

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

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 71 (1980)

Heft: 9

Artikel: Spannungswandler für Hochspannungsanlagen mit kapazitivem Teiler und elektronischem Messverstärker

Autor: Matthiesen, P. / Weigel, U.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905247>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 03.02.2026

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

Spannungswandler für Hochspannungsanlagen mit kapazitivem Teiler und elektronischem Messverstärker

Von P. Matthiessen und U. Weigel

621.314.222.8;

Spannungswandler mit kapazitivem Teiler und elektronischem Messverstärker sind in Hochspannungsanlagen bereits in Betrieb. Sie werden dort mit Vorteil eingesetzt, wo transiente Vorgänge übertragen werden sollen. Bei Spannungen über 420 kV können sie preislich vorteilhafter sein als konventionelle Wandler. Die Leistungsfähigkeit eines Messverstärkers ist begrenzt, daher wird er dort eingebaut, wo angeschlossene Geräte geringe Leistung erfordern, wie z.B. elektronische Relais. Am Wandler und im Betrieb wurden umfangreiche Stück- und Typenprüfungen durchgeführt, die eine gute Funktionstüchtigkeit und das überlegene dynamische Verhalten nachweisen.

Des transformateurs de tension avec diviseur capacitif et amplificateur électronique de mesure sont déjà en service dans des installations à haute tension, en particulier pour la transmission de phénomènes transitoires. Pour des tensions de plus de 420 kV, ils peuvent être moins coûteux que des transformateurs de mesure classiques. Sa puissance étant limitée, l'amplificateur de mesure est monté là où des appareils raccordés ne requièrent qu'une faible puissance, par exemple des relais électroniques. D'importants essais de routine et de type ont prouvé le bon fonctionnement et le remarquable comportement dynamique de ces transformateurs de tension.

1. Einleitung

Die geforderte zuverlässige Übertragung elektrischer Energie stellt sehr hohe Anforderungen an die Schutztechnik und damit an die Geschwindigkeit der genauen Messwertübermittlung durch die Messwandler. Da die elektromagnetisch arbeitenden, konventionellen Wandler und Schutzeinrichtungen die neuen Bedingungen nur bedingt oder mit Zusatzeinrichtungen erfüllen, wurden elektronische Meßsysteme entwickelt, die ein ausgezeichnetes dynamisches Verhalten zeigen. Moderne elektronische Mess- und Schutzgeräte benötigen nur geringe Leistungen, was für die elektronische Messwertübertragung vorteilhaft ist, denn hohe Ausgangsleistungen erfordern einen grossen Aufwand.

Im Vordergrund der Entwicklung stand die Zuverlässigkeit der Geräte. Es war möglich, auf Erfahrungen mit dem 30jährigen Einsatz der Elektronik in der Hochspannungs-Prüftechnik zurückzugreifen. Die geeignete Wahl der Schaltung, Ausnutzung und Prüfung von Bauelementen, liessen einen hohen Grad der Zuverlässigkeit erreichen. In diesem Aufsatz soll die Ausführungsform eines Spannungswandlers mit elektronischem Niederspannungsteil beschrieben werden.

2. Messprinzip eines elektronischen Spannungswandlers

Nach Fig. 1 wird die zu messende Spannung U_p durch einen Teiler – im dargestellten Fall ein kapazitiver – in eine leicht zu übertragende Spannung U_i umgewandelt. Der Verstärker, welcher den Messwert überträgt, hat die Aufgabe, bei den ge-

stellten Bedingungen von Belastung, Frequenzbereich, Temperatur usw., das zu übertragende Signal nicht zu verfälschen und darüber hinaus das Teilverhältnis nicht zu verändern. Es bieten sich zwei Grundsaltungen an, mit denen die Aufgaben zu erfüllen sind; die Spannungsmessung und die Strommessung. Bei der Wahl der passenden Methode mussten Vor- und Nachteile der Schaltungen abgewägt werden.

Prinzip Spannungsmessung

Die zu messende Spannung wird durch einen passiven Teiler unterteilt und damit dem hochohmigen Eingang angepasst (Fig. 1).

Vorteile der Schaltung: Geringe Temperaturabhängigkeit des Übersetzungsverhältnisses. Verstärker und Teiler können jeder für sich abgeglichen werden; dadurch können die Komponenten leicht ausgetauscht werden.

Nachteile der Schaltung: Die Kapazität des Eingangskabels geht in das Übersetzungsverhältnis des Teilers mit ein. Dies verlangt bei hoher Genauigkeitsforderung und grosser Entfernung zwischen Teiler und Verstärker eine hohe Kapazität des Teilers.

Prinzip Strommessung

Bei dieser Schaltung wird ein aktiver Teiler (C_1 ; C_2) eingesetzt (Fig. 2). C_1 ist der Hochspannungskondensator, C_2 der Gegenkopplungskondensator.

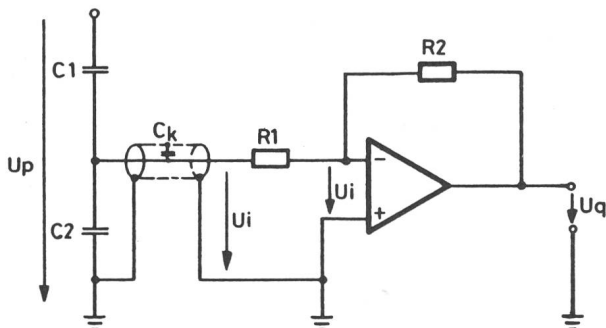


Fig. 1 Grundsaltung nach dem Prinzip der Spannungsmessung

- U_p Primärspannung
- U_i Verstärker-Eingangsspannung
- U_q Verstärker-Ausgangsspannung
- C_1 Primär-Kapazität
- C_2 Sekundär-Kapazität
- C_k Kabelkapazität
- R_1 Leitungswiderstand
- R_2 Rückkopplungswiderstand

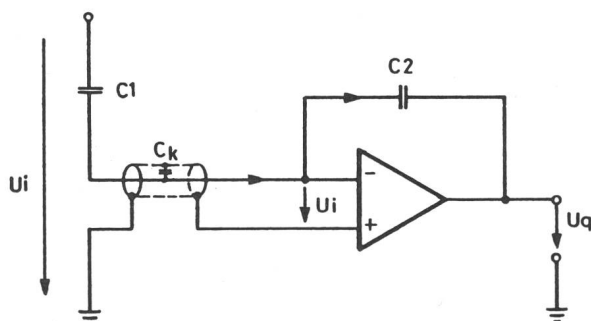


Fig. 2 Grundsaltung nach dem Prinzip der Strommessung

- C_1 Primär-Kapazität
- C_k Kabel-Kapazität
- C_2 Sekundär-Kapazität (Gegenkopplungskondensator)

Vorteile der Schaltung: Das Eingangskabel des Verstärkers kann selbst bei hoher Genauigkeitsanforderung lang sein und braucht nicht mit eingeeicht zu werden.

Nachteile der Schaltung: Durch die räumliche Trennung von C_1 und C_2 wird die Genauigkeit des Übersetzungsverhältnisses durch Faktoren wie z.B. Temperatur, Druck oder Alterung beeinflusst.

3. Schaltung des Messverstärkers

Nach Abwägen von Vor- und Nachteilen der beiden Schaltungen fiel die Entscheidung für die Spannungsmessung nach Fig. 1, da entweder kurze Verbindungen zwischen Teiler und Verstärker zu erreichen oder hohe Kapazitäten auszuführen waren. Hierdurch konnten die Nachteile durch Umgebungseinflüsse vermieden werden.

Der Verstärker gemäss Blockschaltbild (Fig. 3) hat neben dem Teiler drei Hauptelemente: den Vorverstärker, die Endverstärker und den Stromversorgungsteil. Die Ansteuerung der Endverstärker durch den Vorverstärker erfolgt über einen Trenntransformator. An einen Vorverstärker können maximal 4 Endverstärker angeschlossen werden. Am Ausgang eines jeden Endverstärkers befindet sich ein weiterer Transformator zur Potentialtrennung und Spannungsanpassung.

Der Messverstärker hat im Elektronikteil gleiche Eingangs- und Ausgangsspannung. Er ist daher ein reiner Leistungsverstärker. Die hohe Übertragungsgenauigkeit des Elektronikteils wird durch Rückkopplung der einzelnen Verstärkerstufen über passive Bauelemente in einem weiten Spannungs-, Frequenz- und Bürdenbereich erreicht.

Auswahl der Bauelemente: Vorzugsweise wurden Bauelemente eingesetzt, welche bereits im praktischen Einsatz erprobt wurden. Dies hatte zur Folge, dass neue Bauelemente nicht sofort eingesetzt werden konnten. Durch geringe Ausnutzung der Bauelemente wird für eine erhöhte Lebensdauer gesorgt. Die Verwendung drahtgewickelter Präzisionswiderstände garantiert eine hohe Langzeitstabilität. Als aktive Bauelemente werden integrierte oder hybride Schaltkreise eingesetzt.

4. Mechanischer Aufbau des Elektronikteiles

Wegen der verschiedenen Einbaumöglichkeiten in Hochspannungsanlagen gibt es zwei Grundaufbauten, die Innenraum- und die Freiluftausführung.

Die Freiluftausführung hat den Vorteil, dass die Verbindung zwischen Teiler und Verstärker kurz ist. Die Speiseleitungen müssen jedoch bei grösseren Entfernungen beachtliche Querschnitte aufweisen. Bei der Innenraumaufbauausführung kann auf Grund der Einschubtechnik die Anordnung der Verstärker übersichtlicher gestaltet werden. Weiterhin sind die Einschübe untereinander und durch Reserveeinheiten leicht austauschbar. Bei gekapselten Anlagen, bei denen der Teiler im Raum untergebracht ist, wird stets die Innenraumaufbauausführung verwendet.

Die Freiluftausführung in einer 420-kV-Anlage zeigt Fig. 4. Der Verstärker hängt direkt unter dem Teiler am Traggestell. In einem spritzwassergeschützten Aluminium-Gusskasten befindet sich die Elektronik, bestehend aus einem Vorverstärker, einem Endverstärker für Messzwecke und einem zweiten Endverstärker für den Schutz. Der Klemmenkasten ist in einem von der Elektronik abgetrennten Raum untergebracht. Die Stromversorgung ist in einem in der Nähe befindlichen Schalthäuschen eingebaut.

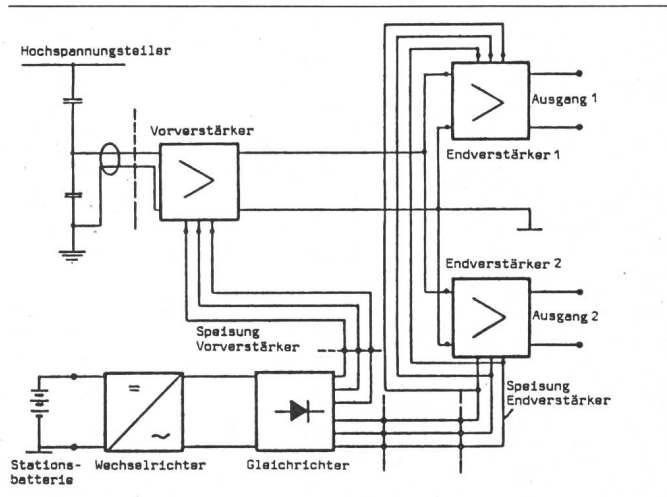


Fig. 3 Blockschaltbild des elektronischen Messverstärkers mit zwei Ausgängen und Stromversorgung ab Stationsbatterie

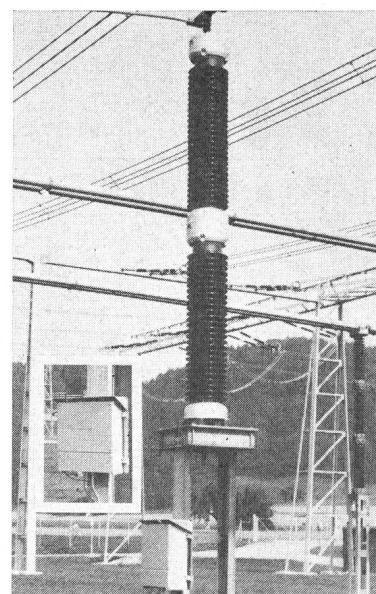


Fig. 4 Freiluftausführung in einer 420-kV-Anlage
Die Stromversorgung befindet sich im Schalthäuschen

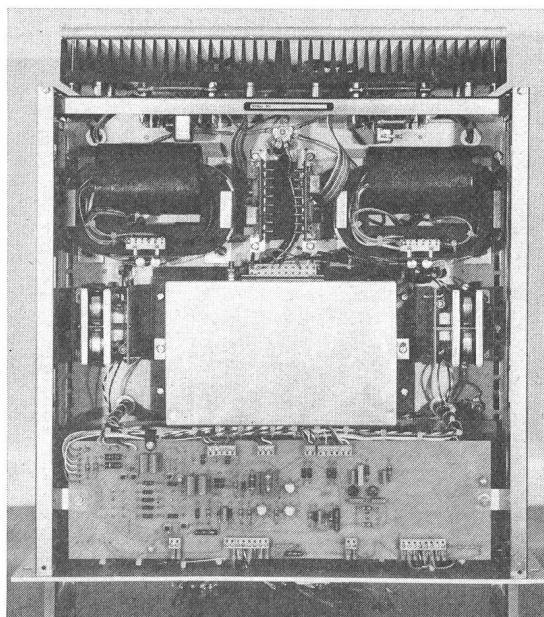


Fig. 5 Verstärkereinschub mit einem Mess- und einem Schutzausgang
Auf dem Bild sind die Baugruppen Störmeldung (vorne), Vorstufe (Mitte) und Leistungsstufen mit Ausgangstransformatoren (oben) ersichtlich

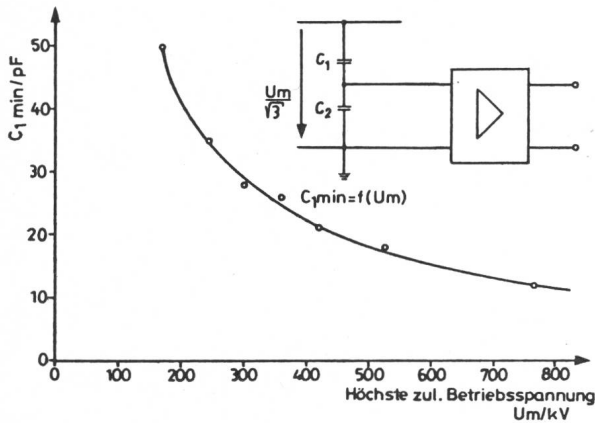


Fig. 6 Richtwerte der minimalen Kapazität des Hochspannungskondensators C_1

Die Innenraumaufbau ist in 19-Zoll-Einschubtechnik in Schaltschränken untergebracht. Wegen der hohen Sicherheitsanforderungen können je Phase zwei Verstärkereinschübe und zwei Stromversorgungsteile vorgesehen werden. Ein Verstärkereinschub ist in Fig. 5 zu sehen [1].

5. Ausführung des Hochspannungsteilers

Es sind alle Teilerarten (Induktiv-, Kapazitiv- oder Widerstandsteiler) sowie deren Kombinationen möglich. Da der elektronische Messverstärker einen hohen Eingangswiderstand hat, kann er auch an hochohmige Teiler angeschlossen werden. Hochohmige, meist kapazitive Teiler sind in Hochspannungsanlagen bereits vorhanden. Sie erfüllen andere Aufgaben, wie z.B. Durchführungen, Stromwandler, Kopplungskondensatoren, können aber bei geeignetem Abgleich als Hochspannungsteiler eingesetzt werden. Bei der Auslegung ist zu berücksichtigen, dass Temperatur-, Frequenz- und andere Umgebungseinflüsse das Teilverhältnis und damit die Genauigkeit des Teilers stark beeinflussen. Grösste Genauigkeit lässt sich mit einem Kopplungskondensator mit einer Kapazität von einigen nF erreichen.

In Fig. 6 sind die Mindest-Kapazitätswerte des Hochspannungskondensators dargestellt. Der untere Grenzwert wird durch die Belastung des Teilers mit dem Verstärker-Eingangswiderstand bestimmt.

Bei der Ausführung nach Fig. 5 erfolgt die Kopplung über einen Steuerbelag im Stromwandler der 420-kV-SF₆-Anlage [2]. Es wurde eine Genauigkeit der Klasse 1 (IEC 186) erreicht, wobei der Verstärkerteil nur etwa 10% der Fehlergrenzen beansprucht.

Der Teiler nach Fig. 7 erlaubt eine geringere Messunsicherheit, da einerseits die Elektroden nicht vom Laststrom durchflossen und damit keiner starken Wärmedehnung ausgesetzt sind. Andererseits haben hier Primär- und Sekundärkapazität den gleichen Isolierstoff, so dass die Dichte- bzw. Kapazitätsänderung mit der Druckänderung keinen Einfluss auf das Teilverhältnis hat. Eine derartige Anordnung eignet sich auch für Wandler, die für Verrechnungszwecke eingesetzt werden, da der Teiler zusammen mit dem Verstärker im Prüffeld geeicht und plombiert werden kann.

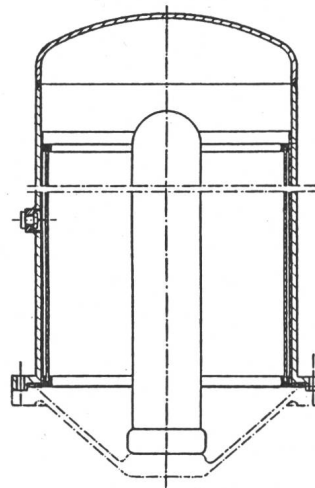


Fig. 7 Kapazitiver Teiler, bei welchem sich Ober- und Unterspannungskondensator im SF₆-Raum befinden

6. Stromversorgung elektronischer Messverstärker

Die konventionellen Wandler, auch die kapazitiven, beziehen die Energie für die angeschlossenen Geräte aus dem Hochspannungsteil des Wandlers selbst. Bei den elektronischen Wandlern kann der Hochspannungsteiler nicht belastet werden, daher muss die Leistung über eine externe Speisung zugeführt werden. Es sind folgende Anschlüsse an Speisequellen möglich:

- ein- oder dreiphasig gespeiste Netzgeräte mit Transformator und Gleichrichter, die an das Eigenbedarfs-Wechselspannungsnetz angeschlossen werden;
- Speisung durch eine gepufferte Batterie, die nur für die Messverstärker eingesetzt wird;
- Speisung durch die vorhandene Stationsbatterie über einen Gleichspannungswandler (DC-DC-Wandler).

Um den Betrieb netzunabhängig zu machen, und da auch der Anlagenschutz über die Stationsbatterie versorgt wird, wurde die Speisung durch die Stationsbatterie über Gleichspannungswandler gewählt. Um kurzzeitige Gleichspannungsausfälle zu überbrücken, kann der Gleichspannungswandler gepuffert werden.

7. Technische Daten des Spannungswandlers mit elektronischem Messverstärker

Hochspannungsteiler

Primärspannung:	je nach Nennspannung des Netzes von 110 kV/ $\sqrt{3}$ bis 800 kV/ $\sqrt{3}$	
Sekundärspannung:	220 V	
Mindestkapazität oder Mindestimpedanz entsprechend Fig. 6		
Isolationspegel:	nach IEC 71	
Ausgeführte Teiler:	420 kV Freiluft	$C_1 = 2000$ pF
	245 kV Freiluft	$C_1 = 800$ pF
	420 kV Innenraum	$C_1 = 30$ pF
	123 kV Innenraum	$C_1 = 30$ pF

Verstärkerteil

Eingangsmeßspannung:	220 V
Eingangsimpedanz bei 50 Hz:	ca. 2 M Ω
Speisespannung:	Gleichspannung ± 15 V; $\pm 37,5$ V
Ausgangsspannung:	220 V bis 100/3 V, je nach Anforderung
Anzahl der Ausgangsverstärker:	max. 4

Die Ausgangsleistung für jeden Verstärkerausgang ist nach Fig. 8 abhängig vom Spannungsfaktor des Wandlers und dem Leistungsfaktor $\cos \beta$ der Bürde. Da die Leistungsfähigkeit des Verstärkers auf die höchste Belastung bei Spannungen von der Grösse Nennspannung mal Nennspannungsfaktor ausgelegt werden muss, lassen sich bei hohen Nennspannungsfaktoren nur geringere Nennleistungen erreichen. Die Nennspannungsfaktoren können bei verschiedenen Ausgangsverstärkern des gleichen Wandlers unterschiedlich gewählt werden.

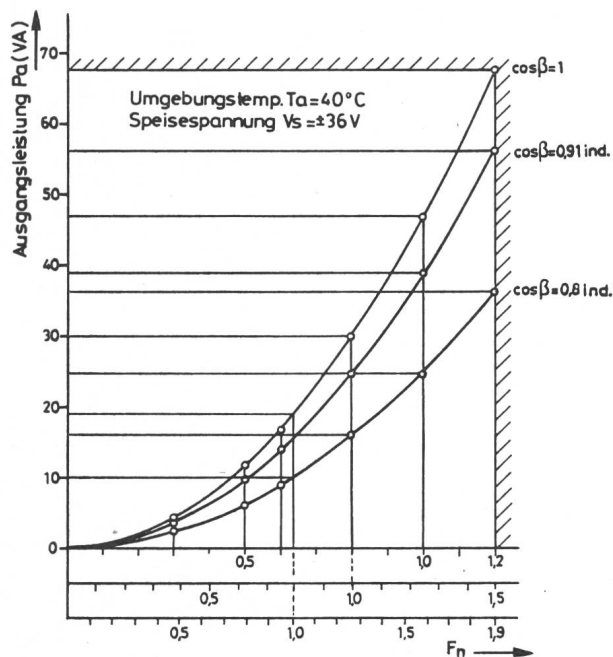


Fig. 8 Ausgangsleistung P_a eines Verstärkers in Abhängigkeit von der Netzspannung mit dem Nennspannungsfaktor $F_n = U/U_n$ als Parameter bei verschiedenen Bürdenleistungsfaktoren $\cos \beta$

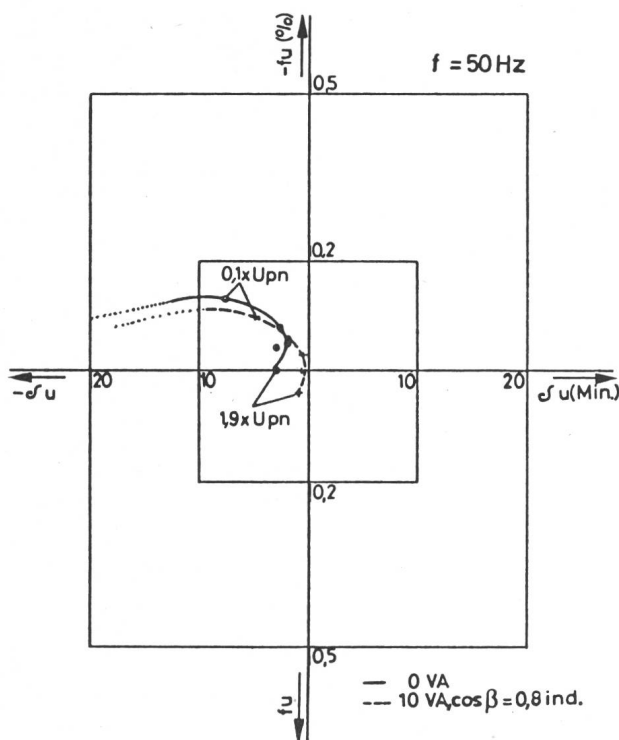


Fig. 9 Typisches Fehlerdiagramm eines elektronischen Messverstärkers ohne Hochspannungsteiler bei Änderung der Eingangsspannung von $0,1 U_{pn}$ bis $1,9 U_{pn}$

Nennfrequenz: 50 und 60 Hz

Der Ausgang ist dauernd kurzschlussfest.

Genauigkeit: Klasse 0,2 (IEC 186) bis Klasse 1P (IEC 186A)

Isolationspegel: IEC 186

Ausgeführte Leistungen und Genauigkeiten:

Bürde 10 VA Klasse 1P	Nennspannungsfaktor 1,9
25 VA Klasse 1	Nennspannungsfaktor 1,5
25 VA Klasse 0,5	Nennspannungsfaktor 1,5
25 VA Klasse 0,2	Nennspannungsfaktor 1,5

Speisung

Gleichspannung: 220 V oder 110 V $\pm 15\%$.

Batterieausfälle bis zu 300 ms können gepuffert werden. Ausgeführte Speisung der Stationsbatterie 220 V, ungepuffert, und 50 ms gepuffert.

Überwachung des Verstärkers und der Speisung

Folgende Funktionen bzw. Störungen können überwacht und mit einer Schaltverzögerung von 4...20 ms über ein Relais mit 2 Umschaltkontakten gemeldet werden: Sekundärkurzschluss, Überwachung eines Verstärkers durch Längsvergleich, Überwachung mehrerer Verstärker gegeneinander durch Quervergleich, Ausfall der Speisespannung.

8. Prüfungen

Da es keine Normen oder Vorschriften für die Prüfung von Messwandlern mit elektronischen Komponenten gibt, wurde versucht, die Vorschriften für Spannungswandler (IEC 186/186 A), Isolationskoordination (IEC 71) und elektrische Relais (IEC 255) zu kombinieren.

Als Stückprüfung zur Kontrolle der Qualität und der technischen Daten wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

1. *Genauigkeit:* Die Resultate des Verstärkers sind in Fig. 9 dargestellt. Sie zeigen, dass die Übertragungsgenauigkeit des Verstärkers besser als diejenige der Klasse 0,2 ist.

2. *Dielektrische Prüfung* mit Wechsel- und Stoßspannung an allen Ein- und Ausgängen.

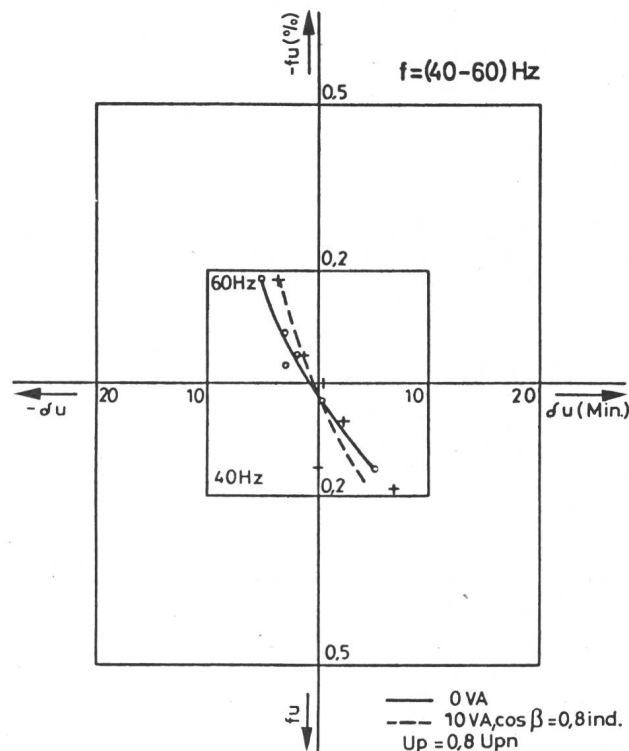


Fig. 10 Typisches Fehlerdiagramm des elektronischen Messverstärkers ohne Hochspannungsteiler bei Frequenzvariation von 40 Hz bis 60 Hz

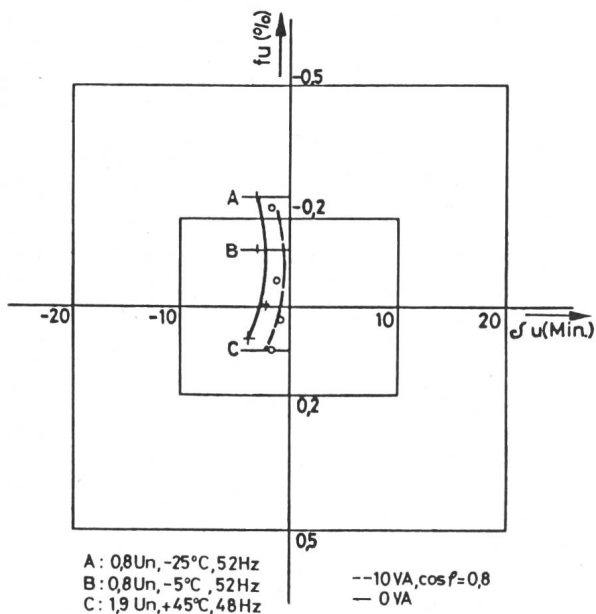


Fig. 11 Fehlerdiagramm der Extremwerte bei Spannungsänderung 0,8 bis $1,9 \times U_n$, Frequenzänderung 48 Hz bis 52 Hz und Temperaturänderung -25°C bis $+45^\circ\text{C}$

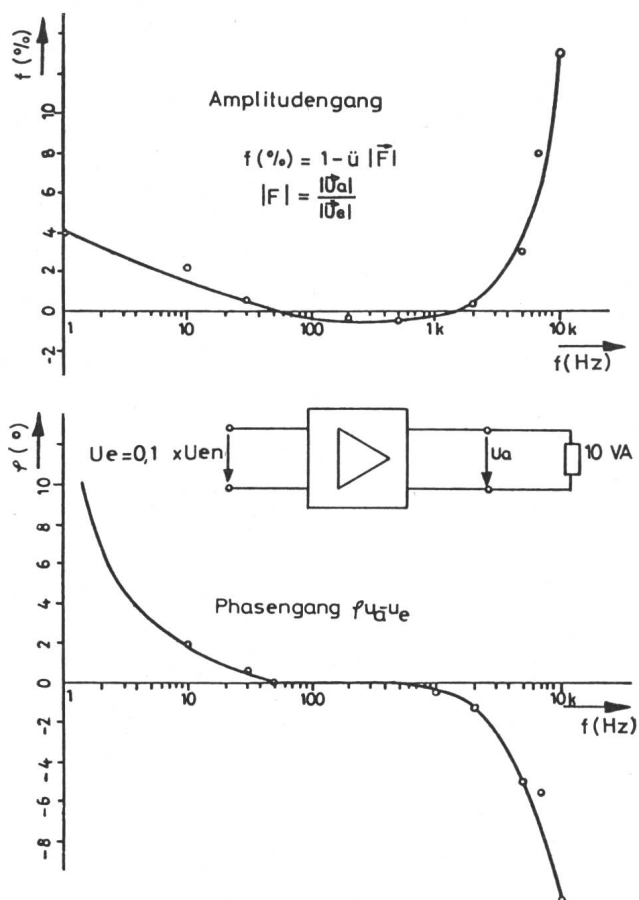


Fig. 12 Frequenzgang eines Messverstärker-Schutzganges

Die Aufnahme des Frequenzganges erfolgte bei reduzierter Eingangsspannung
 U_e Eingangsspannung
 U_{en} Eingangsnennspannung
 U_a Ausgangsspannung

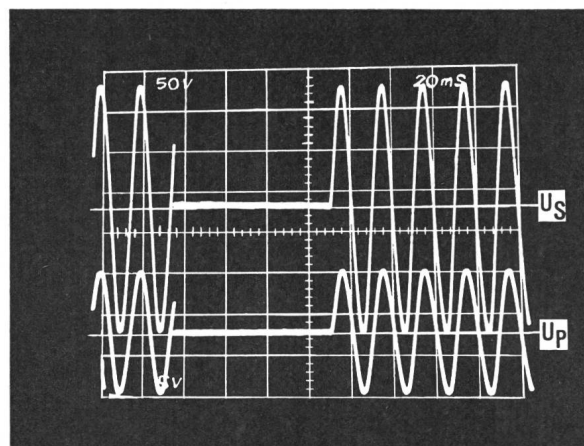


Fig. 13 Dynamisches Verhalten des Messverstärkers bei Primärkurzschluss der Eingangsspannung
 U_p Eingangsspannung
 U_s Ausgangsspannung des Verstärkers

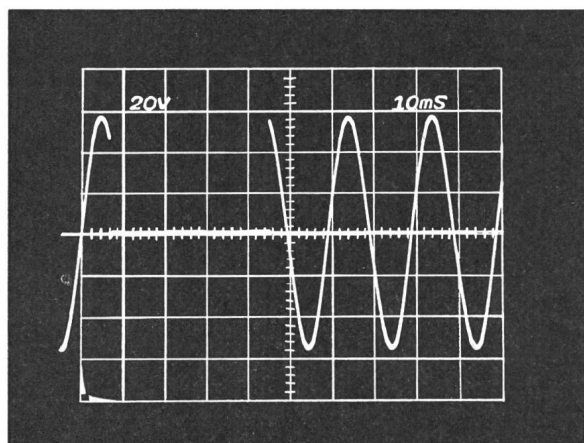


Fig. 14 Ausgangsspannung des Verstärkers bei Kurzschluss an den Ausgangsklemmen

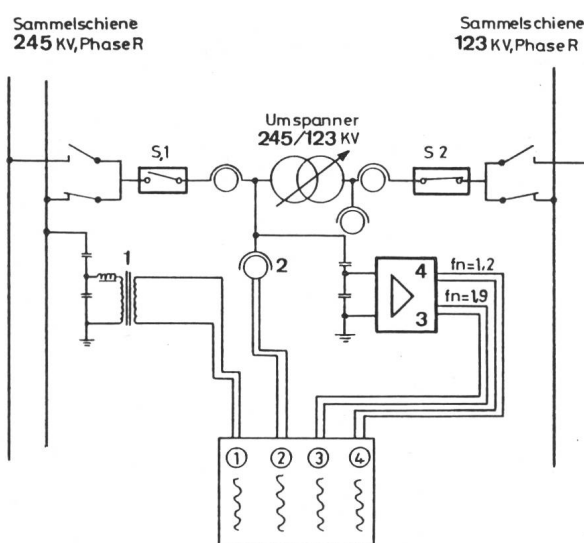


Fig. 15 Anordnung für Schaltversuche in einem 245/123-kV-Schaltfeld

- 1 Kapazitiver Spannungswandler
- 2 Induktiver Spannungswandler
- 3 Messverstärker Schutzgang mit Nennspannungsfaktor 1,9
- 4 Messverstärker Messgang mit Nennspannungsfaktor 1,2

S1 offen

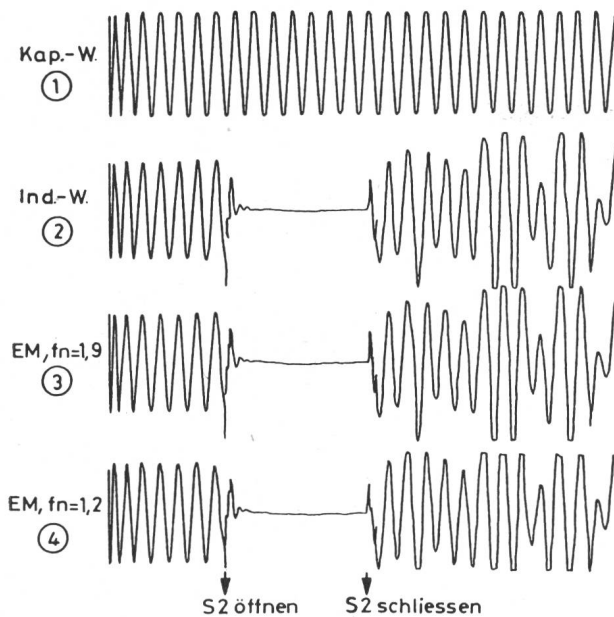


Fig. 16 Spannungsverläufe verschiedener Messeinrichtungen und Übertragungssysteme bei Schalten auf der 123-kV-Seite

S2 offen

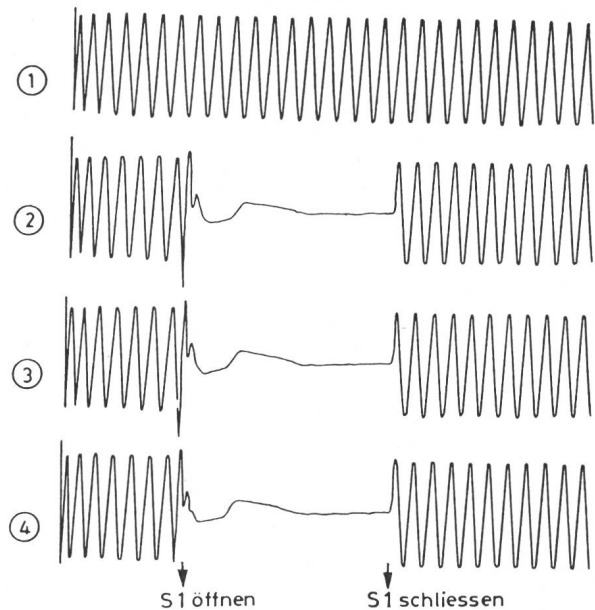


Fig. 17 Spannungsverläufe verschiedener Messeinrichtungen und Übertragungssysteme beim Schalten auf der 245-kV-Seite

3. Überprüfung der Funktionen aller Überwachungs- und Meldeeinrichtungen.

Die Typenprüfungen umfassen dieselben Prüfungen, jedoch wie folgt erweitert:

4. Messung der Genauigkeit im Frequenzbereich 40...60 Hz. Die Resultate, in Fig. 10 dargestellt, zeigen, dass innerhalb dieses Frequenzbereiches die Klasse 0,2 eingehalten wird.

5. Messung der Genauigkeit bei Änderung der Umgebungstemperatur von -25°C bis $+45^{\circ}\text{C}$. Die Ergebnisse sind in Fig. 11 dargestellt, wobei nur Extrempunkte in bezug auf Spannung, Bürde und Frequenz bei verschiedenen Temperaturen aufgezeichnet sind. Auch hier wird wieder die Klasse 0,2 eingehalten, sofern der Verstärker geringfügig anders abgeglichen wird.

6. Messung des Frequenzganges des Verstärkers. Der in Fig. 12 dargestellte Frequenzgang zeigt, dass innerhalb eines Übertragungsbereiches von 10 Hz bis 3 kHz die Klasse 3P eingehalten wird. Besondere Beachtung wurde dem dynamischen Verhalten bei primärem und sekundärem Kurzschluss des Verstärkers gewidmet. Das ausgezeichnete Ein- und Ausschwingverhalten, das erheblich besser als bei konventionellen kapazitiven Spannungswandlern ist, zeigen die Figuren 13 und 14.

7. Schaltversuche an einem in ein Schaltfeld für 245 kV eingebauten elektronischen Wandler. Das Schaltbild des Anlagenteiles ist in Fig. 15 dargestellt. Die Figuren 16 und 17 zeigen die Ergebnisse von Schaltungen. In Fig. 17 gerät die 245-kV-Seite des Umspanners in Kippschwingungen, da der Leistungsschalter und die Trennschalter zur 245-kV-Sammelschiene offen waren und dadurch der Sternpunkt der Schaltfelder nur über die induktiven Spannungswandler und die Kapazitäten gebildet wurde. Selbst derart verzerrte Spannungen kann der Messverstärker übertragen. Die Amplituden der Spannungen des induktiven Wandlers und des Messverstärkers mit Nennspannungsfaktor 1,9 werden durch die Messeinrichtung (Os-

zillostore) begrenzt, während beim Messverstärker mit Nennspannungsfaktor 1,2 die Begrenzung bereits im Verstärker erfolgt.

8. Beanspruchung durch schnelle hochfrequente Überspannungen. Bekanntlich treten in Schaltanlagen beim Schalten von Trennschaltern sehr steile Spannungsimpulse auf. Der Verstärker hat an den Eingängen Schutzschaltungen zur Begrenzung derartiger Impulse. Die Überprüfung der Wirksamkeit dieses Schutzes wurde durch direkte Versuche in Anlagen nachgewiesen. In der 420-kV-SF₆-Anlage wurde diese Prüfung als Stückprüfung durchgeführt, wobei kein Ausfall eines Bauteiles erfolgte.

Literatur

- [1] L. Menten und A. Baur: 420-kV-SF₆-Schaltanlage UW Kupferzell. Elektrizitätswirtsch. 79(1980)4, S. 121...127.
- [2] H. Hartmann: Kombierter Strom-/Spannungswandler für Einbau in metallgekapelte, SF₆-isolierte Schaltanlagen. Brown Boveri Mitt. 65(1978)4, S. 240...242.

Adresse der Autoren

Peter Matthiessen, dipl. Ing., und Ulrich Weigel, Ing. grad.,
Emil Haefely & Cie. AG, 4028 Basel.