

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 64 (1973)
Heft: 25

Artikel: Über die Einschwingspannung in Prüfstromkreisen für Motorschalter
Autor: Chaudhuri, P. / Studtmann, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915637>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 16.01.2026

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

Über die Einschwingspannung in Prüfstromkreisen für Motorschalter¹⁾

Von P. Chaudhuri und G. Studtmann

621.316.5 : 621.3.049 : 621.3.018.782.3

Es wird über Erfahrungen mit Prüfstromkreisen für Motorschalter nach CEI berichtet. Das transiente Verhalten unbedämpfter wie bedämpfter Prüfkreise hängt von der Schaltungsanordnung des Lastkreises ab. Das empfohlene Anstossverfahren erlaubt bei sorgfältiger Handhabung die einwandfreie Justierung der Einschwingspannung. An einem Beispiel wird gezeigt, dass der Verlauf der Einschwingspannung einen wesentlichen Einfluss auf die Lichtbogenbrenndauer von Motorschaltern hat.

Exposé des expériences faites avec des circuits d'essais d'interrupteurs de moteurs selon la CEI. Le comportement transitoire de circuits d'essais, amortis ou non, dépend de la disposition du couplage du circuit de charge. Le procédé d'excitation recommandé permet, lorsqu'il est conduit attentivement, un ajustage convenable de la tension transitoire. Un exemple montre que la variation de cette tension a une importante influence sur la durée de l'arc dans les interrupteurs pour moteurs.

1. Einführung

Das Schaltvermögen und die Kontaktlebensdauer von Motorschaltern für Wechselstrom hängen u.a. vom Verlauf der Einschwingspannung ab. Diese ist eine Funktion des Stromkreises sowie des Schalters selbst. Um für den Nachweis des Schaltvermögens und der Kontaktlebensdauer von Schaltern der Gebrauchskategorien AC-3 und AC-4 vergleichbare und praxisnahe Bedingungen zu schaffen, wurden in den vergangenen Jahren im Rahmen der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (CEI) Empfehlungen für den Aufbau und die Justierung des entsprechenden Prüfstromkreises erarbeitet [1; 2]²⁾.

Der Prüfstromkreis enthält die Spannungsquelle, den Prüfschalter und den Lastkreis. Letzterer soll aus Reihenschaltungen von Widerständen R und Luftdrosselpulen L bestehen, zu denen Kondensatoren C_p und Widerstände R_p derart parallelgeschaltet werden, dass die empirisch aus dem Verhalten festgebremster Asynchronmotoren gefundenen Beziehungen

$$f = 2000 I^{0,2} U^{-0,8} \pm 10\% \quad (1)$$

$$\gamma^* = 1,1 \pm 0,05 \quad (2)$$

erfüllt sind. Darin sind

¹⁾ Beitrag für das II. International Symposium on Switching Arc Phenomena im September 1973 in Lodz.

²⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

f [kHz] Frequenz der Einschwingspannung;

I [A] Schaltstrom;

U [V] Nennbetriebsspannung des Prüfschalters;

γ^* natürlicher Überschwingfaktor der Einschwingspannung (Fig. 1).

Die Parameter f und γ^* der natürlichen Einschwingspannung u_e^* sind Kenngrößen des Lastkreises. Die natürliche Einschwingspannung tritt bei der lichtbogenfreien Kontakt-

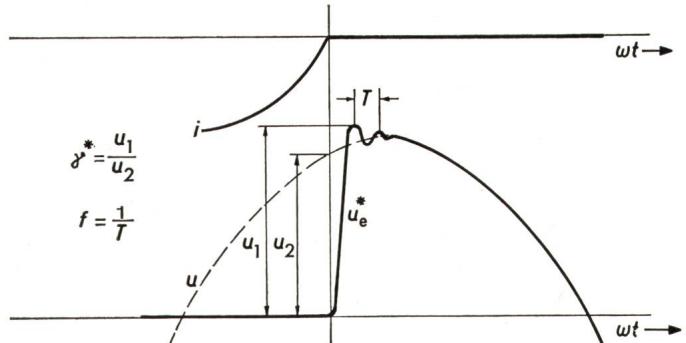


Fig. 1
Definition des Überschwingfaktors γ^* und der Frequenz f der natürlichen Einschwingspannung u_e^*

i Schaltstrom

u treibende Spannung

ω Kreisfrequenz der Spannungsquelle

t Zeit

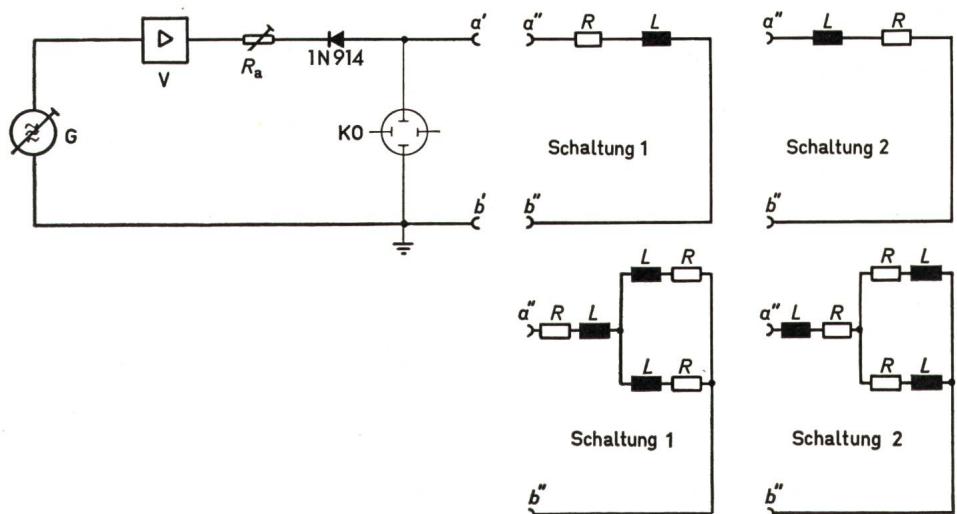


Fig. 2
Schaltschema für die Ermittlung
der Parameter der natürlichen
Einschwingspannung

- R_a Vorwiderstand
- R Belastungswiderstand
des Prüfstromkreises
- L Belastungsinuktivität
des Prüfstromkreises

Fig. 3
Parameter der natürlichen
Einschwingspannung (einphasig)

- a Frequenz f
- b Überschwingfaktor γ^*
- U Nennbetriebsspannung
- I Schaltstrom

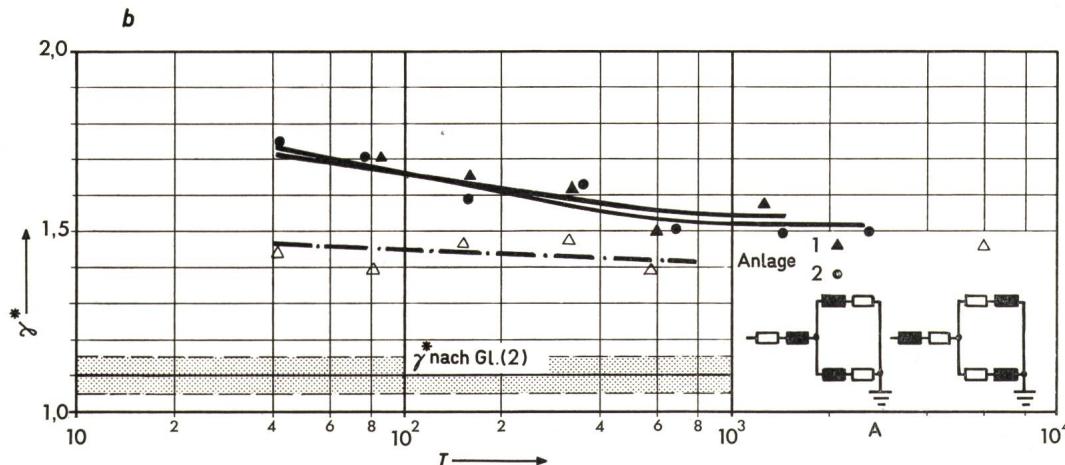
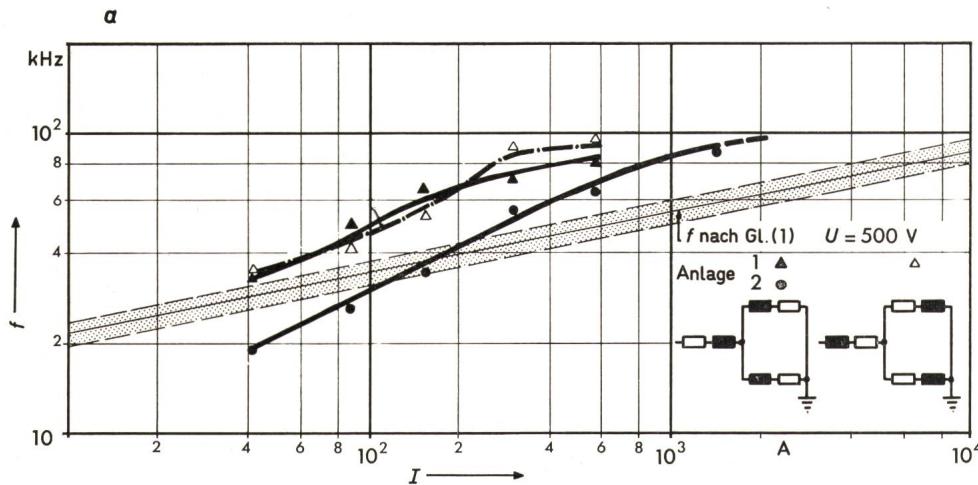
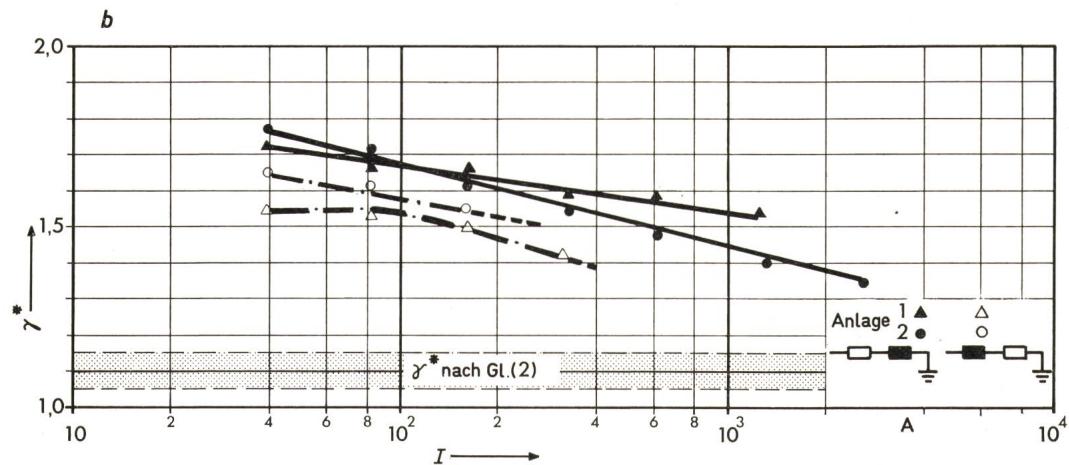
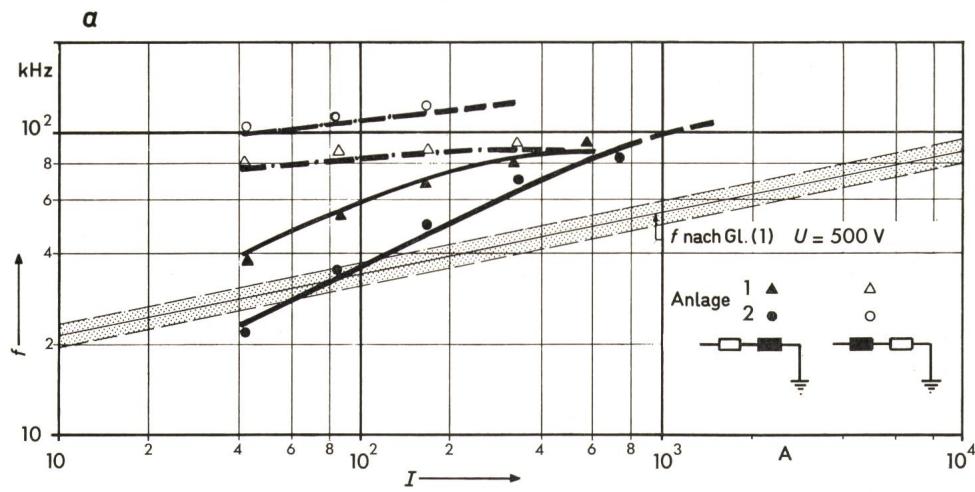


Fig. 4
Parameter der natürlichen
Einschwingspannung (dreiphasig)

- a Frequenz f
- b Überschwingfaktor γ^*
- Weitere Bezeichnungen
siehe Fig. 3

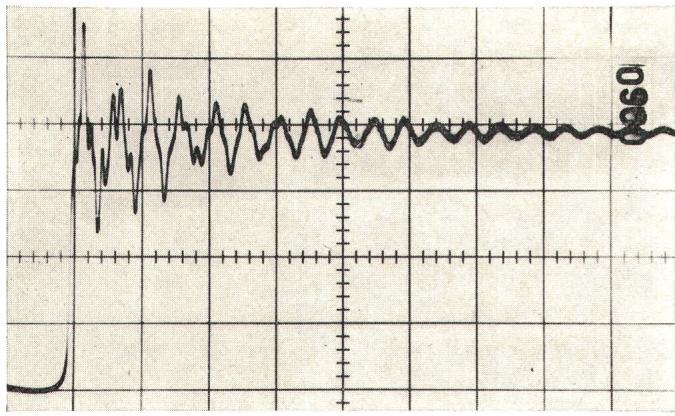


Fig. 5
Naturliche, unbedämpfte Einschwingspannung
dreiphasig, Anlage 2, Schaltung 2,
 $I = 1440 \text{ A}$, $20 \mu\text{s}/\text{Teilung}$

trennung im natürlichen Stromnulldurchgang auf und kann durch das in [1; 2] beschriebene Anstossverfahren simuliert werden.

Nachfolgend sei über Erfahrungen berichtet, die im Niederspannungs-Prüffeld der Sprecher & Schuh AG mit der Handhabung von CEI-Prüfstromkreisen gewonnen wurden.

2. Versuchsbedingungen

Es wurden zwei verschiedene Prüfstromkreise für Motorschalter untersucht, die weiter unten mit Anlage 1 und Anlage 2 bezeichnet werden. Jede Anlage besteht im wesentlichen aus einem dreiphasigen Prüftransformator, dem Prüfschalter sowie Widerständen und Luftdrosselpulen als Belastungselementen. Die Belastungselemente der drei Phasen sind jeweils untereinander in ihrem mechanischen Aufbau und somit auch in ihrem elektrischen Verhalten hinreichend gleich. Der Prüfschalter ist ein Schütz mit 160 kW Nennleistung AC-3/AC-4 bei 500 V. Sämtliche Versuche beziehen sich auf eine Nennbetriebsspannung $U = 500 \text{ V}$ und einen Leistungsfaktor $\cos \varphi = 0,35$. Der charakteristische Grenzwert von 10 % Spannungsabfall beträgt für Anlage 1: 600 A und für Anlage 2: 2300 A. Gemäß den Empfehlungen in [1; 2] wurden die Parameter f und γ^* der natürlichen Einschwingspannung nach dem in Fig. 2 dargestellten Schaltschema ermittelt. Die Untersuchungsergebnisse können aber nicht ohne Einschränkungen auf Prüfstromkreise anderer Bauart übertragen werden.

3. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

3.1 Transientes Verhalten der unbedämpften Prüfstromkreise

Damit ein Prüfstromkreis die in Gl. (1) und (2) ausgedrückten Bedingungen erfüllen kann, müssen die Parameter f und γ^* der natürlichen Einschwingspannung des unbedämpften Kreises, d.h. mit $R_p = \infty$ und $C_p = 0$ im Lastkreis, mindestens gleich oder grösser als in Gl. (1) und (2) angegeben sein. Prüfkreise, die diese Bedingung nicht erfüllen, können nicht justiert werden. Für die unbedämpften Prüfstromkreise wurden f und γ^* nach dem erwähnten Anstossverfahren ermittelt, und zwar entsprechend dem Vorschlag in [1; 2] zunächst einphasig und darauf dreiphasig (Fig. 2). Die in Fig. 3 und 4 gezeigten Ergebnisse, die mit entsprechenden Diagrammen in [3] prinzipiell übereinstimmen, lassen folgende Schlüsse zu:

a) Bestehende industrielle Prüfstromkreise dürften im allgemeinen in der Lage sein, die in Gl. (1) und (2) aufgestellten Forderungen hinsichtlich der natürlichen Einschwingspannung zu erfüllen.

b) f und γ^* hängen von der Reihenfolge der Belastungselemente ab, was auf unterschiedlich grosse Erdkapazitäten von R und L zurückzuführen ist.

c) Drei- und einphasig mit einem Anstossverfahren ermittelte Werte für f und γ^* unterscheiden sich – ebenfalls infolge unterschiedlich wirksamer Erdkapazitäten – zum Teil nicht unwesentlich.

d) Die natürliche, unbedämpfte Einschwingspannung verläuft bei grossen Strömen, in der Anlage 2, Schaltung 2 sogar im gesamten Strombereich, mehrwellig (s. Fig. 5) und kann dann nicht mehr durch f und γ^* beschrieben werden. Entsprechend kann das zugehörige Schwingungssatzschaltbild nicht mehr auf eine Parallelschaltung von Induktivität, Kapazität und Widerstand reduziert werden. Bei Bedämpfung der Einschwingspannung gemäß Gl. (1) und (2) wird jedoch im allgemeinen die gewünschte Einwelligkeit erzielt.

3.2 Justierung der Einschwingspannung

Im Anschluss an die Feststellung des transistenten Verhaltens der unbedämpften Prüfstromkreise wurde die Justierung der Einschwingspannung entsprechend den Gl. (1) und (2) vorgenommen. Hierbei wurde bewusst streng nach [1; 2] vorgegangen, indem zunächst die drei Phasen des jeweiligen Lastkreises einzeln justiert wurden und anschliessend eine Phase in Reihe zur Parallelschaltung der beiden anderen (Simulierung der Verhältnisse für die erstlöschende Phase), und zwar in jeder möglichen Kombination.

Fig. 6 zeigt als Beispiel die Einschwingspannung vor und nach der Justierung.

In Fig. 7 und 8 sind die erforderlichen Werte für C_p und R_p über dem Schaltstrom aufgetragen.

Zu den Ergebnissen und zur Durchführung der Versuche lassen sich folgende Feststellungen treffen:

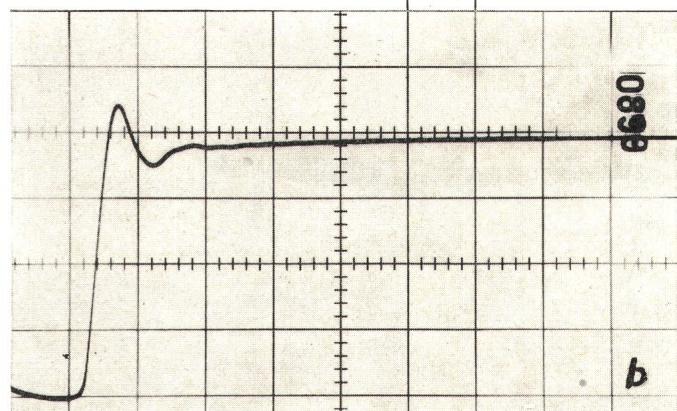
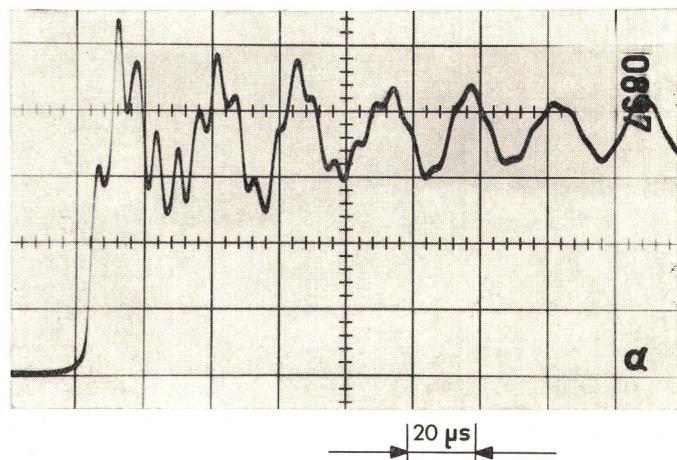


Fig. 6
Naturliche Einschwingspannung
a vor und b nach der Justierung, dreiphasig, Anlage 2, Schaltung 2,
 $I = 695 \text{ A}$, $20 \mu\text{s}/\text{Teilung}$

a) Die Anlagen 1 und 2 benötigen zur Erfüllung der Gl. (1) und (2) in Abhängigkeit vom Strom Parallelkapazitäten $C_p < 10 \text{ nF}$ und Parallelwiderstände $100 < R_p < 3000 \Omega$.

Durch den Parallelwiderstand fließen nur $1\ldots2\%$ vom Schaltstrom.

b) Die Vertauschung der Belastungselemente R und L beeinflusst erwartungsgemäß C_p , nicht aber R_p . Weiterhin ist es für die Bestimmung von R_p auch unerheblich, ob das Anstossverfahren auf die drei- oder einphasige Last angewendet wird. Insgesamt ist also die Ermittlung von R_p recht unkritisch, während C_p nicht nur von der Reihenfolge der Belastungselemente, sondern auch von der Anzahl der im Messkreis befindlichen Phasen abhängt. Diese Komplikation wird, wie schon erwähnt, durch die unterschiedlichen Erdkapazitäten der einzelnen Elemente verursacht, die je nach Schaltung verschieden zur Wirkung kommen.

c) Messtechnisch stellt die Ermittlung der Frequenz einer stark bedämpften Schwingung (vgl. Fig. 6b) auf $\pm 10\%$ Genauigkeit [s. Gl. (1)] ein Problem dar. Bei der Versuchsdurchführung wurde daher an Stelle des iterativen Abgleichs für f und γ^* ein Abgleich in zwei Schritten vorgenommen. Zuerst wurde die unbedämpfte Einschwingspannung mit C_p auf die erforderliche Frequenz gebracht. Infolge geringer Dämpfung ist die Frequenz auf $\pm 3\%$ bestimmbar. Anschließend wurde die Schwingung mittels R_p auf $\gamma^* = 1,1$ [s. Gl. (2)] bedämpft. Dieses Verfahren ist einfach und praktikabel. Allerdings ergibt sich ein negativer Fehler für die Einschwingfrequenz von zunächst unbekannter Größe.

Aufschluss über den entstehenden Frequenzfehler erhält man auf theoretischem Weg durch Berechnung der Frequenzabhängigkeit der Einschwingspannung vom Parallelwiderstand.

Ausgangsgleichung ist [4]

$$\gamma^* = 1 + \exp \left(-\frac{\alpha}{\nu} \pi \right) \quad (3)$$

mit

α Dämpfungskonstante

$\nu = 2 \pi f$ Eigenkreisfrequenz des Schwingkreises

Aus zwei Wertepaaren für f und γ^* , die man messtechnisch bei $R_p = \infty$ mit $C_p = 0$ (unbedämpfter Prüfkreis) bzw. $C_p > 0$ [entsprechend Gl. (1)] gewinnt, lässt sich mit Gl. (3) nach einigen Umformungen die Frequenz in Abhängigkeit vom Parallelwiderstand berechnen. Das Rechnergebnis für den Prüfkreis 2 zeigt Fig. 9. Es ist ersichtlich, dass sich im Prüfkreis, der für verschiedene Stromstufen mittels C_p auf Frequenzen gemäß Gl. (1) gebracht worden war, durch nachfolgendes Zuschalten von Parallelwiderständen zunächst nur ein geringer Einfluss auf die Frequenz ergibt ($< 5\%$ bei $\gamma^* > 1,3$). Im Bereich $\gamma^* = 1,1$ verringert sich jedoch die Frequenz mit $\leq 15\%$ schon recht spürbar. Der Fehler kann dadurch weitgehend kompensiert werden, dass man die Frequenz im ersten Schritt ca. $10\ldots15\%$ höher als nach Gl. (1) einstellt. Mit der Bedämpfung der Einschwingspannung durch R_p auf $\gamma^* = 1,1$ beim anschließenden zweiten Schritt vermindert sich dann die Frequenz recht genau auf den gewünschten Wert. Das geschilderte Verfahren sollte sich grundsätzlich bei allen CEI-gemäßen Prüfstromkreisen anwenden lassen, auch wenn gewisse quantitative Unterschiede zu berücksichtigen sein werden.

d) Die Parallelwiderstände und Parallelkapazitäten der drei Phasen können während der Justierung praktisch genau genug durch einen resultierenden Widerstand und eine resultierende Kapazität ersetzt werden, was eine nicht unerhebliche Vereinfachung darstellt (Fig. 10). Es gilt:

$$R_p = \frac{2}{3} R_{pg} \quad (4)$$

und

$$C_p = \frac{3}{2} C_{pg} \quad (5)$$

3.3 Praktische Eigenschaften justierter Prüfstromkreise

Abschließende Schaltversuche wurden mit den justierten Prüfstromkreisen durchgeführt, um die am Prüfschalter auftretende Einschwingspannung zu untersuchen und um die praktische Auswirkung CEI-gemäßer Prüfstromkreise auf das

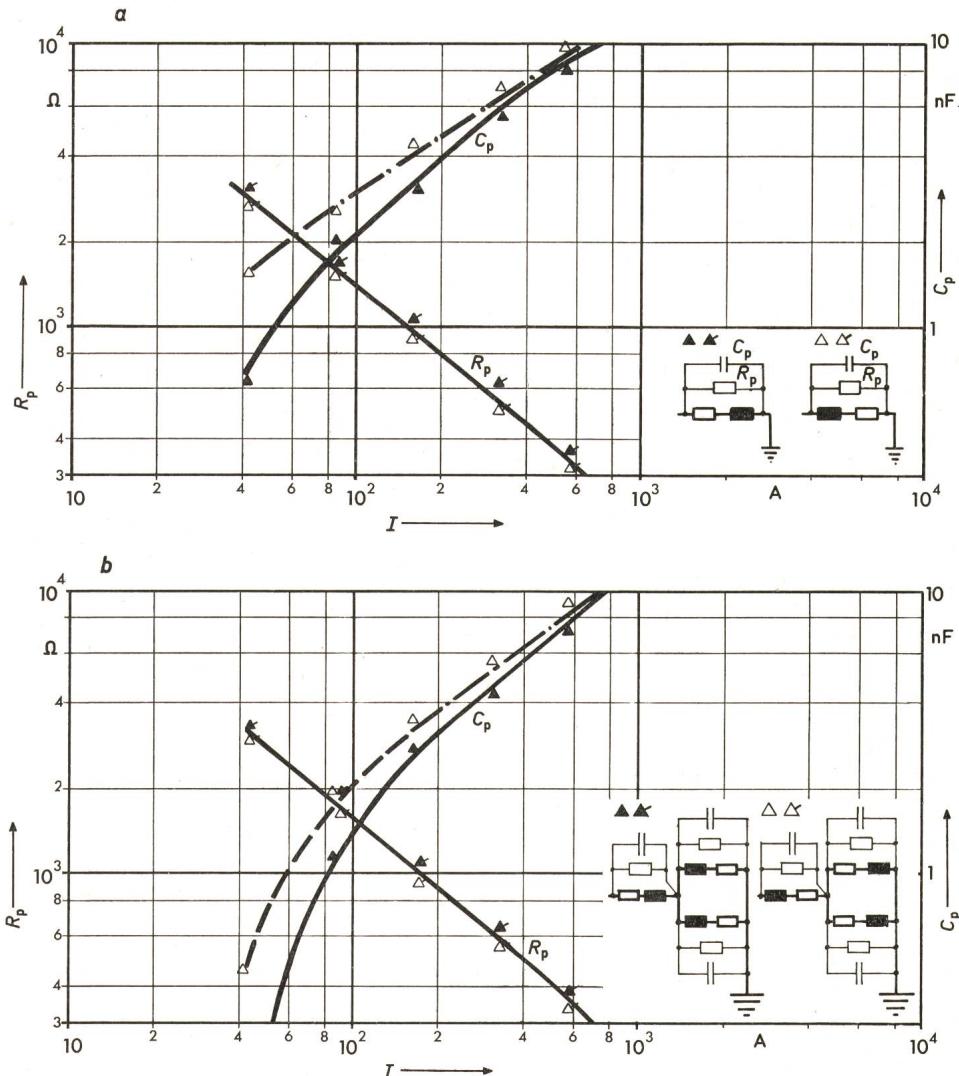


Fig. 7
Parallelwiderstand R_p
und Parallelkapazität C_p in Abhängigkeit
vom Schaltstrom I
Anlage 1
a einphasig
b dreiphasig

Verhalten eines Prüfschalters an einem Beispiel zu demonstrieren. Das Schaltschema für den ersten Versuch zeigt Fig. 11. Die Hauptunterschiede zum Anstossverfahren (vgl. Fig. 2) liegen in folgendem:

- Nicht nur die Last, sondern der gesamte Kreis inklusive Transformator bildet den Schwingkreis.
- Anstelle einer Diode wird der Kreis durch die Lichtbo genlöschung der ersten Phase am Prüfschalter zum Schwingen angeregt.

Der Prüfschalter wurde in der dargestellten Weise mit allen drei Polen in Reihe zur einphasigen Unterbrechung des Kreises eingesetzt. Damit war für die Messung diejenige Phase definiert, in welcher der Schaltlichtbogen sicher beim ersten Stromnullwerden nach der Kontakttrennung zuerst erlosch. Die Einschwingspannung wurde mit einem Kathodenstrahlzosillographen mit Differenzeingang registriert.

Unter der Voraussetzung, dass keine nennenswerten Nachstromvorgänge zu berücksichtigen sind, bleiben Frequenz und

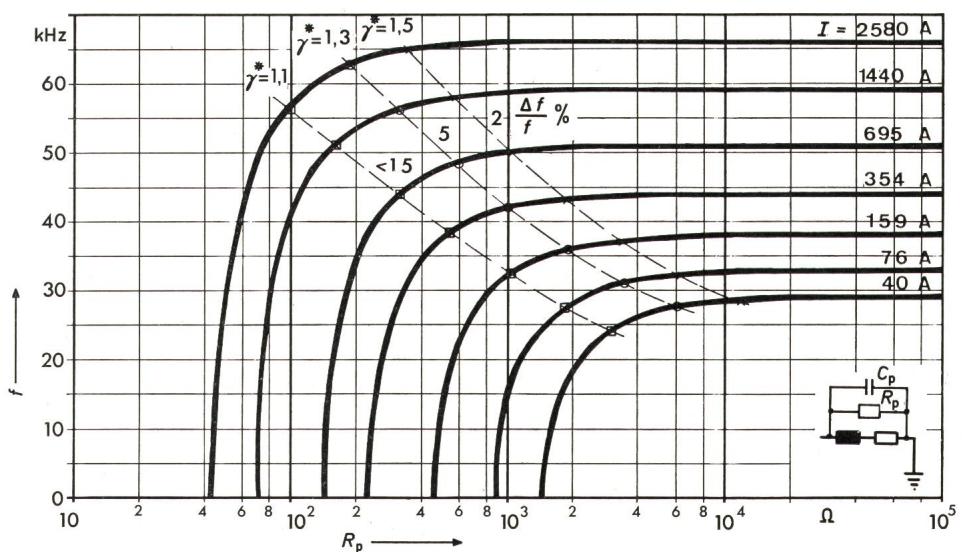
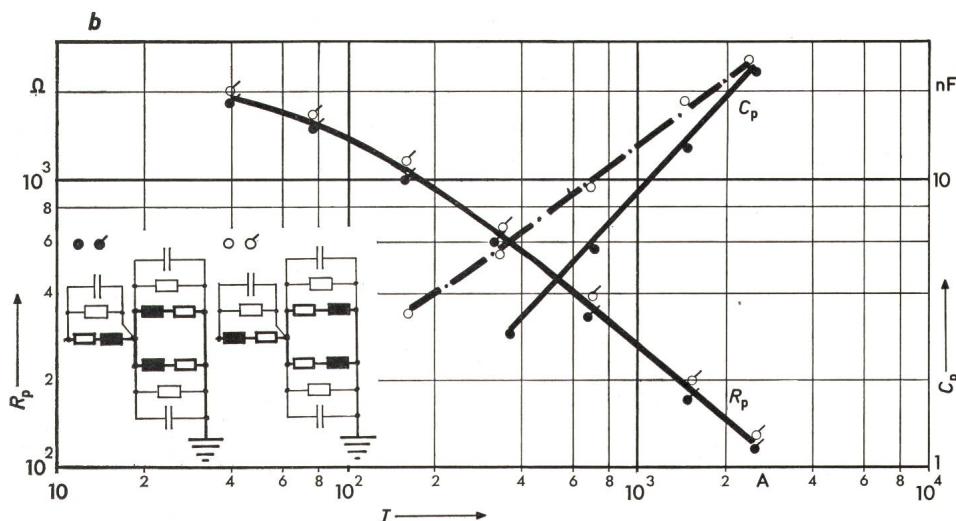
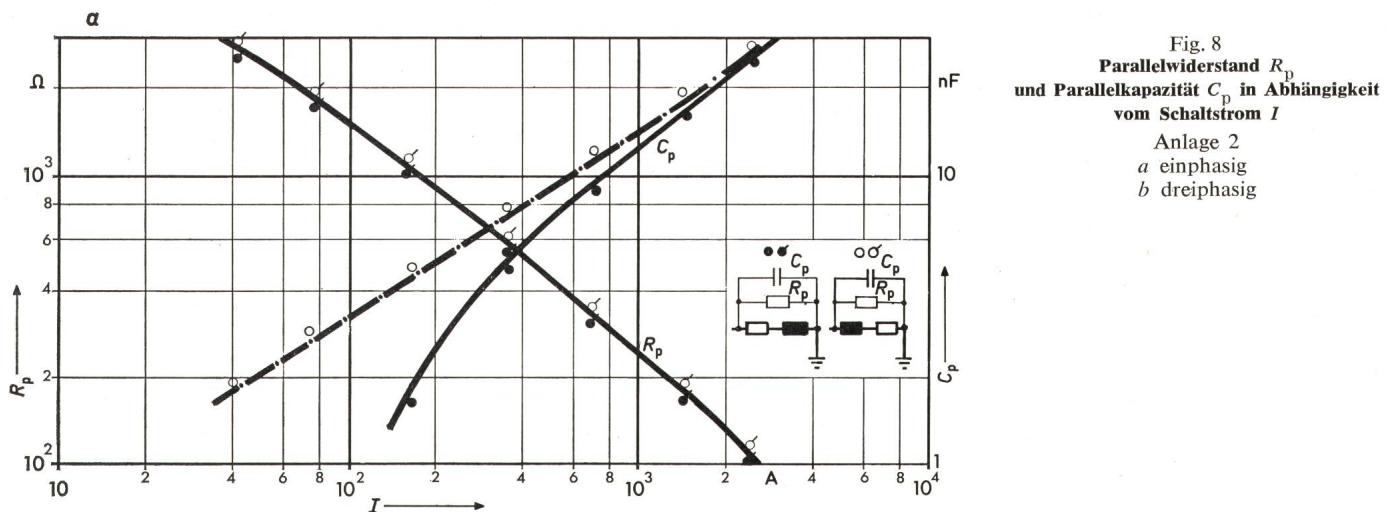


Fig. 10
Vereinfachtes Schaltschema
für die Justierung

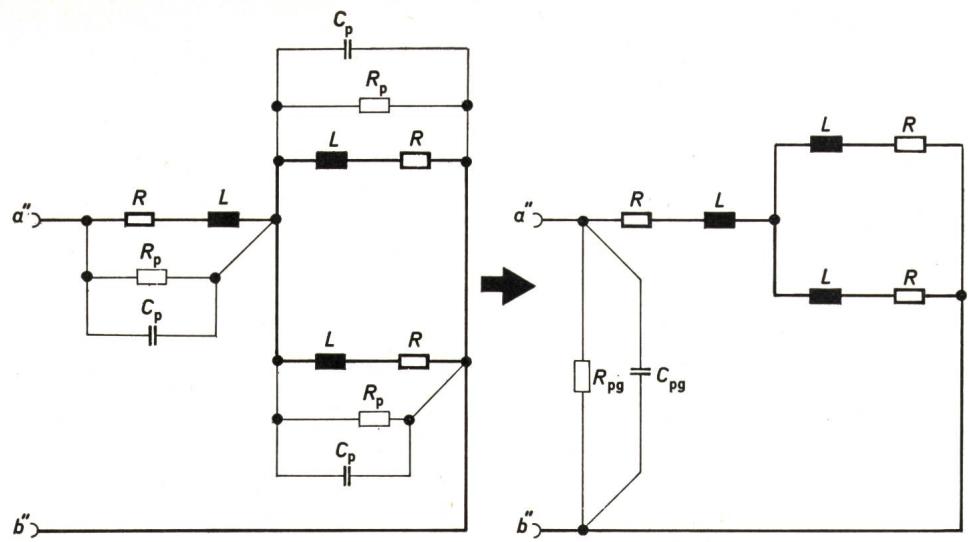
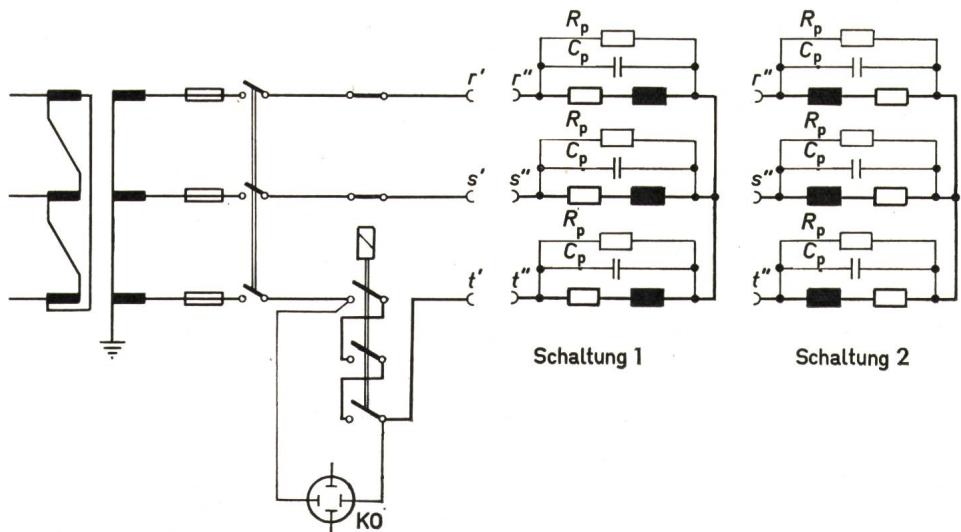


Fig. 11
Schaltschema für die Ermittlung
der durch den Lichtbogen beeinflussten
Einschwingspannung



Dämpfung der Einschwingspannung u_e konstant, verglichen mit dem Anstossverfahren. Der zeitliche Verlauf von u_e ist jedoch unter dem Einfluss des Schaltlichtbogens statistischen Streuungen unterworfen. Es sind anhand von Fig. 12 zwei Überschwingfaktoren zu unterscheiden. Das Verhältnis Scheitelwert \hat{u}_e der Einschwingspannung zu Momentanwert $\hat{u} \cdot \sin \varphi$

($\varphi =$ Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung) ist ein Mass für die Schaltüberspannung im Netz und soll mit γ bezeichnet werden. Der Überschwingfaktor γ ist von der Lichtbogenspannung u_B zur Zeit des Stromnullwerdens abhängig und somit statistischen Streuungen ausgesetzt. Der natürliche Überschwingfaktor γ^* kennzeichnet hingegen zusammen mit f das transiente Verhalten des Prüfkreises. γ^* ist somit vom Prüfschalter unabhängig und kann näherungsweise aus Abschaltoszillogrammen gemäss Fig. 12 ausgewertet werden.

Es ist [4]:

$$\gamma \geq \gamma^* \quad (6)$$

Die Vergleichsversuche zum Anstossverfahren ergaben für beide Prüfstromkreise und eine Reihe von Stromstufen Abweichungen für die Frequenz f und den natürlichen Überschwingfaktor γ^* , die mit etwa $\pm 10\%$ innerhalb der Auswertegenaugkeit lagen. Damit ist bestätigt, dass das in [1; 2] empfohlene Anstossverfahren bei sorgfältiger Handhabung die einwandfreie Justierung der Einschwingspannung in Prüfstromkreisen für Motorschalter erlaubt.

Obwohl, wie unter 3.2 erwähnt, die untersuchten Prüfstromkreise nur 1...2 % vom Schaltstrom durch die Parallelwiderstände führen, zeigen sich gegenüber unbedämpften Prüfkreisen unter Umständen erhebliche Unterschiede im Schaltverhalten des Prüfschalters.

Fig. 13 zeigt die erforderliche Anzahl Stromnulldurchgänge bis zur Lichtbogenlöschung beim Ausschalten zweier verschiedener Ströme mit dem eingangs erwähnten Schütz in einer

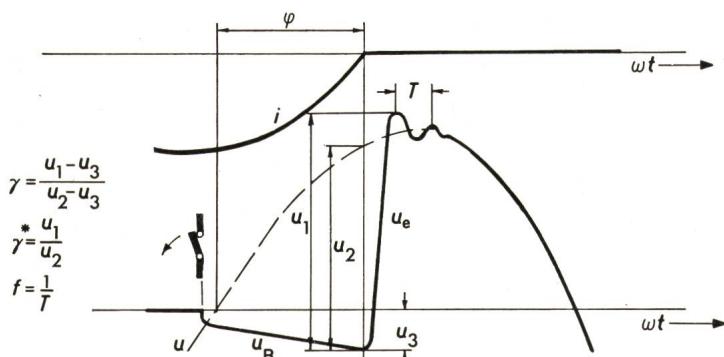


Fig. 12

Definition der Überschwingfaktoren
unter Berücksichtigung der Lichtbogenspannung

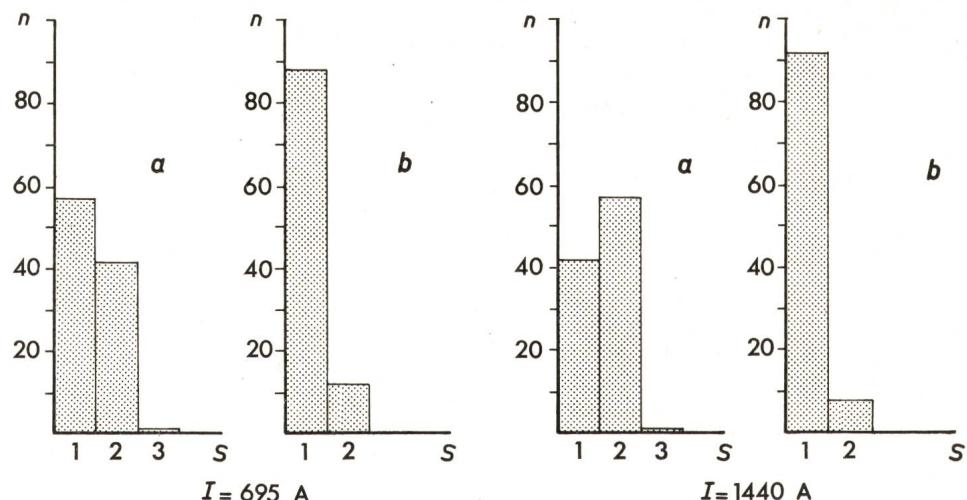
- i Schaltstrom
- φ Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung
- u treibende Spannung
- u_B Lichtbogenspannung
- ω Kreisfrequenz der Spannungsquelle
- t Zeit
- γ Überschwingfaktor
- γ^* natürlicher Überschwingfaktor
- f Frequenz der Einschwingspannung

Fig. 13
Häufigkeit der Stromnulldurchgänge bis zur Lichtbogenlöschung

Anlage 2, Schaltung 1

S Anzahl Stromnulldurchgänge
n Anzahl Schaltungen
Prüfstromkreis:

a unbedämpft
b bedämpft



Prüfschaltung gemäss [1; 2]. Für die 100 Schaltungen pro Versuch wurden jeweils neue Kontakte verwendet. Es ist ersichtlich, dass die Kontaktbeanspruchung im justierten Prüfkreis viel kleiner ist als im nicht justierten. Da der justierte Kreis in etwa die praktischen Verhältnisse beim Tippen (inching) und Reversieren (plugging) von Asynchronmotoren gemäss Gebrauchskategorie AC-4 simuliert, sollte nicht nur das Schaltvermögen, sondern auch die Kontaktlebensdauer von Motorschaltern nach Kategorie AC-4 in justierten Prüfkreisen ermittelt werden.

Literatur

- [1] Appareillage de commande à basse tension. Première partie: Contacteurs. Publication de la CEI 158-1, 1970.
- [2] Démarrageurs de moteurs à basse tension. Première partie: Démarrageurs directs (sous pleine tension) en courant alternatif. Publication de la CEI 292-1, 1969.
- [3] O. Loh, P. Brünig und W. Weissgerber: Über Einschwingvorgänge bei Abschaltungen von Starkstromanlagen. Arch. Elektrotechn. 52(1968)1, S. 44...56.
- [4] G. Studtmann: Lichtbogenlöschung in Prüfstromkreisen für Steuerschalter. Elektr. Ausrüstung 10(1969)4, S. 96...103.

Adresse der Autoren:

P. Chaudhuri und Dr. G. Studtmann, Sprecher & Schuh AG, 5001 Aarau.

Teilverkabelung der 220-kV-Heitersbergleitung

Von E. Homberger

621.315.232(494.22)

Vor mehr als 10 Jahren projektierte die Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK) eine 220-kV-Leitung von Niederwil im aargauischen Reusstal über den Heitersberg ins Limmat- und ins Furttal. Streng genommen handelt es sich um eine Ausweitung der bestehenden 220-kV-Verbindung Mettlen–Beznau, die nämlich in Niederwil aufgeschnitten, von dort über ein noch zu erstellendes Unterwerk Spreitenbach nach dem neuen Unterwerk Regensdorf und auf dem gleichen Trasse zurück nach Niederwil geführt werden soll (Fig. 1). Wie aus zahlreichen Presseberichten bekannt sein dürfte, entspannt sich eine heftige Diskussion darüber, ob die Leitung als Frei- oder Kabelleitung zu erstellen sei. Ein vom Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement eingeholtes fachmännisches Gutachten, das auf die Schwierigkeiten

einer Verkabelung hinwies, sie aber nicht ausschloss, vermochte keine Klärung herbeizuführen. Nach einem langwierigen Verfahren und erst, als sich das Bundesgericht als Rekursinstanz für die Freileitungslösung entschieden hatte, war es der NOK möglich, mit den Vorbereitungen für den Bau der Leitung zu beginnen.

Groteskerweise bezogen sich die ersten Arbeiten auf ein Kabelteilstück, das von allem Anfang an bei Spreitenbach vorgesehen war. Die fast lückenlose Überbauung auf weite Strecken im Limmattal verunmöglichte es hier, ein Freileitungstrasse zu finden, weshalb sich die NOK entschloss, das Dorf, oder besser die Satellitenstadt, Spreitenbach samt dem neuen Verschiebebahnhof der SBB zu unterfahren. Mit Rücksicht auf die Bedeutung der Leitung für die Versorgung grosser und wichtiger Industriegebiete mit Elektrizität, bedeutet der Einbau eines 2,5 km langen Kabelleitungsstückes in das bis heute fast ausschliesslich aus Freileitungen bestehende Höchstspannungsnetz ein gewisses Wagnis. Denn es darf nicht vergessen werden, dass bei Störungen in den anschliessenden Teilen des Höchstspannungsnetzes über die neue Leitung beträchtliche, in ihrer Höhe nur schwer beeinflussbare Ströme fliessen können.

Anfangs September 1973 konnte nun die NOK die Presse sowie einige Interessierte zu einer Besichtigung der Arbeiten am Kabeltrasse einladen. Vorgängig wies Vizedirektor Niggli der NOK auf die vielfältigen Probleme hin, die die Erstellung einer Kabelleitung des Höchstspannungsbereiches in einem überbauten Gebiet mit sich bringt. Kopfzerbrechen bereitete bereits die

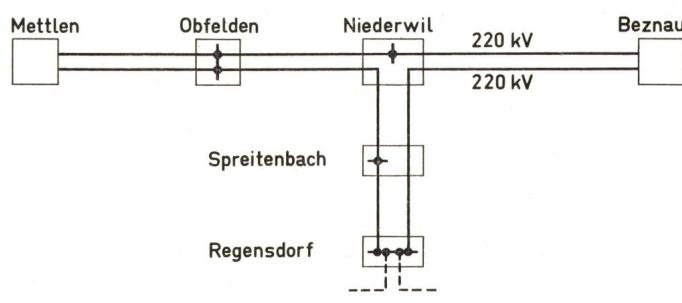


Fig. 1
220-kV-Verbindungen Mettlen-Beznau