

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: 65 (1974)

Heft: 11

Artikel: Fernauslösetechnik : eine besondere Form von Nachrichtenübertragung

Autor: Eggimann, F. / Pfund, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915417>

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: 03.04.2026

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

Fernauslösetechnik – eine besondere Form von Nachrichtenübertragung

Von F. Eggimann und J. Pfund

621.398 : 621.391

Die Auslösung von Leistungsschaltern über niederfrequente oder hochfrequente Signalverbindungen ist nötig, um Objekte und Leitungen in Fehlerfällen vor Schaden zu schützen und die Netzstabilität zu erhalten. Die Anforderungen an die Sicherheit, Zuverlässigkeit und maximale Befehlsübertragungszeit eines Fernauslösesystems zeigen charakteristische Unterschiede zu anderen Arten der digitalen Nachrichtenübertragung und überraschende Verwandtschaft mit der Radartechnik. Die Geräte können je nach Frequenzlage ihres Sende- und Empfangssignals in den beiden Gruppen Niederfrequenz- und Hochfrequenz-Fernauslösegeräte zusammengefasst werden. Ihre Auslegung wird geprägt durch die Störcharakteristik des betreffenden Übertragungskanals; charakteristische Beispiele für den Zusammenhang zwischen Sicherheit, Zuverlässigkeit und Übertragungszeit werden gegeben.

Le déclenchement de disjoncteurs par des liaisons de signalisation, à basse ou à haute fréquence, est nécessaire, dans le cas de défauts, afin de protéger des objets et des lignes, ainsi que pour maintenir la stabilité du réseau. Les exigences posées à la sûreté, à la fiabilité et à la rapidité maximale de la transmission de l'ordre d'un système de télédéclenchement sont nettement différentes de celles posées aux transmissions numériques de communications, mais sont étonnamment analogues à la technique du radar. Suivant la fréquence de leurs signaux d'émission et de réception, ces appareils peuvent être classés dans les deux groupes à basse fréquence et à haute fréquence. Leur conception doit tenir compte de la caractéristique de bruit du canal utilisé pour la transmission; des exemples caractéristiques de la relation entre sûreté, fiabilité et rapidité de transmission sont indiqués.

1. Einleitung

Die Versorgung aller Verbraucher mit elektrischer Energie hat heute einen ausserordentlichen Stand der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit erreicht. Dies war nur möglich durch immer engere Vermaschung der Netze auf tieferer Spannungsebene und Zusammenschaltungen zu nationalen und internationalen Verbundnetzen auf hoher und höchster Spannungsebene. Der wirtschaftliche und zuverlässige Betrieb solcher Energienetze bedingt den parallelen Aufbau von dichten und ebenso zuverlässigen Informationsnetzen. Die Informationskanäle dienen einerseits der Übertragung von Messwerten und Befehlen – zusammengefasst unter dem Begriff Fernwirktechnik – andererseits der schnellen, sicheren und zuverlässigen Übertragung von Signalen zur Steuerung von Leistungsschaltern zum Schutze von Objekten und Leitungen – zusammengefasst unter dem Begriff Fernauslösetechnik.

Während die Fernwirktechnik das Führungsmittel für die Aufrechterhaltung des normalen Betriebes eines Energienetzes darstellt, können die Übertragungskanäle der Fernauslösetechnik – sie ist im englischen und französischen Sprachbereich unter dem Namen «Teleprotection» bekannt – mit den Alarmverbindungen der Feuerwehr verglichen werden: Sie stehen in dauernder Bereitschaft, werden nur selten benötigt, sollten im Ernstfall aber zuverlässig und sicher funktionieren. Erschwerend kann hinzukommen, dass gewisse Übertragungskanäle gerade in einem solchen Ernstfall – sei es ein Leitungskurzschluss oder ein Blitzeinschlag – um ein Mehrfaches stärker gestört sind als im Ruhezustand.

2. Beispiele für den Einsatz der Fernauslösetechnik

2.1 Direktauslösung für den Objektschutz

Als gutes Beispiel sei der Schutz eines Transformators betrachtet [1]¹⁾, der ohne Leistungsschalter mit der Hochspannungsleitung verbunden ist (Fig. 1). Das Messrelais am fernen Leitungsende (R_A in Fig. 1) ist nicht in der Lage, den Transformator in allen Fehlerfällen genügend sicher zu schützen, da sich der Fehlerstrom oft nur unwesentlich vom maximalen Betriebsstrom unterscheidet. Um den Transformator vollständig von der Leitung zu trennen, muss deshalb das Messrelais R_B über die Fernauslöseverbindung auch den Schalter A direkt auslösen.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

2.2 Indirekte Fernauslösung für den Leitungsschutz

Ein Beispiel für diesen wohl häufigsten Anwendungsfall zeigt Fig. 2:

Eine lange und hoch belastete Leitung wird im wesentlichen durch die beiden Messrelais R_A und R_B geschützt. Allerdings führen wegen der tiefen Leitungsimpedanzen nur Leitungsfehler E_Z in der Zone Z zur unmittelbaren Auslösung beider Schalter A und B. Auf Fehler gegen beide Leitungsenden hin (z. B. bei E_A) löst das entferntere Messrelais R_B erst in der verzögerten zweiten Stufe aus. Dieser Vorgang kann durch eine Duplex-Fernauslöseverbindung F zwischen R_A und R_B wesentlich beschleunigt werden: über diese Verbindung erhält das Messrelais R_B Kenntnis von Fehler E_A und veranlasst in logischer Kombination mit seinen eigenen Messwerten, d. h. «indirekt», die Öffnung des Schalters B. Die Kupplung moderner Distanzrelais mit einer hochfrequenten Signalübertragung ergibt maximale Fehlerklärungszeiten (inklusive Auslösezeit der Leistungsschalter) von 80...100 ms, wodurch Zerstörungen und Gefährdungen minimal gehalten werden können [2].

2.3 System mit Übertragung eines Sperrbefehls (Blockiersystem)

Werden die Distanzrelais R_A und R_B der Fig. 2 z. B. auf 130 % der Leitungslänge eingestellt, überwachen sie wohl die Leitung auf ihrer ganzen Länge, sprechen aber u. U. auch auf Fehler jenseits der gegenüberliegenden Schalter an. Die Übertragung eines Sperrbefehls des jenseitigen Relais soll dies ver-

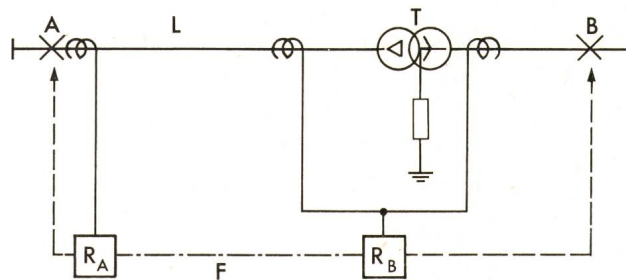


Fig. 1 Direkte Fernauslösung zum Schutz eines Transformators T

Die lange Übertragungsleitung L schirmt gewisse Transformatorenfehler für das Messrelais R_A stark ab. Über die Fernauslöseverbindung F sorgt das Messrelais R_B für die Abschaltung von A, B Leistungsschalter

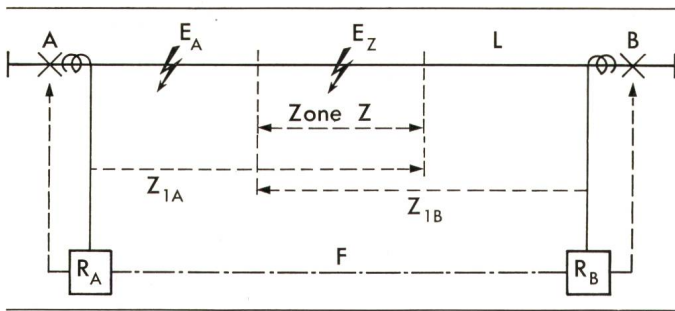


Fig. 2 - Indirekte Fernauslösung für den Leitungsschutz

Die indirekte Fernauslösung über die Fernauslöse-Verbindung F («Signalkupplung») bewirkt die sichere Fehlerklärung in allen Fehlerfällen innerhalb 80...100 ms, d. h. in der Grundzeit. Für die Signalübertragung stehen dabei rund 20 ms zur Verfügung.

- L Übertragungsleitung
- A, B Leistungsschalter
- R_A, R_B Messrelais («Distanzrelais»)
- Z_{1A}, Z_{1B} Einstellung der ersten Stufe der Distanzrelais (z. B. je 85 % der Leitungslänge)
- Z Zone der direkten Auslösung in A und B (z. B. 70 % der Leitungslänge)
- E_Z Leitungsfehler in der Zone Z
- E_A Leitungsfehler zwischen Z und A

hindern; trifft der Sperrbefehl nicht ein, löst das Relais nach kurzer Wartezeit aus. Blockiersysteme sind damit auf die zuverlässige, vor allem aber schnelle Übertragung eines Sperrbefehls angewiesen, da sich die Auslösung in jedem Fall um die Wartezeit verzögert.

3. Anforderungen an ein Fernauslösesystem im Vergleich zu anderen Nachrichtensystemen

3.1 Anforderungen an die Übertragung

Aus den drei Beispielen des letzten Abschnitts ergeben sich eindeutig die folgenden wichtigsten Grundforderungen an alle Fernauslösesysteme:

- *Zuverlässigkeit* der Übertragung eines Auslöse- oder Blockierbefehls (z. B. Wahrscheinlichkeit eines Befehlsverlustes $p_g < 10^{-3}$);
- *Sicherheit* gegen Falschbefehle (z. B. Wahrscheinlichkeit eines Falschbefehls $p_t < 10^{-6}$);
- *Kurze Übertragungszeit* bis zur zuverlässigen Detektion eines Auslöse- oder Sperrbefehls (z. B. Übertragungszeit $t \approx 10...50$ ms).

Alle drei Parameter – Zuverlässigkeit, Sicherheit, Übertragungszeit – sind im wesentlichen Funktionen des Störgeräusches und bei einem gegebenen Gerät voneinander abhängig und gegeneinander austauschbar. In Literaturangaben und Geräteunterlagen findet man beispielsweise oft Kurven der Befehlsverlustrate bei gegebener Befehlssignaldauer als Funktion des Geräuschabstandes auf der Übertragungsstrecke (siehe z. B. Fig. 4). Eine vorteilhafte Systemauslegung wird jedoch dafür sorgen, dass höhere Geräuschpegel in der Regel nicht zu Befehlsverlust, sondern lediglich zu längeren Übertragungszeiten führen, z. B. durch kohärente Integration der empfangenen Signalenergie. Eine für den Benutzer ebenso wertvolle Angabe ist deshalb entweder die Verteilungsfunktion der Übertragungszeit mit dem Geräuschabstand als Parameter oder die mittlere Übertragungszeit als Funktion des Geräusches. Eine kurze Übertragungszeit über einen ungestörten Kanal wird deshalb nur dann wirklich Vorteile bieten, wenn sie auch bei höheren Störpegeln nicht über alle Massen wächst (siehe Fig. 8).

3.2 Vergleich eines Fernauslösesystems mit Datenübertragungs- und Radarsystemen

Obwohl das Fernauslösesignal in der Regel ein binäres Signal ist, bezieht es sich auf eine binäre Nachrichtenquelle X mit ganz extremen Eigenschaften: die Wahrscheinlichkeit P_0 der Nachricht X_0 («auslösen») ist von der Wahrscheinlichkeit P_1 der Nachricht X_1 («nicht auslösen») sehr verschieden:

$$X = \begin{pmatrix} X_0 & X_1 \\ P_0 & P_1 \end{pmatrix} \text{ mit } P_0 + P_1 = 1 \text{ und } \begin{cases} X_0 \triangleq \text{«auslösen»} \\ X_1 \triangleq \text{«nicht auslösen»} \end{cases}$$

Bei Annahme einer mittleren Befehlsdauer von 25 ms und einer Auslösung pro Jahr wird $P_0 \approx 10^{-9}$; für den Informationsgehalt I_0 und I_1 der beiden Signale und die Entropie H der Quelle ergeben sich folgende Werte ($\text{ld}x = \log_2 x$):

- Informationsgehalt von X_0 : $I_0 = \text{ld}P_0^{-1} \approx 29,9$ bit/Symbol
- Informationsgehalt von X_1 : $I_1 = \text{ld}P_1^{-1} \approx 1,4 \cdot 10^{-9}$ bit/Symbol
- Entropie der Quelle: $H(X) = P_0 \cdot \text{ld}P_0^{-1} + P_1 \cdot \text{ld}P_1^{-1} \approx 31,3 \cdot 10^{-9}$ bit/Symbol

Wie erwartet, ist der Informationsgehalt des seltenen Auslösebefehls mit rund 30 bit sehr hoch, die Entropie der Quelle gleichzeitig aber sehr niedrig. Diese Zahlen stehen in deutlichem Gegensatz zu den entsprechenden Werten einer Datenübertragung, bei der $X_0 = 0$ und $X_1 = 1$ etwa gleiche Wahrscheinlichkeit besitzen, die Entropie der Quelle also beinahe 1 bit/Symbol beträgt. Um die Grundforderungen zu erfüllen, werden deshalb andere Massnahmen nötig sein, als sie normalerweise bei der Datenübertragung getroffen werden.

Betrachtet man den Informationsfluss zeitbezogen, müsste der Fernauslösebefehl bei einer Befehlsdauer von 25 ms und geeigneter Codierung über einen Kanal mit der sehr kleinen Kapazität von rund $1,2 \cdot 10^{-6}$ bit/s übertragbar sein! Diese informationstheoretische Betrachtung vernachlässigt aber gerade den wichtigen dritten Parameter in der Liste der Anforderungen, nämlich den absoluten Zeitbedarf zwischen dem Auftreten des Auslösebefehls sendeseitig und seiner Decodierung empfangsseitig. Jede redundanzvermindernde Quellencodierung benötigt *Zeit*, wie an dem folgenden Beispiel gezeigt werden kann: Soll z. B. alle 25 ms ein Auslösebefehl übertragbar sein, verlangt dies eine Kapazität von 40 bit/s. Nimmt man jedoch an, dass höchstens alle 25 s ein solcher Befehl während 25 ms auftreten kann, teilt man diesen Zeitabschnitt in 1000 nummerierte gleiche Zeitelemente zu 25 ms und charakterisiert durch Übertragung einer zehnstelligen Binärzahl ($2^{10} = 1024$) das Element, in welchem der Befehl auftritt. Auf diese Weise wäre die benötigte Übertragungskapazität ohne Preisgabe der Zeitauflösung in 25-ms-Elemente bereits auf 10 bit pro 25 s, also um einen Faktor 100 auf 0,4 bit/s reduziert, allerdings müsste ein Auslösebefehl im Extremfall 25 s auf die Übertragung warten!

Das Beispiel lässt klar werden, dass die statistisch einseitigen Eigenschaften informationstheoretisch nur bedingt zur Reduktion der Übertragungskapazität im Sinne einer Bandbreitenreduktion genützt werden können. Ein weit geschickterer Weg geht von einem relativ breiten Übertragungskanal aus, z. B. einem Sprachkanal, der mit erster Priorität dem Fernauslösebefehl zur Verfügung steht, in zweiter Linie, dafür aber weitaus die meiste Zeit, der Sprach- oder Messwertübertragung dient.

Der Vergleich eines Fernauslösesystems mit einem Suchradar dagegen zeigt jedoch eine überraschende Verwandtschaft: vergleicht man das am Zielobjekt reflektierte Radarecho

mit dem empfangenen Auslösebefehl, findet die Zuverlässigkeit der Befehlsübertragung ihr Gegenstück in der Detektionswahrscheinlichkeit, die Sicherheit gegen Falschbefehle in der Fehlalarmrate des Radars. Auch beim Radar ist der Empfang eines Zielechos viel seltener als sein Ausbleiben, so dass die beiden Fehlerarten Echowverlust und Fehlalarm in ähnlicher und charakteristischer Weise voneinander verschieden sein dürfen, ebenso ist die rasche Erkennung eines Ziels von grosser Bedeutung. Die Methodik der Empfangssignalverarbeitung eines Fernauslöseempfängers wird deshalb derjenigen eines Radarempfängers oft näher liegen als derjenigen eines Datenmodems.

4. Übertragungswege für Fernauslösesignale

4.1 Störeigenschaften

Fernauslösesignale sind auf dem Übertragungsweg mannigfaltigen Störeinflüssen ausgesetzt, welche einerseits eine gewollte Auslösung verzögern oder verunmöglichen, andererseits ungewollte Auslösungen verursachen. Die Störeinflüsse hängen vom gewählten Übertragungsprinzip ab: sie können grob in folgende drei Gruppen eingeteilt werden [3]:

- Systembedingte Störungen auf dem Übertragungsweg, nicht durch Starkstrominstallationen verursacht (Knackgeräusche, Phasensprünge, Dämpfungssprünge);
- Störungen, im Normalzustand von der Hochspannungsanlage erzeugt (Koronageräusch, Betätigung von Schaltern und Trennern);
- Störungen, mittelbar oder unmittelbar bedingt durch Fehler im Hochspannungsnetz (Lichtbogengeräusch, Schaltergeräusch, Dämpfungssprünge, Beeinflussung von Nachrichtenkabeln durch Fehlerströme).

4.2 Frequenzlage des Sende- und Empfangsgerätes

4.2.1 Niederfrequenzkanäle (300...3400 Hz)

Aus den Anforderungen unter Abschnitt 3.1 erkennt man, dass die totale Übertragungszeit die Grössenordnung von 10 bis 50 ms nicht überschreiten sollte. Bandbreite und absolute

Gruppenlaufzeit der meisten Niederfrequenz- oder Sprachkanäle lassen solche Zeiten durchaus erreichen. In der Regel sind die vorherrschenden Störgeräusche gering, so dass durch geeignete Zusatzmassnahmen die Zuverlässigkeit und Sicherheit der Befehlsübertragung gewährleistet werden kann. Im allgemeinen führt ein Niederfrequenzkanal über eine der folgenden Strecken, die ohne weiteres auch in beliebiger Kombination vorkommen können: über eine werkeigene oder gemietete galvanische Zweidrahtleitung, über einen PTT-Trägerfrequenzkanal, über eine Trägerfrequenzstrecke einer Hochspannungsleitung (TFH), oder über eine Mikrowellenrichtstrahlstrecke.

Unter diesen Kanälen verlangt die TFH-Strecke besondere Massnahmen, wird doch der Auslösebefehl zum Schutze einer Leitung oft gerade auf dem betreffenden Leitungsabschnitt selbst als TFH-Signal übertragen! Die Störungen einer solchen Strecke – erhöhter Geräuschpegel und starke Zusatzdämpfung – sind deshalb mit dem Befehlssignal korreliert, was bei allen andern, netzfremden Übertragungswegen nicht der Fall ist.

4.2.2 Hochfrequente Fernauslösekanäle über Hochspannungsleitungen (30...500 kHz)

In gewissen Ländern schränken behördliche Vorschriften den dauernden Betrieb von TFH-Verbindungen hoher Leistung stark ein; zugelassen sind lediglich relativ schmalbandige und seltene Emissionen von kurzer Dauer; beispielsweise soll eine Sendung 2 s pro 2 min nicht überschreiten. Unter diesen Bedingungen lassen sich besondere TFH-Kanäle ausschliesslich zur Übertragung von Fernauslösesignalen auslegen. Diese Kanäle besitzen in der Regel drei Zustände:

- Im Normalfall wird kein Signal übertragen;
- In gewissen regelmässigen Abständen emittiert der Sender zu Überwachungszwecken ein kurzes Signal, das Ruhelage andeutet;
- Im Fehlerfall überträgt der Kanal das Befehlssignal.

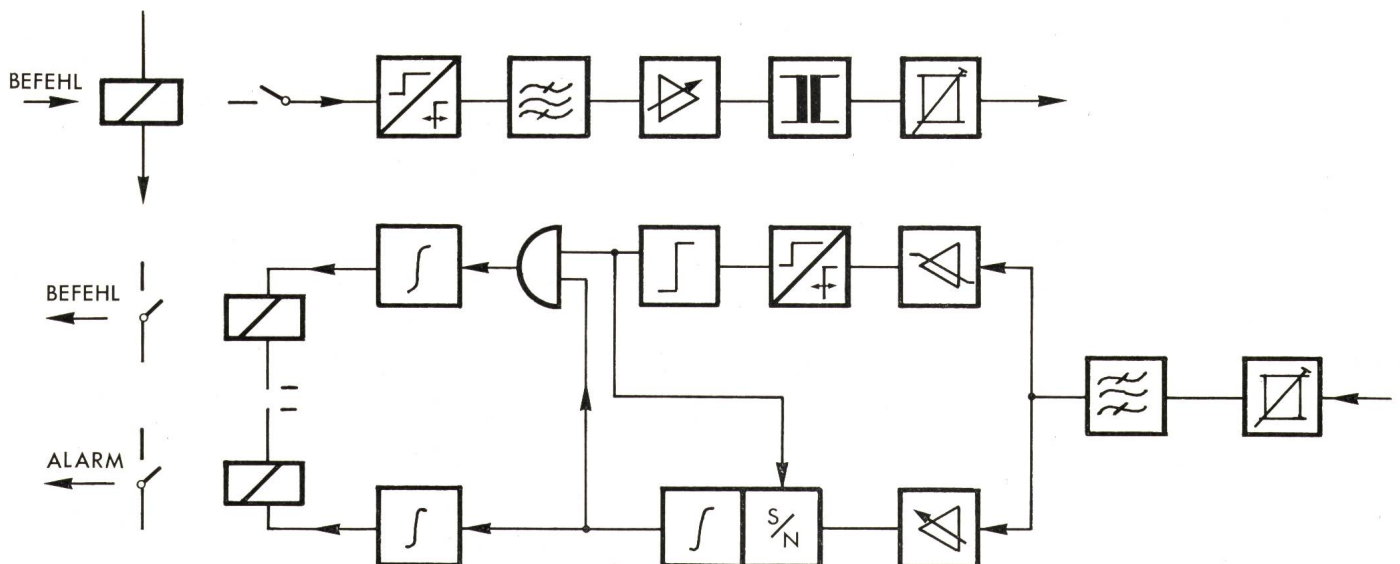


Fig. 3 Vereinfachtes Blockschema eines Niederfrequenz-Fernauslösegerätes

Der Auslösebefehl erregt im Sendezweig (oben) über das Eingangsrelais den Frequenzumsetzungsblock, dessen Ausgangssignal über Bandpassfilter, Verstärker, Trenntransformator und Anpassglied auf den Niederfrequenzkanal gelangt. Der Empfänger (unten) besitzt hinter dem Anpassglied und dem Eingangsfilter zwei Auswertekanäle: der obere Kanal besteht aus Begrenzerverstärker, Frequenzdiskriminator und Impulsformer;

sein Ausgangssignal wird kombiniert mit dem Freigabesignal des unteren Überwachungszweiges, der den Pegel des Eingangssignals sowie die Verzerrung des Diskriminatorsignals misst und bewertet. Die Integrationsglieder im Befehl- und Alarmzweig verlangen eine gewisse minimale Präsenzzeit der entsprechenden Signale vor einer Auswertung.

Auch dieser Kanal ist natürlich in besonderem Mass den vom Hochspannungsnetz erzeugten Störungen unterworfen, doch ermöglicht er in vielen Fällen sowohl frequenzökonomisch wie wirtschaftlich günstige Lösungen.

5. Ausgewählte Beispiele für gerätetechnische Lösungen und ihre Eigenschaften

5.1 Geräte zum Einsatz auf niederfrequenten Kanälen

Diese Geräte verwenden in der Regel binäre Frequenzmodulation für die Übertragung des Auslösebefehls (Frequenzschubtastung). Sie sind im Kern den Wechselstrom-Telegraphiegeräten verwandt, durch zusätzliche Schaltkreise jedoch bedeutend störfester als diese. Ein vereinfachtes Blockschema eines solchen Gerätes zeigt Fig. 3:

Im Normalzustand sendet der Sender dauernd ein Signal auf der Ruhefrequenz. Ein Auslösebefehl betätigt das Eingangsrelais und bewirkt Umschaltung auf die Befehlsfrequenz.

Das Empfangssignal wird in zwei Zweigen verarbeitet. Im oberen Zweig durchläuft es Begrenzer-Verstärker, Diskriminator und Impulsformerstufe, ähnlich einem üblichen WT-Empfänger. Im unteren Zweig wird einerseits über den linearen Verstärker der Empfangspegel überwacht (Minimal- und Maximalschwelle sind einstellbar), andererseits wird auch das Ausgangssignal des Frequenzdiskriminators des oberen Zweiges geprüft. Nur wenn alle drei Bedingungen erfüllt sind, zeigt der

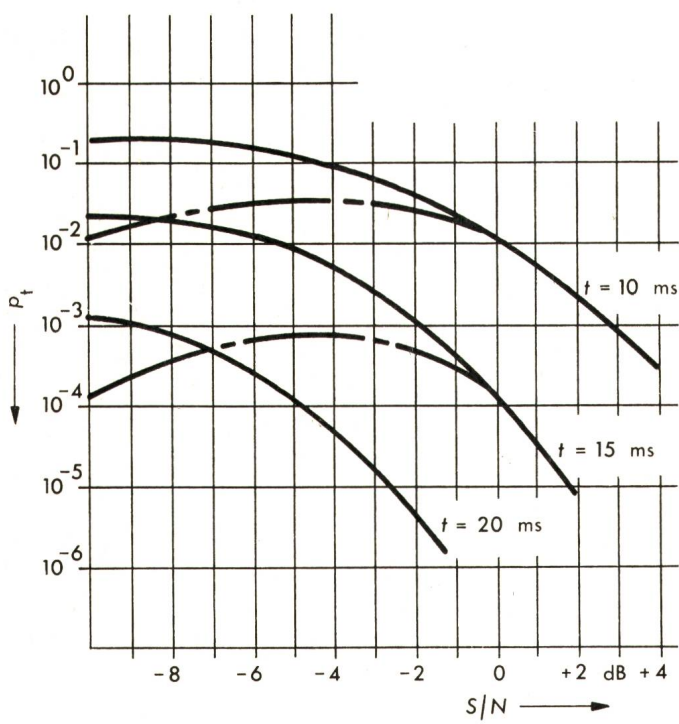


Fig. 4 Falschbefehlsrate des Gerätes in Fig. 3 als Funktion des Geräuschabstandes mit und ohne Maximalpegelüberwachung

Die Störungen werden als additive, weisse Geräuschpakete von 50 ms Dauer eingespeist; ein Bruchteil p_t dieser Pakete erzeugt eine Fehlauflösung

t eingestellte totale Befehlsübertragungszeit
 S/N Verhältnis der Ruhesignalleistung zur Störleistung im Band von 300...3400 Hz während des Störintervalls

p_t Falschbefehlsrate

— ohne Maximalpegelüberwachung

- - - mit Maximalpegelüberwachung

Ausgang des Und-Tores im oberen Zweig «Befehlsempfang» an. In einem letzten Integrator wird eine bestimmte einstellbare Befehlspräsenzzeit verlangt, bevor das Befehlsausgangsrelais betätigt wird. Werden diese Bedingungen infolge einer Störung genügend lange verletzt, blockiert der untere Zweig eine Befehlsauslösung und bewirkt schliesslich «Alarmanzeige».

Die Geräte werden in der Regel charakterisiert durch die elementare Dauer des Signalschrittes beim Übergang von der Ruhe- auf die Arbeitsfrequenz. Ein 200-Baud-Gerät besitzt eine Signalschrittdauer von 5 ms und kann in bezug auf benötigte Bandbreite und Filtereigenschaften einem CCITT-WT-Kanal von 200 Bd gleichgesetzt werden. Fig. 4 zeigt die Grundeigenschaften eines solchen Empfängers und die Wirksamkeit der verschiedenen Zusatzmassnahmen in bezug auf die Falschbefehlsrate: die Verbindung arbeitet auf der Ruhefrequenz; additive «weisse» Störgeräuschpakete von 50 ms Dauer variabler Leistung erzeugen hier und da einen Falschbefehl am Ausgang. S/N ist das Verhältnis der Signalleistung zur Störgeräuschleistung in einem Band von 3100 Hz; t bedeutet die totale Befehlsübertragungszeit mit Einschluss aller Relaischaltzeiten. Ihre Verlängerung von 10 ms auf 15 ms und 20 ms durch Befehlsintegration bringt jeweils eine Reduktion der Falschbefehlsrate um eine bis zwei Grössenordnungen. Die gestrichelten Kurven weisen die blockierenden Eigenschaften der Maximalschwellenüberwachung nach: bei kleinen Werten

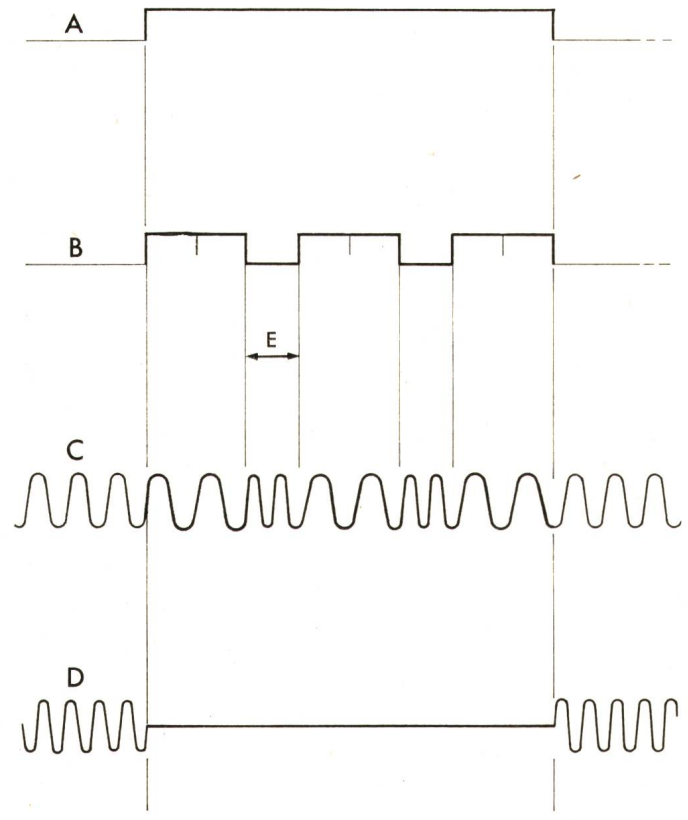


Fig. 5 Sendesignal eines «codierten» Auslösebefehls

Der Empfänger erzeugt den Auslösebefehl, sobald er eine einstellbare Anzahl von Elementen E störungsfrei hintereinander empfangen hat und gleichzeitig der Pilotkanal ausgetastet ist.

A Auslösebefehl

B codiertes Binärsignal

C Sendesignal mit Frequenzumtastung gemäss B

D während der Befehlsdauer ausgetastetes Pilotsignal

E Elementdauer

von S/N , also bei grossen Geräuschleistungen, blockiert der Überwachungsweig den Auslösekanal, bevor eine Fehlauflösung entstehen kann.

Ein Gerät der beschriebenen Art eignet sich sehr gut für die indirekte Auslösung gemäss Abschnitt 2.2; wird die Verbindung durch ein weiteres Sender-Empfängerpaar verdoppelt, erreicht man durch logische Und-Verknüpfung der beiden Ausgangssignale eine derart hohe Sicherheit gegen Falschbefehle, dass der Übertragung direkter Fernauslösebefehle nichts im Wege steht.

Eine feinere Strukturierung des Sendesignals unter Beibehaltung des Prinzips der Frequenzumtastung zeigt Fig. 5: Ein Befehlssignal besteht nicht mehr nur aus einem einfachen Wechsel von der Ruhe- auf die Arbeitsfrequenz, sondern aus einer periodischen Folge von Übergängen. Die dabei entstehende Sequenz erinnert an die Übertragung eines Codezeichens

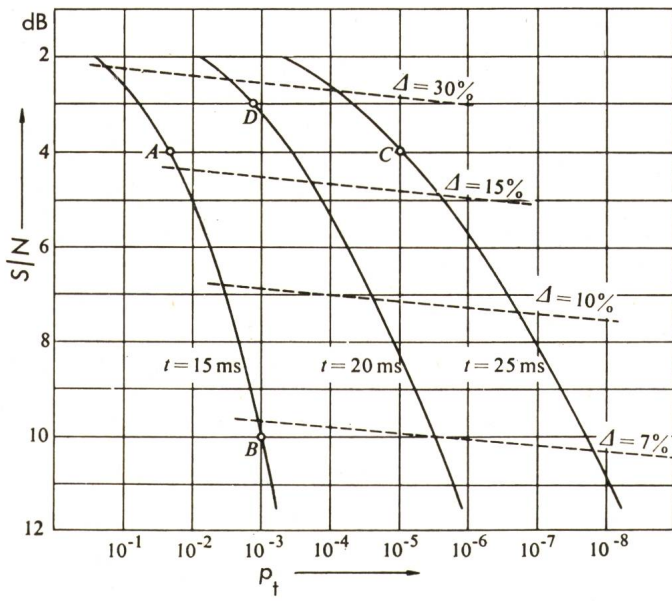


Fig. 6 Betriebsverhalten des codierten Gerätes nach Fig. 5

Die Kurven gelten für eine konstante Befehlsverlustrate von 10 %. Sicherheit, Zuverlässigkeit und Übertragungszeit können in weiten Grenzen entsprechend den Anwendungen optimal gegeneinander ausgetauscht werden.

S/N Geräuschabstand während einer Störung im Band von 300...3400 Hz

p_t Bruchteil der Störbüschel, die eine Fehlauflösung erzeugen

Δ eingestellte Messtoleranz der Impulslängenmessung

t totale eingestellte Übertragungszeit (inklusive Ein- und Ausgangsrelais)

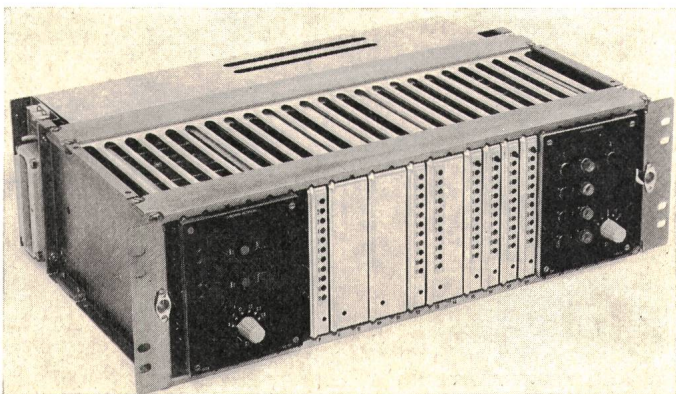


Fig. 7 Fernauslösegerät zur codierten Übertragung von maximal vier verschiedenen Befehlen gemäss vorgebarbarer Priorität

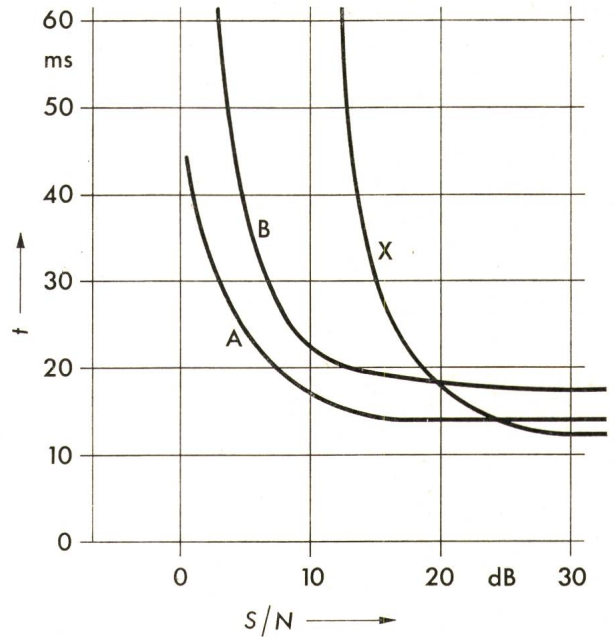


Fig. 8 Vergleich des Betriebsverhaltens eines codierten Gerätes mit einem einfachen Frequenzumtastgerät

Im geräuschfreien Fall ist das uncodierte Gerät (X) schneller, versagt aber bei höheren Störpegeln ganz.

S/N Geräuschabstand in einem Band der Breite von 1 kHz während des 500-ms-Störintervalls

t totale Übertragungszeit für 9 von 10 Befehlen bis zur Befehlsauslösung auf der Empfangsseite

A codiertes Fernauslösegerät, eingestellt für indirekte Auslösung

B codiertes Fernauslösegerät, eingestellt für direkte Auslösung

X uncodierte Gerät mit einfacher Frequenzumtastung und blockierendem Geräuschdetektor ausserhalb des Übertragungsbandes

bei der Datenübertragung, weshalb man hier oft von «codierter Übertragung» spricht. Der Empfänger überwacht nicht nur die richtige Folge von Frequenzübergängen, sondern ebenso die Dauer der einzelnen Intervalle; das zugehörige zeitliche Toleranzfenster ist einstellbar und liegt in der Grössenordnung von 5...30 %. Der Befehl wird als gültig betrachtet, wenn eine einstellbare Anzahl von Codeelementen hintereinander richtig empfangen wird. Die Variation dieser beiden freien Parameter erlaubt die optimale Einstellung für alle Anwendungen und Betriebsbedingungen. Fig. 6 beschreibt das gemessene Betriebsverhalten eines solchen Empfängers. Bei einer konstanten Zuverlässigkeit entsprechend einer Befehlsverlustrate von 10 % und einer Schrittdauer von 1,67 ms, entsprechend einem 600-Bd-Kanal, ist der nötige Geräuschabstand S/N für die variable Falschbefehlsrate p_t aufgetragen. Kurvenparameter ist einerseits die Integrationszeit, andererseits die zugelassene zeitliche Elementtoleranz. Für die Anwendung in einem Blockiersystem wird in der Regel der Arbeitspunkt A mit kurzer Übertragungszeit eingestellt, während die direkte Auslösung eine Einstellung nach Punkt C bedingt.

Die Codierung des Auslösebefehls in eine Folge von Binärelementen erlaubt aber nicht nur die Einführung der sehr wirksamen Zeitdiskrimination, sondern auch die Unterscheidung verschiedener Befehle. Ein Duplexgerät zur Übertragung von maximal vier Befehlen auf diesem Prinzip zeigt Fig. 7. Wie in Fig. 6 angedeutet wird, erhöht bei diesem Gerät eine zusätzliche Massnahme die Sicherheit gegen Fehlauflösungen und Komponenten-Fehler: jeder Befehl wird begleitet von der Aus-

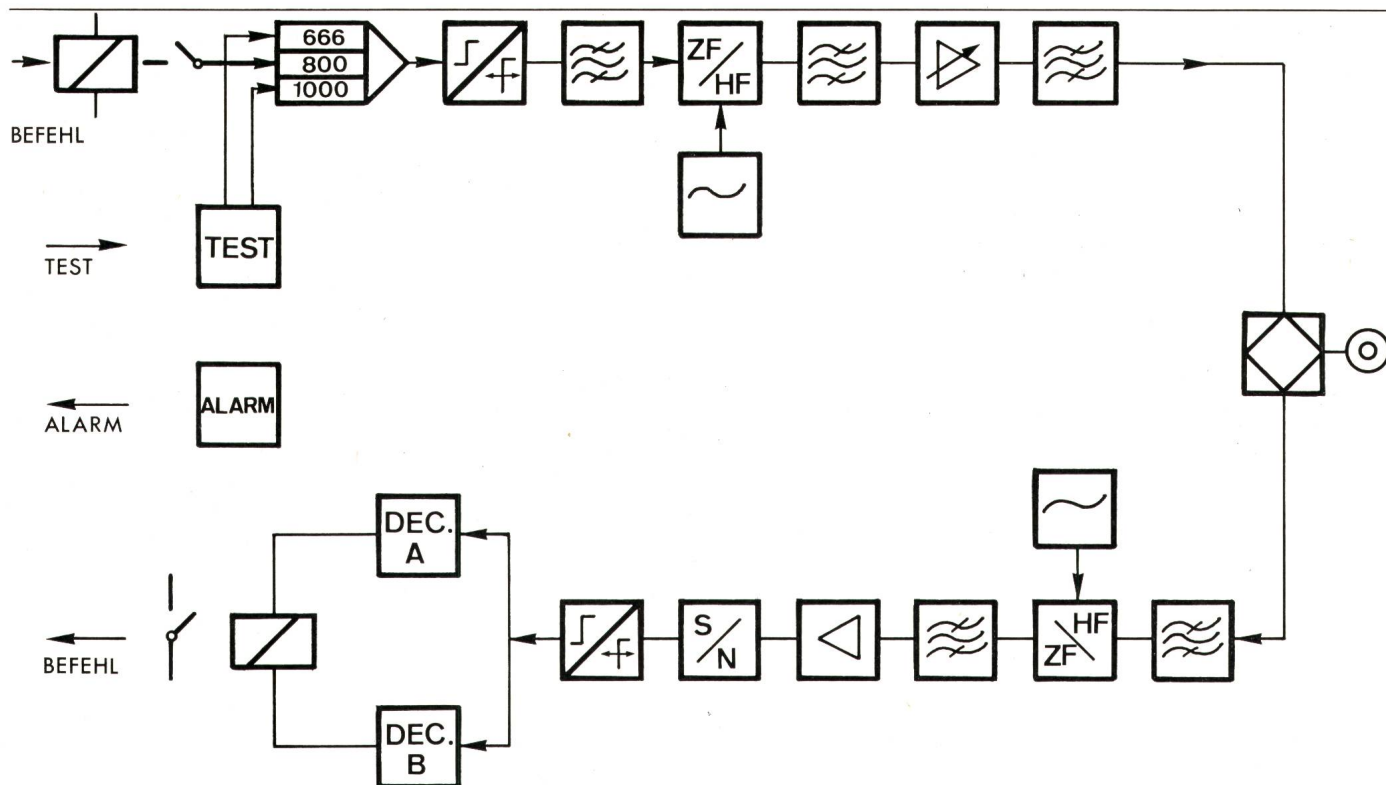


Fig. 9 Vereinfachtes Blockschema eines Hochfrequenz-Fernauslösegerätes

Der Befehl löst im Sender (*oben*) ein frequenzgetastetes Signal von 800 Bd aus, das nach einem Bandpassfilter in die Hochfrequenzlage umgesetzt und mit 20 W Leistung über eine Gabel auf die Hochspannungsleitung gespeist wird. Der Empfänger (*unten*) ist sowohl mit einer S/N -Überwachung wie mit doppelter Decodierung versehen. Decoder *A* und *B*

müssen ansprechen, wenn ein Befehl erzeugt werden soll (siehe auch Fig. 10).

Zur Prüfung der Übertragung können von Hand oder automatisch (besonders bei Betrieb ohne Ruhesignal) Signale mit 666 Bd oder 1000 Bd übermittelt werden, welche nur einen der beiden Decoder ansprechen lassen.

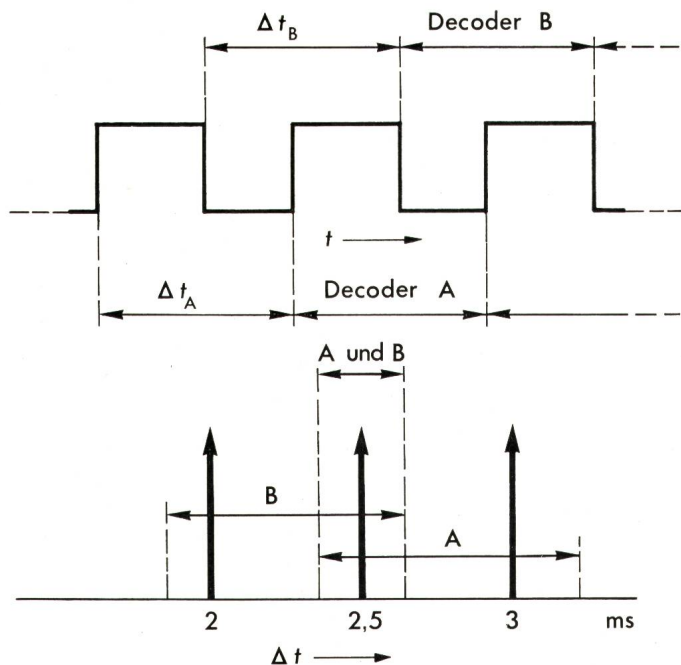


Fig. 10 Signalverarbeitung in den beiden Decodern des Gerätes in Fig. 9

Die Decoder messen je die Intervalle zwischen zwei gleichen Signalfanken, wodurch isochrone Verzerrungen unwirksam sind. Es sprechen nur dann beide an, wenn die Frequenzumtastrate des Empfangssignals innerhalb eines schmalen Bandes um 800 Hz liegt. Testsignale bei 666 Hz und 1000 Hz passieren nur einen der beiden Decoder und erlauben den automatischen Schlaufen-test.

Δt_A Auswertungsintervall des Decoders *A*
 Δt_B Auswertungsintervall des Decoders *B*

tastung eines Ruhepilotsignals in einem gemeinsamen Pilotkanal. Die Verwendung zweier Auslösekriterien erlaubt eine Funktionsprüfung im Betrieb, indem bei einem solchen Test nur eines der beiden Kriterien gesendet wird.

Einen interessanten Vergleich und wesentliche Aussagen über das tatsächliche Betriebsverhalten eines Gerätes enthält Fig. 8. Eine Ausführung *X*, die im wesentlichen einem einfachen Frequenzumtastgerät mit Ausserbandgeräuschdetektor entspricht, ist ausgelegt auf möglichst kurze Übertragungszeit im ungestörten Fall (< 12 ms). Mit zunehmender Störleistung steigt die Übertragungszeit stark an; oberhalb einer bestimmten Schwelle blockiert der Geräuschdetektor jegliche Befehlsauswertung. Im Gegensatz dazu besitzt das codierte Gerät, von welchem zwei Einstellungen dargestellt sind, eine grössere Grundlaufzeit (14 ms und 17,5 ms), neun von zehn Befehlen kommen jedoch auch bei sehr hohen Geräuschpegeln mit durchaus brauchbarer Übertragungszeit durch (30 ms und 60 ms bei $S/N \triangleq 3$ dB).

5.2 Geräte für den direkten Einsatz auf hochfrequenten Kanälen

Das stark vereinfachte Blockschema der Fig. 9 zeigt ein Beispiel für ein Hochfrequenz-Fernauslösegerät: Der Fernauslösebefehl aktiviert über das Eingangsrelais den Sendezweig, indem er ein periodisches Frequenzumtastsignal von 800 Bd in der Zwischenfrequenzlage erzeugt (Fig. 10). Nach der Umsetzung in den Hochfrequenzkanal, d. h. in das Band von 30 bis 500 kHz, wird das Signal auf 20 W verstärkt und über Sendefilter und Gabelschaltung dem Ankopplungsnetzwerk der Hochspannungsleitung zugeführt.

Das Empfangssignal erreicht über Eingangsfiler, HF/ZF-Umsetzer und ZF-Kanal einen ersten Geräuschdetektor, der die Signalqualität nach Pegel und Störfreiheit bewertet. Nach der Frequenzdiskrimination wird das 800-Bd-Rechtecksignal zwei Decodern A und B zugeführt. Decoder A ist zentriert um ein Frequenzband unterhalb 800 Bd, die Mitte des Decoders B liegt über 800 Bd; beide umfassen gemeinsam ein relativ schmales Band um 800 Bd (Fig. 10). Nur wenn beide Decoder ansprechen, zieht das Ausgangsbefehlsrelais auf.

Die Verwendung von zwei Decodern erlaubt die einfache Übertragung von Prüfsignalen: ein erstes Testsignal besitzt eine Taktfrequenz von 666 Bd; es wird nur im Decoder A ausgewertet, während der Decoder B nur auf das zweite Testsignal von 1000 Bd anspricht. Alarmkreise überwachen das Sendesignal, melden ungenügende Signalqualität, messen die Ansprechdauer der einzelnen Decoder und verhindern so die Auslösung von Befehlen infolge Einkomponenten-Fehlern. Das Gerät ist geeignet für den Betrieb mit oder ohne Ruhesignal («quiescent system»). 99,9 % aller Befehle werden bei 15 dB Geräuschabstand in einem 2-kHz-Band innerhalb der Grundlaufzeit übertragen. Tabelle I beschreibt die wichtigsten technischen Daten:

Technische Daten des Gerätes in Fig. 9

Tabelle I

Frequenzbereich	30...500 kHz				
Modulationsart	F 1				
Frequenzhub	± 360 Hz				
Frequenzstabilität	± 30 Hz				
Bruttobandbreite pro Richtung	2 kHz				
Kanalraster mit HF-Gabel	2 kHz				
Sendeleistung	≥ 10 W				
Max. Leitungsdämpfung	60 dB				
Übertragungs- grundzeit einstellbar	<table border="0"> <tr> <td>mit Ruhesignal</td> <td>10...25 ms</td> </tr> <tr> <td>ohne Ruhesignal</td> <td>13...28 ms</td> </tr> </table>	mit Ruhesignal	10...25 ms	ohne Ruhesignal	13...28 ms
mit Ruhesignal	10...25 ms				
ohne Ruhesignal	13...28 ms				

6. Anwendungsbeispiel und Schlussfolgerungen

Eine in ihren Anforderungen bezüglich Sicherheit und Zuverlässigkeit wohl einmalige Installation zeigt Fig. 11. Sie stellt einen Teil des spanischen Netzes dar, das über Verbundleitungen mit Frankreich gekuppelt ist. Bei Ausfall einer Verbundleitung muss die Leitung im französischen Netz sofort um rund 500 MW reduziert werden, da sonst durch Überlastung und dem daraus resultierenden Ausfall der verbleibenden Kuppelleitungen das gesamte Netz im Südwesten Frankreichs zusammenbrechen könnte. Von Hernani aus muss zu diesem Zweck ein direkter Fernauslösebefehl an die vier Kraftwerke Aldeadavila, San Augustin, Quereno und Belesar übertragen werden (maximal über 8 TFH-Strecken). Der Hauptstrang Hernani-Aldeadavila (1000-MW-Wasserkraftwerk!) arbeitet bereits seit rund 5 Jahren. In dieser Zeit wurden über 200 Be-

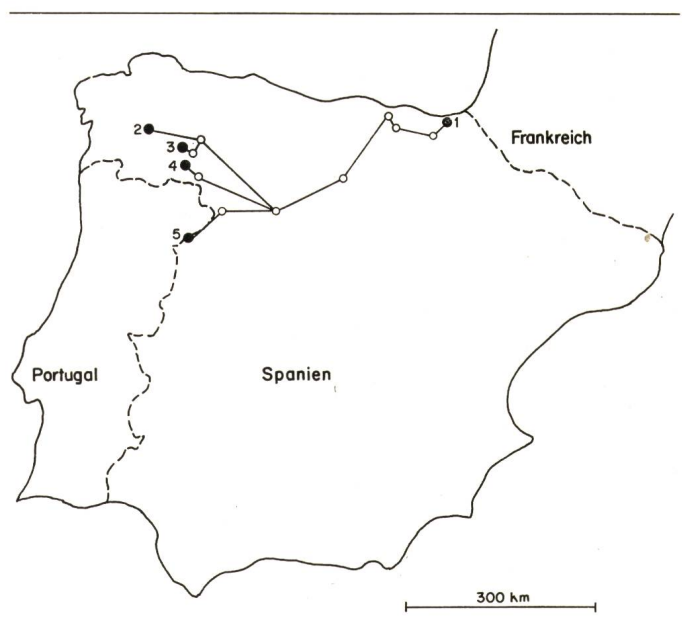


Fig. 11 Schutzsystem mit direkter Fernauslösung im spanischen Verbundnetz

Übertragung von codierten NF-Fernauslösesignalen über maximal 8 TFH-Teilstrecken

fehle ohne jeden Befehlsverlust übertragen; eine Fehlauflösung ist nie vorgekommen.

Die Fernauslösetechnik ist ein äusserst interessantes und wichtiges Spezialgebiet der Nachrichtentechnik. Ihre unkonventionellen Anforderungen und ihre starke Verflechtung mit der Energietechnik verlangen vom Entwicklungsingenieur ebenso unkonventionelle Lösungen des Übertragungsproblems und gute Kenntnisse auf dem Gebiete der Schutztechnik. Die zukünftige Entwicklung wird dank dem Einsatz integrierter digitaler und analoger Schaltkreise weitere Fortschritte in der Signalverarbeitung ermöglichen [4], womit ohne Preisgabe von Sicherheit und Zuverlässigkeit noch kürzere Übertragungszeiten zu erreichen sein werden.

Literatur

- [1] Téléprotection. Rapport du groupe de travail commun sur la téléprotection. Cigré, Comités n^{os} 34 et 35. Paris, Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques, 1969.
- [2] H. Ungrad und E. Zoller: Moderner Leitungsschutz mit statischen Distanzrelais und HF-Signalübertragung. Bull. SEV 64(1973)7, S. 436...438.
- [3] W. Senn: Fernauslösetechnik für den Leitungsschutz. Brown Boveri Mitt. 58(1971)7, S. 305...311.
- [4] H. Luck: Angepasste Signaldetektoren für eine bestimmte Klasse von Entdeckungsproblemen. AEÜ 26(1972)12, S. 520...525.

Adressen der Autoren:

Dr. F. Eggimann, AG Brown, Boveri & Cie., Baden, und J. Pfund, Brown, Boveri (Canada) Ltd., 4000 Trans-Canada Highway, Pointe Claire, P. Q.