeuten:

Fi Stromfehler in %,

 I_1 primäre Stromstärke in A,

12 sekundäre Stromstärke in A,

 K_{N} Nennübersetzung.

 $K_{\rm N} \cdot I_{\rm 2}$ ist stets kleiner als $I_{\rm 1}$, F_i ist also negativ, und der negative Fehler ist um so größer, je größer die Bürde ist. Damit der Fehler zwischen kleinster Bürde und Nennbürde die vorgeschriebenen Fehlergrenzwerte einhält, wird oft ein Windungsabgleich vorgenommen, derart, daß bei kleinster Bürde der Fehler positiv und bei Nennbürde negativ ist. Abgeglichen wird auf der Sekundärseite, da die Sekundärwicklung die größere Windungszahl hat.

Proportional mit zunehmender Bürde steigt die eingeprägte Spannung und damit auch der Fluß $\mathcal Q$ und die Induktion $\mathcal B$. Wird die Bürde über die Nennbürde hinaus vergrößert, so kommt das Eisen schließlich in den Bereich der Sättigung. Der hierdurch bedingte hohe Magnetisierungsstrom erzeugt einen großen negativen Stromfehler.

4

Nach den geltenden Vorschriften Nr. 9.2.2 Anlage 20 Abschnitt 2 der Eichordnung (EO) vom 15. Januar 1975 können eichfähige Stromwandler für 120 %, 150 % und 200 % der Nennstromstärke ausgeführt werden. Bei Erhöhung des Stromes über diesen Betrag vergrößert sich ebenfalls die eingeprägte Spannung und damit die Induktion B. Der Fehler des Wandlers verhält sich hierbei ähnlich wie bei einer Vergrößerung der Bürde; sein Betrag wird negativer. Diese Tatsache wird zum Schutz der angeschlossenen Geräte ausgenutzt, indem die "Bestimmungen für Meßwandler VDE 0414" für Wandler für Meßzwecke vorschreiben, daß beim primären Nennfehlergrenzstrom (dieser beträgt bei einem Nennüberstromfaktor 5 oder 10 das 5- oder 10fache der Nennstromstärke) und bei Nennbürde der Gesamtfehler größer als 15 % sein soll. Die Anwendung der Zeigerdarstellung in Bild 2b ist jedoch nicht mehr gerechtfertigt, wenn infolge der Sättigung des Eisens nichtlineare Eigenschaften höhere harmonische Anteile im Erreger- und Sekundärstrom auftreten lassen. Aus diesem Grunde wird der Gesamtfehler als das prozentuale Verhältnis des über die Periodendauer gebildeten Effektivwertes der Differenz aus den mit der Nennübersetzung multiplizierten Augenblickswerten der Sekundärstromstärke und den Augenblickswerten der Primärstromstärke zum Effektivwert der Primärstromstärke definiert.

$$F_g = 100 \sqrt{\frac{1}{T_o} \int_{(K_N \cdot i_2 - i_1)^2 dt}^{T}}$$

Hierin bedeuten:

F_g Gesamtfehler in %,

T Dauer einer Periode in s,

K_N Nennübersetzung,

1 Effektivwert der Primärstromstärke in A,

i₁ Augenblickswert der Primärstromstärke in A,

i2 Augenblickswert der Sekundärstromstärke in A.

Durch die Festlegung des kleinsten Gesamtfehlers von 15 % beim Nennfehlergrenzstrom für Wandler für Meßzwecke wird erreicht, daß bei Kurzschlüssen im Netz der Sekundärstrom verhältnismäßig klein bleibt und nur die Primärwicklung thermisch stark beansprucht wird.

Wird ein Kurzschluß nicht nach einigen Millisekunden abgeschaltet, so kann die Wicklung so hohe Temperaturen annehmen, daß der Wandler zerstört wird. Deshalb wurden für das Verhalten bei Überstrom die Bedingungen für den "Thermischen Nenn-Kurzzeitstrom" (/_{th}) und für den "Dynamischen Nennstrom" (/_{dyn}) festgelegt. Unter "Thermischen Nenn-Kurzzeitstrom" ver-

steht man den Effektivwert des primären Stromes von einer Sekunde Dauer, dessen Wärmewirkung der Stromwandler bei kurzgeschlossener Sekundärwicklung aushalten muß, ohne Schaden zu nehmen.

Außer thermisch wird die Primärwicklung auch dynamisch durch Stromspitzen stark beansprucht. Die hierbei auftretenden Kräfte, die dem Quadrat des Augenblickswertes der Stromstärke und der Windungszahl proportional sind, versuchen die Wicklung in eine Kreisform zu bringen und auszudehnen und die Drähte zu zerreißen. Dabei stoßen sich die Leiter der primären und sekundären Wicklungen gegeneinander ab. Zur Beurteilung der dynamischen Festigkeit wird der Wandler mit dem dynamischen Nennstrom geprüft. Dieser ist als Wert der ersten Stromamplitude definiert, dessen Kraftwirkung ein Stromwandler bei kurzgeschlossener Sekundärwicklung aushalten muß, ohne Schaden zu nehmen. Werte für den "Thermischen Nenn-Kurzzeitstrom" und den "Dynamischen Nennstrom" sind in DIN 42600 und 42601 festgelegt.

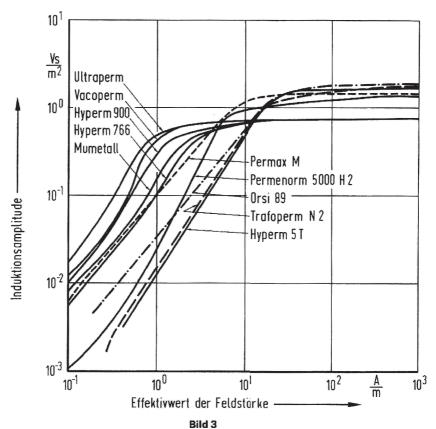
Den Wandlern für Meßzwecke, die der Verrechnung der elektrischen Energie dienen, werden verschiedene Fehlerklassen zugeordnet, Kl. 0,1; 0,2 und 0,5 und die Klassen mit erweitertem Bereich 0,1 ext. 150; 0,2 ext. 150; 0,5 ext. 150; 0,1 ext. 200; 0,2 ext. 200 (0,2G) und 0,5 ext. 200 (0,5G), ferner die Klassen 0,2Z und 0,5Z. Es ist bei Änderung der z. Z. gültigen IEC-Empfehlungen vorgesehen, den Buchstaben Z durch S (Spezial) zu ersetzen.

Die Zahl in der Klassenangabe gibt die Grenze des prozentualen Stromfehlers bei Nennstromstärke an. Die Fehlergrenzwerte der Klassen sind in der Eichordnung festgelegt (s. Anhang 1).

1.1.2 Magnetische Werkstoffe und Kernformen

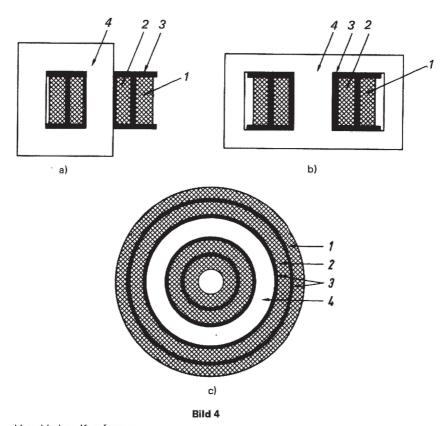
Zur Erzielung eines geringen Magnetisierungsstromes und damit kleiner Fehler sind spezielle Eisensorten notwendig, deren Magnetisierungskurven (Induktionsamplitude als Funktion der Feldstärke) in Bild 3 dargestellt sind. Für Wandler mit sehr kleinen Fehlern, z. B. für Normalwandler, werden Nickeleisenlegierungen mit 70 % bis 80 % Nickel verwendet. Die Legierungen mit den Firmenbezeichnungen Mumetall, Hyperm 766, Hyperm 900, Vacoperm und Ultraperm unterscheiden sich hauptsächlich in der Anfangspermeabilität und in der Koerzitivfeldstärke. Gebräuchlich ist Mumetall und Hyperm 766. Die höchste Permeabilität und die niedrigste Koerzitivfeldstärke hat Ultraperm. Für Wandler für Meßzwecke werden z. B. die Eisensorten mit 50 % Nickel, wie Permenorm 5000 H2 und Permax M und auch das höherwertige Mumetall verwendet, aber auch die nickellosen Siliziumwerkstoffe mit den Firmenbezeichnungen Orsi 89, Trafoperm N2 und Hyperm 5 T, werden zu Kernen verarbeitet. Damit die Fehlergrenzen eingehalten werden, setzt man die Kerne oft aus mehreren Eisensorten zusammen.

6



Induktion-Feldstärkekurven von Ringbandkernen (B_{max} , H_{eff}) für eine Frequenz 50 Hz

Die Eisensorten werden einer besonderen Wärme- und Walzbehandlung unterworfen. Die hohe Permeabilität tritt vorzugsweise in der Walzrichtung auf, so daß sie nur bei einem aus Band gewickelten Ringkern voll ausgenützt werden kann. Daher werden die meisten Wandler für Meßzwecke mit Ringbandkernen bestückt (Bild 4c). Mantelkern (Bild 4b) und Schenkelkern (Bild 4a) werden auch verwendet, jedoch machen sich bei letzteren selbst bei wechselseitiger Schichtung Luftspalteinflüsse bemerkbar. Bei Schnittbandkernen können fertig gewickelte Spulen verwendet werden, so daß die Montage sehr einfach ist. Einige der obengenannten Eisensorten werden auch zu Schnittbandkernen verarbeitet. Bei diesen ist darauf zu achten, daß das Band, das die beiden Kernhälften zusammenhält, nicht im Laufe der Zeit korrodiert und bricht, so daß die Kernteile auseinanderklaffen und der Wandler einen unzulässig großen Fehler erhält.



Verschiedene Kernformen

- a) Schenkelkern,
- b) Mantelkern,
- c) Ringkern

1 Primärwicklung; 2 Sekundärwicklung; 3 Isolation; 4 Kern

1.1.3 Umschaltbare Stromwandler

Um bei dem ständig steigenden Leistungsbedarf die Stromwandler nicht immer wieder durch solche mit höherer Stromstärke ersetzen zu müssen, werden vielfach Stromwandler eingesetzt, die auf der Primärseite im Verhältnis 1:2:4 umgeschaltet werden können. Die Primärwicklung solcher Wandler besteht aus vier gleichen Teilwicklungen, die bei kleinster primärer Nennstromstärke in Reihe, bei 4fachem Wert der kleinsten Nennstromstärke parallel geschaltet

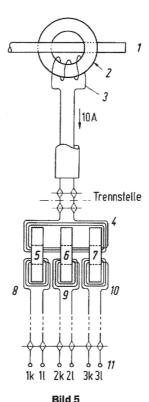
8

werden. Das Übersetzungsverhältnis nimmt dementsprechend auch den vierfachen Wert gegenüber dem bei Reihenschaltung aller 4 Wicklungen an. Bei doppeltem Wert der kleinsten Nennstromstärke sind ie 2 Teilwicklungen in Reihe und die daraus entstandenen 2 Gruppen parallel geschaltet. Das Übersetzungsverhältnis hat nun den doppelten Wert gegenüber dem ursprünglichen. Bei einer primärseitigen Umschaltung bleiben die Nenndurchflutung des Wandlers und damit seine meßtechnischen Eigenschaften, also auch die Fehler in allen Meßbereichen, gleich. Im Gegensatz dazu ergeben sich bei einer Änderung der primären Nennstromstärke durch eine sekundäre Umschaltung andere Nenndurchflutungen, da die primäre Windungszahl gleich bleibt. Bei einer Erhöhung der primären Nennstromstärke, beispielsweise auf das Doppelte, muß die sekundäre Windungszahl ebenfalls verdoppelt werden, da die sekundäre Nennstromstärke gleichbleiben muß. Damit könnte bei gleicher Fehlerklasse die sekundäre Leistung vervierfacht werden. Da die Nennleistung des Wandlers jedoch nach der niedrigeren Nennstromstärke bemessen werden muß, weil für diese die Fehlergrenzwerte der angegebenen Klasse gerade eingehalten werden, ergibt sich ein nicht benötigter Leistungsüberschuß von 300 %. Gleiche Überlegungen gelten, wenn eine Änderung des Übersetzungsverhältnisses und der primären Nennstromstärke durch sekundäre Anzapfungen erreight werden soll.

Ferner muß man noch daran denken, daß bei Schaltung des Wandlers auf doppelte Nennstromstärke der Überstromfaktor auf den 4fachen Wert ansteigt und der Gesamtfehler beim Nenn-Fehlergrenzstrom wesentlich heruntergeht, wodurch die Sicherheit der angeschlossenen Geräte gegen Überlastung herabgesetzt wird. Daher werden sekundärseitige Umschaltungen im allgemeinen nur dort vorgesehen, wo eine primärseitige Umschaltung nicht möglich ist, z. B. bei Einleiterwandlern, bei denen der Primärleiter nur aus einer gestreckten Schiene besteht.

1.1.4 Ausführungsformen von Stromwandlern

Die Ausführungsformen werden unterschieden nach der Art der Wicklung (Stab-, Schienen-, Wickelstromwandler), nach der Bauweise (Topf-, Stützer-, Durchführungs-, Kaskadenstromwandler) und nach der Isolierung. Es gibt Trockenstromwandler, deren Isolierung aus Porzellan, Gießharz oder Schwefelhexafluorid SF₆ in gekapselten Anlagen besteht, ferner ölimprägnierte Wandler. Bei den Topfstromwandlern ist die Primärwicklung von der gesamten Isolationsschicht umgeben und im unteren Teil des Wandlers in einem Topfgehäuse untergebracht. Bei den Stützerstromwandlern kann entweder das



Riid 2

Magnetischer Aufbau eines Kaskadenwandlers 1 Primärleiter; 2 Treiberkern; 3 Sekundärwicklung; 4 Primärwicklung des Fußgliedes; 5, 6, 7 Kerne; 8, 9, 10 Sekundärwicklungen der 3 Kerne des Fußgliedes; 11 Klemmen der Sekundärwicklungen

aktive System in den Isolator eingebaut oder im Kopf angeordnet werden; hierbei ist die gesamte Isolation auf den Kern mit Sekundärwicklung aufbandagiert. Bei sehr hohen Spannungen erhält man große Isolationsdicken, deshalb ist es oft günstiger, die Kaskadenbauweise anzuwenden, bei der die erforderliche Isolation auf zwei Schichten aufgeteilt wird. Der stabförmige Primärleiter (Bild 5) durchsetzt zentrisch den Treiberkern des Kopfgliedes, dessen Sekundärwicklung die Primärwicklung des Fußgliedes speist, die die drei Kerne erregt. Jeder dieser Kerne trägt eine Sekundärwicklung. Zwischen den beiden Kaskadengliedern, die als selbständige Baueinheiten ausgeführt sind, ist eine Trennung möglich, die den Transport vereinfacht.

Stromwandler werden für verschiedene Aufgaben eingesetzt. Es gibt Stromwandler für Schutzzwecke und für Meßzwecke, die jeweils verschiedene Daten haben. Werden mehrere solcher Wandlerkerne zusammengebaut, so erhält man die Mehrkernwandler. Wandler, die über den normalen Bereich (120 % der Nennstromstärke) bis zu 200 % der Nennstromstärke betrieben werden, bezeichnet man als Stromwandler mit erweitertem Bereich.

Strom- und Spannungswandler in ein gemeinsames Gehäuse eingebaut werden kombinierte Wandler genannt.

Sind die Ströme von zwei oder mehr Abzweigen einer Stromversorgungsanlage zu summieren, damit in einem gemeinsamen Meßgerät (Elektrizitätszähler) die Gesamtarbeit aller Abzweige gemessen werden kann, so werden die in den einzelnen Abzweigen fließenden Ströme über Hauptwandler geleitet, deren Sekundärströme einem gemeinsamen Zwischenwandler, dem Summenstromwandler, zugeführt werden.

Schließlich unterscheidet man die Wandler noch nach ihrem Gebrauch als Betriebs- und Laboratoriumswandler. Zu den letzteren gehören auch die Normalstromwandler, mit denen durch Vergleich die zu prüfenden Wandler gemessen werden.

1.1.5 Isolierung

Die Wandler müssen neben einer geringen Meßunsicherheit ein Höchstmaß an Betriebssicherheit aufweisen. Deshalb werden sie bestimmten festgelegten Spannungen zugeordnet, die man in Anlehnung an IEC als "Höchste Spannung für Betriebsmittel", bisher auch als "Höchste dauernd zulässige Betriebsspannung $U_{
m m}$ des Betriebsmittels'' bezeichnet. Früher war hierfür der Begriff "Reihe" üblich. Für jede Spannung Um ist ein Isolationspegel festgelegt, der eine Gruppe von Nenn-Stehspannungen darstellt, für die die Isolation des Wandlers bemessen sein muß. Die Nenn-Stehspannungen sind in VDE 0414 angegeben. Man unterscheidet Nenn-Stehwechselspannung für die Wicklungsprüfung der Stromwandler und Nenn-Stehstoßspannung mit dem unteren und oberen Stoßpegel, Für Niederspannung genügt als Isolierung zwischen Primär- und Sekundärwicklung ein Isolierrohr aus Preßmasse oder Hartpapier. Für höhere Spannungen ab $U_{\rm m}$ = 7,2 kV verwendet man Porzellan oder Gießharz, in wenigen Fällen auch noch Ölpapierisolation. Ab $U_{\rm m}$ = 72,5 kV werden die Wandler im wesentlichen mit Ölpapierisolation versehen. Die meisten Wandler mit Ölpapierisolation sind zur Vermeidung der Feuchtigkeitsaufnahme mit einem Membrankörper, der die Volumenvergrößerung des erwärmten Öles aufnimmt, hermetisch abgeschlossen. In gekapselten Anlagen dient zur Isolation das Gas Schwefelhexafluorid (SF₆).

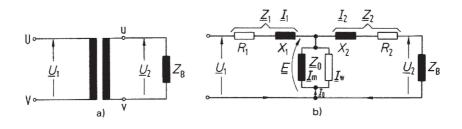
11

1.2 Spannungswandler, induktiv

1.2.1 Theoretische Grundlagen

Der Spannungswandler ist ein schwach belasteter Transformator. Das Verhalten des Wandlers läßt sich wie beim Stromwandler aus einer Darstellung als Vierpol erklären, wobei die Übersetzung gleich 1:1 sei (Bild 6a). Bei einem verlustfreien Spannungswandler würden sich die Primär- und die Sekundärspannung zueinander verhalten wie die Windungszahlen der zugehörigen Wicklungen $\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$

Tatsächlich unterscheidet sich die Spannung U_2 von der angelegten Spannung U_1 durch die geometrische Summe der Spannungsabfälle $\Delta \underline{U}_1 = \underline{I}_1 \cdot \underline{Z}_1$ und $\Delta \underline{U}_2 = \underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_2$ (Bild 6b). Die an der Bürde liegende Spannung (Sekundärspannung des Wandlers) \underline{U}_2 ruft den Bürdenstrom $\underline{I}_2 = \underline{U}_2/(R_{\rm B} + {\rm j}X_{\rm B})$ hervor. Der Bürdenstrom \underline{I}_2 (Bild 7a) erzeugt an den inneren Widerständen der Sekundärwicklung (ohmscher Widerstand R_2 und induktiver Streublindwiderstand X_2) den Spannungsabfall $\Delta \underline{U}_2 = \underline{I}_2$ ($R_2 + {\rm j}X_2$), der zu \underline{U}_2 addiert die eingeprägte Spannung \underline{E} ergibt. Wird der eingeprägten Spannung \underline{E} der Spannungsabfall an den inneren Widerständen der Primärwicklung (ohmscher Widerstand R_1 und induktiver Streublindwiderstand X_1) $\Delta \underline{U}_1 = \underline{I}_1$ ($R_1 + {\rm j}X_1$) hinzugefügt, so erhält man die Primärspannung U_1 . Bei unbelasteter Sekundärseite (Leerlauf) wird der Hauptfluß $\underline{\Psi}$ von der Primärseite aus erregt, die den Leerlaufstrom \underline{I}_0 aufnimmt, dessen Größe von der primären Spannung \underline{U}_1

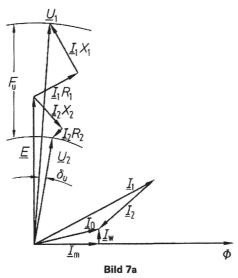


Spannungswandler

a) Schaltbild b) Ersatzschaltbild

 \underline{U}_1 Primärspannung; \underline{U}_2 Sekundärspannung; R_1 Wirkwiderstand, X_1 Blindwiderstand der Primärwicklung; R_2 Wirkwiderstand, X_2 Blindwiderstand der Sekundärwicklung; Z_B Scheinwiderstand der Bürde; \underline{I}_W Wirkanteil des Leerlaufstromes \underline{I}_0 ; \underline{I}_M Magnetisierungsstrom

Bild 6



Zeigerdiagramm des Spannungswandlers

 U_1 Primärspannung; U_2 Sekundärspannung; I_1 Primärstrom; I_2 Sekundärstrom; I_2 resultierender Fluß; I_2 vom resultierenden Fluß in den Wicklungen eingeprägte Spannung; I_1R_1 Wirkspannungsabfall in der Primärwicklung; I_2R_2 Wirkspannungsabfall in der Sekundärwicklung; I_1X_1 Blindspannungsabfall in der Primärwicklung; I_2X_2 Blindspannungsabfall in der Sekundärwicklung; I_0 Leerlaufstrom; I_1 Magnetisierungsstrom; I_2 Wirkspannungsabfall in der Sekundärwicklung; I_2 Spannungsfehler; I_2 Wirkspannungsfehler; I_3 Spannungsfehler; I_4 Spannungsfehler;

bestimmt wird. Wird die sekundäre Wicklung durch die Bürde $Z_{\rm B}$ belastet, so nimmt sie den Strom \underline{I}_2 auf, der die Primärwicklung zwingt, den Strom \underline{I}_1 aufzunehmen, um die magnetisierende Wirkung des sekundären Stromes aufzuheben.

Der prozentuale Unterschied zwischen U_1 und U_2 bei der Nennübersetzung $K_{\rm N}$ ergibt den Spannungsfehler

$$F_{u} = 100 \cdot \frac{U_2 \cdot K_{N} - U_1}{U_1}$$

Hierin bedeuten:

F_u Spannungsfehler in %,

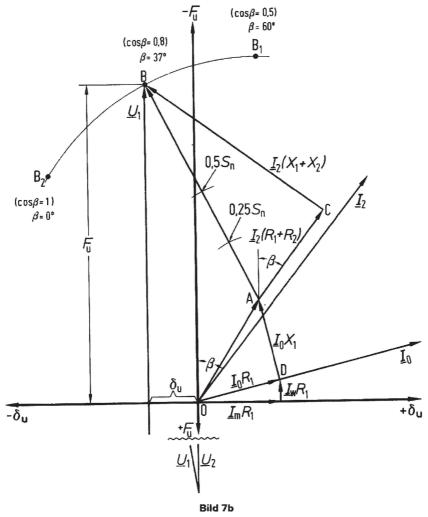
U₁ primäre Spannung in V,

 $oldsymbol{u}_2$ sekundäre Spannung in ${\sf V}$,

 K_{N} Nennübersetzung.

Der Winkel zwischen \underline{U}_1 und \underline{U}_2 ist der Fehlwinkel δ_u .

Den Fehler F_u aus dem in Bild 7a gezeichneten Zeigerdiagramm zu entnehmen, ist sehr ungenau, deshalb haben Möllinger und Gewecke durch den Endpunkt des Zeigers \underline{U}_2 ein Achsenkreuz gelegt, dessen Ordinate in Rich-



Spannungswandler-Diagramm nach Möllinger-Gewecke. Bezeichnung der Größen wie in Bild 7a. Dreieck OAD Leerlaufdreieck, Dreieck ABC Belastungsdreieck, gezeichnet für den Bürdenleistungsfaktor $\cos\beta = 0.8 \ (\beta = 37^{\circ});$ S_n Nennleistung

tung U2 in Prozent und dessen Abszisse in Minuten geteilt werden; 34,4 Minuten entsprechen hierbei 1 % (Bild 7b). Zu \underline{U}_2 wird zunächst der vom Leerlaufstrom an den inneren Widerständen der Primärwicklung hervorgerufene Spannungsabfall I_0 ($R_1 + jX_1$) addiert. Sowohl der ohmsche als auch der induktive Spannungsabfall werden in Prozent der Nennspannung aufgetragen. Der Punkt A ist der Endpunkt des Zeigers der Primärspannung U_1 bei Leerlauf. Die Projektion des Punktes A auf die Ordinate entspricht dem Spannungsfehler und auf die Abszisse dem Fehlwinkel bei Leerlauf. Trägt man an Punkt A den durch den Sekundärstrom 12 an der Primär- und Sekundärwicklung hervorgerufenen Spannungsabfall $I_2(R_1 + R_2) + jI_2(X_1 + X_2)$ ebenfalls in Prozent der Nennspannung, so erhält man die Primärspannung bei Belastung. Die Projektionen des Punktes B auf die Ordinate und die Abszisse ergeben den Spannungsfehler und den Fehlwinkel bei Belastung. Der Cosinus des Winkels \(\beta \) ist der Leistungsfaktor der Bürde, in Bild 7b gezeichnet für den Fall $\cos\beta = 0.8$. Bei $\cos\beta = 0.5$ liegt der Endpunkt von U_1 bei B_1 und für $\cos\beta = 0.5$ 1 bei B2. B, B1 und B2 liegen auf einem Kreisbogen um A. Bei Änderung des Belastungsstromes 12 ändert sich der Zeiger proportional dem Strom. Aus Vorstehendem folgt, daß der Spannungsfehler bei ohmscher und induktiver Belastung immer negativ ist und dies um so mehr, je größer die Leistung ist. Damit der Spannungsfehler zwischen Nennleistung und kleinster Leistung (1/4 der Nennleistung oder 15 VA bei Nennleistungen größer als 60 VA) innerhalb der vorgeschriebenen Fehlergrenzwerte liegt, wird ein Windungsabgleich vorgenommen, derart, daß bei kleinster Leistung der Spannungsfehler positiv und bei Nennleistung negativ wird. Der Abgleich erfolgt wegen der höheren Windungszahl meistens auf der Primärseite.

Aus ökonomischen Gründen wird nun der Wandler oft so berechnet und abgeglichen, daß für den festgelegten Bürdenbereich zwischen größter und kleinster Bürde die vorgeschriebenen positiven und negativen Fehlergrenzwerte gerade eingehalten werden.

Nach der Eichordnung müssen die Spannungswandler die Fehlergrenzen zwischen 80 % und 120 % der Nennspannung einhalten. Die Spannungswandler arbeiten gewöhnlich bei einer Induktion von 0,7 T bis 0,9 T. Bei Spannungen wesentlich über 120 % der Nennspannung werden daher wegen der Eisensättigung die Fehler stärker negativ. Dagegen ändern sich die Fehler bei Unterspannungen nicht so stark. Bei Spannungswandlern für hohe Nennspannungen macht sich noch die Lagenkapazität der Primärwicklung bemerkbar. Der kapazitive Strom kann dabei den induktiven Anteil des Leerlaufstromes übertreffen, so daß sich auch bei nichtabgeglichenem Windungsverhältnis ein positiver Spannungsfehler einstellen kann, während der Fehlwinkel einen größeren negativen Wert annimmt.

Der Betrieb eines Spannungswandlers mit kleinerer als Nennfrequenz ist nur möglich, wenn die Spannung etwa proportional der Frequenz gesenkt wird, dabei geht die Leistung bei etwa gleichbleibendem Fehler im Quadrat der Spannungssenkung zurück. Höhere Frequenzen werden im Leerlauf und bei kleinster Belastung gut übertragen. Mit zunehmender Frequenz wird der Gesamtleerlauffehler etwas kleiner. Auch die Öberschwingungen bis zur siebten Harmonischen einer Spannung mit der Frequenz 50 Hz werden im allgemeinen gut übertragen. Bei Wandlern mit hohem kapazitiven Anteil des Leerlaufstromes, der sich bei Nennspannungen $> 110/\sqrt{3}$ kV einstellt, wird dagegen mit zunehmender Frequenz der Spannungsfehler positiver und der Fehlwinkel negativer.

Wie bei Stromwandlern werden die Spannungswandler für Meßzwecke, die zur Verrechnung der elektrischen Energie verwendet werden, drei verschiedenen Klassen zugeordnet, Kl. 0,1; 0,2; 0,5; die Zahl kennzeichnet die Grenze des prozentualen Spannungsfehlers.

1.2.2 Magnetische Werkstoffe und Kernformen

Beim Spannungswandler verwendet man praktisch nur den Mantel- und Schenkelkern, in wenigen Fällen und auch nur bei hohen Spannungen, den Stabkern. Der Ringkern wird dagegen nur für besondere Zwecke — wie bei einigen Normalwandlerausführungen — eingebaut. Als Werkstoff für die Kerne werden im wesentlichen die siliziumhaltigen kaltgewalzten Eisenbleche verwendet, die in der Walzrichtung wesentlich höhere Permeabilität und niedrigere Eisenverluste aufweisen als normales, heißgewalztes Siliziumeisenblech.

Da man im Gegensatz zum Stromwandler beim Spannungswandler mit höherer Induktion arbeitet, um die Zahl der Windungen — deren Widerstand quadratisch eingeht — klein zu halten, werden Nickeleisenlegierungen nur in Spezialfällen gebraucht.

1.2.3 Umschaltbare Spannungswandler

Netze werden nur selten auf höhere Betriebsspannungen umgeschaltet, und dies geschieht auch nur bei Mittelspannungen. Dementsprechend gibt es auch nur wenige Wandlerbauarten, die für mehrere primäre Nennspannungen gebaut sind. Dagegen werden Normalwandler häufig für mehrere Nennspannungen ausgelegt. Die Wandler können sowohl auf der Primär- als auch auf der Sekundärseite umschaltbar gebaut werden, denn die Spannungen verhalten sich zueinander wie die Windungszahlen.

16

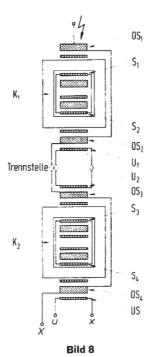
Umschaltung auf der Primärseite. Die Umschaltung der in zwei oder vier gleiche Gruppen aufgeteilten Primärwicklung durch Parallel- und Reihenschaltung zur Änderung des Übersetzungsverhältnisses wird im wesentlichen nur bei Normalspannungswandlern vorgenommen. Durch diese Umschaltmöglichkeit kann der Wandler für zwei oder drei Übersetzungsverhältnisse und damit für entsprechende primäre Nennspannungen ausgelegt werden. Die Spannungsfehler und Fehlwinkel des Wandlers für die verschiedenen Nennspannungen bleiben in diesem Falle nahezu unverändert bei gleichbleibender Leistung. Dagegen kann bei Umschaltung des Übersetzungsverhältnisses durch Anzapfung der Primärwicklung bei der niederen Nennspannung nur eine geringere Ausgangsleistung entnommen werden als bei der höheren Nennspannung, wenn die Fehler gleich bleiben oder die gleichen Klassenfehlergrenzen eingehalten werden sollen.

Sekundäre Umschaltung. Zum Übergang auf ein anderes Übersetzungsverhältnis und eine andere primäre Nennspannung kann auch die Sekundärwicklung angezapft oder in Gruppen umgeschaltet werden. Da in diesem Falle die verschiedenen Nennspannungen immer an die gleiche primäre Windungszahl gelegt werden, bleibt der innere Widerstand der Primärwicklung erhalten.

Soll das Übersetzungsverhältnis so gewählt werden, daß bei kleinerer primärer Nennspannung die sekundäre Nennspannung erhalten bleibt, so muß die sekundäre Windungszahl proportional vergrößert werden. Mit der kleineren primären Nennspannung geht auch die Induktion proportional zurück, so daß die Größenordnung des Leerlauffehlers gleich bleibt. Jedoch steigt der auf die Primärseite übertragene Laststrom umgekehrt proportional der Spannung an. Damit wird bei gleichbleibendem Primärwiderstand der Spannungsabfall größer. Da der größere Spannungsabfall jeweils auf die geringere Nennspannung zu beziehen ist, steigt der Fehler im Quadrat der Abnahme der primären Nennspannung, Soll jedoch der Fehler bei der Umschaltung die gleiche Größenordnung behalten, kann dies nur dadurch erreicht werden, daß bei der niederen Nennspannung eine entsprechend verringerte Leistung entnommen wird. Bei Umschaltung des Übersetzungsverhältnisses von Reihenin Parallelschaltung zur Änderung der sekundären Nennspannung von 200 V in 100 V ändern sich bei gleichbleibender Leistung die Fehler des Wandlers nicht.

1.2.4 Ausführungsformen von induktiven Wandlern und die Isolierung

Man unterscheidet zweipolig isolierte Spannungswandler, die zwischen zwei Leitern angeschlossen werden, und einpolig isolierte Wandler, die zwischen



Prinzipschaltbild eines Kaskadenspannungswandlers. OS Oberspannungswicklungen; US Sekundärwicklung; S Schubwicklungen; K Eisenkerne; Ü Übertragungswicklung.

Leiter und Erde geschaltet werden. Ferner unterscheidet man nach Art der Bauform Stützer- und Topfwandler. Bis $\textit{U}_{m}=36~\text{kV}$ werden heute die meisten Wandler in Trockenbauweise mit Gießharz isoliert, wobei der Gießharzkörper die äußere Form bildet. Es gibt auch Gießharzwandler bis $\textit{U}_{m}=125~\text{kV}$. Von $\textit{U}_{m}=72.5~\text{kV}$ aufwärts sind die meisten Spannungswandler jedoch noch mit Ölpapier isoliert, und für die äußere Isolation wird Porzellan verwendet. Für gekapselte Schaltanlagen gibt es auch mit SF_6 isolierte Wandler. Eine besondere Ausführungsform ist der Kaskadenwandler. Bei dem in Bild 8 dargestellten Beispiel wird je ein Viertel der Betriebsspannung an jeder der vier Oberspannungswicklungen OS_1 bis OS_4 abgebaut. Die räumliche Anordnung dieser Wicklungen ergibt gleichzeitig eine grobe Potentialsteuerung in der Längsrichtung des Spannungswandlers. Durch eine zusätzliche, nicht eingezeichnete kapazitive Steuerung wird erreicht, daß der Mittelflansch das Potential 50 % und die Kerne die Potentiale 25 % und 75 % der angelegten Spannungen einnehmen.

Beim Spannungswandler wird im allgemeinen die Sekundärwicklung unmittelbar auf den Kern aufgebracht und darüber, entsprechend isoliert, die dünndrähtige Primärwicklung in Lagen abwechselnd mit Papier versetzt aufgetragen, wobei beim Aufbau der Wicklung nicht nur an die Beherrschung der dielektrischen Beanspruchung, sondern auch an die einlaufenden Wanderwellen gedacht werden muß, da die Spannungsverteilung bei Stoßspannung nahezu von den Längs- und Querkapazitäten der Wicklung bestimmt wird.

Eine besondere Art eines induktiven Spannungswandlers ist der Wandler ohne magnetischen Rückschluß mit Stabkern oder Stumpfkern. Auf dem Stabkern sind zunächst die Sekundärwicklungen aufgebracht, darüber zur Steuerung des elektrischen Feldes Kondensatorbeläge und die Primärwicklung in Scheibenspulen.

1.3 Kapazitive Spannungswandler

1.3.1 Theoretische Grundlagen

Der kapazitive Spannungswandler setzt sich zusammen aus dem kapazitiven Teiler, bestehend aus dem Hochspannungskondensator C_1 und dem Zwischenspannungskondensator C_2 , und dem induktiven Teil (Bild 9a). Der induktive Teil liegt parallel zu C_2 und besteht aus einem Wandler, der meistens mit einer Drosselspule in Reihe geschaltet wird und die an C_2 liegende Spannung von etwa $10\,\mathrm{kV}$ bis $20\,\mathrm{kV}$ auf die Meßspannung $100\,\mathrm{V}$ oder $200\,\mathrm{V}$ herabsetzt. Diese Schaltung kann man in die Ersatzschaltung Bild 9b überführen, die in bezug auf stationäre Vorgänge irgendwelcher Frequenz und für alle transiente Vorgänge in den an den Spannungsteiler angeschlossenen Impedanzen vollkommen gleichwertig der Schaltung Bild 9a ist. Sie gestattet, unmittelbar das Verhalten der einzelnen Schaltelemente auf den Fehler festzustellen.

Der induktive Blindwiderstand $L_{\rm D}$ der Drossel D zusammen mit dem Streublindwiderstand $L_{\rm W}$ des induktiven Spannungswandlers entspricht bei Nennfrequenz näherungsweise dem resultierenden kapazitiven Blindwiderstand der Parallelschaltung der Kondensatoren C_1 und C_2 . Wenn diesem schon der Streublindwiderstand des Spannungswandlers entspricht, kann die Drosselspule entfallen. Im allgemeinen ist bei Nennfrequenz der Betrag von ω ($L_{\rm D}+L_{\rm W}$) etwas größer als der von $1/\omega$ (C_1+C_2), so daß der Fehlergang des kapazitiven Wandlers in Abhängigkeit von der Bürde dem eines induktiven Wandlers entspricht. Ist die Netzfrequenz kleiner als die Nennfrequenz, so wird der resultierende Blindwiderstand kapazitiver, ist sie höher, so ist er induktiver. Bei rein ohmscher Belastung ändert sich hierbei praktisch nur der Fehlwinkel, der mit zunehmender Frequenz negativer wird, bei induktiver Belastung wird auch noch der Spannungsfehler negativer. Der durch Temperaturänderungen

bedingte Fehler ist am größten, wenn C_1 und C_2 unterschiedliche Temperaturen aufweisen. Bei einem mit Mineralöl imprägniertem Papierkondensator üblicher Bauart erhöht sich seine Kapazität um etwa 0.06 % pro 1 K Temperaturerhöhung; um diesen Betrag ändert sich auch das Teilerverhältnis bei der Annahme, daß die Temperaturerhöhung von C_2 größer als die von C_1 ist. Deshalb ist es wichtig, daß beide Kondensatoren im Betrieb möglichst die gleiche Temperatur annehmen, was bei der Konstruktion des Wandlers zu beachten ist.

Das Fehlerdiagramm nach Möllinger-Gewecke kann man wie bei induktiven Wandlern aufzeichnen. Die Klasse, Fehlergrenzwerte und Leistungen entsprechen denen der induktiven Wandler.

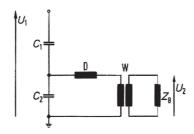


Bild 9a

Prinzipschaltbild eines kapazitiven Wandlers. U1 primäre Spannung; C1, C2 kapazitiver Spannungsteiler; D Drossel; W induktiver Wandler; U2 sekundäre Spannung; Z_B Bürde

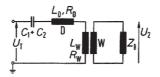


Bild 9b Ersatzschaltung des kapazitiven Wandlers $U_T = U_1 \frac{c_1}{c_1 + c_2}$ Teilerspannung;

U1 primäre Spannung; LD Induktivität der Drossel D, LW Streuinduktivität auf der Primärseite des Wandlers W; RW+RD Widerstand der Primärwicklung des Wandlers W, ergänzt durch die Serienwiderstände, die die Eisen- und Kupferverluste der Drossel D und die dielektrischen Verluste des Kondensators C1+C2 darstellen, ZR Bürde.

1.3.2 Ausführung der kapazitiven Wandler

Der kapazitive Teiler wird meistens aus mit Öl imprägnierten Kondensatorwickeln hergestellt, die entweder aus Flachwickeln oder Rundwickeln bestehen und in einen Porzellankörper eingebaut werden, wobei man die Kondensatoren C_1 und C_2 unmittelbar übereinander anordnet. Da die Kondensatoren sich in einem gemeinsamen Ölraum befinden, ist ihre Temperatur annähernd gleich. Die resultierende Kapazität, das ist die Kapazität bei Hintereinanderschaltung von C_1 und C_2 , beträgt bei Wandlern von $U_m = 250 \text{ kV}$ etwa 4000 pF. Diese Kapazität wurde gewählt, weil der kapazitive Teiler in vielen Fällen auch gleichzeitig als Kopplungskondensator für Trägerfrequenz- Hochspannungsanlagen (TFH) verwendet wird.

Es gibt auch kapazitive Wandler, die durch Hintereinanderschaltung von einzelnen Becherkondensatoren gebildet werden, die an einem Isolator aufgehängt sind. Die resultierende Kapazität dieser Wandler bei $U_{\rm m}=250~{\rm kV}$ beträgt etwa 10 000 pF. Bei dieser Bauweise ist die Forderung, daß die Kondensatoren C_1 und C_2 möglichst die gleiche Temperatur haben sollen, sehr schwer zu erfüllen.

Bei den meisten Bauarten ist der kapazitive Teiler fest mit dem induktiven Teil verbunden. Der darin eingebaute Wandler entspricht in seinem Aufbau den induktiven Wandlern mit Ölisolation.

1.4 Meßwandler als Zusammenbau von Strom- und Spannungswandlern (Kombinierte Wandler)

Bei dem Zusammenbau von Strom- und Spannungswandlern gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten. Als Topfwandler können sie beide zusammen nebeneinander in einem Stahlblechgehäuse eingebaut werden, auf dem die für den Stromwandler- und den Spannungswandleranschluß gemeinsame Durchführung sitzt. Beim Stützerwandler können sowohl der Stromwandler oben und der Spannungswandler unten als auch umgekehrt in dem Stützerisolator angeordnet werden. Im allgemeinen ist man bestrebt, eine möglichst gleichmäßige Steuerung der Spannung längs des Isolators zu erreichen. Bei Wandlern $U_{\rm m} \ge 250~{\rm kV}$ wird daher die Spannungswandlerwicklung oft auf beide Schenkel des Eisenkerns gewickelt. Der Kern liegt dann auf halbem Potential. In diesem Falle wird der Spannungswandlerteil in die Mitte des Stützisolators eingebaut. Eine wesentliche Bedingung bei kombinierten Wandlern ist, daß sich beide — Strom- und Spannungswandlerteil — im Fehler möglichst wenig gegenseitig beeinflussen

1.5 Beeinflussung der Fehler von Strom- und Spannungswandlern

1.5.1 Die Beeinflussung des Fehlers eines Spannungswandlers durch das magnetische Feld eines Stromleiters

Bei kombinierten Wandlern und oft auch bei Spannungswandlern in Stützerbauweise für höhere Spannungen über $U_{\rm m}=125~{\rm kV}$ gehen die stromführenden Leitungen des Netzes durch den Kopf des Wandlers. Auch in Schaltstationen der Mittelspannungsnetze werden die Spannungswandler oft als Stützer für die Stromschienen benutzt, durch die sie dann gleichzeitig auf das Potential der Spannung gelegt werden. Das magnetische Feld dieser Stromschienen kann in den Spannungswandler eine Spannung induzieren, die einen zusätzlichen Spannungsfehler und Fehlwinkel verursacht. Liegt die Stromschiene senkrecht zur Spulenachse, so geht, wenn ein Strom durch die Schiene fließt, ein Teil seiner Feldlinien und damit ein Flußbündel durch die Spulenöffnung und den sie ausfüllenden Eisenkern. In Bild 10 ist dies durch eine Feld-

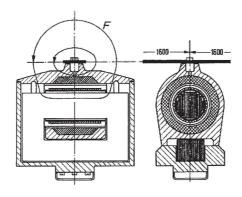


Bild 10

Gießharzspannungswandler angeschlossen an eine stromführende Stromschiene; Feldlinie

linie dargestellt. Wird der Eisenkern gedreht, so verringert sich der durch die Öffnung tretende Anteil des Flusses proportional mit dem Sinus des Winkels zwischen Stromschiene und Längsrichtung des Eisenkerns. Ist der Winkel O, liegt also die Stromschiene parallel zur Längsrichtung des Eisenkerns, so können keine Feldlinien mehr durch die Spulenöffnung treten und der Einfluß ist dann praktisch Null. Die Höhe der induzierten Spannung ist ferner noch dem Strom proportional und hängt außerdem vom Abstand der Stromschiene von der Spulenachse ab. Da der Zeiger der induzierten Spannung immer senkrecht auf

dem Zeiger des Stromes steht, wird die Wirkleistungsmessung praktisch nicht beeinflußt, jedoch geht der Einfluß fast voll in die Blindleistungsmessung ein. Von großer Bedeutung ist die Höhe der induzierten Spannung auf die Messung im Distanzschutzrelais, das hierdurch einen falschen Richtungsentscheid treffen kann.

1.5.2 Die Beeinflussung des Fehlers eines Stromwandlers durch die angelegte Spannung

Stromwandler haben zwei Aufgaben zu erfüllen. Erstens sollen sie den im Netz fließenden hohen Strom auf einen den Meßgeräten angepaßten Strom transformieren. Zweitens sollen sie die hohe Spannung des Netzes von den angeschlossenen Geräten fernhalten. Bei der Messung der Fehler eines Stromwandlers liegt im allgemeinen die Primärwicklung nicht auf Hochspannungspotential, sondern sie hat ein Potential, das sich durch die Spannung zur Erzeugung des Stromes ergibt, die nur einige Volt beträgt. Je nach der Konstruktion des Wandlers kann sich der bei niedrigem Potential gemessene Fehler bei Anlegen der Hochspannung mehr oder weniger ändern.

Der Einfluß wird hervorgerufen durch einen kapazitiven Strom, der von der angelegten Spannung erzeugt wird und der von der Primärseite entweder unmittelbar zur Erde oder über die Sekundärwicklung zur Erde fließt. Seine Stromstärke richtet sich nach der Kapazität der Primärwicklung gegen das Gehäuse und gegen die Sekundärwicklung. Der kapazitive Strom kann z. T. durch die Primärwicklung fließen und wird dann transformatorisch auf die Sekundärseite übertragen. Er addiert sich zu dem Sekundärstrom des Wandlers und fälscht ihn dadurch. Der relative Einfluß des kapazitiven Stromes und die durch ihn hervorgerufene Änderung des Stromfehlers und des Fehlwinkels wird besonders groß bei kleinen Übersetzungen und beim Betrieb des Stromwandlers mit nur einem Bruchteil der Nennstromstärke. Der zur Sekundärwicklung fließende kapazitive Strom kann teilweise unmittelbar über eine geerdete Sekundärklemme oder auch teilweise durch den am Stromwandler angeschlossenen Verbraucher zur Erde abfließen. Zu einem zusätzlichen Fehler führt nur der kapazitive Strom, der durch den an die Sekundärwicklung angeschlossenen Verbraucher fließt. Wird die Sekundärwicklung mit einem Schirm umgeben, so kann dieser Einfluß verhindert werden. Der Durchgang des kapazitiven Stromes durch die Primärwicklung läßt sich ebenfalls durch einen die Primärwicklung umgebenden Schirm vermeiden, wenn dieser an die Primärklemme angeschlossen wird, die zum Energieerzeuger hin gerichtet ist.

Der Zeiger des kapazitiven Stromes steht senkrecht auf dem Zeiger der Spannung. Damit wird auch hier die Wirkleistungsmessung praktisch nicht beeinflußt; dafür geht aber der Einfluß fast voll in die Blindleistungsmessung ein. Außer bei kombinierten Wandlern kann der Einfluß des kapazitiven Stromes auf den Stromfehler und Fehlwinkel auch bei Einzelwandlern gemessen werden. Die Messung wird wie in 3.8.3 beschrieben, ausgeführt. Jedoch sollten hier vier Messungen durchgeführt werden, da im voraus nicht feststeht, wie der Wandler im Netz angeschlossen wird. Erstens wird die höchste dauernd zulässige Betriebsspannung an K gelegt und der Einfluß nacheinander sowohl bei geerdeter Sekundärklemme k als auch bei geerdeter Klemme I festgestellt. Dann wird die gleiche Spannung an L gelegt und die Messungen werden wiederholt. Die Berechnung geschieht wie in 3.8.3 angegeben. Auch hier sollten die in Anhang 1 unter 9.2.2 angegebenen Fehlergrenzwerte nicht überschritten werden.

1.6 Normalstrom- und Normalspannungswandler

1.6.1 Normalstromwandler

Im Prinzip könnte jeder Stromwandler für eine beliebige Nennübersetzung hergestellt werden. Dies würde jedoch bedeuten, daß der Normalstromwandler, mit dem die zu prüfenden Wandler im Vergleich gemessen werden, in einer Fülle von Ausführungen hergestellt werden müßte, die wirtschaftlich nicht tragbar wäre. Aus diesem Grunde hat die Eichordnung Werte für die primären und sekundären Nennstromstärken festgelegt (E0 20-2 Nr. 3). Außerdem können die Geräte für die Prüfung nur für diskrete Nennstromstärken hergestellt werden. Als sekundäre Nennstromstärken gelten gemäß E0 20-2 Nr. 3

1 A und 5 A

5 A bei Stromwandlern der Klassen 0,2Z und 0,5Z.

Mit Ausnahme der Klassen 0,2Z und 0,5Z wurden für alle anderen Klassen die primären Nennstromstärken auf

5 A; 10 A; 12 A; 12,5 A; 15 A; 20 A; 25 A; 30 A; 40 A: 50 A: 60 A und 75 A

sowie das dekadische Vielfache dieser Werte festgelegt. Diese gelten auch für den niedrigsten Wert der primären Nennstromstärke bei umschaltbaren Wandlern. Für Wandler der Klassen 0,2Z und 0,5Z gelten die primären Nennstromstärken

25 A; 50 A; 100 A; 250 A; 500 A; 1000 A und 2500 A.

Die Normalstromwandler müssen nun so gebaut werden, daß mit ihnen alle Stromwandler mit den aufgeführten Nennstromstärken gemessen werden können. Im allgemeinen lassen sich alle Übersetzungsverhältnisse bis zu den primären Nennstromstärken 5000 A in einem einzigen Normalstromwandler unterbringen. Die Übersetzungsverhältnisse werden durch primäre oder sekundäre Anzapfungen, die an Klemmen geführt sind, umgeschaltet, Stecker und Buchsen ermöglichen ein schnelles Umschalten oder auch Laschen, wenn der primäre Anschluß an eine feste Klemme angeschlossen wird (Bild 43). Es werden nur Bandkerne hochpermeablen Materials mit den Firmenbezeichnungen Mumetall, Hyperm 766, Vacoperm verwendet, die vom Druck der Wicklung entlastet werden müssen, da sich sonst die Permeabilität ändert und somit eine Änderung der Fehlergröße eintreten kann. Zur Vermeidung von Transportstößen müssen die Kerne weich gelagert werden. Die Wicklungen müssen regelmäßig und symmetrisch angeordnet sein. Primärwicklungen für hohe Ströme werden in parallel geschalteten Windungen gleichmäßig auf den Umfang des Kernes verteilt. Will man den konstruktiv einfachen Einleiterwandler bei hohen Stromstärken über 5000 A verwenden, so muß die Sekundärwicklung auf einen Kern mit einem verhältnismäßig großen Querschnitt in parallelgeschalteten symmetrischen Abschnitten aufgebracht werden, damit sich die Permeabilität des Kernes an keiner Stelle durch den Einfluß des Rückleiters zu stark ändern kann und kein Teil des Kernes in Sättigung geht. Besonders gefährdet ist hierbei der Teil des Wicklungsabschnittes der Sekundärwicklung, der innerhalb der Primärschleife liegt und einen so hohen Strom führen kann, daß seine Erwärmung zu hoch wird.

1.6.2 Normalspannungswandler

Für die Ausführung der Spannungswandler gelten die gleichen Gesichtspunkte wie für die Stromwandler. Als sekundäre Nennspannungen sind in der EO 20 – 2 Nr. 3 folgende Werte festgelegt:

100 V; 110 V; 100/ $\sqrt{3}$ V; 110/ $\sqrt{3}$ V; 2 x 100/ $\sqrt{3}$ V; 2 x 110/ $\sqrt{3}$ V; 200/ $\sqrt{3}$ V und 2 x 200/ $\sqrt{3}$ V, für die Bahnanlagen außerdem 100/2 V und 2 x 100/2 V.

Auch bei den Normalspannungswandlern bringt man möglichst viele Übersetzungen in einem Wandler unter, wenngleich sich diese Forderung wegen der Beanspruchung der Isolation nicht so bequem erfüllen läßt wie bei den vielfach umschaltbaren Stromwandlern. Die verschiedenen Übersetzungsverhältnisse werden bei Nennspannungen bis etwa 40 kV entweder durch

Anzapfungen der primären und sekundären Wicklungen oder durch Reihen-, Gruppen- und Parallelschaltung elektrisch einander gleichwertiger Gruppen der Hochspannungswicklung erzielt (Bild 44), bei Spannungen über 40 kV bis 110/√3 kV durch Anzapfungen der Primär- oder Sekundärwicklungen und darüber bis 400 kV vorwiegend durch Anzapfungen der Sekundärwicklungen (Bild 45). Im letzten Fall darf der Induktionsbereich zwischen kleinster und größter Spannung nicht größer als 1:10 sein, da sonst in den Grenzbereichen die Fehler zu groß werden. Als Kernmaterial wird meistens kaltgewalztes Blech mit den Firmenbezeichnugen Hyperm 5 T, Trafoperm N 2 und Orsi 89 verwendet, für Wandler mit besonders kleinen Fehlern auch Permenorm 5000 H2. Wesentlich ist noch, daß der Wandlerfehler unabhängig von den kapazitiven Einflüssen der Umgebung sein muß.

2 Meßverfahren

2.1 Meßverfahren zur Spannungsmessung bei der Isolierungsprüfung

2.1.1 Scheitelwert-Meßverfahren

Zur Messung des Scheitelwertes sind die in VDE 0433 Teil 6/5.63 angezogenen Verfahren zu verwenden unter Berücksichtigung der darin erhobenen Anforderungen. In einigen Fällen kann dem kapazitiven Teiler ein Vorwiderstand vorgeschaltet werden.

2.1.2 Effektivwertmessung

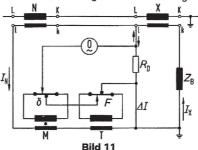
Die Spannung bei der Isolierungsprüfung der Sekundärwicklungen oder der Teilwicklungen, die 2 kV oder 4 kV beträgt, kann mit Scheitelwertmessern oder auch mit einem Effektivwertmesser gemessen werden. Der letztere kann ein Hochspannungsmesser mit statischem Meßwerk sein oder auch ein Spannungsmesser, der über einen Spannungswandler angeschlossen wird.

2.2 Meßverfahren für die Richtigkeitsprüfung

2.2.1 Meßverfahren für die Prüfung von Stromwandlern

2.2.1.1 Differenzverfahren

Der Normalstromwandler N und der zu prüfende Stromwandler X werden primär in Reihe geschaltet. Beide Wandler müssen die gleiche Übersetzung haben (Bild 11). Die Sekundärwicklungen werden so angeschlossen, daß



Prinzipschaltbild einer Stromwandlermeßeinrichtung nach dem Differenzverfahren N Normalstromwandler, X zu prüfender Wandler, R_D Diagonalwiderstand; I_N Sekundärstrom des Normalstromwandlers; I_X Sekundärstrom des zu prüfenden Wandlers; $\Delta \underline{I} = \underline{I}_N - \underline{I}_X$ Differenzstrom; Z_B Bürde; M Gegeninduktivität, T Fehlerwandler; δ Fehlwinkelschleifdraht; F Stromfehlerschleifdraht.

durch den Diagonalwiderstand R_D der Differenzstrom ΔI fließt. Ist der Fehler des Normalstromwandlers Null, so ist $\Delta I = I_X - I_N$ gleich dem Fehlerstrom des Wandlers X, um den IX von seinem Sollwert abweicht. Der Spannungsabfall $\underline{u} = \Delta \underline{I} \cdot R_D$ ist ein Maß für die Fehlergröße des Prüflings X. Bei kleinem Winkel δ bestimmt die Komponente ΔF von u, die in Richtung von I_N liegt, den Stromfehler und die dazu senkrechte Komponente $\Delta\delta$ den Fehlwinkel (Bild 12). Der Spannungsabfall u wird durch zwei aufeinander senkrecht stehende in ihrer Größe einstellbare Spannungen kompensiert, die an zwei Schleifdrähten abgenommen werden, von denen der eine über den Stromwandler T und der andere über die Gegeninduktivität M von dem Sekundärstrom des Normalstromwandlers N gespeist wird. Die von T erzeugte Kompensationsspannung liegt in Richtung von IN und ist damit ein Maß für den Stromfehler F_i . Die von M erzeugte Kompensationsspannung steht senkrecht auf I_N und ist ein Maß für den Fehlwinkel δ_i . Die Skalen der Schleifdrähte sind so eingestellt, daß man an ihnen unmittelbar den Stromfehler in Prozent und den Fehlwinkel in Minuten ablesen kann. Der Stromfehler F_i ist positiv, wenn der Strom IX des Prüflings größer ist als der Strom IN des Normalstromwandlers. Der Fehlwinkel δ_i ist positiv, wenn der Strom I_X dem Strom I_N voreilt.

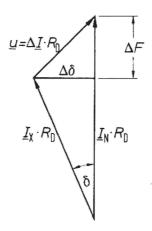


Bild 12Zeigerdiagramm des Spannungsabfalls \underline{u} am Diagonalwiderstand R_{D} der Stromwandlermeßeinrichtung nach Bild 11. $\underline{u} = \langle \underline{t}_{\mathrm{X}} - \underline{t}_{\mathrm{N}} \rangle R_{\mathrm{D}}$

Ist der Fehler des Normalstromwandlers größer als 0,01 % und 0,5′, so müssen seine Fehler berücksichtigt und zu den gemessenen Fehlern addiert werden. Die Fehler des Normalstromwandlers sind dem Prüfungsschein der PTB zu entnehmen. Es ist dann der Stromfehler F_i des zu prüfenden Stromwandlers

$$F_i = F_i' + F_{iN}$$

und der Fehlwinkel δ_i

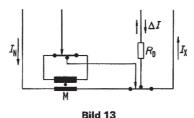
$$\delta_i = \delta_i' + \delta_{iN}$$

Darin sind:

$oldsymbol{\mathcal{F}_i}{\delta_i}$	der Stromfehler in % der Fehlwinkel in Minuten	}	des zu prüfenden Wandlers,
$ F_{i}' \\ \delta_{i}' $	der Stromfehler in % der Fehlwinkel in Minuten	}	der Ablesung an der Wandlermeßeinrichtung
δ_{iN}	der Stromfehler in % der Fehlwinkel in Minuten	}	des Normalstromwandlers.

Im allgemeinen kann der Diagonalwiderstand R_D auf drei Werte umgeschaltet werden, so daß die Skalen drei Stromfehlerbereiche \pm 10 %, \pm 2 % und \pm 0,2 % und drei Fehlwinkelbereiche \pm 600′ bis - 200′, \pm 120′ bis - 40′ und \pm 12′ bis - 4′ abdecken.

Bei einer älteren Ausführung der Wandlermeßeinrichtung wird der Schleifdraht zur Kompensation des Stromfehlers unmittelbar von den Sekundärströmen durchflossen (Bild 13), und zwar liegt eine Hälfte des Schleifdrahtes im Sekundärkreis des Normalstromwandlers und die andere im Sekundärkreis des Prüflings, um sowohl positive als auch negative Stromfehler ausmessen zu können. Nun wird aber die negative Hälfte des Schleifdrahtes von dem fehlerbehafteten Strom IX durchflossen. Dadurch wird die Ablesung am Skalenteilstrich - 2 % des Schleifdrahtes bei einem negativen Fehler von 2 % um 0,04 % zu positiv. Nun könnte man durch Vergrößern des Widerstandes der negativen Hälfte des Schleifdrahtes und durch entsprechende Teilung der Skala diesen Fehler kompensieren. Da aber die Einrichtung auch zur Messung von Spannungswandlern dient, bei der beide Hälften von dem gleichen Strom durchflossen werden, wurde die Teilung so ausgeführt, daß die Ablesung Fi' bei einem Wandlerfehler von - 2 % bei der Stromwandlermessung um 0,02 % zu positiv und die Ablesung F_{μ} bei der Spannungswandlermessung um 0,02 % zu negativ gemessen wird. Damit wird bei der Stromwandlermessung der tatsächliche negative Stromfehler $-F_i = -F_i' - 0.1 \cdot F_i'$ und bei der Spannungswandlermessung der tatsächliche negative Spannungsfehler $-F_{\mu} = -F_{\mu}' +$ $0,1F_{\mu}'$.

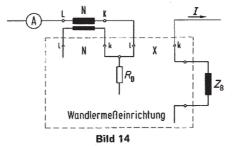


Modifzierte Ausführung des Abgleichteiles der Stromwandlermeßeinrichtung nach Bild 11.

Die Sekundärspannung an der Gegeninduktivität ist proportional der Frequenz. Aus diesem Grunde wird die Gegeninduktivität mit Anzapfungen versehen, um den Fehlwinkel für bestimmte feste Frequenzen unmittelbar ablesen zu können. Werden Messungen bei einer hiervon abweichenden Frequenz ausgeführt, so muß der Betrag des abgelesenen Fehlwinkels mit dem Verhältnis der Meßfrequenz zu der Frequenz, für die die Einrichtung abgeglichen ist, multipliziert werden.

Der Primärkreis der Stromwandler wird unmittelbar am Stromtransformator geerdet. Im allgemeinen wird die Seite geerdet, an die der Prüfling angeschlossen wird, da dieser einen kleineren Innenwiderstand hat als der Normalstromwandler. Durch Versuche ist jedoch die beste Erdung festzustellen, die dann vorhanden ist, wenn das Nullinstrument keinen Vorausschlag hat. Auf keinen Fall darf die Verbindungsleitung zwischen Normalstromwandler und Prüfling geerdet werden, da hierdurch zur Erde fließende kapazitive Ströme als Fehlerströme mitgemessen werden. Zur Erdung des Sekundärkreises ist nur die Wandlermeßeinrichtung an der vorgesehenen Stelle zu erden.

Zur Kontrolle des Nullpunktes der Wandlermeßeinrichtung wird durch die Klemmen I des Normalstromwandleranschlusses und k des Prüflingsanschlusses der Wandlermeßeinrichtung ein Strom bis zur Nennstromstärke geschickt. Nach dem Abgleich müssen beide Skalen auf Null stehen. Eine weitere Möglichkeit zur Kontrolle der Einrichtung ist die Schaltung nach Bild 14. Die



Kontrollschaltung zur Prüfung der Stromwandlermeßeinrichtung

Sekundärseite des Normalstromwandlers wird wie üblich an die Klemmen I und k des Normalstromwandleranschlusses der Wandlermeßeinrichtung gelegt, während der Primärstrom den Klemmen L des Normalstromwandlers und k des Prüflingsanschlusses der Wandlermeßeinrichtung unmittelbar zugeführt wird. Der Normalstromwandler muß hierbei das Übersetzungsverhältnis 1:1 bzw. 5 A/5 A haben. Der Abgleich muß den Fehler des Normalstromwandlers, jedoch mit negativem Vorzeichen und den Fehler der Meßeinrichtung unmittelbar ergeben. Der tatsächliche Fehler des Normalstromwandlers ist dem Prüfungsschein der PTB zu entnehmen und mit dem gemessenen zu vergleichen.

Der Fehler der Einrichtung wird bedingt durch den Fehler des Diagonalwiderstandes R_D, der aber nur mit dem Gewicht des zu messenden Stromwandlerfehlers in das Meßergebnis eingeht, durch den Fehler der 90°-Schaltung der Gegeninduktivität, der sich durch ihre Belastung mit dem Schleifdraht ergibt und durch den Fehler des Stromwandlers T. Der Winkel zwischen den Zeigern des Sekundärstromes der Gegeninduktivität und ihres Primärstromes weicht um weniger als 2' von dem Sollwert 90° ab. so daß sich hierdurch an dem

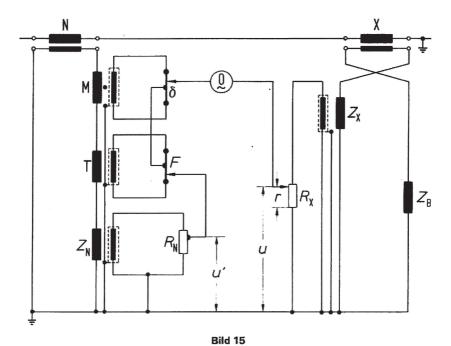
F-%-Schleifdraht nur ein Fehler von 0,002 % ergibt. Der Fehler des Stromwandlers T kann vernachlässigbar klein gehalten werden.

Der Normalstromwandler wird bei dieser Einrichtung durch den Eigenverbrauch des komplexen Kompensators, der aus M und T mit angeschlössenen Schleifdrähten besteht (Bild 11), mit etwa 5 VA belastet, während der Prüfling bei kurzgeschlossener Bürde nur durch die Leitung zwischen der Klemme k und dem Verzweigungspunkt zum Diagonalwiderstand belastet wird. Deren Widerstand ist praktisch zu vernachlässigen. Bei der älteren Ausführung (Bild 13) muß jedoch noch der Widerstand des halben Schleifdrahtes berücksichtigt werden.

2.2.1.2 Kompensationsverfahren mit Zwischenwandlern

Die vorher beschriebene Wandlermeßeinrichtung nach dem Differenzverfahren gestattet nur die Messung eines Stromwandlers, der die gleiche Übersetzung wie der Normalstromwandler hat, während man bei der Einrichtung nach dem Kompensationsverfahren die Übersetzung durch Einstellen eines Teilers im Kompensationskreis anpassen kann. Normalstromwandler und Prüfling brauchen daher nicht mehr die gleiche Übersetzung zu haben. Das Prinzip der Messung sei an Hand der Schaltung nach Bild 15 erläutert. Normalstromwandler N und zu prüfender Wandler X werden hintereinandergeschaltet. An der Sekundärseite von N liegt der Zwischenwandler ZN und der komplexe Kompensator, der aus dem Stromwandler T und der Gegeninduktivität M mit den angeschlossenen Schleifdrähten F und δ besteht. Bei einer anderen Ausführung (Bild 16) wird der Schleifdraht F auch unmittelbar in Verbindung mit dem Widerstand R' von dem Zwischenwandler Z_N gespeist. An der Sekundärseite des zu prüfenden Wandlers X liegt der Zwischenwandler ZX, an dessen Sekundärseite wiederum der Widerstandsteiler RX angeschlossen ist. Der Teilerwiderstand r wird nun so eingestellt, daß bezogen auf die Nennübersetzungen von X und N die Spannungsabfälle u' und u gleich sind. R_N und R_X haben den gleichen Betrag, so daß die Zwischenwandler Z_N und Z_X gleich belastet sind. Haben N und X die gleiche Übersetzung, so hat der durch die Zwischenwandler Z_N und Z_X fließende Strom die gleiche Stromstärke. Da sie außerdem gleichartig aufgebaut sind, haben beide annähernd die gleichen Fehler; diese gehen aber nur als Differenz in das Meßergebnis ein, so daß sie praktisch zu vernachlässigen sind.

Haben Normalstromwandler N und Prüfling X nicht die gleiche Übersetzung, sondern hat beispielsweise N die größere, so fließt bei gleicher Primärstromstärke durch N und X in Z_N ein kleinerer Strom als in Z_X . Durch Verkleinern von r wird nun wieder u gleich u' gemacht, bezogen auf die Nennwerte von N und X. Ein etwaiger Stromfehler des Prüflings X bewirkt eine Vergrößerung oder Verkleinerung von u, ein Fehlwinkel eine entsprechende Phasenverschie-



Prinzipschaltbild einer Stromwandlermeßeinrichtung nach dem Kompensationsverfahren mit Zwischenwandlern, N Normalstromwandler; X zu prüfender Wandler; M Gegeninduktivität; T Wandler zur Speisung des Fehlerschleifdrahtes; Z_N, Z_X Zwischenwandler; Z_B Bürde.

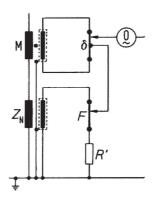


Bild 16Modifikation des Schaltbildes nach Bild 15

bung. Diese Änderungen werden durch Einstellen der Schleifdrähte von F und δ wieder ausgeglichen. An den Schleifdrähten können dann Stromfehler und Fehlwinkel abgelesen werden.

Bei unterschiedlichem Strom durch Z_N und Z_X ist naturgemäß die Fehlerdifferenz dieser beiden Wandler etwas größer als bei gleichem Strom. Deshalb sollte das Verhältnis der primären Nennstromstärken von N und X zwischen 1:1 und 1:2 liegen, wobei 1:2 der ungünstigste Fall ist, bei dem noch die Fehlertoleranz für die Wandlermeßeinrichtung eingehalten werden muß. Ein größeres Verhältnis der Nennstromstärke von N und X ist für die Messung der Wandlerfehler nicht zulässig.

Im Gegensatz zur Wandlermeßeinrichtung nach dem Differenzverfahren gehen bei dieser Meßeinrichtung die Fehler der Widerstände $R_{\rm N}$ und $R_{\rm X}$ voll in das Meßergebnis ein. Deshalb sollte täglich vor Beginn der Messungen eine Nullpunktkontrolle durchgeführt werden. Hierzu werden die beiden Zwischenwandler $Z_{\rm N}$ und $Z_{\rm X}$ in Reihe geschaltet und im Bereich von 1 % bis 200 % der Nennstromstärke die Nullpunktabweichung festgestellt. Diese darf den zulässigen Wert nicht überschreiten. Außerdem können noch durch Verstellen des Teilers r einige diskrete Punkte der F-%-Skala nachgeprüft werden.

Die Einrichtung kann auf verschiedene Fehlermeßbereiche \pm 0,2 %, \pm 2 % und \pm 10 % für den Stromfehler und entsprechend für den Fehlwinkel umgeschaltet werden. Für die Frequenzabhängigkeit der Einrichtung gilt das bei der Differenzschaltung Gesagte.

2.2.1.3 Verfahren mit Differenzstromwandlern

Die Klemmen k und I des Normalstromwandlers N und des Prüflings X werden mit den Wicklungen W_N und W_X des Differenzstromwandlers verbunden, die so geschaltet sind, daß bei gleichen Übersetzungen von N und X nur die Differenzdurchflutung auf den Kern einwirkt (Bild 17), Wird der Fehler des Normalstromwandlers als Null angenommen, so ist die Restdurchflutung dem Fehler von X proportional. In dem Sekundärkreis des Normalstromwandlers N liegt ein sehr niederohmiger Widerstandsteiler, von dem mit zwei Kurbeln und zwei Schleifdrähten unabhängig voneinander zwei Spannungen abgegriffen werden können. Die an PF und dem Schleifdraht P abgegriffene Spannung wird über den hochohmigen Widerstand R an die Wicklung WE gelegt und erzeugt einen Strom, der in Phase mit dem Sekundärstrom des Normalstromwandlers ist. Die zweite an Ps und P' abgenommene Spannung schickt über den Kondensator C einen gegen den Sekundärstrom von N um nahezu 90° voreilenden Strom durch die Wicklung Wδ. Durch einige zusätzliche getrennt eingespeiste Windungen, die auf den Kern gebracht werden, kann eine Phasenverschiebung von genau 90° erreicht werden. In Bild 17 ist diese Maßnahme nicht eingezeichnet. Zum Ab-

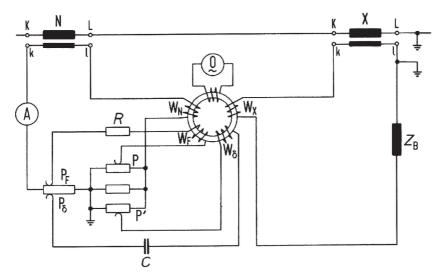


Bild 17

Prinzipschaltbild einer Stromwandlermeßeinrichtung nach dem Verfahren mit Differenzstromwandlern. N Normalstromwandler; X zu prüfender Wandler; ZB Bürde.

Pr Stromfehlerschleifdraht; Ps Fehlwinkelschleifdraht.

gleich werden die Widerstände P_F , P, P_δ und P' nun so lange verstellt, bis der Ausschlag am Nullinstrument verschwindet und die völlige Feldfreiheit des Kernes anzeigt. Der durch W_F fließende Strom entspricht dem Stromfehler und der durch W_δ fließende Strom dem Fehlwinkel. Damit können die Widerstände P_F und P_δ mit in Prozent bzw. in Minuten geteilten Skalen versehen sein. Der Übergang von positiven zu negativen Fehlern wird durch Umpolen von W_F und W_δ erreicht. Mit der Einrichtung können auch Prüflinge mit 1 A sekundärer Stromstärke mit einem Normalstromwandler mit 5 A sekundärer Stromstärke verglichen werden. Die Wicklung W_X besitzt dann 5mal so viel Windungen wie W_N .

Bei der Nullpunktkontrolle wird durch die beiden 5-A-Wicklungen W_N und W_X der gleiche Strom geschickt. Durch streng bifilare Leitungsführung ist es möglich, diesen Nullpunkt auf \pm 0,0003 % und \pm 0,002′ mit dem Punkt der Stromlosigkeit der Wicklungen W_F und W_δ in Einklang zu bringen. Die Einrichtung kann auf verschiedene Fehlermeßbereiche \pm 0,12 %, \pm 1,2 % und \pm 12 % für den Stromfehler und \pm 12′, \pm 120′ und \pm 1200′ für den Fehlwinkel umgeschaltet werden. Sie ist für 50 Hz abgeglichen. Bei anderen Frequenzen ist der abgelesene Fehlwinkel linear mit der Frequenz umzurechnen.

2,2,1.4 Selbsttätig anzeigende elektronische Stromwandermeßeinrichtung

Der zu prüfende durch die Bürde Z_B belastete Wandler X (Bild 18a) wird mit dem Normalstromwandler N verglichen. Beide werden an den Differenzstromwandler T_1 gelegt, der einen der Differenz der Sekundärströme I_X und I_N proprotionalen Strom I_Δ erzeugt. Der elektronisch mit Hilfe des Verstärkers V_1 fehlerkompensierte Stromwandler T_2 wandelt den Strom I_Δ in eine proportionale Spannung I_Δ um, wobei durch Einschalten verschiedener Stufen der Sekundärwicklung I_A die Fehlermeßbereiche (z. B. 0,2 %/2%/20 %) gewählt werden können.

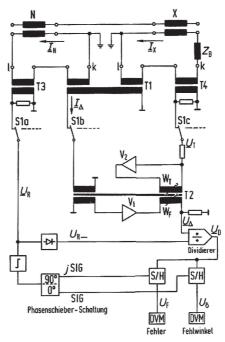


Bild 18a

Prinzipschaltbild einer selbsttätig anzeigenden elektronischen Stromwandlermeßeinrichtung, Legende im Text.

An der Bürde des Stromwandlers T_3 wird eine dem Strom \underline{I}_N proportionale Spannung \underline{U}_R erzeugt, aus der in einer digitalen Phasenschieberschaltung zwei digitale Steuersignale abgeleitet werden, von denen das eine (SIG) in Phase mit \underline{U}_R , das andere (jSIG) um 90° gegenüber \underline{U}_R phasenverschoben ist. Außerdem

wird in einer Gleichrichterschaltung eine dem Effektivwert $U_{\rm R}$ äquivalente Gleichspannung $U_{\rm R}$ — gebildet.

Durch Division von $\underline{U}_{\triangle}$ durch \underline{U}_{R} — entsteht eine Wechselspannung \underline{U}_{D} , die dem Fehler $I_{X} = I_{N}$ I_{A}

 $F = \frac{\underline{I}_{X} - \underline{I}_{N}}{\underline{I}_{N}} = \underline{\underline{I}_{N}}$

des Prüflings unter der Voraussetzung proportional ist, daß der Normalstromwandler N fehlerlos ist. Im Augenblick des größten Momentanwertes $\hat{U}_{\rm R}$ der Referenzspannung $\underline{U}_{\rm R}$ (Bild 18b) hat $\underline{U}_{\rm D}$ den Momentanwert $\underline{U}_{\rm F}$, der proportional dem Stromfehler F_i des Prüflings X ist. Zum Zeitpunkt des positiven Nulldurchganges von $\underline{U}_{\rm R}$ hat die Spannung $\underline{U}_{\rm D}$ einen Momentanwert von der Größe \underline{U}_{δ} , der proportional dem Fehlwinkel δ_i des Prüflings ist. Die Ermittlung dieser beiden Momentanwerte (Bild 18a) erfolgt durch die zwei von den Steuerspannungen SIG und jSIG gesteuerten Folge/Halte-Verstärker (S/H). Die Amplituden der Spannungen $U_{\rm F}$ und U_{δ} werden vorzeichenrichtig mit zwei Digital-Voltmetern (DVM) angezeigt, die für die Fehleranzeige direkt in Prozent und für die Fehlwinkelanzeige wahlweise umschaltbar in Minuten oder in Milliradianten kalibriert sind.

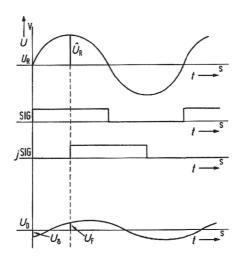


Bild 18b
Spannungs-Zeit-Diagramm.
Legende im Text.

In der Meßeinrichtung können auch Wandler gemessen werden, deren Übersetzung von der des Normalwandlers abweicht. Dazu wird aus dem Sekundärstrom des Prüflings eine diesem Strom proportionale Spannung $\underline{\mathcal{U}}_T$ abgeleitet, die mit Hilfe des Verstärkers V_2 und der gewählten Stufe der Wicklung W_T (Stromwandler T_2) denjenigen Anteil von \underline{J}_Δ kompensiert, der nur durch die unterschiedlichen Übersetzungen von Prüfling und Normalwandler und nicht durch Übersetzungsfehler des Prüflings verursacht ist.

Der Schalter S_1 dient zur Umschaltung der Einrichtung, wenn Spannungswandler gemessen werden sollen (Abschnitt 2.2.2.4).

Die Meßunsicherheit der Einrichtung beträgt 0,001 % beim Stromfehler und 0.03' beim Fehlwinkel.

2.2.2 Meßverfahren für die Prüfung von Spannungswandlern

2.2.2.1 Differenzverfahren

Normalspannungswandler N und Prüfling X, die primärseitig parallel an Spannung liegen, werden auf ihrer Sekundärseite so miteinander verbunden. daß am Widerstand R die Differenzspannung ΔU abfällt (Bild 19). Diese wird durch zwei aufeinander senkrecht stehende in ihrer Größe einstellbare Spannungen ΔU_F und ΔU_{δ} kompensiert (Bild 20), die an zwei Schleifdrähten abgenommen werden, von denen der eine von dem Stromwandler T und der andere über die Gegeninduktivität M gespeist werden. Der Primärstrom i durch M und T ist proportional und gleichphasig mit der Sekundärspannung \underline{U}_{N} des Normalspannungswandlers und beträgt bei U_{N} = 100 V etwa 2 A. Mittels einer RC-Kombination im Primärkreis des Hilfsstromwandlers HW wird die Gleichphasigkeit des Stromes i mit der Spannung U_N erreicht. Die Belastung für den Normalspannungswandler beträgt je nach Fabrikat der Einrichtung 5 VA bis 6 VA, für den Prüfling ist sie kleiner als 0,01 VA. Die Schaltung ist so bemessen, daß ihre Fehler für Sekundärspannungen von N und X zwischen 46 V und 140 V und bei Frequenzen zwischen 16 Hz und 60 Hz vernachlässigbar klein bleiben. Die Fehlermeßbereiche entsprechen denen bei der Stromwandler-Meßeinrichtung. Durch geeignete Auslegung des Hilfswandlers und des Spannungsteilers R wird erreicht, daß die in Prozent bzw. in Minuten geteilten Skalen für die Stromwandlerprüfung auch bei der Spannungswandlerprüfung gültig bleiben.

Bei einer älteren Ausführung der Wandlermeßeinrichtung wird der Schleifdraht zur Kompensation des Spannungsfehlers unmittelbar vom Meßstrom durchflossen (Bild 21). Es fehlt der Stromwandler T. Nähere Angaben dieser Schaltung sind dem Abschnitt 2.2.1.1 zu entnehmen.

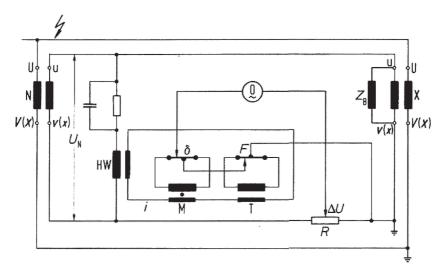


Bild 19

Prinzipschaltbild einer Spannungswandlermeßeinrichtung nach dem Differenzverfahren. N Normalspannungswandler; X zu prüfender Wandler; Z_B Bürde; HW Hilfswandler; M Gegeninduktivität zur Speisung des Fehlwinkelschleifdrahtes δ ; T Wandler zur Speisung des Spannungsfehlerschleifdrahtes F; R Widerstand.

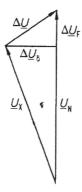


Bild 20

Zeigerdiagramm der Spannungen bei der Spannungswandlermeßeinrichtung nach Bild 19. $\Delta \underline{\mathcal{U}} = \underline{\mathcal{U}}_X - \underline{\mathcal{U}}_N$

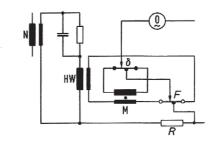


Bild 21

Modifizierte Ausführung des Abgleichteiles der Spannungswandlermeßeinrichtung nach Bild 19.

Für die Frequenzabhängigkeit gilt das unter 2.2.1.1 Gesagte. Geerdet wird die Schaltung auf der Hochspannungsseite an der V- oder X-Klemme des Normalspannungswandlers und des Prüflings, ferner an der Sekundärklemme v oder x des Prüflings. Die Geräte sind im allgemeinen so ausgeführt, daß bei Erdung der dazu an der Einrichtung vorgesehenen Klemme die Klemme x des Prüflings automatisch richtig geerdet wird. Die Sekundärseite des Normalspannungswandlers darf nicht geerdet werden.

Zur Kontrolle des Nullpunktes wird an die Klemmen N_u und N_v der Wandlermeßeinrichtung eine Spannung von 40 V bis 140 V gelegt. Innerhalb dieses Spannungsbereichs müssen nach dem Abgleich beide Skalen praktisch auf Null stehen.

2.2.2.2 Kompensationsverfahren mit Zwischenwandlern

Noch mehr als bei Stromwandlern besteht das Interesse, auch Spannungswandler messen zu können, die nicht das gleiche Übersetzungsverhältnis haben wie der Normalspannungswandler. Dieser ist wegen der Hochspannungsisolation schwieriger für verschiedene Übersetzungen herzustellen als ein Normalstromwandler. Dazu können die Nennbereiche der Spannungswandler besonders vielfältig sein.

Zur Richtigkeitsmessung werden der Normalspannungswandler N und der Prüfling X primärseitig parallel geschaltet. Sekundärseitig werden sie an die Zwischenwandler Z_N und Z_X gelegt (Bild 22). Ferner liegt noch an der Sekundärseite von N in Reihe mit einer RC-Kombination der Hilfsstromwandler HW, der über die Gegeninduktivität M eine um 90° gegen die Sekundärspannung von N versetzte Spannung an den δ -Schleifdraht gibt.

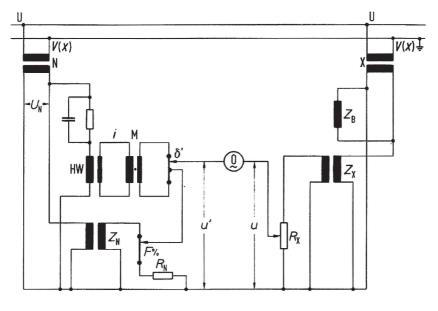


Bild 22

Prinzipschaltbild einer Spannungswandlermeßeinrichtung nach dem Kompensationsverfahren mit Zwischenwandler. Legende im Text.

Die Zwischenwandler legen eine mit den Sekundärspannungen phasengleiche Spannung an die Teiler R_N und R_X . Der Teiler R_X wird so eingestellt, daß bezogen auf die Nennspannungen von N und X die Spannungen u' und u gleich sind. Nach dem Abgleich mit den Schleifdrähten F und δ kann man an ihren Skalen den Spannungsfehler und den Fehlwinkel von X unmittelbar ablesen, wenn man den Normalspannungswandler als fehlerlos annimmt. Sind die Fehler des Normalspannungswandlers größer als 0,01 % und 0,5', muß das Ergebnis mit diesen korrigiert werden.

Es ist dann der Spannungsfehler F_{u} des zu prüfenden Spannungswandlers:

$$F_{II} = F_{II}' + F_{IIN}$$

und der Fehlwinkel $\delta_{m{u}}$

$$\delta_{\boldsymbol{U}} = \delta_{\boldsymbol{U}}' + \delta_{\boldsymbol{U}} N$$

Darin ist:

 F_{II} der Spannungsfehler in % des zu prüfenden δ_{II} der Fehlwinkel in Minuten Spannungswandlers, F,, der Spannungsfehler in % der Ablesung an der δ_{ij} der Fehlwinkel in Minuten Wandlermeßeinrichtung, Fun der Spannungsfehler in % des Normalspannungs- $\delta_{\mu\nu}$ der Fehlwinkel in Minuten wandlers.

In einer Einrichtung eines anderen Herstellers werden die Schleifdrähte für die Fehler- und Fehlwinkelablesung über M und T (s. Bild 19) gemeinsam von dem Hilfswandler HW gespeist und nur die Teiler $R_{\rm N}$ und $R_{\rm X}$ von den Zwischenwandlern. Dadurch ist es möglich, den komplexen Kompensator der Einrichtung nach dem Differenzverfahren 2.2.2.1 sowohl für die Richtigkeitsmessung nach dem Differenzverfahren, wenn Prüfling und Normalspannungswandler die gleiche Übersetzung haben, zu verwenden als auch für die Richtigkeitsmessung nach dem Verfahren mit Zwischenwandlern 2.2.2.2, bei dem der Kompensator durch die Zwischenwandler mit angeschlossenen Teilern ergänzt wird.

Die Schaltglieder der Spannungswandlermeßeinrichtung sind so bemessen , daß zum Abgleich auch der komplexe Kompensator der Stromwandlermeßeinrichtung verwendet werden kann. Der Sekundärstrom des Hilfswandlers wird durch die RC-Kombination so eingestellt, daß er bei der sekundären Nennspannung $U_{\rm N}=100~{\rm V}$ 2 A beträgt und in Phase mit $U_{\rm N}$ ist. Der Zwischenwandler mit dem angeschlossenen Teiler belastet den X-Wandler bei 100 V nur mit etwa 0,05 VA, während die Belastung des Normalspannungswandlers N durch den komplexen Kompensator mit dem Zwischenwandler etwa 4 VA beträgt.

Im Gegensatz zur Wandlermeßeinrichtung nach dem Differenzverfahren, bei dem die Fehler der Widerstände im Differenzzweig nur mit dem Gewicht des Fehlers des Wandlers eingehen, sind bei dieser Einrichtung die Fehler der Teilerwiderstände voll zu berücksichtigen. Zur Nullpunktkontrolle legt man an die beiden Zwischenwandler die gleiche Spannung und stellt die Abweichung vom Nullpunkt der Skala zwischen 40 V und 140 V der angelegten Spannung fest. Da beide Zwischenwandler gleich gebaut und gleich belastet sind und an der gleichen Spannung liegen , geht nur die Differenz ihrer Fehler ein und sind die Abweichungen vom Nullpunkt im ganzen Spannungsbereich sehr klein. Selbst wenn an den Eingängen der Zwischenwandler Z_X und Z_N infolge unterschiedlicher Übersetzungen von Prüfling und Normalspannungswandler sich die Spannungen wie 1:2 verhalten und dementsprechend auch der Teiler auf das Verhältnis 1:2 eingestellt ist, weicht die Ablesung an der

Skala vom Sollwert im Spannungsbereich von 40 V bis 140 V bei 50 Hz und auch bei 16 Hz beim Spannungsfehler weniger als 0,001 % und beim Fehlwinkel weniger als 0,15′ ab. Die Fehlerbereiche der Skalen entsprechen den Bereichen bei der Stromwandlermessung.

2.2.2.3 Verfahren mit Differenzwandler

Die Primärwicklung des Normalspannungswandlers N und des zu prüfenden Wandlers X liegen an derselben Spannung (Bild 23). Sind die Nennübersetzungen der beiden Wandler, die Widerstandsbeträge der Widerstände R_N und R_X und die Windungszahlen der Wicklungen W_N und W_X gleich, so wirkt bei entsprechender Schaltung von W_N und W_X nur die Differenzdurchflutung auf den Kern des Differenzwandlers. Wird der Fehler des Normalspannungswandlers als Null angenommen, so ist die Restdurchflutung dem Fehler von X proportional. An den Klemmen des Normalspannungswandlers ist noch über die RC-Kombination der Hilfsstromwandler HW angeschlossen und R_p und C_p so abgeglichen, daß durch die Schleifdrähte P_F und P_{δ} bei Nennspannung 100 V ein Strom von 5 A fließt, der in Phase mit der Spannung $\textbf{\textit{U}}_N$ ist. Von den Schleifdrähten werden wie bei der Stromwandlermeßeinrichtung in

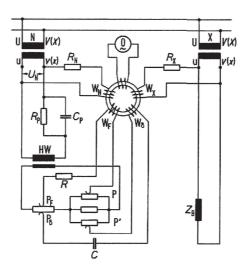


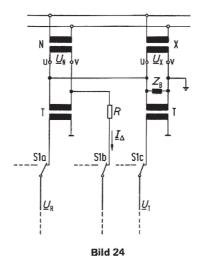
Bild 23
Prinzipschaltbild einer Spannungswandlermeßeinrichtung nach dem Verfahren mit Differenzwandler.
Legende im Text.

2.2.1.3 kontinuierlich regelbare Spannungen abgegriffen und über R und C den Wicklungen W_F und W_δ zugeführt. Dadurch wird die vom Fehler des Prüflings X hervorgerufene Differenzdurchflutung im Kern des Differenzwandlers kompensiert. Bei geeigneter Wahl der Widerstände R_N und R_X und der Wicklungen W_N und W_X gelingt es, für die Spannungswandlerprüfung die gleiche Fehlerskala zu erhalten wie für die Stromwandlerprüfung.

Zur Nullpunktkontrolle wird sowohl an die Klemmen u und v der Normalwandlerseite N als auch an die Klemmen u und v der Prüflingsseite X der Wandlermeßeinrichtung die gleiche Spannung gelegt und mit Hilfe der Schleifdrähte abgeglichen. Für die Fehler und die Fehlerbereiche der Einrichtung gilt das unter 2.2.1.3 Gesagte.

2.2.2.4 Selbsttätig anzeigende elektronische Spannungswandlermeßeinrichtung

Der zu prüfende durch die Bürde Z_B belastete Wandler X (Bild 24) wird in einer Differenzschaltung mit dem Normalspannungswandler N verglichen. Aus der Differenz beider Sekundärspannungen $\underline{\mathcal{U}}_X$ und $\underline{\mathcal{U}}_N$ wird mit Hilfe des Wider-



Prinzipschaltbild einer selbsttätig anzeigenden elektronischen Spannungswandlermeßeinrichtung.

Die übrigen nicht gezeichneten Teile der Schaltung entsprechen der Schaltung in Bild 18a.

standes R ein dieser Spannungsdifferenz proportionaler Strom $\underline{I} \triangle$ gebildet. Außerdem werden mit den beiden gleichartigen Spannungswandlern \top die Spannungen \underline{U}_R und \underline{U}_T erzeugt.

Die Bestimmung von Spannungsfehler F_{u} und Fehlwinkel δ_{u} des Prüflings X erfolgt in der gleichen Weise wie für Stromwandler im Abschnitt 2.2.1.4 (Bild 18a und 18b). Der Widerstand R und die Übersetzung der Spannungswandler T sind so bemessen, daß der Spannungsfehler F_{u} in Prozent und der Fehlwinkel δ_{u} in Minuten oder in Milliradiant unmittelbar angezeigt werden. Auch bei der Spannungswandlermessung brauchen Normalwandler und Prüfling nicht die gleiche Übersetzung zu haben. Die Meßunsicherheit bei der Fehlerbestimmung ist ebenfalls 0,001 % bzw. 0,03'.

2.3 Meßverfahren für die Bürdenprüfung

Die Belastung der Meßwandler im Betrieb wird durch die Scheinleistungsaufnahme der angeschlossenen Geräte bestimmt. Bei Stromwandlern ist außerdem der Verbrauch des Widerstandes der Verbindungsleitung zwischen Stromwandler und den angeschlossenen Geräten hinzuzuzählen.

Sowohl den Scheinwiderstand des gesamten äußeren Sekundärkreises bei Stromwandlern als auch die Summe der Scheinleitwerte aller angeschlossenen Geräte des Sekundärkreises bei Spannungswandlern bezeichnet man als Betriebsbürde. Die Leistung der Bürde sollte im allgemeinen innerhalb des Bereiches zwischen Nenn- und kleinster Prüfleistung (s. 3.4.2 und 3.5.1) liegen. Deshalb besteht ein Interesse, die tatsächliche Betriebsbürde messen zu können. Sehr einfach ist die Messung mit einem Wechselstromkompensator. Da bei allen z. Z. gebräuchlichen Wandlermeßeinrichtungen die Stromund Spannungswandlerfehler mit einem eingebauten Wechselstromkompensator ausgemessen werden, kann die Wandlermeßeinrichtung mit nur geringen Zusatzeinrichtungen auch zur Bestimmung der Betriebsbürde herangezogen werden. Selbstverständlich können die Bürden auch mit der Maxwell-Wien-Brücke gemessen werden; doch soll diese hier nicht aufgeführt werden, da sie für eine schnelle Betriebsmessung nicht geeignet ist.

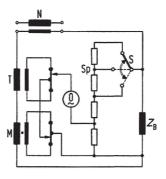


Bild 25

Messung einer Stromwandlerbürde mit dem komplexen Kompensator einer Stromwandlermeßeinrichtung nach dem Differenzverfahren oder nach dem Kompensationsverfahren.

2,3.1 Messung von Stromwandlerbürden

2.3.1.1 Messung der Wirk- und Blindwiderstände mit Hilfe des Bürdenmeßteiles kommerzieller Stromwandlermeßeinrichtungen

Durch den zusätzlichen Einbau eines Spannungsteilers Sp in die Stromwandlermeßeinrichtung parallel zur anzuschließenden Bürde Z_B können sowohl die Stromwandlermeßeinrichtungen nach dem Differenzverfahren 2.2.1.1 als auch Einrichtungen nach dem Kompensationsverfahren 2.2.1.2 als Wechselstromkompensator zur Messung von Bürden herangezogen werden. Da die Spannungsabgriffe in der Mitte der Schleifdrähte liegen, lassen sich Spannungen in allen vier Quadranten messen. Von dem Transformator N (an dessen Stelle auch Normalstromwandler oder Prüflinge verwendet werden können) werden sowohl die Bürde ZB als auch der Hilfsstromwandler T und die Gegeninduktivität M gespeist (Bild 25). T und M erzeugen an den beiden Schleifdrähten die zur Kompensation des ohmschen und des induktiven Spannungsabfalles der Bürde einstellbaren Spannungen, Durch den Spannungsteiler Sp wird die Bürdenspannung auf eine Größe zurückgeführt, die den beiden Kompensationsspannungen angepaßt ist. Die verschiedenen Bürdenmeßbereiche für die sekundären Nennstromstärken 1 A und 5 A werden durch Verändern des Gesamtwiderstandes des Spannungsteilers mittels des Schalters S hergestellt. Der am F-%-Schleifdraht abgelesene Wert ist ein Maß für den ohmschen Spannungsabfall der Bürde, die als Reihenschaltung aus Widerstand und Induktivität aufzufassen ist, während die dazu senkrecht stehende am δ-Schleifdraht abgelesene Komponente ein Maß für den induktiven Spannungsabfall darstellt. Die Stromabhängigkeit der Bürde kann durch Messung des Wirk- und Blindwiderstandes bei verschiedenen Stromstärken bestimmt werden.

Zur Abschätzung der Meßunsicherheit des Bürdenmeßgerätes muß man berücksichtigen, daß der Teiler Sp durch seine Parallelschaltung zur Bürde Z_B einen Fehler von 0,05 % bis 0,1 % je nach Fabrikat der Meßeinrichtung bezogen auf den Endwert des Meßbereiches hervorruft; dann gehen noch die Fehler des Teilungsverhältnisses des Teilers, die Übersetzungsfehler von T und M und die Teilungsfehler der Schleifdrähte in das Meßergebnis ein. Daher muß man mit einem Fehler des Meßergebnisses von 0,3 % — bezogen auf den Endwert des Meßbereichs — rechnen.

Bei der Messung der Bürde mit der Stromwandlermeßeinrichtung nach dem Verfahren mit Differenzstromwandler 2.2.1.3 durchfließt der Strom die Primärwicklung des Wandlers N und die zu messende Bürde ZB (Bild 26). Die an der Bürde liegende Spannung treibt einen Strom über den Widerstand RB durch die Wicklung WB. Die dadurch bedingte Magnetisierung des Differenzstromwandlers wird durch die durch die Wicklungen WF und W\$ fließenden Ströme ausgeglichen, deren Größe an den Kurbeln PF und P\$ eingestellt werden kann. Bei geeigneter Dimensionierung der Widerstände und der Wicklungen können die reelle Komponente der Bürde an der Kurbel PF und die imaginäre Komponente der Bürde an der Kurbel P\$ unmittelbar abgelesen werden.

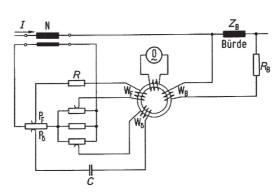


Bild 26

Messung einer Stromwandlerbürde mit einer Stromwandlermeßeinrichtung nach dem Verfahren mit Differenzwandler.

2.3.1.2 Messung der Stromwandlerbürden mittels Kompensator

Anstelle des in die Wandlermeßeinrichtung eingebauten Kompensators kann für die Messung der Bürden auch ein üblicher Wechselstromkompensator verwendet werden. Die Bürde Z_B wird wie in Bild 27a angeschlossen. Der Wechselstromkompensator Bild 27b vergleicht den Spannungsabfall, den der durch die Bürde fließende bekannte Strom I_N (Bezugsstrom) an einem bekannten Widerstand (Schleifdrahtabgriffe Kw und Kb) erzeugt, mit dem unbekannten Spannungsabfall U_M an der Bürde getrennt nach Wirk- und Blindanteil. Die in Stufen geteilten Widerstände $K_{\boldsymbol{w}}$ und $K_{\boldsymbol{b}}$ werden von dem Bezugsstrom $I_{\boldsymbol{N}}$ über den Wandler T₁ gespeist, K_w unmittelbar parallel zu einem Nebenwiderstand und K_b über die Gegeninduktivität T₂. Die unbekannte Spannung U_{M} wird mit der geometrischen Summe der Spannungskomponenten Kw und Kb mit Hilfe eines oszillographischen Nullindikators verglichen, dessen Y-Ablenkung über T₃ und dessen X-Ablenkung über T₄ gespeist werden. Die zu vergleichende Spannung UM wird durch Stellung der Teiler R1 und R2 auf den Meßbereich U_{Mn} und der Bezugsstrom I_N wird durch Stellung der Anzapfung des Wandlers T₁ auf den Meßbereich I_{Nn} so unterteilt, daß sich die für den Kompensationskreis passenden Größen von ≤ 0,1 V ergeben. Der Wirkwiderstand ist dann

$$R = \frac{U_{Mn}}{I_{Nn}} \cdot K_{w} \qquad \text{und der Blindwiderstand}$$

$$X = \frac{U_{Mn}}{I_{Nn}} \cdot K_b$$

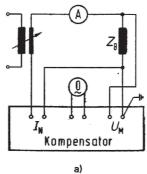
Der Scheinwiderstand ist
$$Z_{\rm B} = \frac{U_{\rm Mn}}{I_{\rm Nn}} \cdot \sqrt{K_{\rm W}^2 + K_{\rm b}^2}$$
, ferner tan $\beta = \frac{K_{\rm b}}{K_{\rm w}}$

Der relative Meßfehler der größeren Komponente beträgt etwa 0,1 %. Dieser Wert entspricht dem absoluten Fehler der kleineren Komponente. Der relative Meßfehler der größeren Komponente des kleinen Kompensators beträgt 0,5 %.

2.3.2 Messung von Spannungswandlerbürden

2.3.2.1 Messung der Wirk- und Blindleitwerte mit Hilfe des Bürdenmeßteiles kommerzieller Spannungswandlermeßeinrichtungen

Zur Messung der Spannungswandlerbürden dient ebenfalls der in der Spannungswandlermeßeinrichtung eingebaute Wechselstromkompensator. Das in



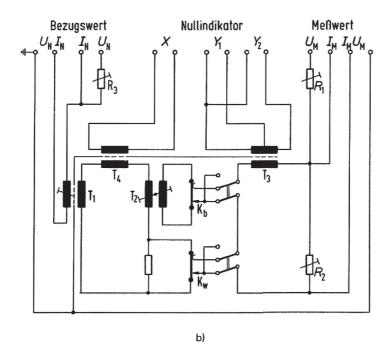


Bild 27

Messung einer Stromwandlerbürde mittels Kompensator.

- a) Anschluß der Bürde an den Kompensator.
- b) Prinzipschaltbild des Kompensators.

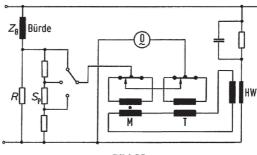
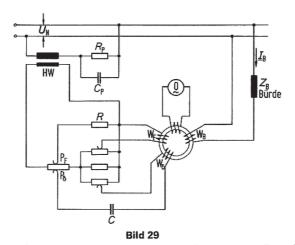


Bild 28

Messung einer Spannungswandlerbürde mit dem komplexen Kompensator einer Spannungswandlermeßeinrichtung nach dem Differenzverfahren oder nach dem Kompensationsverfahren.

Bild 28 angegebene Prinzip der Messung gilt sowohl für die Einrichtung nach dem Differenzverfahren 2.2.2.1 als auch für das Kompensationsverfahren 2.2.2.2. In Reihe mit der Bürde Z_B ist ein Widerstand R geschaltet, dessen vom Bürdenstrom erzeugter Spannungsabfall von der an den Schleifdrähten abgegriffenen Kompensationsspannung kompensiert wird. Diese besteht aus zwei um 90° phasenverschobenen Komponenten, die von der an der Bürde liegenden Spannung über den Hilfswandler HW, der Gegeninduktivität M und dem Stromwandler T erzeugt werden. Zur Anpassung an die zur Verfügung stehenden Kompensationsspannungen und zur Einstellung der Bürdenmeßbereiche liegt parallel zu dem Widerstand R ein mit Anzapfungen versehener Spannungsteiler Sp. Die Spannungsbürden werden in der Parallelersatzschaltung gemessen. Dementsprechend ist die Ablesung an der Skala des an T angeschlossenen Schleifdrahtes ein Maß für den Wirkleitwert und die Ablesung an der Skala des an M angeschlossenen Schleifdrahtes ein Maß für den Blindleitwert.

Der in Reihe mit der Bürde liegende Widerstand R hat je nach Fabrikat der Wandlermeßeinrichtung einen unterschiedlichen Betrag und ruft für die Bürdenmeßbereiche einen Meßfehler von 0,02 % bis 0,5 % hervor. Weiter gehen noch als Meßfehler ein: der Fehler des Teilungsverhältnisses des Teilers, die Übersetzungsfehler von T und M, die Teilungsfehler der Schleifdrähte, ferner der Fehler des Hilfswandlers mit seiner vorgeschalteten RC-Kombination. Diese Fehler können etwa 0,3 % betragen. Dabei kann der Meßfehler der größeren Wirkkomponente unter Berücksichtigung der Zuleitungen etwa 1 % erreichen, der Meßfehler der kleineren Blindkomponente einen entsprechend dem Verhältnis von Wirk- zu Blindkomponente noch größeren Wert.



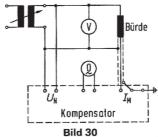
Messung einer Spannungswandlerbürde mit einer Spannungswandlermeßeinrichtung nach dem Verfahren mit Differenzwandler.

Der Spannungswandlerbürdenmessung nach dem Verfahren mit Differenzwandler liegt die Schaltung nach Bild 29 zugrunde. Die Spannung $U_{\rm NI}$ treibt sowohl einen Strom IR durch die mit der Bürde ZB in Reihe geschaltete Wicklung W_B als auch einen Strom durch die Widerstandskombination R_D, Cp und durch den mit dieser in Reihe liegenden Hilfswandler HW. Der Strom durch HW, der den Schleifdraht PF, PS speist, wird durch Rp und Cp so abgeglichen, daß er bei 100 V 5 A beträgt und in Phase mit U_N liegt. Die durch den Bürdenstrom IB in dem Ringkern hervorgerufene Durchflutung wird durch die an den Schleifdrähten PF und Pδ abgegriffenen Ströme mit Hilfe der Wicklungen W_F und W_δ kompensiert, so daß im abgeglichenen Zustand das Anzeigeinstrument stromlos ist. Bei geeigneter Dimensionierung der im Meßkreis liegenden Widerstände kann an den Stromfehlerkurbeln P_F der Wirkleistungsverbrauch und an den Fehlwinkelkurbeln Ws der Blindleistungsverbrauch bezogen auf 100 V Nennspannung direkt abgelesen werden. Eine kapazitive Blindleistung kann durch Umpolen von Ws ermittelt werden. Für die Bürdenmessung sind die Meßbereiche 1 VA, 10 VA und 100 VA vorgesehen. Wird in Reihe mit der Bürde ein Stromwandler 50 A/5 A geschaltet, an dessen Sekundärseite die Wicklung WB angeschlossen wird, so können Bürdenleistungen bis zum zehnfachen Betrage gemessen werden.

Als Meßfehler der Bürde gehen der durch Parallelschaltung des Widerstands der Wicklung W_B entstehende Fehler, der Übersetzungsfehler des Hilfswandlers HW mit seiner vorgeschalteten R_p - C_p -Kombination, die Fehler des Widerstandes R und der Kapazität C und der Teilungsfehler der Einstellwiderstände P_F und P_δ ein. Der gesamte Meßfehler ist kleiner als 1 %.

2.3.2.2 Messung der Spannungswandlerbürden mittels Kompensator

Spannungswandlerbürden werden mit dem Kompensator nach Bild 27b in der Parallelersatzschaltung gemessen. Dazu wird die Bürde in Reihe mit dem Widerstand R_2 gelegt (Bild 30 und 27b), dessen Spannungsabfall mit der



Messung einer Spannungswandlerbürde mittels Kompensator. Anschluß der Bürde an den Kompensator. Das Prinzipschaltbild des Kompensators entspricht Bild 27b.

geometrischen Summe der Spannungskomponenten an K_w und K_b kompensiert wird. Die in Stufen geteilten Widerstände K_w und K_b werden von der Spannung U_N über den mit dem Widerstand R_3 in Reihe geschalteten Wandler T_1 gespeist. An dessen Sekundärwicklung liegen in Reihe die Gegeninduktivität T_2 und ein Widerstand, zu denen parallel die Stufenwiderstände K_b und K_w geschaltet sind. Die an dem Widerstand R_2 durch die Bürdenstromstärke I_M hervorgerufene Spannung wird durch Stellung auf den Meßbereich I_{Mn} so unterteilt, daß der zu kompensierende Spannungsabfall $\leq 0,1$ V ist. Die Bezugsspannung U_N wird durch Einstellung von R_3 auf den Wert U_{Nn} ebenfalls auf eine Größe $\leq 0,1$ V unterteilt. Der Wirkleitwert ist dann

$$G = \frac{I_{Mn}}{U_{Nn}} \cdot K_{W}$$

und der Blindleitwert

$$B = \frac{I_{Mn}}{U_{Nn}} \cdot K_{b}$$

Der Scheinleitwert ist

$$Y = \frac{I_{Mn}}{U_{Nn}} \cdot \sqrt{K_W^2 + K_b^2}$$
, ferner $\tan \beta = \frac{K_b}{K_w}$

Bei entsprechendem Abgleich der Widerstände R_2 und R_3 kann ein relativer Meßfehler von 0,3 % für die größere Komponente eingehalten werden. Diesem entspricht der absolute Fehler der kleineren Komponente. Der relative Meßfehler für die größere Komponente bei dem kleinen Kompensator beträgt 0,5 %.

3 Prüfung

3.1 Beschaffenheitsprüfung

3.1.1 Einhaltung der geltenden Vorschriften

Es ist festzustellen, ob die Wandler den geltenden Vorschriften entsprechen, besonders, ob sie einer zugelassenen Bauart angehören.

3.1.2 Ordnungsgemäße Herrichtung

Der Wandler muß gereinigt sein und sich im gebrauchsfertigen Zustand befinden.

3.2 Ort der Prüfung

Die Meßwandler werden in der Regel in der Prüfstelle geprüft. Bei Prüfungen außerhalb der Prüfstelle ist durch besondere Maßnahmen, wie Vergleichsmessungen, sicherzustellen, daß die meßtechnische Prüfung einwandfrei ist.

3.3 Prüfung der Isolierung

- 3.3.1 Die Isolierung der Meßwandler wird aus Sicherheitsgründen geprüft. Im Rahmen einer ersten meßtechnischen Prüfung müssen vor der Richtigkeitsprüfungen die Isolierungsprüfungen nach den anerkannten Regeln der Technik (VDE 0414 Teil 1 bis 3/12.70, Teil 4 und 5/8.73) durchgeführt werden (siehe Anhang 2), falls nicht der Nachweis erbracht wird, daß der Meßwandler bereits die nach diesen Regeln erforderlichen Isolierungsprüfungen bestanden hat. Der Nachweis kann durch eine entsprechende Bescheinigung des Herstellers des Wandlers oder einer für diese Prüfungen eingerichteten Prüfstelle erbracht werden. Für fabrikneue Wandler ist auch eine Sammelbescheinigung des Herstellers ausreichend.
- 3.3.2 Wird bei einer Wiederholung der meßtechnischen Prüfung vom Antragsteller nicht ausdrücklich auf die Isolierungsprüfungen verzichtet, so sind diese mit verminderter Prüfspannung nach den anerkannten Regeln der Technik vorzunehmen.
- 3.3.3 Ferner sind vor jeder Richtigkeitsprüfung zum Schutz der Meßeinrichtungen und zum Nachweis der Beständigkeit der meßtechnischen Eigenschaften des Wandlers wenn nicht unmittelbar vorher die Isolierung geprüft wurde folgende Prüfungen vorzunehmen:

- 3.3.3.1 An Spannungswandlern ist ohne Anschluß der Wandlermeßeinrichtung und des Normalwandlers eine Prüfspannung von 140 % der primären Nennspannung für 1 min anzulegen. Das Gehäuse und die Sekundärwicklungen sind hierbei einseitig zu erden.
- 3.3.3.2 Bei allen Meßwandlern müssen die Sekundärwicklungen gegen das Gehäuse und die primären und die sekundären Teilwicklungen zur Umschaltung der Nennübersetzung 1 min mit einer Spannung von 2 kV bzw. 4 kV (Effektivwerte) gegeneinander geprüft werden. Die nicht an Spannung liegenden Wicklungen und das Gehäuse sind hierbei zu erden. Die Prüfspannungen können auch mit einem Effektivwertmesser gemessen werden. Bei Stromwandlern wird die Isolierung der nicht zur Verrechnung dienenden Kerne im Rahmen der Prüfung nach VDE 0414 Teil 1 bis 3/12.70, Teil 4 und 5/8.73 geprüft.

3.4 Richtigkeitsprüfung der Stromwandler

3.4.1 Entmagnetisierung der Stromwandler

- 3.4.1.1 Vor Beginn der Richtigkeitsprüfung ist jeder Stromwandler zu entmagnetisieren, da sich dessen Fehler durch Vormagnetisierung geändert haben können. Diese kann z. B. eintreten durch Abschalten des Primärstromes oder bei Stromwandlern, die schon im Netz eingebaut waren, durch Öffnen des Sekundärkreises während des Betriebes oder durch Kurzschlüsse und Schaltvorgänge im Netz. Auch bei der Richtigkeitsprüfung selbst muß ein Vormagnetisieren vermieden werden. Deshalb ist stets vom größten Prüfstrom abwärts zu messen, damit nicht durch das Abschalten des größten Prüfstromes eine Restmagnetisierung zurückbleibt.
- 3.4.1.2 Ein Stromwandler wird entmagnetisiert, indem bei offener Primärwicklung die sekundäre Wicklung oder bei offener Sekundärwicklung die Primärwicklung mit einem Strom erregt wird, dessen Stromstärke mindestens 5 % der Nennstromstärke beträgt. Jedoch darf hierbei an keiner Wicklung eine Spannung auftreten, deren Scheitelwert größer ist als 3,5 kV und bei Wicklungen mit einer sekundären Nennstromstärke 1 A und einer Nennleistung \geqq 30 VA größer als 5,6 kV. Wird eine höhere Spannung erwartet, so ist die induzierte Spannung an der Wicklung mit der kleinsten Nennstromstärke mit einem Scheitelspannungsmeßgerät mit einem Eingangswiderstand > 1 M Ω zu kontrollieren. Der Strom wird dann feinstufig auf Null verringert. Wird von der Sekundärseite entmagnetisiert, so ist jeder Meßkern für sich zu entmagnetisieren. Zum Entmagnetisieren können Stelltransformatoren verwendet werden, die eine genügende Feineinstellung erlauben (s. 4.2.1).

3.4.2 Prüfung auf Einhalten festgesetzter Fehlergrenzen (Richtigkeitsprüfung)

Die Stromwandler sind mit den im Anhang 1. Tafel 9.2.2 angegebenen Stromstärken entsprechend ihrer Klasse auf Einhalten der dort aufgeführten Fehlergrenzwerte bei Nennleistung zu prüfen. Bei kleinster Prüfleistung (s. Anhang 1, Nr. 9.2.3.1 und Nr. 9.2.3.2) genügt eine Prüfung mit der höchsten Prüfstromstärke und 5 % der Nennstromstärke, bei Wandlern der Klassen 0,2 Z und 0,5 Z bei der höchsten Prüfstromstärke und 1 % der Nennstromstärke.

Bei Stromwandlern mit einer primären Nennstromstärke ≥ 1000 A sind die Bestimmungen im Anhang 1 Nr. 9.2.8.3 und Nr. 9.2.8.4 zu beachten.

Auf Antrag können die Stromwandler zusätzlich bei Belastung mit Betriebsbürde gemessen werden. In der folgenden Tabelle sind die Prüfpunkte für die verschiedenen Klassen aufgeführt.

Tabelle 1Prüfpunkte für Stromwandler

Stromwandlerausführung Klassenzeichen	Der Prüfbürde ent- sprechende Schein- leistung (bei sek. Nennstromstärke)	Prüfpunkte (Prozentwerte der Nennstromstärken)	
0,1	1/1 S _N	120-100-20-5	
0,2 0,5	1/4 S _N *	120–5	
0,1 ext. 150 %	1/1 S _N	150-100-20-5	
0,2 ext. 150 % 0,5 ext. 150 %	1/4 S _N *	150–5	
0,1 ext. 200 % (0,1 G)	1/1 S _N	200-100-20-5	
0,2 ext. 200 % (0,2 G) 0,5 ext. 200 % (0,5 G)	1/4 S _N *	200–5	
0,2 ext. 1 % (0,2 Z) 0,5 ext. 1 % (0,5 Z)	1/1 S _N 1/4 S _N *	120-100-20-5-1 120-1	

 S_{N} Nennleistung

^{*} Bei Stromwandlern mit Nennleistungen $S_{\rm N} \le$ 2,5 VA beträgt die der Prüfbürde entsprechende Scheinleistung 1/2 $S_{\rm N}$. Sie darf jedoch nicht kleiner als 1 VA sein.

Falls Stromwandler mit den Klassenzeichen 0,1; 0,2 und 0,5, die vor dem 1. Februar 1975 zur Eichung zugelassen worden sind, die Fehlergrenzwerte bei 5 % der Nennstromstärke nicht einhalten, können diese Wandler gemäß dem § 48 EO — Allgemeine Vorschriften — nach den früheren Bestimmungen bei 10 % der Nennstromstärke geprüft werden. Für diesen Prüfpunkt gelten die folgenden Fehlergrenzwerte:

Klassenzeichen	Stromfehler ± <i>F_i</i> %	Fehlwinkel $\pm\delta_{\hat{I}}$ Minuten mrad	
0,1	0,25	10	3
0,2	0,5	20	6
0,5	1,0	60	18

Stromwandler für eine Nennstromstärke von 5 A, die gemäß § 967 Nr. 4 Absatz 2 der EO Besondere Vorschriften Abschnitt XV in der Fassung vom 18. Juni 1970 auch für die Verwendung bei der Nennstromstärke 1 A mit entsprechend verminderter Nennleistung gekennzeichnet sind (Zweibereichwandler), werden wie die Wandler mit den Klassenzeichen 0,2 Z und 0,5 Z geprüft.

Sollten für die Prüfung der Wandler mit den Klassenzeichen 0,2 Z und 0,5 Z in einzelnen Fällen noch Normalstromwandler verwendet werden, die nicht bei 1 % ihrer Nennstromstärke geprüft worden sind, so wird der zu prüfende Wandler mit der Nennstromstärke I_N bei Belastung mit seiner Nennbürde zunächst bei der Nennübersetzung $\frac{I_N}{5} \frac{A}{A}$ bei den in der Tabelle 1 für Wandler der Klassen 0,2 und 0,5 angegebenen und auf 5 A bezogenen Prüfstromstärken geprüft.

Anschließend ist der Normalstromwandler auf $\frac{I_{\rm N}/5}{1}$ A umzuschalten. Bei der Prüfung bleiben die angeschlossene Prüfbürde und der Anschluß an die Wandlermeßeinrichtung unverändert. Die auf 1 A bezogenen Prüfstromstärken sind ebenfalls der Tabelle 1 für Wandler der Klassen 0,2 und 0,5 zu entnehmen. Bei Prüfstromstärken in sich überschneidenden Bereichen braucht die Prüfung nur einmal ausgeführt zu werden.

Soweit bei vorhandenen Normbürden für Stromwandler die Bürdenstufe 3,75 VA mit dem Bürdenleistungsfaktor $\cos \beta = 0.8$ ausgelegt ist, kann die Richtigkeitsprüfung auch weiterhin mit dieser Bürde vorgenommen werden.

3.4.3 Prüfung umschaltbarer Stromwandler

Stromwandler, deren verschiedene Nennübersetzungen durch Reihen- oder Parallelschaltung von Wicklungsgruppen der Primärwicklung erzielt werden, sind bei der größten Nennübersetzung bei den Prüfpunkten nach Tabelle 1 auf Einhalten der im Anhang 1 Nr. 9.2.2 angegebenen Fehlergrenzwerte zu prüfen. Bei den übrigen Nennübersetzungen genügt die Prüfung bei Nennleistung mit 100 % der jeweiligen Nennstromstärke, sofern die gemessenen Fehler um nicht mehr als 0,03 % und 1,0 Minuten von den bei der größten Nennübersetzung gemessenen Fehlern abweichen. Wird bei einer der übrigen Nennübersetzungen eine größere Abweichung festgestellt, so ist der Wandler bei allen Nennübersetzungen bei allen vorgeschriebenen Prüfpunkten zu prüfen.

Wird bei Stromwandlern eine Änderung der Nennübersetzung durch Umschaltung von Wicklungsgruppen der Sekundärwicklung oder durch primäroder sekundärseitige Anzapfungen erzielt, so ist jede Nennübersetzung bei den Prüfpunkten nach Tabelle 1 zu messen.

3.4.4 Prüfung von Mehrkernwandlern

Bei der Richtigkeitsprüfung von Mehrkernwandlern muß jeder zugelassene Meßkern nach 3.4.2 geprüft werden; dabei genügt es, die Wicklungen der jeweils nicht gemessenen Kerne kurzzuschließen, da sich erfahrungsgemäß bei Belastung bis zur Nennleistung die Kerne nicht nennenswert gegenseitig beeinflussen. Bei Kaskadenstromwandlern müssen jedoch die Fehler jeder Meßwicklung nach 3.4.2 bei Kurzschluß und bei Belastung mit Nennleistung der jeweils nicht gemessenen Wicklung bestimmt werden.

3.4.5 Prüfung von Stromwandlern mit mehreren Nennleistungen und Klassen

Stromwandler, bei denen die gleiche Wicklung für mehrere Nennleistungen und Klassen ausgelegt ist, müssen bei allen in der Tabelle 1 genannten Prüfpunkten die festgelegten Fehlergrenzwerte einhalten. Bei Prüfstromstärken in sich überschneidenden Bereichen kann man sich bei der Richtigkeitsprüfung jeweils auf einen Prüfpunkt beschränken. Bei der höchsten Nennleistung werden grundsätzlich alle Prüfpunkte gemessen. Bei der kleineren Nennleistung genügt die Messung beim Prüfpunkt mit der höchsten Prüfstromstärke, wenn dem Wandler nicht bei dieser Leistung eine genauere Klasse zugeordnet ist. Für diesen Fall sind dann die Fehler bei allen Prüfpunkten zu bestimmen. Bei 1/4 der kleinsten Nennleistung sind die Fehler noch bei den Prüfpunkten

mit dem höchsten und niedrigsten Prüfstrom zu messen. Auf alle anderen Prüfpunkte kann verzichtet werden. In Tabelle 2 sind verschiedene Beispiele aufgeführt. Entsprechend dem Vorhergesagten kann auf die in den Klammern angegebenen Prüfpunkte verzichtet werden.

 Tabelle 2

 Prüfpunkte für Stromwandler mit mehreren Nennleistungen und Klassen

Beispiel Ifd. Nr.	Leistungsschild- angaben	Der Prüfbürde ent- sprechende Schein- leistung (bei sek. Nennstromstärke)	Prüfpunkte (Prozentwert der Nennstromstärken)
1	VA 15 (10) KI. 0,5 (0,5 G)	15 VA; $\cos \beta = 0.8$ 10 VA; $\cos \beta = 0.8$ 3.75 VA; $\cos \beta = 1$ 2.5 VA; $\cos \beta = 1$	120-100-20-5 200-(100)-(20)-(5) (200) (5) 200-100-5
2	VA 15 (30) KI. 0,2 (0,5)	30 VA; $\cos \beta = 0.8$ 15 VA; $\cos \beta = 0.8$ 7,5 VA; $\cos \beta = 0.8$ 3,75 VA; $\cos \beta = 1$	120-100-20-5 120-100-20-5 (120) (5) (120) 5
3	VA 10 (5) KI. 0,5 (0,5)	10 VA; $\cos \beta = 0.8$ 5 VA; $\cos \beta = 0.8$ 2.5 VA; $\cos \beta = 1$ 1.25 VA; $\cos \beta = 1$	120-100-20-5 (120) (5) (120) (5) 120-100-5

3.4.6 Summenstromwandler

3.4.6.1 Theoretische Grundlagen

Der Summenstromwandler hat die Aufgabe, Ströme von zwei oder mehr Abzweigen des gleichen Phasenstranges einer Stromversorgungsanlage so zu summieren, daß in einem Elektrizitätszähler die Gesamtenergie aller Zweige gemeinsam gemessen wird. Die Messung des Summenstromes verschiedener Zweige des gleichen Phasenstranges setzt voraus, daß sich zwischen den einzelnen Meßstellen kein Leistungstransformator befindet. Nach der Eichordnung EO 20-2 Nr. 9.2.6 müssen Summenstromwandler, wenn sie für sich ge-

messen werden, die Fehlergrenzen der Klasse 0,2/0,2 ext . . . % einhalten. Die zugehörigen Hauptwandler müssen ebenfalls der Klasse 0,2/0,2 ext . . . % oder der Klasse 0,1/0,1 ext . . . % angehören. Halten die Wandler die Fehlergrenzwerte der vorgeschriebenen Klassen ein, so ist eine Zusammenrechnung der Fehler von Summenstromwandler und Hauptwandler nicht erforderlich.

Im allgemeinen sind bei einer Summenmessung mit einem Summenstromwandler die zugehörigen Hauptwandler der verschiedenen n Abzweige des gleichen Phasenstranges für verschiedene primäre Nennstromstärken /_{PN1}, /_{PN2}.../_{PNn} bemessen. Bei gleichen sekundären Nennstromstärken /_{SNn} dieser Hauptwandler und dementsprechend gleichen primären Nennstromstärken i_{PN1}, i_{PN2}...i_{PNn} der n Primärwicklungen des Summenstromwandlers ist das Verhältnis der Summe aller primären Durchflutungen zur Durchflutung der Sekundärwicklung des Summenstromwandlers so gewählt, daß in dieser ein Strom mit der Nennstromstärke i_{SN} (meistens 5 A) fließt, wenn in allen Abzweigen; d. h. in jedem Hauptwandler gleichzeitig die primäre Nennstromstärke /_{PNn} bei gleicher Phasenlage vorhanden ist (Bild 31).

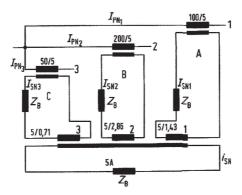


Bild 31

Schaltung eines Summenstromwandlers mit 3 Hauptwandlern in 3 Abzweigungen des gleichen Phasenstranges.

Führt jeweils nur ein Hauptwandler des Abzweiges n die Nennstromstärke I_{PNn} , während die übrigen stromlos sind, so ist die Durchflutung des Summenstromwandlers je nach der Nennstromstärke des Hauptwandlers verschieden. Es fließt in der Sekundärwicklung des Summenstromwandlers ein Strom mit der Teilnennstromstärke

$$i_{SNn} = i_{SN} \frac{I_{PNn}}{\sum_{n=1}^{\infty} I_{PNn}}$$

die sich durch Multiplikation der sekundären Nennstromstärke des Summenstromwandlers $i_{\rm SN}$ mit dem Verhältnis der primären Nennstromstärke der Hauptwandler $I_{\rm PNn}$ zu der Summe der primären Nennstromstärken aller

Hauptwandler
$$\sum_{n=1}^{n} I_{PNn}$$
 ergibt.

Als Beispiel sei die Schaltung Bild 31 in Betracht gezogen, aus deren Angaben die sekundäre Teilnennstromstärke zu errechnen ist. Sie beträgt bei Nennstromstärke im

Abzweig 1
$$i_{SN1} = i_{SN} \frac{I_{PN1}}{\sum_{n=1}^{n} I_{PNn}} = 5 \cdot \frac{100}{350} = 1,43 \text{ A}$$

Abzweig 2
$$i_{SN2} = i_{SN} \frac{I_{PN2}}{\sum_{n=1}^{n} I_{PNn}} = 5 \cdot \frac{200}{350} = 2,86 \text{ A}$$

Abzweig 3
$$i_{SN3} = i_{SN} \frac{I_{PN3}}{\sum_{n=1}^{\infty} I_{PNn}} = 5 \cdot \frac{50}{350} = 0.71 \text{ A}$$

Der Summenfaktor k beträgt dann:

$$k = \frac{\sum_{n=1}^{n} I_{PNn}}{I_{PNn}}$$

und für das Beispiel Bild 31

$$k_1 = \frac{\sum_{n=1}^{n} I_{PNn}}{I_{PN1}} = \frac{350}{100} = 3.5$$

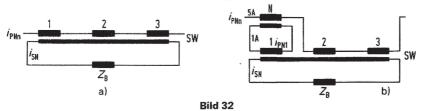
$$k_2 = \frac{\sum_{n=1}^{N} I_{PNn}}{I_{PN2}} = \frac{350}{200} = 1,75$$

$$k_3 = \frac{\sum_{n=1}^{n} I_{PNn}}{I_{PN3}} = \frac{350}{50} = 7$$

Für den Sonderfall, daß die primären Nennstromstärken aller n Hauptwandler (Abzweige) gleich groß sind, ist der Summenfaktor k = n; die sekundäre Teilnennstromstärke ist dann $\frac{1}{n}$ der sekundären Nennstromstärke des Summenstromwandlers.

3.4.6.2 Einzelprüfung der Summenstromwandler

Bei der Einzelprüfung eines Summenstromwandlers wird zunächst sein Stromfehler und Fehlwinkel bei der Reihenschaltung aller primären Teilwicklungen bestimmt, wenn alle Teilwicklungen die gleiche Nennstromstärke i_{PNn} haben (Bild 32a). Als Nennstromstärke i_{PNn} kommen nur die zur Eichung zugelassenen Stromstärken 5 A oder 1 A in Frage. Haben einige Teilwicklungen die Nennstromstärke 1 A, während die anderen für 5 A ausgelegt sind, so werden die 1-A-Teilwicklungen über einen Normalstromwandler mit der Übersetzung 5/1 erregt (Bild 32b). Dessen Primärwicklung wird mit den übrigen Teilwicklungen für 5 A Nennstromstärke in Reihe geschaltet. In den Schaltungen nach Bild 32a oder 32b wird der Summenstromwandler auf Einhaltung der seiner Klasse entsprechenden Fehlergrenzwerte mit einem Normalstromwandler 5 A/5 A bei den Prüfpunkten nach 3.4.2 geprüft.



Richtigkeitsmessung eines Summenstromwandlers. Einzelprüfung.

- a) Reihenschaltung der primären Teilwicklungen 1 bis 3 des Summenstromwandlers. Primäre Nennstromstärke der Teilwicklungen ipNn = ipN1 = ipN2 = ipN3.
- b) Reihenschaltung der Primärwicklungen 2 und 3 mit einem Normalstromwandler N mit der Übersetzung 5/1. Primäre Nennstromstärke der Teilwicklungen iPN1 = 1 A; iPNn = iPN2 = iPN3 = 5 A.

Anschließend werden die Fehler der einzelnen Teilwicklungen gemessen. Wird nur eine primäre Teilwicklung mit einem Strom der Nennstromstärke *i*_{PNn} gespeist, so ist die Durchflutung geringer als die Nenndurchflutung, die sich ergibt, wenn alle primären Teilwicklungen mit der Nennstromstärke gespeist werden. Es beträgt dann die sekundäre Teilnennstromstärke (siehe 3.4.6.1)

$$i_{SNn} = \frac{i_{SN}}{k} = i_{SN} \frac{I_{PN1}}{\sum_{n=1}^{n} I_{PNn}}$$

Da es für die sekundäre Teilnennstromstärke $i_{\rm SNn}$ keinen Normalstromwandler gibt, der die gleiche Übersetzung $\frac{i_{\rm PNn}}{i_{\rm SNn}}$ und dessen sekundäre Nennstromstärke den gleichen Betrag hat, wird die Übersetzung mit dem Summenfaktor

$$k = \frac{\sum_{n=1}^{n} I_{PNn}}{I_{PNn}}$$
 erweitert.

Die Stromstärke $k \cdot i_{\rm SNn}$ ergibt dann voraussetzungsgemäß die sekundäre Nennstromstärke des Normalstromwandlers, und für die primäre Stromstärke des Normalstromwandlers ergibt sich $k \cdot i_{\rm PNn}$. Besitzt der Normalstromwandler für die Stromstärke $k \cdot i_{\rm PNn}$ keinen Anschluß mit der entsprechenden Nennstromstärke, so muß mit einer Wandlermeßeinrichtung gemessen werden, bei der die Übersetzung des Prüflings der des Normalstromwandlers mit einem Teiler angepaßt werden kann, z. B. mit einer Wandlermeßeinrichtung nach dem Kompensationsverfahren mit eingebauten Zwischenwandlern. Es wird dann eine primäre Nennstromstärke $I_{\rm N}$ des Normalstromwandlers gewählt, die in der Nähe der Stromstärke $k \cdot i_{\rm PNn}$ liegt. Die Teilerstellung an der Wandlermeßeinrichtung ist dann

$$\frac{k \cdot i_{\text{PNn}}}{I_{\text{N}}} \cdot 100.$$

Als Prüfpunkte gelten abweichend von 3.4.2 die primäre Nennstromstärke des Summenstromwandlers i_{PNn} und für den kleinsten Prüfstrom die Stromstärke $i=0.05 \cdot k \cdot i_{\text{PNn}}$. Die beiden Prüfpunkte einer jeden Teilwicklung werden nur bei Nennbürde geprüft. Wenn zur Angleichung des Übersetzungsverhältnisses als primäre Nennstromstärke des Normalstromwandlers ein relativ hoher Wert gewählt werden muß, sollte man die verlangte Stromstärke i_{PNn} mit einem Strommesser im Primärkreis messen und nicht wie üblicherweise im Sekundärkreis des Normalstromwandlers. Als Beispiel für eine Messung werde wieder die Schaltung Bild 31 betrachtet. Die Wicklung 1 des Summenstromwandlers wird mit dem Normalstromwandler in Reihe geschaltet. Die primäre Nennstromstärke ist $i_{\text{SN}} = 5$ A. Die sekundäre Teilnennstromstärke beträgt

$$i_{SN1} = \frac{i_{SN}}{\kappa_1} = 1,43 \text{ A}$$

Der Summenfaktor ist $k_1 = 3.5$.

Der Normalstromwandler hat die Übersetzung

$$\frac{i_{\text{PN1}} \cdot k}{i_{\text{SN1}} \cdot k} = \frac{5 \cdot 3.5}{1.43 \cdot 3.5} = \frac{17.5 \,\text{A}}{5 \,\text{A}}$$

Da der Normalstromwandler nicht für eine primäre Nennstromstärke von 17,5 A ausgelegt ist, wird die nächstliegende vorhandene Nennstromstärke $I_{\rm N}=20$ A gewählt. Durch Ändern der Teilerstellung einer Wandlermeßeinrichtung nach dem Kompensationsverfahren wird die Übersetzung angepaßt. Die Teilerstellung beträgt

$$\frac{k \cdot i_{\text{PN1}}}{I_{\text{N}}}$$
 · 100 = $\frac{17.5}{20}$ · 100 = 87.5.

Als Prüfpunkte, bei denen die Fehler der Teilwicklung 1 bestimmt werden, gelten die Primärstromstärke des Summenstromwandlers $i_{PN1} = 5$ A und die Stromstärke $i = 0.05 \cdot k \cdot i_{PN1} \approx 0.88$ A.

In gleicher Weise werden die Teilwicklungen 2 und 3 gemessen.

Sollte sich bei der Ermittlung der Teilereinstellung der Wandlermeßeinrichtung im Kompensationsteil am Teiler ein nicht einstellbarer Wert (z. B. 66,66) ergeben, so ist der dem errechneten Wert nächstgelegene Wert (66,5) einzustellen und die prozentuale Differenz bei der Ablesung der Stromfehlerwerte zu berücksichtigen. Beträgt beispielsweise die Ablesung für den Stromfehler $F_i = -0.16$ %, so ist unter Berücksichtigung der zuvor angegebenen Werte der tatsächliche Fehler

$$F_i = -0.16 + \frac{66.66 - 66.5}{66.66} \cdot 100 = -0.16 + 0.24 = +0.08 \%.$$

3.4.6.3 Prüfung der Zusammenschaltung des Summenstromwandlers mit den Hauptwandlern

Die Richtigkeitsprüfung des Summenstromwandlers kann auch mit den Hauptwandlern zusammen ausgeführt werden. Für den Sonderfall, daß die Hauptwandler alle die gleichen primären Nennstromstärken haben, werden sie in folgenden beiden Schaltungen geprüft.

1. Die Primärwicklung der n Hauptwandler aller Abzweige und des für die Prüfung vorgesehenen Normalstromwandlers werden in Reihe geschaltet und erregt (Bild 33a). Der Summenstromwandler ist betriebsmäßig angeschlossen und mit der Nennbürde belastet. Die Bürde eines jeden Hauptwandlers ist durch das 1/n-fache der gesamten auf dem Hauptschild angegebenen Aufnahmeleistung des Summenstromwandlers gegeben. Diese setzt sich zusammen aus der äußeren sekundären Nennleistung des Summenstromwandlers, aus der für die inneren primären und sekundären Bürden aufzubringenden Leistung, der Eisenverlustleistung und der Magnetisierungsleistung. Außerdem

kann jeder Hauptwandler noch mit einer weiteren Bürde belastet werden. Jedoch darf die Gesamtbelastung nicht größer als die Nennleistung sein. Bei der Prüfung auf Einhalten der festgesetzten Fehlergrenzwerte werden die Prüfpunkte sowohl für Nennleistung als auch für 1/4 Nennleistung nach 3.4.2 eingestellt. Bei der Prüfung hat der Normalstromwandler die Übersetzung I_{PN}/I_{SN} . Als höchstzulässige Fehlergrenzwerte gelten die der Klasse 0,5 oder 0,5 ext. . . %.

2. Die Primärwicklung nur eines der n Hauptwandler wird mit dem Normalstromwandler in Reihe geschaltet und erregt (Bild 33b), während diejenigen der übrigen Hauptwandler offen bleiben. Der Summenstromwandler ist an alle Hauptwandler betriebsmäßig angeschlossen und mit der Nennbürde belastet. Wird der Hauptwandler 1 mit seiner Nennstromstärke $I_{\rm PN1}$ erregt, so stellt sich auf der Sekundärseite des Summenstromwandlers 1/n der sekundären Nennstromstärke $I_{\rm SN}$ ein, bei drei Hauptwandlern also $I_{\rm SN}/3$. Die Bürde des erregten Hauptwandlers 1 ist durch die Aufnahmeleistung des Summenstromwandlers gegeben, dessen Erregung dem 1/n-fachen der Nennstromstärke $I_{\rm SN}$ entspricht. Ferner belasten den Summenstromwandler noch die übrigen angeschlossenen aber nicht erregten Hauptwandler 2 und 3 mit ihren sekundären Leerlaufaufnahmeleistungen, die ebenfalls der Hauptwandler 1 aufbringen muß.

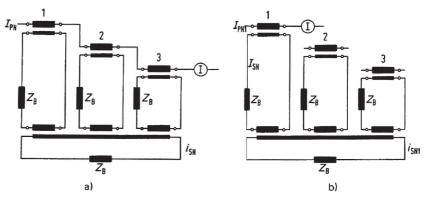


Bild 33

Richtigkeitsmessung eines Summenstromwandlers zusammen mit den Hauptwandlern für den Fall, daß alle Hauptwandler die gleiche Nennstromstärke haben.

- a) Reihenschaltung der Primärwicklungen der Hauptwandler. IPN Primäre Nennstromstärke der Hauptwandler,
 - ISN Sekundäre Nennstromstärke des Summerstromwandlers.
- Erregung nur eines Hauptwandlers. /PN1 Primäre Nennstromstärke des Hauptwandlers 1,
 - $i_{\rm SN1} = i_{\rm SN}/n = i_{\rm SN}/3$ Sekundäre Teilnennstromstärke des Summenstromwandlers bei Erregung des Hauptwandlers 1.

Bei der Prüfung auf Einhalten der festgesetzten Fehlergrenzwerte nach 3.4.2 gilt für den Normalstromwandler als primäre Nennstromstärke die Stromstärke n \cdot /_{PN1} des Summenstromes. Der Normalstromwandler muß daher die Übersetzung $K_N = n \cdot I_{PN1}/I_{SN}$ haben. Als Nennstromstärke für die Fehlergrenzwerte ist ebenfalls die Summenstromstärke n \cdot /_{PN1} maßgebend. Die Zusammenschaltung Hauptwandler-Summenstromwandler wird daher abweichend von 3.4.2 bei den Prüfpunkten n \cdot /_{PN1}/n und 0.05 \cdot n \cdot /_{PN1} geprüft. Nacheinander werden die Fehler eines jeden Hauptwandlers in dieser Schaltung bestimmt.

Sind die Hauptwandler für unterschiedliche primäre Nennstromstärken ausgelegt, so muß die Richtigkeitsmessung für Summenstromwandler und Hauptwandler getrennt nach 3.4.6.2 ausgeführt werden.

3.4.6.4 Summenschaltung ohne Summenstromwandler

Eine Summenschaltung kann bei gleicher Nennstromstärke aller Abzweige auch ohne Summenstromwandler dadurch erfolgen, daß die sekundären Wicklungen der zu summierenden Wandler parallel geschaltet mit der Bürde verbunden werden.

Für die Richtigkeitsprüfung gelten dann wieder die beiden Fälle in 3.4.6.3, nur werden die Schaltungen (Bild 33a und 33b) ohne den Summenstromwandler ausgeführt. Desgleichen gelten für die Nennstromstärke, die Fehlergrenzwerte und die Prüfpunkte die Vorschriften in 3.4.6.3 Fall 1 und 2.

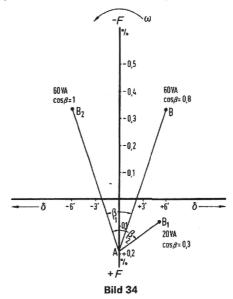
3.5 Richtigkeitsprüfung der induktiven Spannungswandler

3.5.1 Spannungswandler einfacher Ausführung

Die Spannungswandler sind bei 120 %, 100 % und 80 % der Nennspannungen auf Einhalten der im Anhang 1 unter 9.3.2 angegebenen Fehlergrenzwerte entsprechend ihrem Klassenzeichen bei Nennleistung zu prüfen. Bei kleinster Prüfbürde, für die 1/4 der Nennleistung und höchstens 15 VA festgelegt ist, selbst wenn die Wandler eine größere Nennleistung als 60 VA haben, genügt eine Prüfung bei 80 % der Nennspannung.

Auf Antrag können die Fehler der Spannungswandler außerdem bei Betriebsbürde gemessen werden. Die Messung bei Betriebsbürde kann ersetzt werden durch eine rechnerische oder graphische Ermittlung der Fehler aus dem Möllinger-Gewecke-Diagramm (siehe 1,2,1 Bild 7b), Zur Auswertung im

Diagramm benötigt man außer den Fehlerwerten bei Nennleistung noch die Fehlerwerte des Wandlers bei einer weiteren Bürde, für die zweckmäßigerweise der Leerlauf oder die kleinste durch die Belastung mit der Wandlermeßeinrichtung sich ergebende Bürde gewählt wird. Die graphische Bestimmung sei durch das Beispiel in Bild 34 veranschaulicht, das eine vereinfachte Dar-



Bestimmung der Fehler eines Spannungswandlers bei beliebiger Bürde mit Hilfe des Diagramms nach Möllinger und Gewecke aus den bekannten Fehlern bei Leerlauf und Nennleistung.

stellung des Diagramms nach Möllinger-Gewecke Bild 7b ist. Die gemessenen Fehler eines Spannungswandlers für Leerlauf (F_u = +0,18 %; δ_u = -0,2') Punkt A und für die Nennleistung, z. B. 60 VA, $\cos\beta$ = 0,8 induktiv (F_u = -0,33 %; δ_u = +6,0') Punkt B werden in ein Koordinatensystem eingetragen, bei dem die Ordinate in Prozent und die Abszisse in Minuten geteilt sind. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die Strecke für 34,4' gleich der Strecke für 1 % sein muß. Entspricht 1 cm auf der Ordinate 0,1 %, so entspricht 1 cm auf der Abszisse 3,4'. Werden die beiden eingetragenen Punkte A und B miteinander verbunden, so ist die Strecke proportional der Leistung und man kann auf dieser die Fehler des Wandlers für jede Leistung mit einem Leistungsfaktor $\cos\beta$ = 0,8 zwischen Leerlauf und Nennleistung, in diesem Falle 60 VA, ablesen. Die Strecke kann auch über 60 VA hinaus verlängert werden, so daß ebenfalls für größere Leistungen die Fehler bestimmt werden können.

Will man die Fehler für eine Leistung bei einem $\cos\beta=1$ ermitteln, so wird an die Streck AB im Leerlaufpunkt A eine Gerade unter dem Winkel $\beta_1=37^\circ$ in Drehrichtung, also voreilend angetragen. Der Winkel ergibt sich dabei aus $\cos 37^\circ\approx 0.8$. Trägt man auf dieser die gleiche Länge $\overline{AB}=\overline{AB}_2$ ab, so erhält man die Fehler für 60 VA, $\cos\beta=1$ ($F_U=-0.34$ %; $\sigma_U=-5.7'$). Um die Fehler einer beliebigen Leistung, z. B. 20 VA bei $\cos\beta=0.3$ induktiv zu bestimmen, wird eine Gerade unter dem Winkel $\beta_2=72.5^\circ$ entgegengesetzt der Drehrichtung, also nacheilend an die Gerade für $\cos\beta=1$ angetragen und darauf $\frac{20}{60}=\frac{1}{3}$. der Streckenlänge \overline{AB} abgetragen. Aus den Koordinaten erhält man für den Spannungsfehler $F_U=+0.09$ % und für den Fehlwinkel $\sigma_U=+5'$. Die Fehler für eine beliebige Leistung $\sigma_U=+5'$ 0 wird dem Leistungsfaktor $\sigma_U=+5'$ 1. Die Fehler für eine beliebige Leistung $\sigma_U=+5'$ 2 wird dem Leistungsfaktor $\sigma_U=+5'$ 3. Bis dann für die Leistung $\sigma_U=+5'$ 4 wird dem Leistungsfaktor $\sigma_U=+5'$ 5 bekannt sind. Es ist dann für die Leistung $\sigma_U=+5'$ 5 wird dem Leistungsfaktor $\sigma_U=+5'$ 5 bekannt sind.

$$F_{ux} = F_{uo} - \cos(\beta_x - \beta_S) \frac{F_{uo} - F_{uS}}{n} - \sin(\beta_x - \beta_S) \frac{(\delta_{uo} - \delta_{uS}) \cdot 0.029}{n}$$

und der Fehlwinkel $\delta_{m{u} imes}$ in Minuten

$$\delta_{UX} = \delta_{UO} + \sin (\beta_X - \beta_S) \frac{(F_{UO} - F_{US}) + 34.4}{n} - \cos (\beta_X - \beta_S) \frac{(\delta_{UO} - \delta_{US})}{n}$$

Darin ist
$$n = \frac{S}{S \times S}$$

 $egin{array}{ll} F_{uo} & {\sf Spannungsfehler in \%} \\ \delta_{uo} & {\sf Fehlwinkel in Minuten} \end{array} \} & {\sf bei Leerlauf} \\ F_{us} & {\sf Spannungsfehler in \%} \\ \delta_{us} & {\sf Fehlwinkel in Minuten} \end{array} \} & {\sf bei der Leistung S mit dem Leistungsfaktor <math>\cos \beta_S$ } \\ S_{und} & {\sf S_X in VA} & {\sf Symmetric in Minuten} & {\sf in Mi

3.5.2 Spannungswandler mit mehreren Sekundärwicklungen

Bei Spannungswandlern mit mehreren Sekundärwicklungen müssen die Fehler jeder Wicklung nach 3.5.1 bestimmt werden bei Leerlauf und Nennleistung der jeweils nicht gemessenen Wicklung. Zur Verringerung der Zahl der Prüfpunkte können jedoch die Messungen bei Nennleistung der zu messenden und gleichzeitigem Leerlauf der zweiten Wicklung entfallen, da dieser Meßpunkt durch die Prüfung bei kleinster Prüfbürde (s. 3.5.1) der gemessenen und Leerlauf der anderen Wicklung abgedeckt ist.

Außerdem kann die Prüfung bei kleinster Prüfbürde der zu messenden und gleichzeitiger Nennbelastung der anderen Wicklung entfallen.

Sollten nicht genügend Normbürden mit dem vorgeschriebenen Leistungsfaktor vorhanden sein, so kann zur Belastung auch ein induktionsfreier Widerstand verwendet werden, dessen Widerstandsbetrag bekannt ist, und aus dem Meßergebnis können mit Hilfe des in 3.5.1 angegebenen Möllinger-Gewecke-Diagramms oder der angegebenen Formel die Fehlerwerte des Spannungswandlers für die vorgeschriebene Bürde bestimmt werden.

3.5.3 Spannungswandler mit mehreren Nennübersetzungen

Bei Spannungswandlern mit mehreren Nennübersetzungen, die sich durch Anzapfung der Primär- oder Sekundärwicklung ergeben, müssen die Fehler für jede Nennübersetzung nach 3.5.1 bestimmt werden.

3.5.4 Spannungswandler mit zwei Nennleistungen und zugeordneten Klassen

Bei Spannungswandlern mit zwei Nennleistungen, denen zwei Klassen zugeordnet sind, z. B. 30 (90) VA; Kl. 0,2 (0,5) müssen die Fehler für jede Nennleistung nach 3.5.1 bestimmt werden, jedoch kann der Prüfpunkt bei kleinster Prüfbürde für die größere Nennleistung entfallen.

3.5.5 Umschaltbare Spannungswandler

Bei Spannungswandlern mit zwei untereinander gleichwertigen Sekundärwicklungen für Reihen- oder Parallelschaltung genügt es, wenn die Fehler der Sekundärwicklung in Parallelschaltung nach 3.5.1 gemessen werden, und in Reihenschaltung nur bei Nennleistung und Nennspannung. Ist der Betrag der Fehlerdifferenz bei Nennleistung und Nennspannung zwischen den beiden Messungen größer als 0,03 % und 1,0′, so müssen die Fehler auch in Reihenschaltung bei allen Meßpunkten nach 3.5.1 gemessen werden.

3.5.6 Wicklung für Erdschlußerfassung

Besitzt der zu prüfende Wandler eine Wicklung für Erdschlußerfassung, so bleibt diese bei allen Prüfungen unbelastet.

3.5.7 Zwischenspannungswandler

Zwischenspannungswandler, die für sich geprüft werden, müssen nach der E0 20-2 Nr. 9.3.7 die Fehlergrenzwerte der Klasse 0.2 einhalten. Sie dürfen nur mit Spannungswandlern der Klasse 0.2 oder Klasse 0.1 zusammengeschaltet werden. Sowohl die Zwischenwandler allein als auch die Zusammenschaltung von Zwischenwandlern mit Hauptwandlern, bei der die Fehlergrenzwerte der Klasse 0.5 eingehalten werden müssen, werden nach 3.5.1 gemessen.

3.6 Richtigkeitsprüfung der kapazitiven Spannungswandler

Die Fehler der kapazitiven Spannungswandler werden wie die der induktiven nach 3.5.1 bestimmt bei einer Frequenz, die innerhalb des Frequenzbereichs von 99 % bis 101 % der Nennfrequenz liegt, und bei einer Temperatur innerhalb eines Temperaturbereichs zwischen 15°C und 30°C. Die Temperatur des Wandlers, bei der er gemessen wird, muß einen stationären Endzustand erreicht haben. Der tatsächliche Wert der Prüffrequenz und der Temperatur müssen im Meßprotokoll vermerkt sein. An Hand der gemessenen Fehler und unter Berücksichtigung der bei der Typenprüfung gewonnenen Meßergebnisse muß mit Hilfe des Möllinger-Gewecke-Diagramms festgestellt werden, ob die Fehler im gesamten Arbeitsbereich des Wandlers zwischen 99 % und 101 % der Nennfrequenz und zwischen einem Höchstwert des 24-Stundenmittels von 35°C und einem Tiefstwert der Temperatur von -25°C mit Sicherheit innerhalb der Fehlergrenzwerte der auf dem Leistungsschild angegebenen Klasse liegen.

3.7 Richtigkeitsprüfung der zusammengebauten Strom- und Spannungswandler (Kombinierte Wandler)

Die Fehler der kombinierten Wandler werden beim Stromwandlerteil nach 3.4.2 und beim Spannungswandlerteil nach 3.5 oder nach 3.6 bestimmt.

3.8 Messung der Beeinflussung der Fehler von Strom- und Spannungswandlern

3.8.1 Allgemeines

Die Messung der Änderung der Fehler infolge der Beeinflussung der Spannungswandler durch das magnetische Feld des Stromleiters und der Stromwandler durch die angelegte Spannung ist nur für kombinierte Wandler bei der Bauartprüfung für die Zulassung zur Eichung vorgeschrieben. Sind die gemessenen Fehler der Strom- und Spannungswandlerteile eines kombinierten Wandlers größer als 90 % der Klassenfehlergrenzwerte, muß die gegenseitige Beeinflussung gemessen werden. Diese Prüfung kann in jeder Prüfstelle ohne besondere Hilfsmittel vorgenommen werden.

Beim Einbau von Einzelspannungswandlern in Schaltstationen sollte stets darauf geachtet werden, daß über dem Spannungswandler liegende Stromleitungen parallel zur Längsrichtung des Eisenkerns geführt werden.

3.8.2 Messung der Beeinflussung der Fehler des Spannungswandlerteiles eines kombinierten Wandlers durch das magnetische Feld eines Stromleiters

Zur Messung des Einflusses werden zunächst die Fehler des Spannungswandlerteiles bei stromlosem Stromwandlerteil nach 3.5.1 bei Nennleistung und bei kleinster Prüfleistung bestimmt (Messung 1). Dann wird der Stromwandler mit dem thermischen Nenn-Dauerstrom gespeist. Hierbei soll die primäre Zuleitung zum Stromwandlerteil in der Höhe der primären Anschlußklemmen eine horizontale Schleife mit den Abmessungen nach Bild 35 bilden. Der Rückleiter soll in einem Abstand a geführt werden, der dem Abstand der anderen Phasenleitung im Netz entspricht (Tabelle 2a), Auch der Stromerzeuger muß in Höhe der Stromschleife eingebaut werden. Der Spannungswandler wird primärseitig kurzgeschlossen und bleibt spannungslos.

Die durch den Strom in den Spannungswandler induzierte Spannung wird an dessen Sekundärklemmen mit einem Millivoltmeter gemessen. Das Instrument ist mit einer geschirmten Koaxialleitung anzuschließen. Die gemessene Spannung, ausgedrückt in Prozent der im Betriebsfall an der sekundären Seite anliegenden Spannung, ist ein Maß für die Änderung des Spannungsfehlers. Der Spannungswandler wird zusätzlich nicht bebürdet. Es genügt, die Änderung nur auf 80 % der Nennspannung zu beziehen, da diese Spannung die kleinste ist, bei der die Fehler des Spannungswandlers gemessen werden. Der relative Einfluß ist dementsprechend hier am größten (Messung 2).

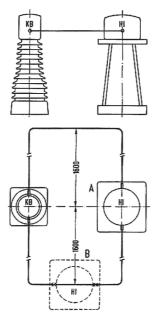


Bild 35

Geometrischer Aufbau der Schaltung zur Messung des Stromeinflusses auf den Fehler eines Spannungswandlers.

KB Spannungswandler oder kombinierter Wandler;

HI Hochstromtransformator wahlweise an Standort A oder B. Es ist der Standort zu wählen, von welchem der Stromerzeuger selbst keinen Einfluß ausübt.

Tabelle 2a

Abstand a der Phasenleiter nach VDE 0101/4.71

	U _m kV	mm
•	12 24 36 72,5	150 215 325 700

Anlagen mit nicht wirksam geerdetem Sternpunkt

Anlagen mit wirksam geerdetem Sternpunkt

125	950
250	1850
420	2900

Die größte mögliche Änderung des Spannungsfehlers in Prozent ist dann:

$$\pm \Delta F_{u} = \frac{u}{0.8 \cdot U_{s}} \cdot 100$$

Die größte mögliche Änderung des Fehlwinkels in Minuten ist:

$$\pm \Delta \delta_{U} = \Delta F_{U} \cdot 34.4$$
 und in crad: $\pm \Delta \delta_{U} = \Delta F_{U}$

U_S sekundäre Nennspannung in Vu induzierte Spannung in V

Die Änderungen des Spannungsfehlers $\pm \Delta F_{u}$ und des Fehlwinkels $\pm \Delta \delta_{u}$ werden zu den in Messung 1 bei 80 % der Nennspannung bei Nennleistung und bei kleinster Prüfleistung erhaltenen Meßergebnissen hinzugefügt. Dabei wird das Vorzeichen von ΔF_{u} und $\Delta \delta_{u}$ so gewählt, daß bei der Addition stets der größte Fehlerwert entsteht. Diese Maßnahme ist korrekt, da der Zeiger des Stromes prinzipiell jede Lage zum Zeiger der Spannung einnehmen kann. Die nun erhaltenen Fehlerwerte dürfen die im Anhang 1 unter 9.3.2 angegebenen Fehlergrenzwerte nicht überschreiten.

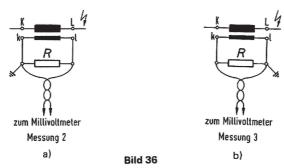
3.8.3 Messung der Beeinflussung der Fehler des Stromwandlerteiles eines kombinierten Wandlers durch die angelegte Spannung

Zur Messung des Einflusses werden zunächst bei nicht erregtem Spannungswandlerteil die Fehler des Stromwandlerteiles bei Nennleistung und bei kleinster Prüfleistung nach 3.4.2 bestimmt (Messung 1). Dann wird bei primärseitig offenem Stromwandlerteil an die Primärklemme des Spannungswandlerteiles, die unmittelbar mit einer Stromwandlerklemme verbunden ist, eine Spannung gleich 120 % der Nennspannung gelegt. Die Spannung treibt durch die Sekundärwicklung des Stromwandlers einen Strom, der als Spannungsabfall \boldsymbol{u} an einem Widerstand \boldsymbol{R} gemessen wird, mit dem die Sekundärklemmen des Stromwandlers überbrückt werden. Als ausreichender Wert dieses Widerstandes, der einerseits den Wandler nicht zu stark belastet andererseits eine genügende Spannung abgibt, wurden $\boldsymbol{R}=100~\Omega$ zum Anschluß an Stromwandler mit der sekundären Nennstromstärke 1 A und $\boldsymbol{R}=5~\Omega$ zum Anschluß an Stromwandler mit der sekundären Nennstromstärke 5 A ermittelt.

Bei der Messung ist es zweckmäßig, die Widerstände unmittelbar an die Sekundärklemmen des Wandlers anzuschließen und zur Vermeidung von Einstreuungen den Klemmenkasten zu schließen und vom Widerstand mit einer koaxial geschirmten Leitung an das Meßinstrument zu gehen. Bei einem Einfluß der Spannung auf den Sekundärstrom haben die zu messenden

Spannungsabfälle die Größe 1 mV bis 50 mV. Vor Beginn der Messung ist bei einseitigem Abklemmen des Widerstandes von der nichtgeerdeten Klemme des Wandlers zu kontrollieren, daß das Instrument keinen Vorausschlag hat.

Der Spannungsabfall *u* wird gemessen bei Erdung der Klemme k (Messung 2, Bild 36a) und bei Erdung der Klemme I (Messung 3, Bild 36b). Der größere gemessene Wert wird dem Ergebnis zugrunde gelegt.



Messung des Einflusses der Spannung auf den Fehler des Stromwandlers. Anschluß des Widerstandes R. a) Erdung bei k. b) Erdung bei I.

Im allgemeinen genügt es, den Einfluß auf 5 % der Nennstromstärke zu beziehen.

Die Änderung des Stromfehlers in Prozent ist:

$$\pm \Delta F_i = \frac{u}{R \cdot 0.05 I_s} \cdot 100$$
 bei 5 % der Nennstromstärke.

Die Änderung des Fehlwinkels in Minuten ist:

$$\pm \Delta \delta_i = \Delta F_i \cdot 34.4$$

und in crad $\pm \Delta \delta_i = \Delta F_i$.

R Widerstand in Ω ,

Spannungsabfall in V,

Is sekundäre Nennstromstärke in A.

Die Änderungen des Stromfehlers $\pm \Delta F_j$ und des Fehlwinkels $\pm \Delta \delta_j$ werden zu den in Messung 1 bei 5 % der Nennstromstärke bei Nennleistung und bei kleinster Prüfleistung erhaltenen Meßergebnissen hinzugefügt. Dabei wird das Vorzeichen so gewählt, daß bei der Addition stets der größte Fehlerwert entsteht. Die nun erhaltenen Fehlerwerte dürfen die im Anhang 1, Nr. 9.2.2 angegebenen Fehlergrenzwerte nicht überschreiten.

4 Einrichtung der Prüfräume

4.1 Prüfräume

Die Prüfräume einer Prüfstelle für die Prüfung von Strom- und Spannungswandlern müssen so eingerichtet sein, daß alle innerhalb der Befugnisse der Prüfstelle liegenden Wandler geprüft werden können. Die Befugnis ist durch Angaben der höchsten Nennspannung und der höchsten Nennstromstärke festgelegt. Die höchste Nennspannung bestimmt auch die zugehörige Isolierungsprüfspannung, für deren Erzeugung die Prüfstelle eingerichtet sein muß, wenn nicht unter den in 3.3 angegebenen Bedingungen auf die Isolierungsprüfung verzichtet wird.

Die Mindestgröße der Prüfräume richtet sich nach der Höhe der Prüfspannung und des Prüfstromes. Im Allgemeinen kann die Isolierungsprüfung und die Richtigkeitsprüfung an Strom- und Spannungswandlern im gleichen Raum ausgeführt werden. Jedoch müssen die Abstände so gewählt werden, daß bei der Isolierungsprüfung die in der Nähe stehenden Geräte nicht beeinflußt werden und keine Überschläge zu diesen auftreten können.

Bei der Richtigkeitsprüfung ist zu bedenken, daß trotz des Vorhandenseins von hohen Spannungen und starken Strömen die Sekundärgrößen der Wandler auf Bruchteile eines Promilles und einer Winkelminute bestimmt werden sollen. Hierauf ist besonders bei der Projektierung eines Prüfraumes zu achten. Die hohe Ströme führenden Leitungen oder Stromschienen der Stromwandlerprüfanlage sind räumlich in solcher Entfernung von der Wandlermeßeinrichtung aufzubauen, daß der Strom in keiner Weise störend auf diese einwirken kann. Bei 1000 A ist eine Mindestentfernung von 2 m und bei 3000 A bis 4000 A eine von etwa 4 m erforderlich. Zur Berechnung der Entfernung bei höheren Strömen kann man sich angenähert nach folgender Formel richten:

$$L \approx \sqrt{\frac{I}{250}}$$

L Entfernung in m

Strom in A

Eine geringere Entfernung kann gewählt werden, wenn durch meßtechnische Kontrolle nachgewiesen wird, daß kein oder nur ein vernachlässigbarer Einfluß auf die Wandlermeßeinrichtung vorhanden ist. Durch Schirmung oder Drehen der Wandlermeßeinrichtung um ihre Achse kann ein eventuell vorhandener Einfluß verringert werden. Zur Kontrolle wird ein Stromwandler mit der höchsten für die Anlage zulässigen Stromstärke zwischen 120 % bzw. 200 % und 1 % der Nennstromstärke gemessen, dann werden Prüfling und Normalwandler an den Anschlüssen der Wandlermeßeinrichtung vertauscht

und nach Ausgleich der verschiedenen Eingangswiderstände der Einrichtung (Bürde der Wandler) durch Zuschalten von Zusatzwiderständen wird die Messung wiederholt. Die Unterschiede der Meßergebnisse, ohne Berücksichtigung der Vorzeichen, dürfen nun nicht größer sein als 0,01 % im Stromfehler und 0,5' im Fehlwinkel. Eine weitere Möglichkeit der Kontrolle ergibt sich durch Kurzschließen der Anschlußklemmen für Normalwandler und Prüfling an der Wandlermeßeinrichtung. Normalwandler und Prüfling wurden vorher von der Wandlermeßeinrichtung abgeklemmt und kurzgeschlossen. Bei der höchsten für die Anlage zulässigen Stromstärke darf dann am Nullinstrument kein merklicher Ausschlag auftreten.

Ferner ist darauf zu achten, daß die Sekundärleitungen der Wandler, die die Verbindung zu der Wandlermeßeinrichtung herstellen, nicht in einem geringen Abstand parallel zu den Versorgungsleitungen des Hochspannungsprüftransformators oder des Hochstromtransformators geführt werden. Stromführende Leitungen sind möglichst senkrecht zu kreuzen.

Der Erdung sollte man besondere Aufmerksamkeit schenken. Besonders gute Erdungsverhältnisse erhält man, wenn man zwei voneinander getrennte Erdungssysteme verwendet. An das erste System werden die Wandlermeßeinrichtung und die Abschirmungen gelegt, während an das zweite System das erdseitige Ende der Hochspannungsprüftransformatoren, der Prüflinge und der Scheitelspannungsmeßeinrichtung angeschlossen sind. Diese zweite Erde ist damit stromführend. Die beiden Erdsysteme werden an der Stelle des Raumes miteinander verbunden, die zum Tiefenerder führt. Der Erdwiderstand dieses Tiefenerders sollte 5 Ω nicht überschreiten.

Zur Sicherheit muß jedes Hochspannungsprüffeld mit Türkontakten versehen sein, die eine automatische Abschaltung der Hochspannung bewirken, falls das Prüffeld versehentlich betreten werden sollte. Die Spannung darf auch nur wieder eingeschaltet werden können, wenn der Stelltransformator auf Null steht.

Eine Anlage zum Prüfen der Wandler besteht aus folgenden Teilen:

- a) der Anlage zum Erzeugen der für das Prüfen erforderlichen Spannungen und Ströme einschließlich der Einrichtungen zum Einstellen der für die einzelnen Prüfpunkte vorgeschriebenen Spannungen oder Ströme,
- b) der Wandlermeßeinrichtung zum Ermitteln der Fehler der zu prüfenden Wandler,
- c) den Gebrauchsnormalgeräten (Normalstromwandler, Normalspannungswandler),
- d) den Normbürden,

- e) einem Bürdenmeßgerät, sofern die Wandler außer bei den Normbürden auch bei Betriebsbürden gemessen werden sollen,
- f) den Meßgeräten zum Messen der bei der Richtigkeitsprüfung für die einzelnen Prüfpunkte vorgeschriebenen Spannungen und Ströme sowie ggf. der Frequenzen,
- g) den Meßgeräten zum Messen der für die Prüfung der Isolierung vorgeschriebenen Spannungen.

Für die Kontrolle der Kurvenform der Prüfspannungen empfiehlt es sich, ein Kurvenformmeßgerät bereitzuhalten.

4.2 Erzeugungsanlage

Die Erzeugungsanlage besteht aus der Spannungsquelle, für die entweder das Netz oder ein besonderer Generator verwendet werden kann, dem Stelltransformator, dem Hochspannungstransformator und dem Stromtransformator. Wird ein Generator verwendet, so kann der Stelltransformator entfallen. Die Spannung wird in diesem Falle durch Feldänderung des Generators eingestellt

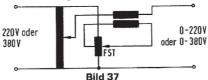
Die Erzeugungsanlage muß so ausgeführt sein, daß der Verlauf der Prüfspannungen und Prüfströme sich einer Sinusschwingung mit zwei nahezu gleichen Halbschwingungen annähert und daß das Verhältnis von Scheitel- zu Effektivwert höchstens um 5 % von $\sqrt{2}$ abweicht. Die Ergebnisse einer Hochspannungsprüfung werden als unbeeinflußt von Abweichungen von einer Sinusschwingung angesehen, wenn diese Bedingungen erfüllt sind.

Anmerkung: Im allgemeinen kann angenommen werden, daß die obigen Anforderungen an die Sinusform erfüllt sind, wenn der Effektivwert der Oberschwingungen 5 % des Effektivwertes der Grundschwingungen nicht übersteigt.

Die Frequenz der Spannungsquelle soll auf mindestens 1 % ihres Sollwertes, die Spannung auf mindestens 2 % des beim Messen vorhandenen Mittelwertes konstant sein. Die Teile der Erzeugungsanlage müssen hinsichtlich der Erwärmung ausreichend bemessen sein. In der Regel ist hierfür kurzzeitiger Betrieb mit der höchsten hierfür vorgesehenen Stromstärke mit einer Stunde Einschaltdauer als ausreichen anzusehen. Die zulässige Übertemperatur der Teile der Erzeugungsanlage darf hierbei an keiner Stelle 60 K überschreiten, wenn die Raumtemperatur nicht über 20 °C liegt.

4.2.1 Stelltransformator

Zur Einstellung der gewünschten Spannungs- und Stromwerte ist bei Speisung aus dem Netz ein Stelltransformator erforderlich. Dieser muß so ausgeführt sein, daß sich seine Sekundärspannung auf mindestens 0,1 % der höchsten einstellbaren Spannung einstellen läßt. Dies läßt sich nur erreichen, wenn der Stelltransformator mit einer Grob- und Feineinstellung mit voneinander getrennten Stromabnehmern ausgerüstet ist (Bild 37) und die höchst einstell-



Prinzipschalbild eines Stelltransformators FST Feineinstellung

bare Spannung der Feineinstellung etwa 3 % der höchst einstellbaren Spannung der Grobeinstellung beträgt. Eine ferngesteuerte Feineinstellung mit einer nur verlangsamt einstellbaren Grobeinstellung ist nicht ausreichend.

Für die Prüfung der Isolierung muß die Stelleinrichtung so ausgelegt sein, daß es möglich ist, nach Erreichen von 75 % der vorgesehenen Nenn-Stehspannung die Spannung um nicht mehr als 2 % dieser Spannung je Sekunde zu steigern. Bei vor 1978 in Betrieb genommenen Anlagen darf die Steigerungsrate auch 3 % der Nenn-Stehspannung betragen.

Um eine gute Kurvenform der Prüfspannung zu erhalten, sollte beim Stelltransformator die Streuung zwischen Primär- und Sekundärkreis möglichst klein gehalten werden. Da die Stelltransformatoren meistens in Sparschaltung gebaut werden, sollte unter der Arbeitswicklung unmittelbar auf den Kern eine in mehrere Quadranten unterteilte Schubwicklung aufgebracht werden, deren Anfänge und Enden parallel geschaltet werden. Noch besser ist es, getrennte Primär- und Sekundärwicklungen zu verwenden und die Primärwicklung zur Verringerung der Streuung in mehreren parallelgeschalteten Gruppen auf den Kern aufzubringen. Durch diese Maßnahmen kann die Kurzschlußspannung des Stelltransformators bei sekundär abgegriffenen Teilspannungen wesentlich verringert werden. Dies ist besonders bei der Richtigkeitsprüfung von Spannungswandlern wichtig, da diese einen von der Sinusform abweichenden Magnetisierungsstrom aufnehmen. Die Leistung der Stelltransformatoren muß der Leistung der Prüftransformatoren angepaßt sein. Um einen Einfluß der Streufelder des Stelltransformators auf den Meßkreis zu vermeiden, sollte er nicht in der Nähe der Wandlermeßeinrichtung aufgestellt, sondern vom Meßplatz aus durch Fernbedienung betätigt werden. Die Betätigungsspannung für die Fernbedienung sollte zweckmäßigerweise eine Gleichspannung sein.

4.2.2 Generator

Dient als Stromquelle ein Generator, so kommt es bei diesem im allgemeinen weniger auf die Dauerleistung an als im Falle der Isolierungsprüfung auf die im Augenblick des Durchschlags verfügbare Leistung, die bedingt ist durch das Verhältnis von Kurzschlußstrom zur Nennstromstärke. Deshalb sollten für Prüffeldgeneratoren Sonderbauformen gewählt werden, die für möglichst geringe Werte der Ankerrückwirkung und Streuung ausgelegt sind. Mit dieser Forderung erreicht man gleichzeitig einen geringeren Anteil der Oberschwingungen in der Generatorspannung. Denn wird der Prüftransformator unmittelbar vom Generator gespeist, so fließt dessen mit Oberschwingungen behafteter Magnetisierungsstrom durch die Wicklung des Generators und erzeugt einen Spannungsabfall an dessen Streublindwiderstand. Außerdem finden die Oberschwingungsströme im Generator kaum Gegendurchflutungen, so daß sie vorwiegend nur zur Magnetisierung des magnetischen Kreises des Generators beitragen und zu örtlichen Sättigungserscheinungen des Eisens führen und auf diese Weise die Kurvenform der Klemmenspannung des Generators beeinflussen. Diese Generatorrückwirkung kann bei Phasengleichheit mit den Oberschwingungen des Prüftransformators den Gesamtanteil der Oberschwingungen noch verstärken. Im Falle der Resonanz können die Verhältnisse verschlechtert werden.

Für die Kurzschlußleistung der aus Generator und Prüftransformator bestehenden Anlage ist im wesentlichen die Kurzschlußleistung des Generators bestimmend. Eine noch so kleine Kurzschlußspannung des Prüftransformators kann zur Erhöhung der Kurzschlußleistung nicht viel beitragen. Ohne zusätzlichen Aufwand lassen sich größere Kurzschlußleistungen erzielen, wenn die Prüfanlage aus einem starren Netz unter Zwischenschaltung eines Stelltransformators gespeist wird. In diesem Falle schließt sich der Oberschwingungsstrom des Prüftransformators über andere parallelgeschaltete Verbrauchergruppen, und er muß nicht unbedingt über die Generatoren des Netzes fließen.

Die Spannung wird zweckmäßigerweise durch Feldänderung des Generators eingestellt. Die dazu vorgesehenen Stellglieder müssen so feinstufig sein, daß sich die Äusgangsspannung des Generators auf mindestens 0,1 % seiner Nennspannung einstellen läßt.

4.2.3 Frequenzumformer

Bei der Prüfung der Isolierung der Windungen der Spannungswandler gegeneinander werden die Prüflinge mit einer Spannung erregt, die ein Mehrfaches der Nennspannung beträgt. Um eine übermäßig hohe Stromaufnahme zu vermeiden, muß die Frequenz gegenüber der Nennfrequenz erhöht werden. Für Spannungswandler bis zur höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_{\rm m}=$

24 kV (Reihe 20) sollte die Frequenz 300 Hz gewählt werden, da bei diesen Wandlern die Windungsprüfspannung bis zum 5 · $\sqrt{3}$ fachen der Nennspannung betragen kann. Bei Wandlern über $U_{\rm m}$ = 24 kV bis $U_{\rm m}$ = 72,5 kV (Reihe 60) ist die Windungsprüfspannung nicht mehr ein so hohes Vielfaches, so daß eine Frequenz von 150 Hz ausreicht. Da bei Wandlern mit zunehmender Höhe ihrer primären Nennspannung die Wicklungskapazität ansteigt, wird schließlich von 50 Hz ausgehend mit wachsender Frequenz der Punkt erreicht, bei dem der Magnetisierungsstrom des Kernes kompensiert wird. Bei noch höherer Frequenz überwiegen die Ladeströme, so daß ab $U_{\rm m}$ = 125 kV (Reihe 110) bei der Windungsprüfung die Frequenz auf geringste Stromaufnahme des Prüflings eingestellt werden sollte, falls nicht eine feste Frequenz vorgegeben ist.

Zur Erzeugung der benötigten Prüfspannungen dient ein Einphasen-Synchrongenerator, der durch einen Gleichstrommotor oder einen erforderlichenfalls polumschaltbaren Drehstrommotor angetrieben wird. Die Spannung wird durch Änderung des Erregerstromes eingestellt, Bei Spannungswandlern bis zu $U_{\rm m}=72.5~{\rm kV}$ kann bei der Windungsprüfung die Erzeugung der primären Prüfspannung von der Sekundärseite aus vorgenommen werden, indem die Sekundärklemmen unmittelbar mit dem Generator verbunden werden. Aus diesem Grunde sollte der Generator bei 300 Hz für eine Spannung von 550 V und bei 150 Hz für eine Spannung von 270 V ausgelegt werden. Die Windungsprüfspannung muß bei diesem Verfahren auf der Oberspannungsseite des Prüflings gemessen werden. Bei Wandlern für $U_{\rm m}>72.5~{\rm kV}$ übersteigt oft die Stromstärke des kapazitiven Ladestromes den für die Sekundärwicklung zulässigen Wert, so daß die Windungsprüfung nur durch Speisung der Hochspannungsseite unter Zwischenschaltung eines Hochspannungsprüftransformators vorgenommen werden kann.

Die Generatoren für die Windungsprüfung sollten mindestens folgende Leistungen haben:

Tabelle 3 Leistung der Frequenzumformer

U _m	Leistung	
k∨	kVA	
bis 24	10	
bis 72,5	15 bis 20	
bis 125	30 bis 50	
bis 420	150	

Sollte die Stromaufnahme des Hochspannungsprüftransformators die Nennstromstärke des Generators übersteigen oder sollte der Generator infolge der kapazitiven Belastung zur Selbsterregung neigen, so ist er mittels einer Drossel induktiv vorzubelasten.

4.2.4 Hochspannungsprüftransformator

Der Hochspannungsprüftransformator muß so ausgelegt sein, daß mit ihm die Isolierungsprüfungen — wenn nicht in besonderen Fällen auf diese verzichtet wird — und die Richtigkeitsprüfungen ausgeführt werden können. Bei der Wicklungsprüfung der Strom- und Spannungswandler muß der Prüftransformator zunächst die Ladeleistung der Prüflinge, deren Kapazität im Durchschnitt etwa 500 pF beträgt, sowie die der Meßeinrichtung und der Verbindungsleitungen decken. Bei kapazitiven Wandlern beträgt die Kapazität je nach Ausführungsart 2000 pF bis 20000 pF. Die Hochspannungsprüfanlagen werden also nur in seltenen Fällen mit nennenswerten Leistungen beansprucht. Andererseits muß die Leistung ausreichen, um im Falle eines Durchschlags oder Überschlags einen deutlichen Vorgang zu bewirken. Hierzu ist eine hinreichende Kurzschlußleistung der gesamten Prüfanlage erforderlich. Bei ihrer Auslegung darf man auch die verhältnismäßig hohen Eigenkapazitäten des Prüftransformators nicht unberücksichtigt lassen.

Trotz sinusförmiger Spannung der Spannungsquelle kann die Hochspannung Oberschwingungen enthalten infolge der Oberschwingungen im Magnetisierungsstrom des Prüftransformators. Diese treten aber im wesentlichen nur dann in Erscheinung, wenn ihre Frequenz in der Nähe der Resonanzfrequenz des Prüftransformators liegt, für die die Summe der Streuinduktivitäten des Prüftransformators und des Stelltransformators in Verbindung mit den Eigenund Belastungskapazitäten des Prüftransformators maßgebend ist. Diese Induktivitäten und Kapazitäten können in einem so ungünstigen Verhältnis stehen, daß bei einer Grundfrequenz von 50 Hz die Resonanzstelle der Oberschwingungen im Frequenzspektrum des Magnetisierungsstromes liegt. Durch konstruktive Ausbildung des Eisenkernes und durch Verwendung von Werkstoffen, deren Magnetisierungskennlinien im ausgenutzten Bereich so wenig wie möglich gekrümmt sind, kann erreicht werden, daß die Resonanzfrequenz des Prüftransformators im Leerlauf unter 150 Hz liegt.

Bei der Richtigkeitsprüfung entnimmt der mit seiner Oberspannungswicklung angeschlossene Prüfling außer dem Ladestrom für seine Wicklungskapazität dem Prüftransformator noch den Magnetisierungsstrom, der starke Oberschwingungen enthält. Deshalb muß die Leistung und damit der Innenwiderstand des Prüftransformators so bemessen sein, daß die an seiner Längsinduktivität durch die verzerrten Magnetisierungsströme hervorgerufenen Spannungsabfälle keine ins Gewicht fallenden Kurvenformverzerrungen bewirken.

Den Meßaufbau für die Prüfung eines Spannungswandlers mit $U_{\rm m}=24~{\rm kV}$ (Reihe 20) zeigt Bild 38 und mit $U_{\rm m}=250~{\rm kV}$ (Reihe 220) zeigt Bild 39.

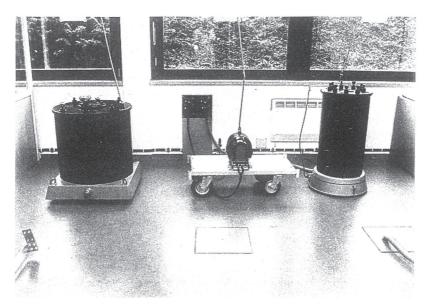
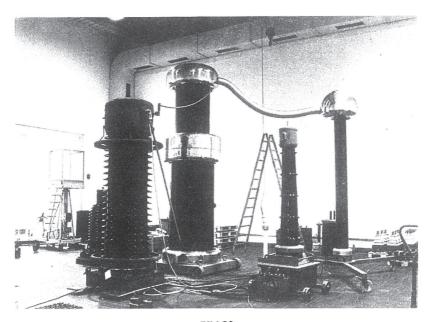


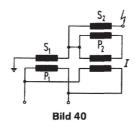
Bild 38

Meßaufbau für die Prüfung eines Spannungswandlers mit $U_{\rm m}$ = 24 kV (Reihe 20). In der Mitte der Prüfling, links der Hochspannungserzeuger, rechts der Normalspannungswandler.

Hochspannungsprüftransformatoren werden in den meisten Fällen mit einer Spannung beansprucht, die geringer ist als die Nennspannung. Dies bedeutet, daß im Verhältnis zu ihrer Spannung die induktiven Spannungsabfälle ansteigen. Im gleichen Maße wie die Betriebsspannung fällt auch der Kurzschlußstrom, die Kurzschlußleistung nimmt daher mit der zweiten Potenz ab. Zur Verringerung der Nachteile kann der Prüftransformator auf der Oberspannungsseite mit Anzapfungen oder mit einer Gruppenumschaltung im Verhältnis 1:2 versehen werden, da dann seine Kurzschlußspannung bezogen auf die Teilwerte der Nennspannung praktisch unverändert bleibt. Da in einer Prüfstelle meistens Spannungswandler mit verschiedenen Nennspannungen gemessen werden, sollten zur Erzielung einer geringen zusätzlichen Kurvenformverzerrung die Prüftransformatoren auf der Hochspannungsseite Anzapfungen entsprechend den Nennspannungen enthalten. Dies läßt sich technisch bei Spannungen bis zu 100 kV noch gut realisieren. Bei hohen Spannungen über 100 kV sind jedoch diese Maßnahmen wegen des großen Isolationsaufwandes unwirtschaftlich. Hier empfiehlt sich die Verwendung der Kaskadenschaltung, innerhalb derer an den Übergangsstellen Teilbeträge der Nennspannung ohne zusätzliche Maßnahmen zur Verfügung stehen. In den Bildern



40 und 41 sind zwei Möglichkeiten der Schaltung einer zweistufigen Kaskade dargestellt. Entweder wird die zweite Stufe der Kaskade über einen Isoliertransformator I gespeist, der meistens die Übersetzung 1:1 hat (Bild 40),



Zweistufige Kaskadenanordnung mit Isoliertransformator. P $_1$ Primärwicklung und S $_1$ Hochspannungswicklung der ersten Stufe P $_2$ Primärwicklung und S $_2$ Hochspannungswicklung der zweiten Stufe I Isoliertransformator

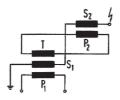


Bild 41

Zweistufige Kaskadenanordnung mit Dreiwicklungstransformator. Bezeichnungen wie in Bild 40.

T Übertragungswicklung

oder aus dem vorhergehenden Hochspannungstransformator (Bild 41), der dazu mit einer Tertiärwicklung versehen sein muß. In jedem Fall muß die zweite Stufe entsprechend ihrem Potential isoliert aufgestellt sein. Während bei der Schaltung mit Isoliertransformator jeder Transformator für die gleiche Leistung ausgelegt sein kann, muß bei der Schaltung nach Bild 41 der unterste Transformator die Leistung für den nachfolgenden mit aufbringen, das heißt, bei einer Aufteilung der Spannung im Verhältnis 1:2 muß er die doppelte Leistung haben. Den einen Teil der Leistung erhält die Oberspannungswicklung S_1 , während der andere Teil von der Übertragungswicklung T an die Primärwicklung T_2 geht.

Die Kurzschlußspannung der Kaskade mit Isoliertransformator ergibt sich als geometrische Summe der Teil-Kurzschlußspannungen jeder Stufe. Beträgt die Kurzschlußspannung des einzelnen Transformators z. B. 4 %, so ergibt sich bei 2 Stufen eine Kurzschlußspannung von 8 %. Bei 3 Stufen würde man 12 % erhalten. Greift man die Zwischenspannung an der ersten Kaskadenstufe ab, so erhält man ebenfalls eine Kurzschlußspannung von 4 % bzw. bei der zweiten Stufe eine von 8 %. Dagegen ergibt sich bei einer Kaskade aus Dreiwicklungstransformatoren gemäß Bild 41 an der zweiten Stufe eine Kurzschlußspannung von \approx 11 %, wenn die Einzelstufe eine von 4 % hat, und an der dritten Stufe eine von \approx 18 %.

Um die vorgenannten Forderungen zu erfüllen, sollten die Hochspannungsprüftransformatoren für folgende Mindest-Nennleistungen und maximale Kurzschlußspannungen ausgelegt sein (Tabelle 4).

Zur Prüfung von kapazitiven Spannungswandlern muß für den Prüftransformator je nach Kapazität des Prüflings eine Leistung bis zum Vierfachen des in Tabelle 4 angegebenen Betrages in Betracht gezogen werden. Um die vom Generator oder vom Netz aufzubringende Leistung zu verringern, ist es zweckmäßig, parallel zum Prüftransformator auf der Niederspannungsseite eine ein-

stellbare Drossel zu schalten, die einen Teil des kapazitiven Stromes kompensiert. Die Drossel besteht am besten aus einer Spule mit einem prismatischen Kern ohne Rückschluß, der mehr oder weniger in die Spule getaucht wird. Der Prüftransformator muß in diesem Falle selbstverständlich die volle Leistung aufbringen.

Eine Drossel auf der Hochspannungsseite einzuschalten, um damit auch die Transformatorleistung zu verringern, empfiehlt sich nicht, da eine derartige Drossel sehr teuer ist und auch ein die Messung störendes Streufeld verursacht, während die Abmessung und der Preis der Prüftransformatoren nur unwesentlich vom Rückgang der Leistung abhängen. Auf eine Kompensation der Ladeleistung durch Einfügen von Luftspalten in den Kern des Prüftransformators sei nur hingewiesen.

Tabelle 4
Leistung und maximale Kurzschlußspannung von
Hochspannungsprüftransformatoren

Spannung kV	Leistung kVA	Maximale Kurzschlußspannung %
15	3	6
25	5	6
50	10	8
100	15	8
150	25	10
250	60	10
500	150	15

4.2.5 Hochstromtransformator

Der Hochstromtransformator muß so bemessen sein, daß er die bei der Richtigkeitsprüfung benötigten Ströme bis zu 120 % und für Großbereichstromwandler bis zu 200 % der höchsten Nennstromstärken erzeugen kann. Die zulässige Übertemperatur darf hierbei nach einer Einschaltzeit von 1 Stunde und bei Nennstromstärken über 3 kA nach einer Einschaltzeit von 15 Minuten 60 K nicht überschreiten unter der Voraussetzung, daß die Raumtemperatur nicht mehr als 20 °C beträgt.

Da die Stromstärken der Stromwandler einen Bereich von 5 A bis 1000 A und darüber hinaus bis 3000 A, 5000 A oder sogar 10 000 A umfassen, muß der Stromerzeuger mit Anzapfungen versehen sein, damit jede Stromstärke auf die bei der Prüfung vorgeschriebenen Nennwerte eingestellt werden kann. Für die erforderliche Leistung bzw. die Spannung zur Erzeugung des Stromes ist bis zu einer Nennstromstärke von 100 A im wesentlichen der Spannungsabfall am Prüfling und insbesondere der am Normalstromwandler maßgebend. Bei Nennstromstärken über 1000 A überwiegt der induktive Spannungsabfall der Stromschleife, während die ohmschen Spannungsabfälle am Prüfling und Normalwandler zu vernachlässigen sind. In der Tabelle 5 sind die zur Erzeugung der Stromstärken erforderlichen Spannungen aufgeführt. Da in manchen Fällen und je nach Größe der Stromschleife die zur Verfügung stehende Spannung nicht benötigt wird, sollte die Primärwicklung aus zwei Wicklungsteilen aufgebaut sein, die parallel und in Reihe geschaltet werden können, wodurch eine bessere Einstellbarkeit der Prüfpunkte erzielt wird.

Um bei höheren Strömen mit einem Stelltransformator geringerer Leistung auszukommen, kann parallel zu den Primärklemmen des Hochstromtransformators ein Kondensator geschaltet werden, der den durch die Schleife hervorgerufenen induktiven Strom kompensiert.

Sollte bei kleinen Strömen die Kurvenform des Stromes die zulässige Abweichung überschreiten, kann zwischen Stelltransformator und Hochstromtransformator eine Drossel eingeschaltet werden. Bei höheren Strömen reicht die Induktivität der Schleife aus, um eine gute Kurvenform zu erzwingen.

Tabelle 5 Leistung der Stromerzeuger zur Prüfung von Stromwandlern

Stromstärke	Spannung
A	V
15	30 - 50
50	10 - 20
100	10
500	5 - 8
1 200	5
3 000	5
6 000	5 - 6
10 000	7 - 10

Zum Anschließen der Prüflinge und des Normalstromwandlers an den Hochstromtransformator wird zweckmäßigerweise eine bifilare Schienenanordnung gewählt, an deren Ende der Normalstromwandler angeschlossen wird. Eine der Schienen wird in der Mitte unterbrochen und an der Trennstelle durch Klemm- und Paßstücke der Prüfling eingeschleift. Bei höheren Stromstärken ab etwa 600 A kann der Rückleiter den Wandler beeinflussen, so daß sich ie nach der Lage des Rückleiters zum Kern ein anderer Fehler einstellt. Deshalb ist hier ein besonders sorgfältiger Aufbau zu wählen. Ist auf dem Wandler eine bestimmte Entfernung für die Lage des Rückleiters vorgeschrieben, so ist dies beim Aufbau der Meßanordnung zu berücksichtigen. Wird kein bestimmter Abstand verlangt und ein Einfluß des Rückleiters festgestellt, so ist dieser in einem Abstand vorbeizuführen, der den in Tabelle 2a Seite 70 angegebenen Mindestabständen in Luft entspricht. Da die Schienen für hohe Ströme sich nicht ohne Schwierigkeiten anpassen lassen, ist es zweckmäßig, für Durchführungswandler oder für Wandler ohne Primärleiter mit Nennstromstärken ab 3000 A eine Schienenanordnung zu wählen, bei der drei Schienen nebeneinander liegen. In der mittleren Schiene wird der Durchführungswandler eingebaut oder der Wandler ohne Primärleiter wird auf diese aufgeschoben. Die hierzu symmetrisch in einem Abstand von 500 mm bis 600 mm liegenden beiden anderen Schienen bilden den Rückleiter, führen nur den halben Strom und haben jeweils nur den halben Querschnitt. Der Normalwandler liegt wieder am Ende der mittleren Schiene.

Bei der Fehlerbestimmung der Wandler muß eine Klemme des Hochstromtransformators auf der Hochstromseite geerdet werden. Zur Frage der Erdung ist das in 2.2.2.1 Gesagte zu beachten.

4.2.6 Einstellung der Prüfpunkte

Nach Tabelle 1 Nr. 3.4.2 beträgt die Stromstärke zur Prüfung von Stromwandlern 1 % bis 200 % der Nennstromstärke. Die Nennstromstärke und die Nennspannung der einzelnen Strombereiche des Prüftransformators sollen so bemessen sein, daß in Zusammenschaltung mit dem in 4.2.1 angegebenen Stelltransformator die Stromstärke der einzelnen Prüfpunkte auf ± 0,2 % der Nennstromstärke des zu messenden Stromwandlers eingestellt werden kann. Die Meßbereiche des Strommessers, der zum Einstellen der bei den einzelnen Prüfpunkten vorgeschriebenen Stromstärken verwendet wird, sollen so bemessen sein, daß der Anzeigefehler bei 20 %, 5 % und 1 % der Nennstromstärke nicht größer als 0,2 % der Nennstromstärke ist.

Hier sei auf die Prüfpunktmeßgeräte hingewiesen, bei denen außerdem der innere Widerstand bei Umschaltung des Meßbereiches nicht geändert wird.

Die Spannungswandler werden bei 120 %, 100 % und 80 % der Nennspannung gemessen. Die Nennspannung der einzelnen Spannungsbereiche des Prüftransformators soll so bemessen sein, daß in Zusammenschaltung mit dem in Nr. 4.2.1 angegebenen Stelltransformator oder mit einem Generator die Spannung der einzelnen Prüfpunkte auf \pm 0,2 % der Nennspannung des zu messenden Spannungswandlers eingestellt werden kann.

5 Anforderung an die Prüfmittel

5.1 Wandlermeßeinrichtung für die Richtigkeitsprüfung

Zur Bestimmung der Fehler von Strom- und Spannungswandlern werden im allgemeinen die gleichen Abgleichelemente verwendet. Daher sind die Strom- und Spannungswandlermeßeinrichtungen (Bild 42) meistens in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht. Die Stromwandlermeßeinrichtungen müssen für den Arbeitsbereich zwischen 1% und 200 % der sekundären Nennstrom-

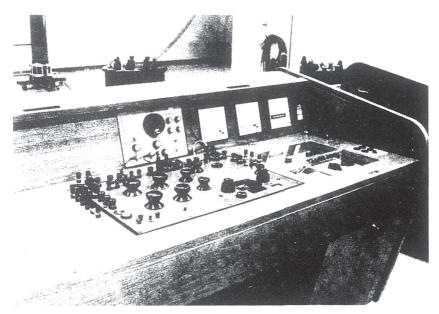


Bild 42

Meßtisch mit Wandlermeßeinrichtung, Oszillographischem Nullindikator und Instrumenten zum Einstellen der Spannungen und Ströme. stärke 5 A und zwischen 5 % und 200 % der sekundären Nennstromstärke 1 A ausgelegt sein. Die Spannungswandlermeßeinrichtungen müssen für den Arbeitsbereich zwischen 80 % und 120 % der sekundären Nennspannungen von $100/\sqrt{3}$ V bis $200/\sqrt{3}$ V ausgelegt sein. Die Einrichtungen müssen die Messungen bei der Frequenz 50 Hz und gegebenenfalls bei 16 2/3 Hz gestatten.

Die Einrichtungen müssen die Stromfehler F_i und Spannungsfehler F_u in Prozent und die Fehlwinkel δ_i und δ_u in Minuten und eventuell mrad unmittelbar — oder bei Erweiterung des Fehlermeßbereichs mit einem Ablesefaktor versehen — anzeigen. Werden die Fehler an einer Skala abgelesen, muß eine parallaxenfreie Ablesung gewährleistet sein. Der Skalenwert je Skalenteil soll für den Strom- und Spannungsfehler nicht größer sein als 0,01 %, wenn der Teilstrichabstand der Skala etwa 1 mm beträgt, der Skalenendwert nicht größer als \pm 2 %. Der Skalenwert je Skalenteil für die Fehlwinkel soll nicht größer sein als 1 Minute bei einem Teilstrichabstand von etwa 2 mm. Die für die Fehlwinkelskalen üblichen Endwerte liegen bei —40' und +120' für direkte Ablesung. Bei einer digitalen Anzeige muß eine Ablesung auf 0,01 % und 0,1' möglich sein.

Alle heute gebräuchlichen Wandlermeßeinrichtungen enthalten einen Meßteil für die Bestimmung der Strom- und Spannungsfehler mit einer Meßspannung (Kompensationsspannung), die in Phase mit dem Sekundärstrom oder der Sekundärspannung der zu messenden Wandler ist (F %-Meßteil), sowie einen Meßteil für die Fehlwinkelbestimmung mit einer Meßspannung, die um 90° gegenüber dem Sekundärstrom oder der Sekundärspannung phasenverschoben ist (90°-Meßteil).

Wird zur Erzeugung der um 90° verschobenen Spannung eine eisenlose Gegeninduktivität verwendet, so muß diese gegen elektromagnetische Fremdfelder geschirmt sein. Dies gilt auch für andere fremdfeldabhängige Meßteile.

Die Meßeinrichtungen müssen mit einer Erdungsklemme für den Anschluß der Meßerde versehen sein. Ob vorhandene Abschirmungen zu erden oder auf Potential zu legen sind, muß das Experiment entscheiden.

Folgende Abweichungen der von der Wandlermeßeinrichtung angezeigten Strom- und Spannungsfehler und Fehlwinkel vom Sollwert dürfen in den für die Messung von eichfähigen Wandlern vorgesehenen Meßbereichen nicht überschritten werden:

für den Strom- und Spannungsfehler 0,02 % für den Fehlwinkel 1,0'.

Wird der komplexe Kompensator der Wandlermeßeinrichtung durch definierte Ströme oder Spannungen solcher Höhe gespeist, daß die Ablesung

des von den Abgleichelementen angezeigten Fehlers oder Fehlwinkels im Endbereich liegt, so müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:

Beim Speisen des Abgleichteiles für die Wirkkomponente darf die Ablesung auf der Fehlerskala nicht mehr als 0,015 % und auf der Fehlwinkelskala nicht mehr als 0,3' von den berechneten Sollwerten abweichen.

Analog gilt beim Speisen des Abgleichteiles für die Blindkomponente eine maximale Abweichung für die Ablesung auf der Fehlwinkelskala von 1,0' und auf der Fehlerskala von 0,010 %.

Diese zulässigen Abweichungen gelten jeweils über die ganze Skala:

bei der Stromwandlermeßschaltung bei

 I_N = 5 A zwischen 1 % und 200 % von I_N und bei I_N = 1 A zwischen 5 % und 200 % von I_N ,

bei der Spannungswandlermeßschaltung bei Spannungen zwischen 80 % und 120 % der für die Einrichtung vorgesehenen Nennspannungen.

Werden bei der Einrichtung zum Ermitteln der Fehler Schleifdrähte mit Ableseskalen verwendet, so sind die folgenden Nullpunktabweichungen der Wandlermeßeinrichtung zulässig:

Skala für den Strom- und Spannungsfehler

 $F = \pm 0.01 \%$

Skala für den Fehlwinkel

 $\delta = \pm 0.3'$.

Die gemessenen Werte müssen reproduzierbar sein.

Die Messung der Nullpunktabweichungen ist nach der Gebrauchsanweisung des Herstellers der Wandlermeßeinrichtung auszuführen. Siehe auch 2.2 Meßverfahren für die Richtigkeitsprüfung.

Wird die Wandlermeßeinrichtung mit einem Spannungsteiler versehen zur Bestimmung der Fehler von Wandlern, deren Nennwerte sich von denen des Normalwandlers unterscheiden, so darf das Teilungsverhältnis der Widerstandsteiler im ungünstigsten Fall nicht mehr als 0,02 % vom Sollwert abweichen. Der Gesamtfehler der Einrichtung einschließlich des Fehlers etwa vorhandener Zwischenwandler darf im ungünstigsten Fall folgende Werte nicht überschreiten:

für den Strom- und Spannungsfehler 0,04 % für den Fehlwinkel 1,5'.

Als ungünstigster Fall wird das Verhältnis 1:2 zwischen den Nennwerten von Prüfling und Normalwandler angesehen. Größere Abweichungen zwischen den Nennwerten sind bei der Prüfung nicht zugelassen (siehe 2,2,1,2).

Bei einer Raumtemperatur von (20 ± 10)°C dürfen die maximal zulässigen Fehler der Einrichtung auch nach einer Einschaltdauer von 30 Minuten bei Belastung mit der höchsten zulässigen Stromstärke und der höchsten zulässigen Spannung nicht überschritten werden.

Die maximal zulässigen Abweichungen der von der Wandlermeßeinrichtung angezeigten Strom- und Spannungsfehler und Fehlwinkel vom Sollwert dürfen auch bei den zulässigen Abweichungen der Kurvenform der Prüfspannungen oder -ströme von einer Sinusschwingung entsprechend Abschnitt 4.2 nicht überschritten werden. Bei Wandlermeßeinrichtungen nach dem Differenzverfahren dürfen die Abweichungen der angezeigten Fehler und Fehlwinkel vom Sollwert auch dann nicht überschritten werden, wenn der Differenzstrom bzw. die Differenzspannung Oberschwingungen enthält, deren Effektivwert das 1,5 fache desjenigen Effektivwertes der Grundschwingung beträgt, der zu einer Anzeige des Endwertes des eingestellten Fehler-Meßbereiches führt. Die Empfindlichkeit des Nullinstrumentes muß so groß sein, daß bei 5 % der kleinsten sekundären Nennstromstärke eines zu prüfenden Stromwandlers oder bei 1 % der sekundären Nennstromstärke 5 A ein deutlich erkennbarer Ausschlag auftritt, wenn die Meßeinrichtung um $\Delta F_i = 0,01$ % und $\Delta \delta_i = 0,3'$ verstimmt wird.

Wird zur Ermittlung des Fehlers eines Hochspannungswandlers ein kapazitiver Spannungsteiler verwendet, so darf dessen Teilerverhältnis um nicht mehr als 0,05 % vom Sollwert abweichen. Der Fehlwinkel zwischen Ober- und Unterspannung des Teilers darf nicht größer als 3' sein. Diese Festsetzungen gelten bei einer Raumtemperatur von 20°C.

Die Temperaturabhängigkeit des kapazitiven Teilers im Temperaturbereich 15°C bis 25°C darf je 1 Kelvin nicht mehr als

0,003 % für das Teilerverhältnis und 0.1' für den Fehlwinkel

betragen.

Der Gesamtfehler der Wandlermeßeinrichtung in Verbindung mit dem kapazitiven Teiler darf in allen Spannungsbereichen und in den für eichfähige Wandler vorgesehenen Fehlermeßbereichen im Spannungsfehler 0,06 % und im Fehlwinkel 4' nicht überschreiten. Die tatsächlichen Fehler müssen bei der Prüfung von Spannungswandlern als Korrektur berücksichtigt werden. Das Leistungsschild bzw. die Aufschrift einer Wandlermeßeinrichtung muß folgende Angaben enthalten:

- a) Name, Firma oder Fabrikmarke des Herstellers,
- b) eine Fabriknummer mit Angabe des Baujahres (für das Baujahr genügen die letzten beiden Ziffern der Jahreszahl),
- c) primäre und sekundäre Nennwerte der Stromstärken oder der Spannungen,
- d) Nennfrequenz.

Den Wandlermeßeinrichtungen, welche in ihrer Bauart erstmalig der PTB zur Prüfung vorgelegt werden, müssen neben einem detaillierten Schaltungsplan und einem Verdrahtungsplan ausführliche Bau- und Funktionsbeschreibungen beigefügt werden.

5.2 Normalwandler

Die Fehler der zu messenden Wandler werden im allgemeinen durch direkten Vergleich mit dem Normalwandler (Bilder 43, 44 u. 45) bestimmt, da die Meßeinrichtungen für den Fall, daß Normalwandler und Prüfling die gleichen Nennwerte haben, den kleinsten Fehler aufweisen.

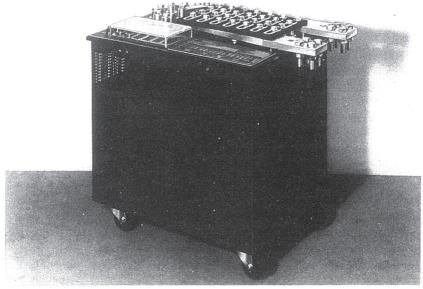


Bild 43

Normalstromwandler, Primäre Nennstromstärken von 5 A bis 3000 A Erweiterter Bereich bis 200 % der Nennstromstärke.

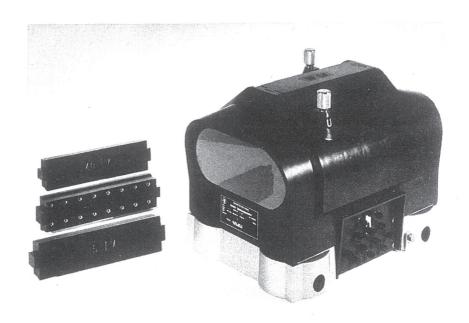


Bild 44Normalspannungswandler,
Primäre Nennspannungen von 3 kV bis 30 kV oder von 5 kV bis 40 kV.

Es ist daher zweckmäßig, die Normalwandler für praktisch alle vorkommenden Nennübersetzungen auszulegen. Nur für spezielle Nennübersetzungen sollte der in einigen Wandlermeßeinrichtungen eingebaute Teiler zur Anpassung der Nennübersetzung des Normalwandlers an den Prüfling benutzt werden.

Ferner muß der Normalwandler für den gesamten Arbeitsbereich bemessen sein, der festgelegt ist durch die Angabe des prozentualen Vielfachen der Nennstromstärke und der Nennspannung der zu messenden Wandler in den Fehlertabellen der Eichordnung (Anhang 1 Nr. 9.2.2 und Nr. 9.3.2). Danach ist der Arbeitsbereich für Normalstromwandler

1 % bis 120 % (200 %) für die sekundäre Nennstromstärke 5 A, 5 % bis 120 % (200 %) für die sekundäre Nennstromstärke 1 A. Die Klammerwerte gelten für die Prüfung von Großbereichstromwandlern. Der Arbeitsbereich für den Normalspannungswandler ist im allgemeinen

 $80/\sqrt{3}$ % bis 120 % der Nennspannung für zweipolig isolierte und 80% bis 120 % der Nennspannung für einpolig isolierte Normalspannungswandler.

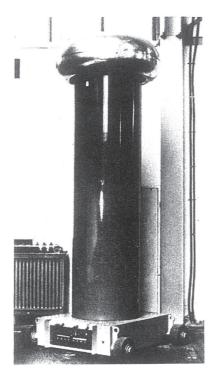


Bild 45

Normalspannungswandler,

Primäre Nennspannungen von 120/√3 kV bis 400/√3 kV.

Zweipolig isolierte Normalspannungswandler sind für den großen Arbeitsbereich ausgelegt, um auch einpolig isolierte Wandler messen zu können, deren Nennspannung die verkettete Spannung geteilt durch $\sqrt{3}$ ist; daher sind ihre Fehler auch bei $80/\sqrt{3}$ %, $100/\sqrt{3}$ % und $120/\sqrt{3}$ % der Nennspannung zu bestimmen.

Die Fehlergrenzen für Normalwandler sind in der nachfolgenden Tabelle 6 aufgeführt.

Bei Verwendung von Wandlermeßeinrichtungen nach dem Kompensationsverfahren ist bei den Prüfungen darauf zu achten, daß die Meßpunkte der zu prüfenden Wandler innerhalb des Interpolationsbereichs des Normalwandlers liegen.

Tabelle 6
Fehlergrenzen für Normalwandler

	Strom- bzw. Spannungsfehler %	Fehlwinkel Minuten
Fehlergrenzen im Arbeitsbereich bei Belastung mit der Betriebsbürde	±0,02	±1,0
Fehlergang innerhalb des Arbeitsbereiches	60,03	2,0
Fehleränderung bei zusätzlicher Belastung mit 5,0 VA; cosβ = 1	0,02	1,0
Fehleränderung bei Änderung des Wandlerstandortes oder der Anschlußleitungen und auch des Primärleiters von Durchsteckstromwandlern	0,005	0,2
Fehleränderung bei Abweichung von der Nennfrequenz um 2 %	0,005	0,2
Fehleränderung nach einer Einschaltzeit von 1 Stunde (bei Stromwandlern mit einer Nennstromstärke über 3 kA nach einer Einschaltzeit von 1/4 Stunde) beim höchsten Prüfpunkt bei Be- lastung mit Betriebsbürde*)	0,005	0,2

^{*)} Die zulässige Übertemperatur der Normalstromwandler darf hierbei 60 K und der Normalspannungswandler 45 K an keiner Stelle überschreiten unter der Voraussetzung, daß die Raumtemperatur nicht über 20° C liegt.

Für die nach der Eichanweisung "Besondere Vorschriften XV", Meßgeräte für Elektrizität, Entwurf vom 1.9. 1950 (EA XV, Entwurf) früher beglaubigten Normalwandler gelten bei Wiederholungsprüfungen bis zum 31. Dezember 1995 die doppelten Fehlergrenzen.

Normalwandler müssen folgende Isolierungsprüfungen mit praktisch sinusförmiger Prüfspannung bei Nennfrequenzen während 1 min aushalten. Die angegebenen Spannungen sind Effektivwerte.

Tabelle 7
Prüfspannungen für Normalwandler

Art der Isolierungs- prüfungen	Normalstrom- wandler	Normalspannungs- wandler
Primärwicklung gegen die Sekundärwicklung und das Gehäuse	2 kV	1,5fache der höchststen primären Nennspannung bei zweipolig isolierten, 2 kV bei einpolig isolierten Wandlern
Sekundärwicklungen, Tertiärwicklungen und zur Umschaltung der Meßbereiche dienende Teilwicklungen gegen- einander und gegen das Gehäuse	2 kV	2 kV
Windungsprüfung		1,5fache der höchsten pri- mären Nennspannung

Für Normalwandler, die nach den Bestimmungen der EA XV, Entwurf hergestellt wurden, gelten die auf dem Leistungsschild angegebenen Prüfspannungen. Schirmwicklungen sind bei den Prüfungen mit dem Gehäuse zu verbinden.

Wiederholungsprüfungen werden mit 80 % der angegebenen Spannungen vorgenommen.

Die Betriebsbürde für den Normalstromwandler setzt sich zusammen aus:

- a) dem Eingangswiderstand der Wandlermeßeinrichtung,
- b) dem Widerstand des gegebenenfalls eingeschalteten Strommessers, dessen Widerstandsänderungen durch Meßbereichumschaltungen zu berücksichtigen sind,
- c) dem Widerstand der Zuleitungen zwischen der Sekundärwicklung des Normalwandlers und der Wandlermeßeinrichtung und
- d) dem Widerstand von etwaigen sonstigen Zusatzeinrichtungen.

Die Betriebsbürde für den Normalspannungswandler setzt sich zusammen aus den Leitwerten von:

- a) dem Eingangswiderstand der Wandlermeßeinrichtung,
- b) dem Widerstand des gegebenenfalls angeschlossenen Spannungsmessers, dessen Widerstandsänderungen durch Meßbereichsumschaltungen zu berücksichtigen sind, und
- c) dem Widerstand von etwaigen sonstigen Zusatzeinrichtungen.

Der Widerstand der Verbindungsleitungen zwischen Normalspannungswandler und Wandlermeßeinrichtung muß so klein sein, daß die Spannung an den Sekundärklemmen des Normalspannungswandlers um nicht mehr als 0,003 % von der Spannung an den Klemmen der Meßeinrichtung abweicht. Gegebenenfalls sind Spannungsmesser und etwaige Zusatzeinrichtungen über eine gesonderte Leitung an den Normalspannungswandler anzuschließen.

Das Leistungsschild eines Normalwandlers muß folgende Angaben enthalten:

- a) Name, Firma oder Fabrikmarke des Herstellers,
- b) Bauartbezeichnung des Herstellers,
- c) eine Fabriknummer mit Angabe des Baujahres (für das Baujahr genügen die letzten beiden Ziffern der Jahreszahl),
- d) primäre und sekundäre Nennwerte der Stromstärken oder der Spannungen,
- e) Betriebsbelastung in VA oder Ω und den Bürdenleistungsfaktor,
- f) Fehlergrenzen und den Arbeitsbereich,
- g) Nennfrequenz und
- h) Prüfspannung.

Bei Wandlern mit mehreren Meßbereichen müssen sämtliche Nennwerte an den Anschlußklemmen eindeutig kenntlich gemacht werden.

Das Gehäuse des Wandlers muß gegen Öffnen und das Leistungsschild gegen Abnahme zu sichern sein

5.3 Normbürden

5.3.1 Normbürden für Stromwandlermessungen (Stromwandlernormbürden)

Nach Nr. 3.4.1 der E0 Anlage 20 Abschnitt 2 sind für Stromwandler folgende Nennleistungen zugelassen:

1 VA; 1,5 VA; 2 VA; 2,5 VA; 5 VA; 10 VA; 15 VA; 30 VA

für die sekundären Nennstromstärken 1 A und 5 A, für die Nennfrequenz 50 Hz und für Bahnanlagen für die Nennfrequenz 16 2/3 Hz. Hieraus ergeben sich folgende Bürdenstufen, für die die Stromwandlernormbürde ausgelegt sein muß:

1 VA; 1,25 VA; 1,5 VA; 2 VA; 2,5 VA; 3,75 VA bei einem Bürdenleistungsfaktor $\cos\beta = 1$ und

5 VA; 7,5 VA; 10 VA; 15 VA; 30 VA

bei einem Bürdenleistungsfaktor $\cos\beta = 0.8$ induktiv.

Bei vielen vorhandenen Stromwandlernormbürden ist die Bürdenstufe 3,75 VA jedoch mit dem Bürdenleistungsfaktor $\cos \beta = 0.8$ ausgelegt. Mit dieser Bürdenstufe kann die Richtigkeitsprüfung auch weiterhin vorgenommen werden, da es eine Bedingung der Zulassungsprüfung ist, daß die Wandler die Fehlergrenzen in dieser Bürdenstufe bei Leistungsfaktoren $\cos \beta = 0.8$ und $\cos \beta = 1$ einhalten müssen.

Tabelle 8
Wirk- und Blindwiderstandswerte der Stromwandlernormbürden

Bürde VA	Nennstron Wirk widerstand	nstärke 5A Blind- widerstand	Nennstrom Wirk- widerstand	stärke 1A Blind- widerstand
	Ω	Ω	Ω	Ω
1 1,25 1,5 2 2,5 3,75 5	0,04 0,05 0,06 0,08 0,10 0,15 0,16	- - - - - - - 0,12	1 1,25 1,5 2 2,5 3,75 4	- - - - - 3
7,5 10 15 30	0,24 0,32 0,48 0,96	0,18 0,24 0,36 0,72	6 8 12 24	4,5 6 9 18

Werden Schalter zur Umschaltung der Bürdenstufen verwendet, so müssen diese nichtunterbrechend oder kurzschließend schalten. Änderungen des Übergangswiderstandes der Schalter dürfen nicht größer als 1,5 % des Wirkwiderstandes der kleinsten Bürdenstufe sein. Für die Bürdenstufen < 2,5 VA sind konische Steckverbindungen oder feste Anschlußklemmen vorzuziehen.

Bei den Stromwandlernormbürden müssen der Innenwiderstand der Wandlermeßeinrichtung, der dem Prüfungsschein der PTB zu entnehmen ist, und der Widerstand der Verbindungsleitungen zwischen dem zu prüfenden Wandler, der Wandlermeßeinrichtung und der Stromwandlernormbürde berücksichtigt werden. Die Stromwandlernormbürde muß daher folgenden Vermerk tragen:

"Richtig bei einem äußeren Widerstand von $\dots \Omega$ " oder "Zu Wandlermeßeinrichtung Form \dots "Innenwiderstand $\dots \Omega$ und äußere Zuleitungen mit einem Widerstand von $\dots \Omega$ "

Die Wirk- und Blindwiderstände der Stromwandlernormbürden sollen um nicht mehr als 3 % von den Sollwerten abweichen. Für Stromwandlernormbürden soll der Arbeitsbereich zwischen 1 % und 200 % der Nennstromstärke 5 A und 5 % bis 200 % der Nennstromstärke 1 A liegen. Stromwandlernormbürden, die nach der EA XV, Entwurf hergestellt wurden, haben vielfach nur einen Arbeitsbereich zwischen 5 % und 120 % der Nennstromstärke. Mit diesen können weder die Spezialwandler mit den Klassen 0,2Z und 0,5Z noch die Großbereichstromwandler mit den Klassen 0,1G, 0,2G und 0,5G geprüft werden.

Nach der EA XV, Entwurf durfte bei Stromwandlernormbürden der Blindwiderstand um 5 % seines Sollwertes abweichen, wenn der Wirkwiderstand nur 1 % von seinem Sollwert abweicht. Bürden, die nach diesen Bestimmungen hergestellt wurden, können auch weiterhin verwendet werden.

5.3.2 Normbürden für Spannungswandlermessungen (Spannungswandlernormbürden)

Nach Nr. 3.4.3 der E0 Anlage 20 Abschnitt 2 sind für Spannungswandler folgende Nennleistungen zugelassen:

10 VA; 15 VA; 20 VA; 25 VA; 30 VA; 45 VA; 50 VA; 60 VA; 75 VA; 90 VA; 100 VA; 120 VA; 150 VA; 200 VA; 300 VA.

Die Spannungswandlernormbürden können für folgende Nennspannungen bei einer Frequenz von 50 Hz ausgelegt sein:

 $100/\sqrt{3} \text{ V}$; $110/\sqrt{3} \text{ V}$; 100 V; 110 V; $200/\sqrt{3} \text{ V}$; $220/\sqrt{3} \text{ V}$; $400/\sqrt{3} \text{ V}$.

Für Bahnanlagen bei einer Frequenz von 16 2/3 Hz sind für die Bürden die Nennspannungen:

100/2 V und 2 x 100/2 V

zugelassen.

Mit nachfolgend aufgeführten Stufen lassen sich durch Parallelschaltung alle notwendigen Spannungswandlernormbürden herstellen:

1,25 VA; 1,25 VA; 2,5 VA; 5 VA; 10 VA; 25 VA; 30 VA; 50 VA; 100 VA; 200 VA

bei einem Bürdenleistungsfaktor $\cos\beta = 0.8$ induktiv.

Tabelle 9
Leitwerte von Spannungswandlernormbürden in 10⁻⁵ S

Bürde in VA, cosβ = 0.8 in-	100/√3 V 110/√3 V				N 100	٠,	annun 110		200/	√3 V	400/	√3 V
duktiv	G	В	G	В	G	В	G	В	G	В	G	В
1,25 2,5 5 10 25 30 50 100 200	30,0 60,0 120 240 600 720 1200 2400 4800	22,5 45,0 90,0 180 450 540 900 1800 3600	24,8 49,5 99 198 495 594 990 1980 3960	18,6 37,2 74,4 149 372 447 744 1488 2976	10,0 20,0 40,0 80,0 200 240 400 800 1600	7,50 15,0 30,0 60,0 150 180 300 600 1200	8,26 16,5 33,1 66,1 165,3 198,3 331 661 1322	6,20 12,4 24,8 49,6 124 148,8 248 496 992	7,50 15,0 30,0 60,0 150 180 300 600 1200	5,63 11,3 22,5 45,0 112,5 135 225 450 900	1,88 3,75 7,50 15,0 37,5 45,0 75,0 150 300	1,41 2,81 5,63 11,3 28,1 33,8 56,3 112,5 225

Schalter bei Spannungswandlernormbürden sollten zur Gewährleistung einer sicheren Verbindung mit selbstreinigenden Kontakten ausgestattet sein.

Die Wirk- und Blindleitwerte der Normbürden für Spannungswandlermessungen — bezogen auf eine Parallelersatzschaltung — sollen zwischen 80 % und 120 % der Nennspannung um nicht mehr als 3 % von den Sollwerten abweichen.

Bei Spannungswandlermessungen müssen die Bürde und die Wandlermeßeinrichtung durch getrennte Zuleitungen an die Klemmen des Prüflings angeschlossen werden.

5.3.3 Gemeinsame Bedingungen für Strom- und Spannungswandlernormbürden

Normbürden sollen für Dauerbetrieb, jedoch mindestens für eine Einschaltdauer von 1 Stunde ausgelegt sein. Bei Stromwandlemormbürden dürfen nach einstündigem Einschalten mit 200 % der Nennstromstärke, bei älteren Normbürden, die maximal nur für 120 % der Nennstromstärke ausgelegt sind, mit dieser Stromstärke die angegebenen Fehlergrenzen nicht überschritten werden. Bei Spannungswandlernormbürden gilt dies für 120 % der Nennspannung.

Die spannungsführenden Teile der Strom- und Spannungswandlernormbürden müssen eine Prüfspannung von 2 kV (Effektivwert) gegen das Gehäuse eine Minute lang aushalten; Wiederholungsprüfungen sind mit 80 % dieser Spannung vorzunehmen.

Das Leistungsschild bzw. die Aufschrift einer Normbürde muß folgende Angaben enthalten:

- a) Name, Firma oder Fabrikmarke des Herstellers,
- b) Bauartbezeichnung des Herstellers,
- c) eine Fabriknummer mit Angabe des Baujahres (für das Baujahr genügen die letzten beiden Ziffern der Jahreszahl).
- d) die Nennbürdenstufen.
- e) den Bürdenleistungsfaktor,
- f) Nennfrequenz und
- g) Prüfspannung.

5.4 Bürdenmeßgeräte

Die meisten Wandlermeßeinrichtungen sind auch für die Bürdenmessung eingerichtet. Jedoch ist ein Bürdenmeßgerät bei der Richtigkeitsprüfung unmittelbar für die Prüfung nicht vorgeschrieben, da die Wandler bei der Richtigkeitsprüfung mit Normbürden belastet werden. Für die Überwachung der Betriebsbürde ist dagegen ein Bürdenmeßgerät zweckmäßig, da Nr. 9.5 Anlage 20 Abschnitt 2 der EO vorschreibt, daß die Verkehrsfehlergrenzen bei der durch die angeschlossenen Geräte hervorgerufenen Belastung eingehalten werden müssen.

Die Meßunsicherheit eines Bürdenmeßgerätes darf 1 % vom Endwert des jeweiligen Bürdenmeßbereiches nicht überschreiten. Die Meßunsicherheit gilt bei der Messung von Stromwandlerbürden für die Wirk- und Blindwiderstände bezogen auf eine Reihenersatzschaltung und bei der Messung von Spannungswandlerbürden für die Wirk- und Blindleitwerte bezogen auf eine Parallelersatzschaltung.

Die Fehler von etwa in dem Meßgerät eingebauten Wandlern müssen bei der durch das Meßgerät gegebenen Betriebsbürde innerhalb der für Wandler der Klasse 0,1 geltenden Fehlergrenzwerte liegen.

Die Anforderungen für das Bürdenmeßgerät gelten bei Stromstärken zwischen 1 % und 200 % der Nennstromstärke bzw. bei Spannungen zwischen 80 % und 120 % der Nennspannungen.

5.5 Meßgeräte zur Messung von Strom, Spannung und Frequenz bei der Richtigkeitsprüfung

Die Anzeigefehler der Meßgeräte, die zum Einstellen der bei den einzelnen Prüfpunkten vorgeschriebenen Stromstärken und Spannungen verwendet werden, dürfen die Grenzen der Klasse 0,5 der Regeln für Meßgeräte (VDE 0410/3.68) nicht überschreiten. Durch Zusatzgeräte zur Meßbereichserweiterung darf der Fehler um nicht mehr als 0,1 % des Meßwertes vergrößert werden. Die Meßgeräte müssen den Effektivwert der Stromstärken oder Spannungen messen und ihre Anzeige muß von Fremdfeldern praktisch unabhängig sein.

Die Anzeigefehler der Meßgeräte, die zur Kontrolle der Frequenz verwendet werden, dürfen die Grenzen der Klasse 1 der Regeln für Meßgeräte nicht überschreiten. Wird jedoch eine Spannungsquelle verwendet, deren Frequenzschwankungen nicht mehr als 1 % betragen, kann der Frequenzmesser entfallen. Dagegen muß bei der Richtigkeitsprüfung von kapazitiven Spannungswandlern stets zur Kontrolle der Frequenz ein Frequenzmeßgerät verwendet werden; sein Anzeigefehler darf die Grenzen der Klasse 0,1 nicht überschreiten.

5.6 Meßgeräte zum Prüfen der Isolierung

5.6.1 Scheitelspannungs-Meßeinrichtungen für Hochspannung

Wird eine Isolierungsprüfung durchgeführt, so müssen die hierzu verwendeten Scheitelspannungs-Meßeinrichtungen den Bestimmungen für Scheitelspannungs-Meßeinrichtungen für hohe Wechselspannungen VDE 0433 Teil 6/5.63 genügen. Danach muß die Meßeinrichtung so ausgelegt sein, daß der Gesamt-

fehler in jedem Meßbereich und in dem vorgesehenen Frequenzbereich beim Endausschlag 2 % nicht übersteigt. Bei Teilausschlägen darf der Fehler nicht größer als 3 % des Meßwertes sein.

Das Verhältnis jedes Meßbereichs zu dem nächst kleineren soll den Wert 2,5 nicht überschreiten. Die Meßbereichumschalter müssen unterbrechungslos schalten

Die eingemessenen Verbindungsleitungen zwischen dem Grundgerät und dem Hochspannungs-Meßkondensator müssen eindeutig gekennzeichnet sein. Für die Isolierungsprüfung der Hochspannungs-Meßkondensatoren gilt die auf dem Leistungsschild angegebene Prüfwechselspannung und Nennfrequenz.

Für Anzeigegeräte mit elektronischem Zubehör gelten die in den Bestimmungen für elektronische Meßgeräte und Regler VDE 0411 Teil 1/10.73 Hauptabschnitt 9 aufgeführten Bedingungen.

Die Leistungsschilder oder Aufschriften der zu einer Meßeinrichtung zur Isolierungsprüfung gehörenden Meßteile, wie Hochspannungs-Meßkondensator, Anzeigeinstrument und Zubehör, müssen alle für den Betrieb und die Prüfung erforderlichen Angaben enthalten. Hierzu gehören für den Hochspannungs-Meßkondensator die Nennspannung und die Prüfspannung, die Nennkapazität, seine Gebrauchslage sowie bei Preßgaskondensatoren der Nenndruck des Füllgases und für das Anzeigeinstrument die Nennspannungsbereiche und der Frequenzbereich.

5.6.2 Effektivwert-Meßgeräte für Hochspannung

Nach Nr. 3.3.3.2 kann die Isolierungsprüfspannung von 2 kV oder 4 kV auch mit einem den Effektivwert messenden Instrument (Elektrostatisches Instrument, Spannungswandler mit Spannungsmesser, elektronische Spannungsmesser) gemessen werden. Den Effektivwert anzeigende, jedoch den Mittelwert messende Instrumente sind nicht gestattet.

Bei umschaltbaren Meßgeräten darf das Verhältnis jedes Meßbereichs zu dem nächst kleineren den Wert 2,5 nicht überschreiten. Der Gesamtfehler der Effektivwert-Meßgeräte darf in keinem Meßbereich größer sein als 2 % bezogen auf den Skalenendwert.

Für die Spannungsprüfung dieser Geräte sind die Bestimmungen nach VDE 0410/10, 76 anzuwenden.

6 Überwachung der Prüfmittel

6.1 Anschluß an höherwertige Normale

Um sicherzustellen, daß die Veränderlichkeit der als Gebrauchsnormal und Hilfsmeßgeräte dienenden Prüfmittel innerhalb vorgeschriebener Grenzen liegt, müssen diese in der Bundesrepublik Deutschland nach folgendem Programm durch Anschluß an höherwertige Normale der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt kontrolliert werden. Die Nachprüffristen sind in der Eichanweisung Allgemeine Vorschriften vom 12. Juni 1973 in Nr. 2.5.2.2 und Anlage 1 festgelegt.

6.1.1 Prüffristen für Gebrauchsnormalgeräte

Bei Neuanschaffung und nach jeder Instandsetzung sind bei der PTB einzureichen:

Wandlermeßeinrichtungen, Normalstromwandler, Normalspannungswandler.

Fünf Jahre nach der letzten Kontrolle sind bei der PTB einzureichen:

Wandlermeßeinrichtungen.

Sechzehn Jahre nach der letzten Kontrolle sind bei der PTB einzureichen:

Normalstromwandler, Normalspannungswandler.

6.1.2 Prüffristen für Hilfsmeßgeräte

Bei Neuanschaffung und nach jeder Instandsetzung, ferner 5 Jahre nach der letzten Kontrolle sind einzureichen:

a) bei der PTB:

Bürdenmeßgeräte, Normbürden für Stromwandlermessungen, Normbürden für Spannungswandlermessungen, Kapazitive Teiler, Scheitelspannungs-Meßeinrichtungen;

b) bei der Eichbehörde bzw. Prüfstelle:Effektivwert-Meßeinrichtungen für Hochspannung.

Anhang 1

1 Gesetzliche Fehlergrenzen in der Bundesrepublik Deutschland

1.1 Eichfehlergrenzen

Die Fehlergrenzen sind in der Eichordnung (EO) vom 15. Januar 1975, Anlage 20 Meßgeräte für Elektrizität (Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 6 vom 21. Januar 1975) festgelegt.

Auszug aus der EO Anlage 20, Abschnitt 2 Meßwandler für Elektrizitätszähler Nr. 9.2 bis 9.4.2:

9.2 Stromwandler

9.2.1 Klassenzeichen

Klassenzeichen						
Normalbereich	0,1 0,2 0,5					
erweiterter (ext) Bereich	0,1 ext. 150 %	0,2 ext. 150 %	0,5 ext. 150 %			
	0,1 ext. 200 % 0,1G	0,2 ext. 200 % 0,2G	0,5 ext. 200 % 0,5G			
		0,2 ext. 1 % 0,2Z	0,5 ext. 1 % 0,5Z			

9.2.2 Jeder Stromwandler muß entsprechend seinem Klassenzeichen die folgenden Fehlergrenzwerte einhalten:

Klassen- zeichen	Fehlergrenzwerte in Abhängigkeit von Prozentwerten der Nennstromstärke Stromfehler ± F _i Fehlwinkel ± δ _i											
		%)			Minu	ıten			mra	ad	
	100*)	20	5	1	100*)	20	5	1	100*)	20	5	1
0,1	0,1	0,2	0,4	_	5	8	15	-	1,5	2,4	4,5	_
0,2	0,2	0,35	0,75	_	10	15	30	_	3	4,5	9	_
0,5	0,5	0,75	1,5	_	30	45	90	-	9	13,5	27	-
0,1 ext. 150 % 0,1 ext. 200 % 0,1G	0,1	0,2	0,4	-	5	8	15	_	1,5	2,4	4,5	-
0,2 ext. 150 % 0,2 ext. 200 % 0,2G	0,2	0,35	0,75	_	10	15	30	-	3	4,5	9	_
0,5 ext. 150 % 0,5 ext. 200 % 0,5G	0,5	0,75	1,5	-	30	45	90	-	9	13,5	27	_
0,2 ext. 1 % 0,2Z	0,2	0,2	0,35	0,75	10	10	15	30	3	3	4,5	9
0,5 ext. 1 % 0,5Z	0,5	0,5	0,75	1,5	30	30	45	90	9	9	13,5	27

^{*} zusätzlich 150 bei allen Klassenbezeichnungen mit ext. 150 % zusätzlich 200 bei allen Klassenbezeichnungen mit ext. 200 % und zusätzlich 120 bei den übrigen Klassenbezeichnungen.

9.2.3.1 Die Fehlergrenzwerte für Stromfehler und Fehlwinkel müssen bei Nennfrequenz für Nennleistungen über 2,5 VA bei 1/1 und 1/4 und für Nennleistungen ≤ 2,5 VA bei 1/1 und 1/2 der der Nennleistung entsprechenden Bürde eingehalten werden. Als kleinster Wert der Prüfbelastung gilt 1 VA.

9.2.3.2 Der Bürdenleistungsfaktor ist 0,8 induktiv. Ist die bei der Nennstromstärke von der Bürde aufgenommene Leistung kleiner als 5 VA, so ist der Leistungsfaktor 1.

- 9.2.4 Bei Stromwandlern mit Zubehör nach Nr. 6 müssen die Fehler bei eingeschaltetem Zubehör innerhalb der angegebenen Fehlergrenzwerte liegen.
- 9.2.5 Bei Zusammenschaltung von Zwischenstromwandlern und Stromwandlern darf der Gesamtfehler der Zusammenschaltung die Fehlergrenzwerte der Klasse 0,5 (0,5 ext. . .%) nicht überschreiten. Zwischenstromwandler, die für sich geeicht werden sollen, müssen die Fehlergrenzwerte der Klasse 0,2 (0,2 ext. . .%) einhalten; sie dürfen nur mit Stromwandlern der Klasse 0,2 (0,2 ext. . .%) oder 0,1 (0,1 ext. . .%) zusammengeschaltet werden.
- 9.2.6 Zwischenstromwandler als Summenstromwandler müssen die Fehlergrenzwerte der Klasse 0,2 (0,2 ext...%) einhalten; sie dürfen nur in Verbindung mit Stromwandlern der Klasse 0,2 (0,2 ext...%) oder 0,1 (0,1 ext...%) verwendet werden.
- 9.2.7 Bei Mehrkernstromwandlern muß jeder Kern seine Fehlergrenzwerte sowohl bei kurzgeschlossenen Sekundärwicklungen der übrigen Kerne als auch bei deren Belastung mit der Nennbürde einhalten.
- 9.2.8 Die angegebenen Fehlergrenzwerte gelten für
- 9.2.8.1 beliebige Einschaltdauer,
- 9.2.8.2 einen Temperaturbereich der Umgebungstemperatur zwischen einem Höchstwert des 24-Stundenmittels von 35° C und einer niedrigsten Temperatur für Innenraumanlagen von —5° C und für Freiluftanlagen von —25° C,
- 9.2.8.3 jede beliebige Lage der Anschlußleitungen, sofern in der Zulassung nichts anderes bestimmt ist. Hierbei braucht eine geringere Entfernung des Rückleiters als sie aus Gründen der Isolierung für die höchste dauernd zulässige Betriebsspannung ($U_{\rm m}$) erforderlich ist, nicht berücksichtigt zu werden,
- 9.2.8.4 gekennzeichnete und geprüfte Anschlußzonen, die anzugeben sind, wenn zur Einhaltung der Fehlergrenzwerte eine größere Entfernung oder eine bestimmte Lage des Rückleiters erforderlich ist.
- 9.3 Spannungswandler
- 9.3.1 Klassenzeichen: 0,1 0,2 0,5

9.3.2 Jeder Spannungswandler muß entsprechend seinem Klassenzeichen die folgenden Fehlergrenzwerte einhalten:

Klassenzeichen	Fehlergrenzwerte bei den Prüfpunkten $80-100-120\%$ der Nennspannung Spannungsfehler \pmF_u Fehlwinkel $\pm\delta_u$				
0,1	0,1	Minuten 5	mrad 1,5		
0,2	0,2	10	3		
0,5	0,5	20	6		

- 9.3.3 Die Fehlergrenzwerte für Spannungsfehler und Fehlwinkel müssen bei der Nennfrequenz und für kapazitive Spannungswandler im Bereich von 99 % bis 101 % der Nennfrequenz bei Leistungen zwischen 1/4 und 1/1 der Nennleistung und dem Leistungsfaktor 0,8 induktiv eingehalten werden. Ist die Nennleistung größer als 60 VA, müssen die Fehlergrenzwerte von derjenigen Bürde an eingehalten werden, die bei Nennspannung eine Leistung von 15 VA ergibt.
- 9.3.4 Bei Spannungswandlern mit mehreren Sekundärwicklungen müssen die Fehlergrenzwerte von jeder Sekundärwicklung sowohl bei Leerlauf als auch bei Nennbelastung der übrigen Sekundärwicklungen eingehalten werden, ausgenommen ist hiervon eine Wicklung für Erdschlußerfassung, die bei allen Richtigkeitsprüfungen an anderen Sekundärwicklungen unbelastet bleibt.
- 9.3.5 Die Fehlergrenzwerte gelten für
- 9.3.5.1 beliebige Einschaltdauer,
- 9.3.5.2 einen Temperaturbereich der Umgebungstemperatur zwischen einem Höchstwert des 24-Stundenmittels von 35 $^{\circ}$ C und einer niedrigsten Temperatur für Innenraumanlagen von -5 $^{\circ}$ C und für Freiluftanlagen von -25 $^{\circ}$ C,
- 9.3.5.3 einen Temperaturbereich von Nr. 9.3.5.2 für kapazitive Wandler nach Erreichen des stationären Zustandes.

- 9.3.6 Bei Spannungswandlern mit Zubehör nach Nr. 6 müssen die Wandlerfehler bei eingeschaltetem Zubehör innerhalb der angegebenen Fehlergrenzwerte liegen.
- 9.3.7 Bei Zusammenschaltung von Spannungswandlern mit Zwischenspannungswandlern darf der Gesamtfehler der Zusammenschaltung die Fehlergrenzwerte der Klasse 0,5 nicht überschreiten. Zwischenspannungswandler, die für sich geeicht werden sollen, müssen die Fehlergrenzwerte der Klasse 0,2 einhalten. Sie dürfen nur mit Spannungswandlern der Klasse 0,2 oder 0,1 zusammengeschaltet werden.
- 9.3.8 Können die Fehler von Spannungswandlern durch andere Anordnungen, z. B. durch in der Nähe stehende andere Strom- und Spannungswandler beeinflußt werden, so müssen auch bei Betrieb der beeinflußsenden Anordnung in ihrem normalen Arbeitsbereich die Fehler des zu prüfenden Spannungswandlers in seinem normalen Arbeitsbereich innerhalb der für die jeweilige Klasse angegebenen Fehlergrenzwerte liegen.
- 9.4 Strom- und Spannungswandler im Zusammenbau
- 9.4.1 Beim Betrieb des Spannungswandlerteils zwischen 80 % und 120 % der Nennspannung und bei 1/4 bis 1/1 der Nennbürde darf der Stromwandlerteil die seiner Klasse entsprechenden Fehlergrenzwerte nicht überschreiten.
- 9.4.2 Beim Betrieb des Stromwandlerteils zwischen 5 % bzw. 1 % der Nennstromstärke und dem thermischen Nenn-Dauerstrom und bei 1/4 bis 1/1 der Nennbürde aller Kerne darf der Spannungswandlerteil die seiner Klasse entsprechenden Fehlergrenzwerte nicht überschreiten.

1.2 Verkehrsfehlergrenzen

Nach § 9 Nr. 3 der EO Allgemeine Vorschriften betragen die Verkehrsfehlergrenzen das Doppelte der Eichfehlergrenzen.

Nr. 9.5 Anlage 20 Abschnitt 2 der EO vom 15. Januar 1975 schreibt zusätzlich vor: Die Verkehrsfehlergrenzen müssen bei der durch die angeschlossenen Geräte hervorgerufenen Belastung eingehalten werden.

Es widerspricht jedoch dem Sinn der Verkehrsfehlergrenzen, wenn bei Meßgeräten die reduzierten Genauigkeitsanforderungen mit Absicht ausgenutzt werden. Ein solches Verfahren müßte als planmäßige Ausnutzung von Fehlergrenzen und damit gemäß § 35 Abs. 1 Nr. 4 Eichgesetz als Ordnungswidrigkeit angesehen werden.

Anhang 2

Nachweis des Isoliervermögens (Auszug aus den Bestimmungen für Meßwandler VDE 0414/12.70 und VDE 0433)

1 Allgemeine Bestimmungen

1.1 Anforderungen an den Transformatorprüfkreis

Die Spannung im Prüfkreis soll starr genug sein, um von veränderlichen Ableitströmen praktisch unbeeinflußt zu bleiben. Teilentladungen oder Vorentladungen im Prüfling sollen die Prüfspannung nicht in solchem Umfang und für solche Zeit herabsetzen, daß die gemessene Durchschlagspannung des Prüflings beeinflußt wird.

Dies kann üblicherweise erreicht werden, wenn gleichzeitig

- die Kapazität von Prüfling mit Prüfaufbau nicht kleiner als etwa 1000 pF ist.
- der vom Transformator abgegebene stationäre Kurzschlußstrom bei der Prüfspannung nicht kleiner als 1 A (Effektivwert) ist.

Anmerkung. — Wenn ein äußerer Schutz-Reihenwiderstand nicht größer als 1 k Ω ist, kann die wirksame Klemmenkapazität des Transformators als zum Prüfling parallelgeschaltet betrachtet werden.

1.2 Prüfungen mit Nenn-Stehwechselspannung

Die beim Einschalten an den Prüfling gelegte Spannung soll genügend klein sein, um jegliche Beeinflussung durch Schaltüberspannungen zu verhindern. Die Spannung ist dann so zu steigern, daß einerseits eine einwandfreie Ablesung der Meßinstrumente möglich ist, andererseits eine unnötige Verlängerung der Beanspruchungsdauer nahe der Nenn-Stehspannung vermieden wird. Diese Anforderungen sind im allgemeinen erfüllt, wenn die Steigerungsrate über 75 % der vorgesehenen Nenn-Stehspannung ungefähr 2 % dieser Spannung pro Sekunde beträgt. Die Spannung soll die festgelegte Zeit stehengelassen und dann schnell abgesenkt, aber nicht plötzlich abgeschaltet werden, da dies Schaltüberspannungen erzeugen könnte, die Schäden oder unberechenbare Prüfergebnisse bewirken könnten. Die Prüfanforderungen sind im allgemeinen erfüllt, wenn am Prüfling kein Durchschlag auftritt.

- 1.3 Als Prüfwechselspannungen gelten die in der nachfolgenden Tafel genannten Effektivwerte der Nenn-Stehwechselspannungen, die den Scheitelspannungen bei reiner Sinusform entsprechen. Die Spannung ist mit einer Scheitelspannungs-Meßeinrichtung nach 5.6.1 zu messen.
- 1.4 Die Prüfungen sind an dem trockenen, nicht verschmutzten und betriebsfertigen Wandler auszuführen.
- 1.5 Bei Wandlern mit angebauten Schutzfunkenstrecken sind diese bei der Prüfung so einzustellen oder gegebenenfalls ganz zu entfernen, daß die verlangten Nenn-Stehwechselspannungen erreicht werden.
- 1.6 Wiederholungen der Prüfungen sollten im allgemeinen nur mit 80 % der in der folgenden Tafel angegebenen Nenn-Stehwechselspannung vorgenommen werden.

2 Bestimmungen für Stromwandler

2.1 Wicklungsprüfung der Primärseite

2.1.1 Die Prüfspannung nach Spalte 4 der folgenden Tafel ist 1 Minute zwischen die Anschlüsse der Primärwicklung und Erde zu legen; die Primäranschlüsse sind miteinander zu verbinden.

Der Erdungsanschluß und mindestens ein Anschluß jeder Sekundärwicklung sind während dieser Prüfung miteinander und mit Erde zu verbinden.

2.1.1 Falls die Primärwicklung aus zwei oder mehreren Teilwicklungen besteht, müssen diese 1 Minute mit einer Spannung von 2 kV (Effektivwert) gegeneinander und gegebenenfalls gegen das Kopfgehäuse geprüft werden. Hierzu sind die übrigen Teilwicklungen sowie gegebenenfalls das Kopfgehäuse zu erden

2.2 Wicklungsprüfung der Sekundärseite

- 2.2.1 Die Isolierung der Sekundärwicklung ist 1 Minute mit einer Prüfspannung von 2 kV (Effektivwert) zu prüfen.
- 2.2.2 Die Prüfspannung ist zwischen den miteinander verbundenen Anschlüssen der Sekundärwicklung und dem Erdungsanschluß anzulegen.

2.2.3 Sind mehrere Kerne oder sekundäre Teilwicklungen vorhanden, so muß die Isolierung jeder Wicklung und Teilwicklung geprüft werden. Die Prüfspannung wird zwischen dem zu prüfenden Wicklungsteil und allen anderen miteinander und dem Erdungsanschluß verbundenen Wicklungsteilen und Wicklungen gelegt. Die Prüfung erstreckt sich nur auf die zur Verrechnung dienenden Kerne

3 Bestimmungen für induktive Spannungswandler

3.1 Wicklungsprüfung der Primärseite

Die Nenn-Stehwechselspannung ist 1 Minute zwischen die miteinander verbundenen Anschlüsse der Primärwicklung und den mit Erde verbundenen Erdungsanschluß zu legen; mindestens ein Anschluß jeder sekundären Wicklung ist mit dem Erdungsanschluß zu verbinden.

3.1.1 Zweipolig isolierte Wandler:

Die Nenn-Stehwechselspannung ist der nachfolgenden Tafel zu entnehmen.

3.1.2 Einpolig isolierte und Zwischenspannungswandler:

Die Nenn-Stehwechselspannung beträgt 2 kV (Effektivwert).

3.2 Wicklungsprüfung der Sekundärseite

- 3.2.1 Die sekundären Wicklungen bzw. Teile der Wicklungen bei umschaltbaren Wandlern sind gegen die mit dem Erdungsanschluß verbundenen Teile des Wandlers und gegeneinander mit der Nenn-Stehwechselspannung 2 kV (Effektivwert) 1 Minute zu prüfen.
- 3.2.2 Die Nenn-Stehwechselspannung wird zwischen die miteinander verbundenen Anschlüsse der zu prüfenden Wicklung und den Erdungsanschluß gelegt; mindestens je ein Anschluß der übrigen Wicklungen oder Wicklungsteile ist mit dem Erdungsanschluß zu verbinden.

3.3 Windungsprüfung

Zur Prüfung der Isolierung der Windungen gegeneinander wird eine Nenn-Stehwechselspannung der in der folgenden Tafel angegebenen Höhe eine Minute an die Anschlüsse der Primärwicklung gelegt. Bei zweipolig isolierten Wandlern ist ein Primäranschluß zu erden.

- 3.3.1 Um eine übermäßig hohe Stromaufnahme des Prüflings zu vermeiden, kann die Frequenz gegenüber der Nennfrequenz erhöht werden.
- 3.3.2 Die Nenn-Stehwechselspannung kann auch, sofern die Belastbarkeit der Sekundärwicklung dies zuläßt, durch Erregung der Sekundärwicklung erzeugt werden. Die Spannung ist an der Primärwicklung zu messen.
- 3.3.3 Wenn bei zweipolig isolierten Spannungswandlern die Nennspannung, bei einpolig isolierten Wandlern das √3fache der Nennspannung, bei Wandlern in Einphasen-Bahn-Anlagen das 2fache der Nennspannung kleiner ist als 1/5 der Nenn-Stehwechselspannung, so beträgt die Prüfspannung abweichend von 3.3 nur das 5- bzw. 5 · √3fache bzw. 5 · 2fache der Nennspannung.
- 3.3.4 Bei Spannungswandlern mit mehreren primären Nennspannungen ist die Windungsprüfung nur für die höchste Nennspannung vorzunehmen.
- 3.3.5 Bei kombinierten Wandlern ist die Windungsprüfung des Spannungswandlers gleichzeitig die Wicklungsprüfung der Primärseite des Stromwandlers.

4 Bestimmungen für kapazitive Spannungswandler

4.1 Prüfung der Primärseite

An den Primäranschluß ist die Prüfspannung nach Spalte 3 der nachfolgenden Tafel für 1 Minute anzulegen — gegebenenfalls bei erhöhter Frequenz. Mindestens ein Anschluß jeder sekundären Wicklung ist mit dem Erdungsanschluß zu verbinden. Eine Erregung des kapazitiven Spannungswandlers von der Sekundärseite aus ist **nicht** zulässig. Die Prüfung der Isolierung kann auch am kapazitiven und induktiven Teil getrennt vorgenommen werden. In diesem Fal! darf der induktive Teil auch über die Sekundärwicklung erregt werden, wobei sich die zu erzeugende Prüfspannung für die Primärwicklung aus der Nenn-Stehwechselspannung des kapazitiven Teilers, geteilt durch sein Teilungsverhältnis, ergibt. Die Nenn-Stehwechselspannung des Teilers ist aus Spalte 4 der nachfolgenden Tafel zu entnehmen.

- 4.2 Der erdseitige Anschluß ist 1 Minute mit einer Prüfspannung von 4 kV (Effektivwert) zu prüfen.
- 4.3 Wicklungsprüfung der Sekundärseite des induktiven Teiles wie Nr. 3.2.

Anlage zu Anhang 2

TafelPrüfspannungen für Meßwandler gemäß Bestimmungen für Meßwandler VDE 0414 Teil 1/12.70

1	2	3	4
Reihe	Höchste dauernd zulässige Betriebs- spannung des Betriebsmittels ⁷⁾ <i>U</i> m	Nenn-Stehwe (Effektivw Windungsprüfung ²⁾ von Spannungs- wandlern: Isolationsgruppe D	echselspannung ert) ⁶⁾ für die Wicklungsprüfung von Stromwandlern und allpolig isolierten Spannungswandlern: Isolationsgruppe F
	kV	kV	kV
a) Wandler in 0,5 — 1	Anlagen mit nicht wirksan 0,6 0,88) 1,2	n geerdetem Sternpunkt 2 2 2 3,5	t (Mittelpunkt) 3 3 10
3 N 3 S	3,6	16	21
6 N 6 S	7,2	22	27
10 N 10 S	12	28	35
15 N ⁴⁾ 15 S ⁴⁾	17,5	38	45
20 N 20 S	24	50	55
25 N5) 25 S5)	27,5	60	65
30 N ¹⁾ 30 S ¹⁾	36	70	75 ¹⁾
45 N 45 S	52	95	105
60 N 60 S	72,5	140	140
110 N 110 S	125	230	230

1	2	3	4
Reihe	Höchste dauernd zulässige Betriebs- spannung des Betriebsmittels ⁷⁾ U _m	Nenn-Stehwe	echselspannung ert) ⁶⁾ für die Wicklungsprüfung von Stromwandlern und allpolig isolierten Spannungswandlern: Isolationsgruppe F
	kV	kV	kV
150 N 150 S	170	325	325
220 N 220 S	250	460	460
b) Wandler in Dre	hstromanlagen mit wirl	ksam geerdetem Sternpo	unkt
110 NE 110 SE	125	185	185
150 NE 150 SE	170	275	275
220 NE 220 SE	250	395	395
380 NE 380 SE	420	630	680

¹⁾ Für die Erweiterung bestehender Netze mit einer Nennspannung von 35 kV gelten die für die Reihen 30 N und 30 S angegebenen Nenn-Stehstoßspannungen und Nenn-Stehwechselspannungen der Gruppe D, jedoch 85 kV für die Gruppe F, worauf bei der Bestellung von Stromwandlern zu achten ist.

²⁾ Begrenzt entsprechend VDE 0414 Teil 3, § 5 c) 2.3.3.

³⁾ Entsprechend VDE 0560 Teil 3/3 68, Tafel 3, Zeile 4 a.

⁴⁾ Vorwiegend für Meßwandler in Bahnanlagen.

⁵⁾ Nur für Meßwandler in Bahnanlagen.

⁶⁾ Begriffserklärungen siehe VDE 0111/12.66.

⁷⁾ Begriffserklärung siehe VDE 0414 Teil 1, § 2 b) 1.

⁸⁾ Entspricht Reihe 0,5, jedoch für Nennspannungen 660 V.

