

EUR 2421.d

EUROPAISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

**MULTIPLEX-MESSEINRICHTUNG ZUR ERFASSUNG MEHRERER
MESSDATEN ÜBER EIN EINZIGES KABEL (z.B. EINADRIGES
KOAXKABEL) BEI VERWENDUNG NUR PASSIVER
BAUELEMENTE (R, L, C) ZUR MESSWERTWANDLUNG
AUF DER EINGANGSSEITE DES KABELS**

von

W. BECKER

1965



**Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Ispra - Italien**

**Hauptabteilung Engineering
Abteilung Technologie**

HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und alle in deren Namen handelnden Personen :

- 1° — keine Gewähr dafür übernehmen, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind oder dass die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt;
- 2° — keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Dieser Bericht wird zum Preise von 40,- bfrs. verkauft.
Bestellungen sind zu richten an : PRESSES ACADEMIQUES
EUROPEENNES — 98, chaussée de Charleroi, Brüssel 6.

Die Zahlung ist zu leisten durch Ueberweisung an die :

— BANQUE DE LA SOCIETE GENERALE (Agence Ma
Campagne) - Brüssel - Konto Nr. 964.558;

— BELGIAN AMERICAN BANK and TRUST COMPANY -
New York - Konto Nr. 22.186;

— LLOYDS BANK (Europe) Ltd. - 10 Moorgate, London E.C.2.

als Bezug ist anzugeben : «EUR 2421.d — MULTIPLEX-
MESSEINRICHTUNG ZUR ERFASSUNG MEHRERER
MESSDATEN UEBER EIN EINZIGES KABEL (z.B. EINADRI-
GES KOAXKABEL) BEI VERWENDUNG NUR PASSIVER
BAUELEMENTE (R, L, C) ZUR MESSWERTWANDLUNG
AUF DER EINGANSSEITE DES KABELS».

Gedruckt von SMEETS S.A.

Brüssel, Mei 1965.

Das vorliegende Dokument wurde anhand des besten Abdruckes
vervielfältigt, der zur Verfügung stand.

Manuskript erhalten am 1. April 1965.

EUR 2421.d

MULTIPLEX-MESSEINRICHTUNG ZUR ERFASSUNG MEHRERER MESSDATEN UEBER EIN EINZIGES KABEL (z.B. EINADRIGES KOAXKABEL) BEI VERWENDUNG NUR PASSIVER BAUELEMENTE (R, L, C) ZUR MESSWERTWANDLUNG AUF DER EINGANGSSEITE DES KABELS von W. BECKER

Europäische Atomgemeinschaft - EURATOM
Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Ispra (Italien)
Hauptabteilung Engineering - Abteilung Technologie
Brüssel, Mai 1965 - 22 Seiten - 5 Abbildungen.

Es wird das Prinzip einer Messanordnung beschrieben, die es gestattet, mehrere langsam veränderliche Messgrößen (Temperaturen, mechanische Verformungen etc.) über ein System von Messwandlern so umzuformen, dass die als elektrische Schwingungen bestimmter Frequenzen über ein gemeinsames Hochfrequenzkabel (z.B. Koaxialkabel) vom Messort zum Auswertort übertragen werden können.

EUR 2421.d

MULTIPLEX MEASURING SET-UP FOR REGISTERING SEVERAL MEASURING DATA VIA A SINGLE CABLE (e.g. ONE-WIRE COAXIAL CABLE) BY UTILIZING ONLY PASSIVE COMPONENTS (R, L, C) FOR MEASURAND CONVERSION ON THE INTAKE SIDE OF THE CABLE by W. BECKER

European Atomic Energy Community - EURATOM
Joint Nuclear Research Center
Ispra Establishment (Italy)
Engineering Department - Technology Service
Brussels, May 1965 - 22 pages - 5 figures.

It is shown that the principle of a measurement set-up allows the conversion of several slowly changing measurands (e.g. temperatures, mechanical deformations, etc.) by a transducer system in such a way that they can be transferred as electrical oscillations of certain frequencies and this by means of a common high frequency cable (e.g. coaxial cable) from the place of measurement to the evaluation room.

EUR 2421.d

MULTIPLEX MEASURING SET-UP FOR REGISTERING SEVERAL MEASURING DATA VIA A SINGLE CABLE (e.g. ONE-WIRE COAXIAL CABLE) BY UTILIZING ONLY PASSIVE COMPONENTS (R, L, C) FOR MEASURAND CONVERSION ON THE INTAKE SIDE OF THE CABLE by W. BECKER

European Atomic Energy Community - EURATOM
Joint Nuclear Research Center
Ispra Establishment (Italy)
Engineering Department - Technology Service
Brussels, May 1965 - 22 pages - 5 figures.

It is shown that the principle of a measurement set-up allows the conversion of several slowly changing measurands (e.g. temperatures, mechanical deformations, etc.) by a transducer system in such a way that they can be transferred as electrical oscillations of certain frequencies and this by means of a common high frequency cable (e.g. coaxial cable) from the place of measurement to the evaluation room.

EUR 2421.d

MULTIPLEX MEASURING SET-UP FOR REGISTERING SEVERAL MEASURING DATA VIA A SINGLE CABLE (e.g. ONE-WIRE COAXIAL CABLE) BY UTILIZING ONLY PASSIVE COMPONENTS (R, L, C) FOR MEASURAND CONVERSION ON THE INTAKE SIDE OF THE CABLE by W. BECKER

European Atomic Energy Community - EURATOM
Joint Nuclear Research Center
Ispra Establishment (Italy)
Engineering Department - Technology Service
Brussels, May 1965 - 22 pages - 5 figures.

It is shown that the principle of a measurement set-up allows the conversion of several slowly changing measurands (e.g. temperatures, mechanical deformations, etc.) by a transducer system in such a way that they can be transferred as electrical oscillations of certain frequencies and this by means of a common high frequency cable (e.g. coaxial cable) from the place of measurement to the evaluation room.

Wegen der am Messort herrschenden Kernstrahlung dürfen dort nur passive Bauelementen wie L, C und R Verwendung finden. Die vorgeschlagene Anordnung besteht deshalb aus einem positiv rückgekoppelten Verstärker am Auswertort mit umschaltbaren Frequenzdurchlassbereichen, dessen genaue Oszillationsfrequenz durch das jeweils im gewählten Durchlassbereich liegende Resonanzglied am Messort bestimmt wird. Jedes der verwendeten Resonanzglieder am Messort wird in seiner Resonanzfrequenz von einer der zu messenden Größen beeinflusst.

Die Beschränkung auf ein einziges einfaches Kabel als Uebertragungselement ist erforderlich wegen des Auftretens von Dichtungsschwierigkeiten bei der Durchführung mehrerer Kabel bzw. eines Vielfachkabels durch die Wandung des Messbehälters.

Das Verfahren wird an Hand einiger Ausführungsbeispiele erläutert.

Because of the nuclear radiations in the place of measurement, there should only be installed passive elements, such as L, C and R. The proposed set-up is therefore mainly consisting in an amplifier with positive feedback on the evaluation side and furnished with switchable frequency passbands. The definite oscillation frequency of this system is always determined by the very resonant circuit in the place of measurement tuned to a frequency inside the chosen passband. The resonant frequency of each of the used resonant circuits in the place of measurement is influenced by one of the measurands to be measured.

It is necessary to reduce the mean of transfer to one simple cable for there are arising difficulties as to hermetic sealing whilst leading of several cables resp. of one multiwire cable through the wall of the measurement container.

The assembly is explained by some examples of realization.

Because of the nuclear radiations in the place of measurement, there should only be installed passive elements, such as L, C and R. The proposed set-up is therefore mainly consisting in an amplifier with positive feedback on the evaluation side and furnished with switchable frequency passbands. The definite oscillation frequency of this system is always determined by the very resonant circuit in the place of measurement tuned to a frequency inside the chosen passband. The resonant frequency of each of the used resonant circuits in the place of measurement is influenced by one of the measurands to be measured.

It is necessary to reduce the mean of transfer to one simple cable for there are arising difficulties as to hermetic sealing whilst leading of several cables resp. of one multiwire cable through the wall of the measurement container.

The assembly is explained by some examples of realization.

Because of the nuclear radiations in the place of measurement, there should only be installed passive elements, such as L, C and R. The proposed set-up is therefore mainly consisting in an amplifier with positive feedback on the evaluation side and furnished with switchable frequency passbands. The definite oscillation frequency of this system is always determined by the very resonant circuit in the place of measurement tuned to a frequency inside the chosen passband. The resonant frequency of each of the used resonant circuits in the place of measurement is influenced by one of the measurands to be measured.

It is necessary to reduce the mean of transfer to one simple cable for there are arising difficulties as to hermetic sealing whilst leading of several cables resp. of one multiwire cable through the wall of the measurement container.

The assembly is explained by some examples of realization.

EUR 2421.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

**MULTIPLEX-MESSEINRICHTUNG ZUR ERFASSUNG MEHRERER
MESSDATEN ÜBER EIN EINZIGES KABEL (z.B. EINADRIGES
KOAXKABEL) BEI VERWENDUNG NUR PASSIVER
BAUELEMENTE (R, L, C) ZUR MESSWERTWANDLUNG
AUF DER EINGANGSSEITE DES KABELS**

von

W. BECKER

1965



**Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Ispra - Italien**

**Hauptabteilung Engineering
Abteilung Technologie**

MULTIPLEX-MESSEINRICHTUNG ZUR ERFASSUNG MEHRERER
MESSDATEN ÜBER EIN EINZIGES KABEL (z.B. EINADRIGES KOAXKABEL)
BEI VERWENDUNG NUR PASSIVER BAUELEMENTE (R, L, C) ZUR
MESSWERTWANDLUNG AUF DER EINGANGSSEITE DES KABELS

Vorbemerkung

Dieser Bericht stellt ein Meßprinzip¹⁾ zur Diskussion, dessen Realisierungsmöglichkeit an mehreren Beispielen erläutert wird. Der Nachweis der Funktionsfähigkeit wurde an einem Labormodell erbracht. Bei Messungen mit erhöhten Arbeitstemperaturen für die $\frac{\text{Strom}}{f\text{-Resonanz}}$ -Wandler traten Schwierigkeiten auf, geeignete ferromagnetische Materialien hinsichtlich des Temperaturverhaltens der Güte und gleichzeitig bezüglich der genügenden Größe des Differentialquotienten

$$\frac{d\mu_{\text{rev}}}{dH}$$

im Bereich kleiner Feldstärken H zu finden (μ_{rev} = reversible Permeabilität). Von der Größe dieses Differentialquotienten hängt aber wegen

$$\frac{d\mu_{\text{rev}}}{dH} \sim \frac{dL}{dI}$$

die Steuerbarkeit der Induktivität der $\frac{\text{Strom}}{f\text{-Resonanz}}$ -Wandlerringe durch den Strom ab, der von den gegebenenfalls verwendeten primären Meßwandlern herrührt.

Da diese Schwierigkeiten aber das Prinzip nicht einschränken und lediglich entwicklungsbedingt sein dürften, und da sie bei anderen Anwendungsfällen mit Normaltemperaturen (z.B. unter Strahlungseinfluß bei gleichzeitig sehr hohem oder sehr niedrigem Druck am Meßort) nicht ins Gewicht fallen, zumal sich auch gänzlich andere Arten von induktivitäts- oder kapazitätssteuernden Meßwert- oder Informationswandlern verwenden lassen, soll mit diesem Bericht der Zweck verfolgt werden, das eigentliche Prinzip an Hand der gewählten Beispiele darzustellen.

1) zur Erlangung eines Patentschutzes eingereicht

Die Problemstellung ist im Titelttext enthalten. Sie gründet sich auf die im Zentrum Ispra aufgetretene Notwendigkeit, langsam veränderliche Daten wie z.B. Temperaturen von Metalloberflächen oder Dehnungsmeßwerte aus einem unter Strahlungseinfluß stehenden Raum (Reaktorinneres), der gas- und druckdicht von der Umgebung abgeschlossen ist, zum Auswertungsraum zu übertragen. Es stellen sich somit zwei Forderungen:

- 1) Am Meßort dürfen nur möglichst strahlungsunempfindliche Bauelemente wie Widerstände, Kondensatoren und Spulen Verwendung finden. Ein Einsatz von Halbleiterbauelementen wie Transistoren und Dioden ist dagegen ausgeschlossen. Daher scheidet auch z.B. ein Trägerfrequenzübertragungssystem mit aktiven Bauelementen (Oszillatoren) auf der Meßseite aus.
- 2) Die Verbindung zwischen Meß- und Auswerterraum bzw. die Durchführung durch die Trennwände des Meßbehälters muß technisch so einfach wie möglich gestaltet werden. Die Verwendung von Vielfachkabeln verbietet sich wegen der dabei auftretenden Dichtungsschwierigkeiten. Es kommt also nur ein koaxiales Kabel in Betracht, das in einigen Fällen wegen der herrschenden Temperaturen sogar als "Thermokoax" ausgeführt werden muß.

Zur Lösung dieses Problems wird vorgeschlagen (siehe das in Fig. 1 skizzierte Ausführungsbeispiel), einen positiv rückgekoppelten Verstärkungszweig aufzubauen, dessen Verstärkung durch Einschaltung eines Bandpasses auf einen bestimmten Frequenzbereich beschränkt ist. An einer Stelle dieses Verstärkersystems wird über eine Koaxialkabelverbindung (bzw. je nach praktischer Gegebenheit jede andere für den benutzten Wechselstrom geeignete Kabelverbindung) ein System aus mehreren auf untereinander versetzte Frequenzen abgestimmten LC-Schwingkreisen angeschlossen. Wird dieser Anschluß z.B. in der Weise vorgenommen, daß dieses Schwingkreissystem im Fall der Wahl von untereinander in Serie ge-

geschalteten Parallelresonanzkreisen im geschlossenen Verstärkungsweg des rückgekoppelten Verstärkers einen Nebenschluß bildet, und wird durch die umschaltbare Anordnung von je einem Bandfilter im Verstärker pro Schwingkreis der Meßseite und durch Abstimmung jeder der Schwingkreise auf eine Frequenz im Durchlaßbereich einer der Bandpässe dafür gesorgt, daß auf diese Weise eine Reihe von einander frequenzmäßig benachbarten Verstärkungsbereichen entsteht, innerhalb derer die Resonanzfrequenz je einer der Schwingkreise am Meßort liegt, so stellt sich im Gesamtsystem bei genügender Verstärkung eine (durch eine im Verstärkungsweg wirksame Amplitudenbegrenzung konstant gehaltene) stabile Schwingung ein, deren Frequenz in erster Linie von der Resonanzfrequenz des beteiligten Schwingkreises am Meßort bestimmt ist. Selbstverständlich ist grundsätzlich auch die Wahl eines Systems aus mehreren parallel geschalteten Serienresonanzkreisen möglich. In diesem Fall wäre das System in Serie in den Verstärkungszweig einzufügen.

Wird nun mittels einer geeigneten Anordnung die Resonanzfrequenz des beteiligten Schwingkreises je nach Größe des zu übermittelnden Meßwertes geringfügig verschoben, so läßt sich im Auswerterraum durch Messung der Schwingfrequenz (z.B. durch Auszählung der Perioden über eine vorgegebene Zeit) der Meßwert sehr genau erfassen. Je nachdem, welcher Bandpaß am Auswerteort in den Verstärkerweg eingeschaltet wird, läßt sich die Übertragung einer der Meßwerte (d.h. die Beteiligung einer der Schwingkreise am Meßort) beliebig auswählen. Ein auswertungsmäßiger Vorteil dieses Systems besteht darin, daß trotz der Verwendung von Schwingkreisen begrenzter Güte eine bestimmte Meßfrequenz, also eine definierte und genau auswertbare Größe entsteht. Die Auswahl der verschiedenen Meßwerte kann selbstverständlich auch automatisch nach einem vorgegebenen Programm erfolgen. Diese Möglichkeit wurde in Fig. 1 durch eine eventuelle Programmsteuereinheit angedeutet.

Der äußere Einfluß der Verschiebung der Resonanzfrequenzen der jeweils übrigen, nicht beteiligten Schwingkreise auf die scheinbare Resonanzfrequenz des gerade an der Messung beteiligten Kreises kann durch geeignete Dimensionierung außerordentlich gering gehalten werden. Da der Imaginäranteil des komplexen Widerstandes eines nicht verlustlosen Parallelkreises bei einer Frequenz, die um mehr als die Bandbreite

$$(|u/U_{\max.}| = 0,7)$$

von der Resonanzfrequenz abweicht, mit wachsender Frequenzabweichung nach der Beziehung

$$j X = - j R_R \frac{Q_K \frac{2 \Delta f}{f_R}}{1 + (Q_K \frac{2 \Delta f}{f_R})^2}$$

abnimmt (hierbei bedeuten R_R den Resonanzwirkwiderstand, $Q_K = R_R \frac{C}{L}$ die Kreisgüte, f_R die Resonanzfrequenz und $\frac{\Delta f}{f_R}$ die relative Verstimmung), ergibt sich aus der vektoriellen Addierung der komplexen Widerstände aller an der Messung nicht beteiligten Kreise zum Resonanzwiderstand des Meßkreises, daß der verstimmende Einfluß auf den Meßkreis bezüglich seiner meßbaren ($\varphi = 0$)-Resonanz mit zunehmender Abweichung der Resonanzfrequenzen dieser nicht beteiligten Kreise von der Resonanzfrequenz des Meßkreises abnimmt. Diese Abnahme erfolgt wegen des Produkts $Q_K \Delta f$ im obengenannten Ausdruck für jX um so schneller, je größer das Q_K der Kreise ist. Liegt der betrachtete Meßkreis frequenzmäßig an einem Ende des gesamten Frequenzbereichs

für die Summe aller Kreise, so ergibt sich bei gleichbleibender relativer Verstimmung jeder der Kreise in bezug auf seinen Nachbarkreis eine Beeinflussung in Richtung auf die Mittenfrequenz dieses Bereichs hin. Die resultierende Resonanzfrequenz für das System ($\varphi = 0$) stellt sich dort ein, wo der Meßkreis einen Blindwiderstand aufweist, der gleich der negativen Summe der Blindwiderstände aller übrigen Kreise ist. Für die Gesamtresonanz muß also gelten:

$$\frac{Q_{K_m} \frac{2 \Delta f_m}{f_{R_m}}}{1 + \left(Q_{K_m} \frac{2 \Delta f_m}{f_{R_m}} \right)^2} = \frac{Q_{K_n} \frac{2 \Delta f_n}{f_{R_n}}}{1 + \left(Q_{K_n} \frac{2 \Delta f_n}{f_{R_n}} \right)^2}$$

wobei der Index m Meßkreis bedeutet und der Index n für alle anderen nicht direkt an der Messung beteiligten Kreise steht. Dies ergibt eine Resonanzfrequenz des Gesamtsystems, die in der Praxis bei genügendem Q_K der Kreise und ausreichendem Abstand ihrer Resonanzfrequenzen voneinander sehr dicht an der freien Resonanzfrequenz des Meßkreises liegt. Dadurch wird auch der erwähnte Einfluß der Verstimmung einer der nicht beteiligten Kreise auf die Verstimmung des Meßkreises entsprechend sehr klein.

Da das Kabel beim geschilderten Verfahren nicht angepaßt verwendet werden kann, sondern in erster Linie als Parallelkapazität zum Gesamtsystem der Schwingkreise auftritt, empfiehlt es sich, falls kein Zweitaktverfahren, wie weiter unten besprochen, verwendet wird, um Frequenzänderungen durch Veränderungen der Kabelkapazität, z.B. durch Temperatureinflüsse, gering zu halten, eine feste

Parallelkapazität, in Fig. 1 mit C_Z bezeichnet, anzubringen. Diese Maßnahme bedingt bei größerer Gesamtkapazität aus Kabel plus Parallelkapazität eine transformatorische Ankopplung an die Schwingkreise, wie es in Fig. 1 angedeutet wurde (Aufwärtsformation zwischen L_K und L des Schwingkreises).

Ferner hat auch der Phasengang des Verstärkers, also vor allem derjenige des Bandpasses, Einfluß auf die jeweils sich einstellende Schwingfrequenz. Da aber Verstärker und Bandpaß für jeweils den gleichen Meßkanal gleichbleibende Charakteristiken aufweisen, läßt sich dieser Einfluß auf die Schwingfrequenz in die Eichung des Systems einbeziehen.

Zu gewissen Schwierigkeiten kann dieser Einfluß jedoch dann führen, wenn die sekundären Meßwertwandlerkreise selbst größeren Temperaturschwankungen ausgesetzt sind: Für den verlustbehafteten Parallelresonanzkreis (hier Meßwertwandlerkreis) ergibt sich bekanntlich in der Nähe der Resonanzfrequenz (d.h. bei Annahme eines frequenzunabhängigen Parallelgesamtleitwerts G , der gleich G_R im Resonanzfall ist) der komplexe Leitwert

$Y \approx G_R \left(1 + jQ_K \frac{2\Delta f}{f_R} \right)$. Aus der Beziehung für Y ist zu ersehen, daß für eine vorgegebene Phase $\varphi_K = - \arctan Q_K \frac{2\Delta f}{f_R}$ gilt $\frac{\Delta f}{f_R} = f(Q_K)$. Wird also ein verlustbehafteter Schwingkreis in einen genügend stark positiv rückgekoppelten Verstärkungszweig eingefügt, dessen Phase bei der Resonanzfrequenz des Kreises $\varphi_V \neq 0$ ist, so wird sich bei kleiner

Phasendrehung im Verstärker ($|\varphi_V| < \pi/2$) eine Schwingung mit der Frequenz einstellen, bei der $\varphi_{\text{Gesamt}} = \varphi_V - \varphi_K = 0$ bzw. bei größerer Phasendrehung im Verstärker ($|\varphi_V| > \pi/2$) $\varphi_{\text{Gesamt}} = \varphi_V \pm \varphi_K = n \cdot 2\pi$ (mit $n=1, 2 \dots$) ist. Ist nun Q_K eine Funktion der Temperatur \mathcal{T} , so ergibt sich für die Frequenz der Schwingung f_S ebenfalls $f_S = f(\mathcal{T})$. Ist dagegen die Phase des Verstärkungszweiges $\varphi_V = 0$, so muß für die Schwingbedingung $R \cdot 10 = 1$ ebenfalls $\varphi_K = 0$ sein. Dadurch wird $\Delta f = 0$, und somit entfällt in diesem Fall eine Abhängigkeit der sich einstellenden Schwingfrequenz von Q_K und damit auch von \mathcal{T} .

Die verwendeten Meßfrequenzen werden bei einer praktischen Ausführung des Systems auf Grund der normalerweise verwendeten Kabellängen und der dabei auftretenden Gesamtparallelkapazitäten im allgemeinen nicht höher als 500 KHz liegen. Die mögliche Zahl der Meßstellen hängt von der Genauigkeitsforderung an die Messungen, dem durch Kabelweg und Verstärker begrenzten Gesamtfrequenzbereich und der Güte der verwendeten Schwingkreise am Meßort ab.

Da es unerwünscht sein kann, für jeden Meßwert einen besonderen Bandpaß vorzusehen, werden im folgenden abgewandelte Lösungen desselben Prinzips beschrieben.

In Fig. 2 ist die Veränderung des Durchlaßbereichs für den Verstärker durch einen mittels Kapazitätsvariationsdioden stufenweise durchstimbaren Bandpaß erreicht worden. Dabei muß dafür gesorgt werden, daß sich der

Charakter der Durchlaßkurve beim Durchstimmen möglichst wenig verändert. Die erforderliche Frequenzvariation ist mit den modernen Kapazitätsvariationsdioden normalerweise erreichbar.

Fig. 3 beschreibt einen stärker abweichenden Lösungsweg. Die entstehenden verschiedenen Meßfrequenzen werden mittels eines umschaltbaren Oszillators und der Mischstufe 1 alle in den Durchlaßbereich des Spezialbandpasses transponiert. Nach einer Verstärkung wird mittels der gleichen Oszillatorfrequenz in der Mischstufe 2 eine Rücktransponierung auf die ursprüngliche Schwingfrequenz vorgenommen. Erfolgt im gesamten Verstärkerzweig zwischen den beiden Mischstufen keine frequenzabhängige Phasendrehung, so geht die Oszillatorfrequenz nicht in die Meßgenauigkeit ein, da die Schwingfrequenz wegen der speziellen Anordnung mit zweimaliger Mischung von der Oszillatorfrequenz nicht beeinflusst wird. Die Oszillatorfrequenz braucht nur grob derart eingestellt zu werden, daß der Resonanzfrequenzbereich des erwünschten Schwingkreises am Meßort in den Durchlaßbereich des Spezialbandpasses transponiert wird. Es wird also nur ein Bandpaß für alle Meßfrequenzen benötigt und trotzdem der Rückkopplungsweg der Verstärkereinheit für alle Schwingfrequenzen amplituden- und phasenrichtig geschlossen. Damit die Treffsicherheit und die Konstanz der Oszillatorfrequenz die Meßgenauigkeit des Systems nicht beeinflusst, ist allerdings Voraussetzung, daß, wie erwähnt, die Phasendrehung im Verstärkerzweig für jede Frequenz des ausgenutzten Durchlaßbereichs Null bzw. konstant bleibt. Ein solcher Bandpaß ist trivial nicht verwirklichtbar. Eine Lösung für dieses Problem besteht in der Ausnutzung der durch Mischung und Ausfilterung eines Seitenbandes entstehenden umgekehrten relativen Frequenzlage und damit des bei Durchgang durch einen Bandpaß innerhalb des interessierenden Durchlaßbereichs umgekehrten Phasengangs mit der Frequenz.

Dieser so entstandene Phasengang läßt sich dann durch eine geeignete Schaltung gegen den normalen Phasengang kompensieren. Auf diese Weise ist ein Bandpaß herstellbar, der in seinem ausnutzbaren Durchlaßbereich die Phasendrehung Null aufweist. (Siehe hierzu PROC. IRE October 1960, pp. 1756-60.)

In Fig. 4 ist dieselbe Schaltungsart der Fig. 3 gezeigt, jedoch mit dem Unterschied, daß hier ein normaler Bandpaß verwendet wird. Aus diesem Grunde ist es notwendig, die Phasendrehung im Bandpaß dadurch konstant zu halten, daß der Oszillator von einem Phasendetektor, der die Eingangsphase mit der Ausgangsphase des Bandpasses vergleicht, mittels eines nachgeschalteten Regelverstärkers so nachgestimmt wird, daß stets die gleiche Stelle des Durchlaßbereichs des Bandpasses benutzt wird, also die durch diesen hervorgerufene Phasendrehung konstant bleibt. Damit wird erreicht, daß die Schwingfrequenz eindeutig von dem beteiligten Schwingkreis am Meßort bestimmt wird. Bei diesem Verfahren geht die Genauigkeit der Frequenzregelung des Oszillators über den Phasen-Frequenzgang des Bandpasses in die Meßgenauigkeit ein. Deshalb sollten auch hier Bandpässe mit nicht zu starkem Phasengang verwendet werden bzw. mit Stellen im Durchlaßbereich, in denen der Phasengang flacher verläuft. Die hierbei nicht konstante Amplitudendämpfung in diesem Bereich kann, soweit erforderlich, durch äußere Maßnahmen wie Amplitudenregelung oder Begrenzung ausgeglichen werden.

Im folgenden soll kurz die Frage der Beeinflussung der Resonanzfrequenz der Schwingkreise durch die Meßwerte behandelt werden, die mit dem vorher geschilderten System in keinem unmittelbaren Prinzipzusammenhang steht.

Es ist denkbar, daß für Meßwerte wie Dehnung oder Temperatur Meßwandler verwendbar sind, die eine direkte Veränderung der Induktivität oder der Kapazität im Schwingkreis durch geometrische Veränderungen der Bauelemente

oder durch Beeinflussung des Dielektrikums der Kondensatoren bzw. des ferromagnetischen Kerns der Spulen bewirken. Eine solche Lösung würde elektrisch den geringsten Aufwand erfordern.

Im Beispiel der Fig. 1 ist die Verwendung üblicher Dehnungsmeßstreifen gezeigt, die gleichstrommäßig in Serie geschaltet sind und über dasselbe Verbindungskabel mittels zweier Wechsel-Gleichstromweichen aus einem Konstantstromgenerator hoher Präzision mit Gleichstrom versorgt werden. Der an den einzelnen Dehnungsmeßstreifen entstehende Spannungsabfall treibt durch die jeweils dem betreffenden Dehnungsmeßstreifen zugeordnete Magnetisierungsspule L_m einen Strom, der den Kern der entsprechenden Schwingkreisspule vormagnetisiert und damit die Induktivität der Spule und somit die Resonanzfrequenz des Schwingkreises in Abhängigkeit vom jeweiligen Widerstand des Dehnungsmeßstreifens steuert. Das Konstantstromsystem wurde verwendet, um eine gleichstrommäßige Beeinflussung der Meßstellen untereinander auszuschalten. Um bei diesem System direkte Temperatureinflüsse auf die Resonanzfrequenz der Schwingkreise unwirksam zu machen, wird in einem Zweitaktverfahren gemessen, bei dem jeweils pro Einzelmessung die Schwingfrequenz bei ausgeschaltetem und bei eingeschaltetem Gleichstrom gemessen wird und die sich ergebende Frequenzdifferenz zur Auswertung herangezogen wird. Diese Differenz kann leicht in einem vor- und rückwärtszählenden Zähler gebildet werden. Durch das Zweitaktverfahren werden auch etwaige Temperatureinflüsse auf das Kabel kompensiert, so daß in diesem Fall von einer Zusatzkapazität C_Z abgesehen werden könnte. Die gleiche Meßmethode bietet sich auch bei Temperaturmessungen mittels temperaturabhängiger Widerstände an, die dann in der gleichen Weise in die Schaltung eingefügt würden wie die Dehnungsmeßstreifen. Es muß dabei natürlich sichergestellt werden, daß eine Aufheizung der Widerstände durch den Meßstrom die Meßwertwandlung nicht in unzulässiger Weise verfälscht. Diesem Effekt, sollte er ein störendes Ausmaß erreichen, läßt sich auch durch Verkürzung der

Meßzeit unter Strom begegnen, da z.B. bei einer Frequenz von 300 KHz eine Meßzeit von 30 msec noch eine Frequenzauszählung mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 10^{-4}$ gestattet. Es ist dabei jedoch zu berücksichtigen, daß die erzielbare Meßgenauigkeit hinsichtlich der zu messenden ursprünglichen Größe und der Variation dieser Größe im für die betreffende Messung vorgesehenen Variationsbereich hiervon abweichen. Darum sei an dieser Stelle auf eine im Anhang zu diesem Bericht zusammengestellte Ableitung dieser Werte für den in der genauen Frequenzmeßpraxis hauptsächlich angewendeten Fall der Periodenzählung hingewiesen.

Ist dagegen zur Temperaturmessung keine andere Möglichkeit gegeben, als Thermoelemente einzusetzen, so läßt sich keine dem bei Dehnungsmeßstreifen und temperaturabhängigen Widerständen angegebenen Verfahren vergleichbare Anordnung verwenden. In diesem Fall wird daher nach Fig. 5 ein abgeändertes Meßverfahren zum Vorschlag gebracht, bei dem der vom Thermoelement herrührende Strom dazu benutzt wird, die Schwingkreisspule in gleicher Weise wie bei den soeben besprochenen Verfahren vorzumagnetisieren. In diesen Stromkreis eingeschaltet ist jedoch außerdem ein Widerstand, an dem ein von der Auswerteschaltung durch das Kabel geschickter Gleichstrom einen Spannungsabfall erzeugt, welcher die Thermospannung zu kompensieren gestattet. Der Zustand optimaler Kompensierung wird dadurch festgestellt, daß sich in diesem Fall in dem wie bei allen früheren Verfahren angeschlossenen Schwingsystem die niedrigste Frequenz einstellt (dies bedingt jedoch eine jedesmalige Entmagnetisierung des Kerns der Schwingkreisspule, was in dieser Prinzipdarstellung nicht ausgeführt wurde). Ist dieser Zustand der niedrigsten Frequenz erreicht, so wird der eingespeiste Kompensationsgleichstrom gemessen. Dieser Gleichstrom bildet ein Maß für die zu messende Temperatur am Thermoelement. Auf diese Weise wird ermöglicht, daß das Thermoelement bei der Messung stromlos ist. Selbstverständ-

lich ist hierbei vorauszusetzen, daß die Temperatur der Einheit, in der sich die Schwingkreise und Widerstände befinden, als Bezugstemperatur bekannt ist. Um bei diesem Verfahren das Frequenzminimum meßtechnisch zu finden und den zugehörigen Gleichstromwert zu erfassen, wird der Kompensationsstrom z.B. von einem Treppenkurvengenerator stufenförmig verändert. Wird im Laufe dieses Verfahrens, bei dem die Frequenz auf jeder Stromstufe gemessen wird, das Frequenzminimum durchlaufen, was vom ersten Wiederanstieg der Frequenz nach ständigem vorausgegangenem Frequenzrückgang angezeigt wird, so wird der der letzten vorangegangenen Stufe entsprechende Kompensationsgleichstrom, dessen Wert gespeichert worden war, als Meßwert ausgedruckt bzw. in geeigneter Form festgehalten. Auf diese Weise ist es möglich, nacheinander durch Frequenzbereichumschaltung im Verstärker, wie bei den vorher geschilderten Verfahren, alle Meßstellen zu erfassen, wenn auch in diesem Fall durch die häufige Frequenzmessung pro Meßstelle der Zyklus wesentlich langsamer verläuft und die erreichbare Meßgenauigkeit wegen der unscharfen Minimumbildung geringer als bei den vorher beschriebenen Verfahren ist. Ferner ist es schwierig, mittels normaler Thermoelemente genügend große Steuerspannungsänderungen bei den zu messenden Temperaturunterschieden zu erhalten. Aus diesem Grunde wurde dieses Verfahren vorerst nicht weiter praktisch verfolgt. Es ist wegen der anordnungsmäßigen Gleichheit wesentlicher Komponenten in beiden Systemen denkbar, daß Wandler für Dehnungsmeßstreifen und temperaturabhängige Widerstände mit solchen für Thermoelemente an einem Kabel Verwendung finden können. Aus dem Gesagten geht jedoch hervor, daß das geschilderte Gesamtverfahren dann optimal leistungsfähig ist, wenn die unmittelbare Beeinflussung der Resonanzfrequenz der Schwingkreise durch die Meßwerte als Auswertegröße herangezogen werden kann, wie dies bei allen vorher geschilderten Arbeitsweisen (wie z.B. in Fig. 1) der Fall ist.

Ein Bericht über die Details der technischen Versuchsausführungen sowie über die erzielten praktischen Resultate ist in Vorbereitung.

ANHANG

Bei einer Frequenzmessung durch Zählung der Perioden innerhalb einer definierten Zeitspanne t_Z ergibt sich für die zu messende Frequenz f_S wegen des den digitalen Meßverfahren anhaftenden Grundfehlers von \pm einer Periode ein relativer Meßfehler für die Frequenz von

$$a_{f_S \text{ rel}} = \frac{\Delta f_S}{f_S} = \pm \frac{1}{f_S \cdot t_Z}$$

Der absolute Meßfehler für die Frequenz ist damit bei diesem Verfahren unabhängig von der Frequenz und beträgt in [Hz] bei t_Z in [s]

$$a_{f_S \text{ abs}} = \Delta f_S = \pm \frac{1}{t_Z}$$

Im allgemeinen Fall, bei dem innerhalb des Variationsbereichs eine beliebige Abhängigkeit $f_S = f(M)$ vorliegt, wobei M die ursprüngliche Meßgröße (Temperatur, Dehnung etc.) bezeichnet, ergibt sich als absoluter Meßfehler für die Meßgröße

$$a_{M \text{ abs}} = \Delta M = \pm \frac{1}{t_Z} \frac{dM}{df_S}$$

$a_{M \text{ abs}}$ ist dann eine Funktion der Oszillationsfrequenz innerhalb des Variationsbereichs, da $\frac{dM}{df_S} = f(f_S)$.

Im speziellen Fall, daß innerhalb des Variationsbereichs eine lineare Abhängigkeit der Oszillationsfrequenz von der Meßgröße besteht, läßt sich bei Bezeichnung des gesamten von der Messung erfaßten Variationsbereichs der Meßgröße mit B_M und des zugeordneten Variationsbereichs der Oszillationsfrequenz mit B_S die Beziehung für $a_{M_{abs}}$ schreiben als:

$$a_{M_{abs}} = \Delta M = \pm \frac{1}{t_Z} \frac{B_M}{B_S}$$

Für die relativen Fehler gilt dann entsprechend im allgemeinen Fall:

$$a_{M_{rel}} = \frac{\Delta M}{M} = \pm \frac{1}{t_Z M} \frac{dM}{df_S}$$

und im speziellen Fall linearer Abhängigkeit innerhalb des Variationsbereichs:

$$a_{M_{rel}} = \frac{\Delta M}{M} = \pm \frac{1}{t_Z M} \frac{B_M}{B_S}$$

Wird der absolute Fehler auf die Größe des Variationsbereichs bezogen, so ergibt sich der relative Fehler zum Variationsbereich. Dieser ist im allgemeinen Fall wieder eine Funktion von f_S und beträgt:

$$a_{M_{rel V}} = \frac{\Delta M}{B_M} = \pm \frac{1}{t_Z B_M} \frac{dM}{df_S}$$

Im speziellen Fall linearer Abhängigkeit dagegen wird dieser Fehler:

$$a_{M_{rel V}} = \frac{\Delta M}{B_M} = \pm \frac{1}{t_Z B_S}$$

Damit wird z.B. für $t_Z = 30$ ms und $B_S = 6$ KHz der relative Meßfehler bezogen auf den Variationsbereich $a_{M_{rel V}} = \pm 5,7 \cdot 10^{-3}$.

Da indieses Ergebnis die Oszillationsfrequenz direkt nicht eingeht, könnte man meinen, daß ihre Wahl völlig freistünde. Dies trifft jedoch neben anderen Gesichtspunkten schon deshalb nicht zu, weil sich bei zu niedrigen Oszillationsfrequenzen der für die Gesamtzahl der Meßkanäle unverändert erforderliche absolute Frequenzbereich sKB_s , wobei K die Anzahl der Meßkanäle und s ein Sicherheitsabstandsfaktor ist, technisch nicht realisieren läßt. Außer sKB_s müßte bei einer gleichbleibenden Meßgenauigkeit und gleichbleibender Meßkanalzah K sowie unverändertem s auch der Quotient $\frac{B_M}{B_S}$ konstant bleiben, was mit abnehmenden Frequenzen technisch ebenfalls wachsende Schwierigkeiten bereitet. Die Verwendung zu hoher Frequenzen verbietet sich dagegen, wie bereits erwähnt, vorwiegend aus rein hochfrequenztechnischen Gesichtspunkten wie Kabel- und Parallelkapazitäten, Phasendrehungen usw.

Handelt es sich in besonderen Anwendungsfällen des Meßverfahrens um die Erkennung mehrerer diskreter Meßgrößenwerte (Stufengeber) innerhalb des Variationsbereichs, so ergibt sich im Fall linearer Abhängigkeit (siehe oben) als Zahl der voneinander unterscheidbaren Meßgrößenstufen:

$$N = \frac{1}{2} f_Z B_S$$

Für den allgemeinen Fall ($\frac{dM}{df_S} = f(f_S)$) ist die Zahl der innerhalb des Variationsbereichs unterscheidbaren Meßgrößenstufen technisch deshalb meist von geringerer Bedeutung, weil die Stufen in Abhängigkeit vom Verlauf des Quotienten $\frac{dM}{df_S}$ gewöhnlich ungleichmäßig über den Variationsbereich verteilt sind, da die Meßgenauigkeit für die einzelnen Stufenwerte verschieden ist.

Es darf bei Verwendung der vorstehenden, im Anhang abgeleiteten Beziehungen natürlich nicht übersehen werden, daß die errechneten Meßgenauigkeiten insofern theoretische Werte darstellen, als ihnen nur der für die digitale Frequenzmessung typische Fehler von ± 1 Periode zugrunde liegt, die Öffnungszeit des Tores aber hierbei als definierte Größe

ohne einen ihr anhaftenden Fehler eingeführt wurde. Die aus dem Fehler der Öffnungszeit sich ergebenden Frequenzmeßfehler müssen in der Praxis zusätzlich berücksichtigt werden.

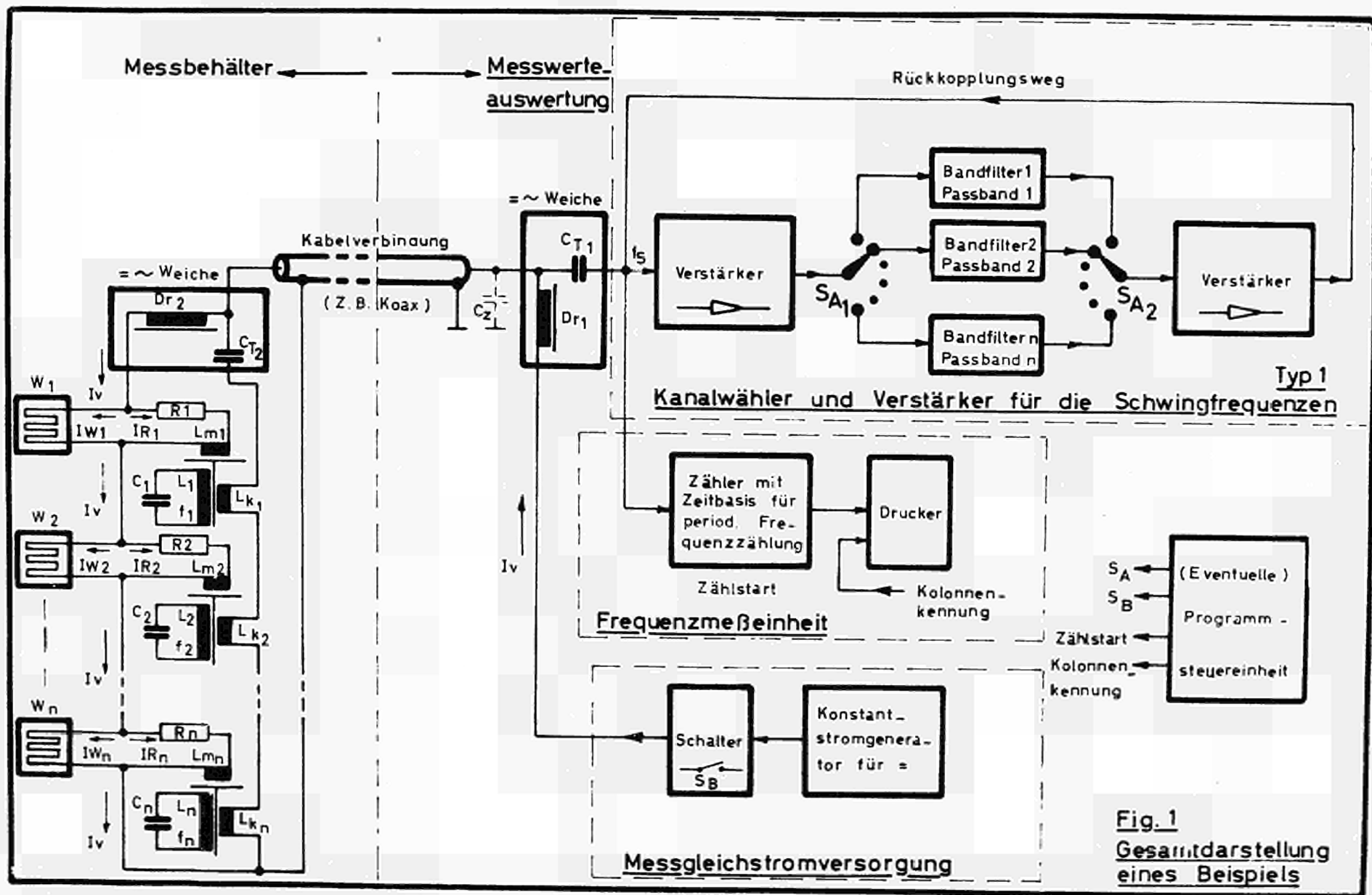


Fig. 1
Gesamtdarstellung
eines Beispiels

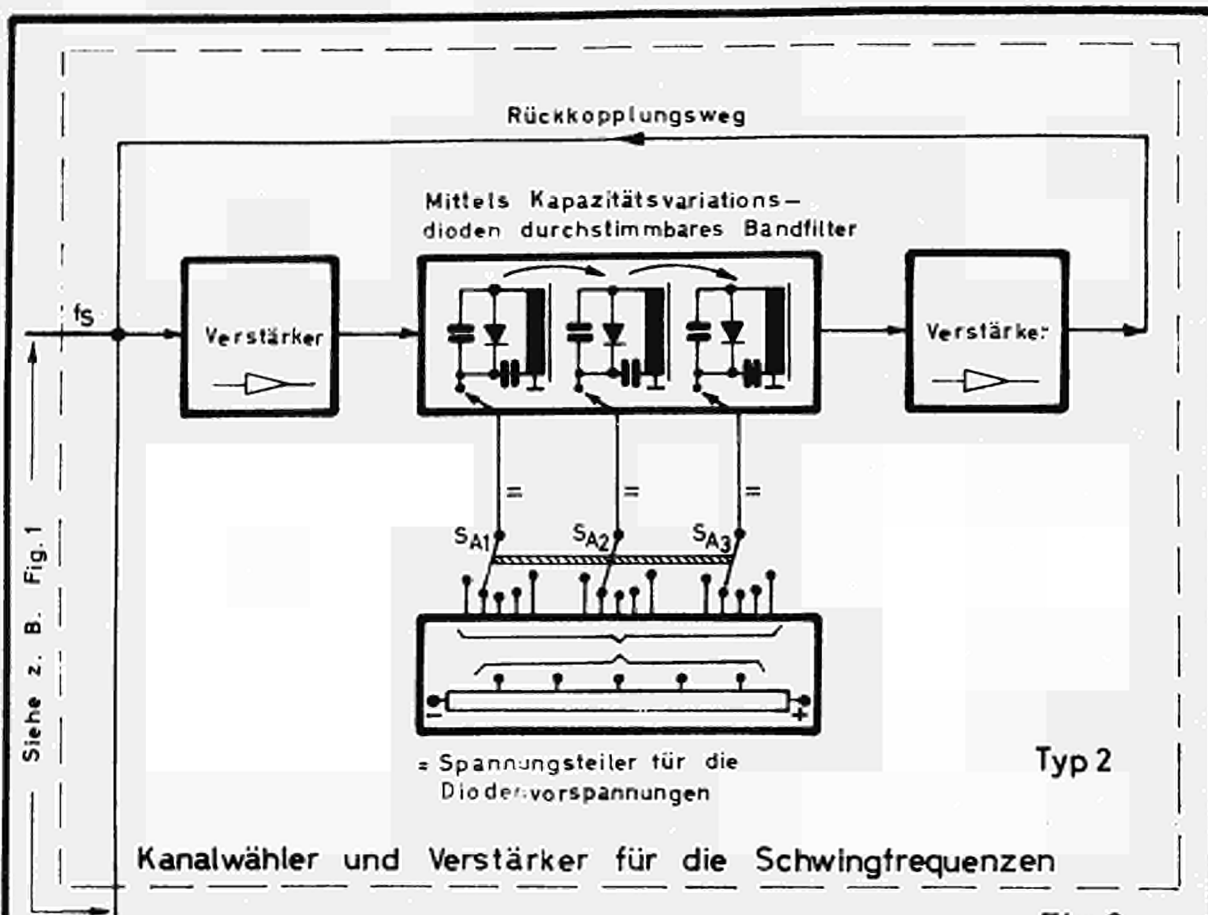


Fig. 2

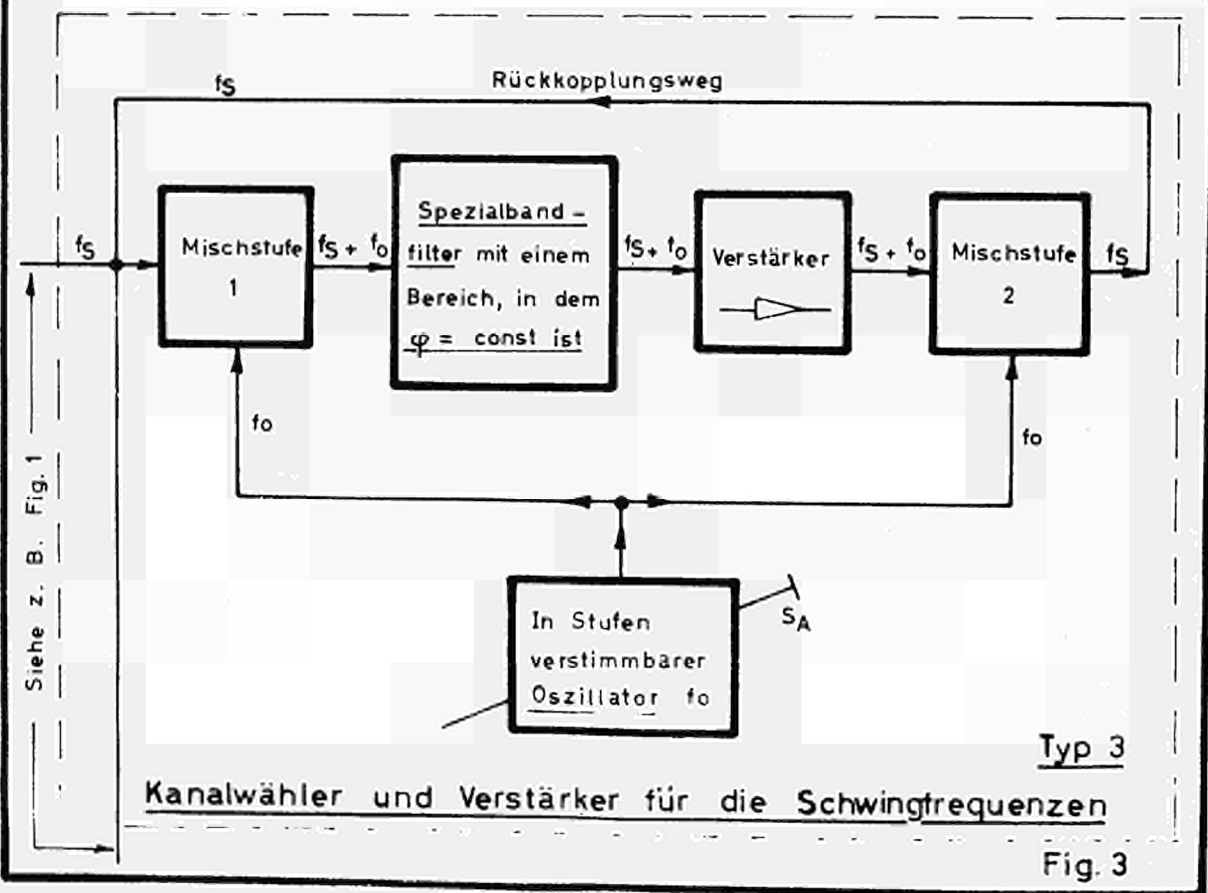


Fig. 3

Siehe z. B. Fig. 1

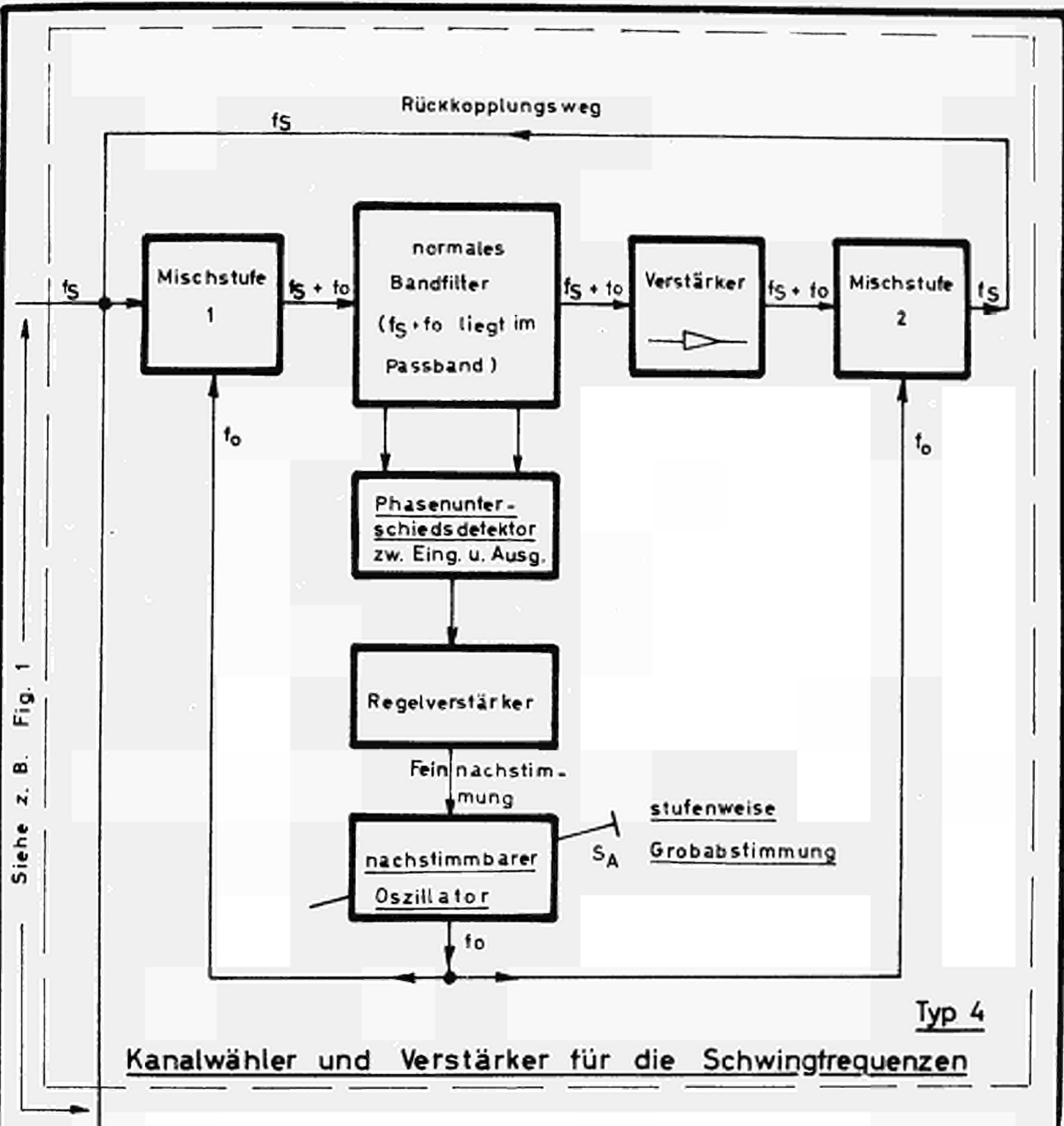
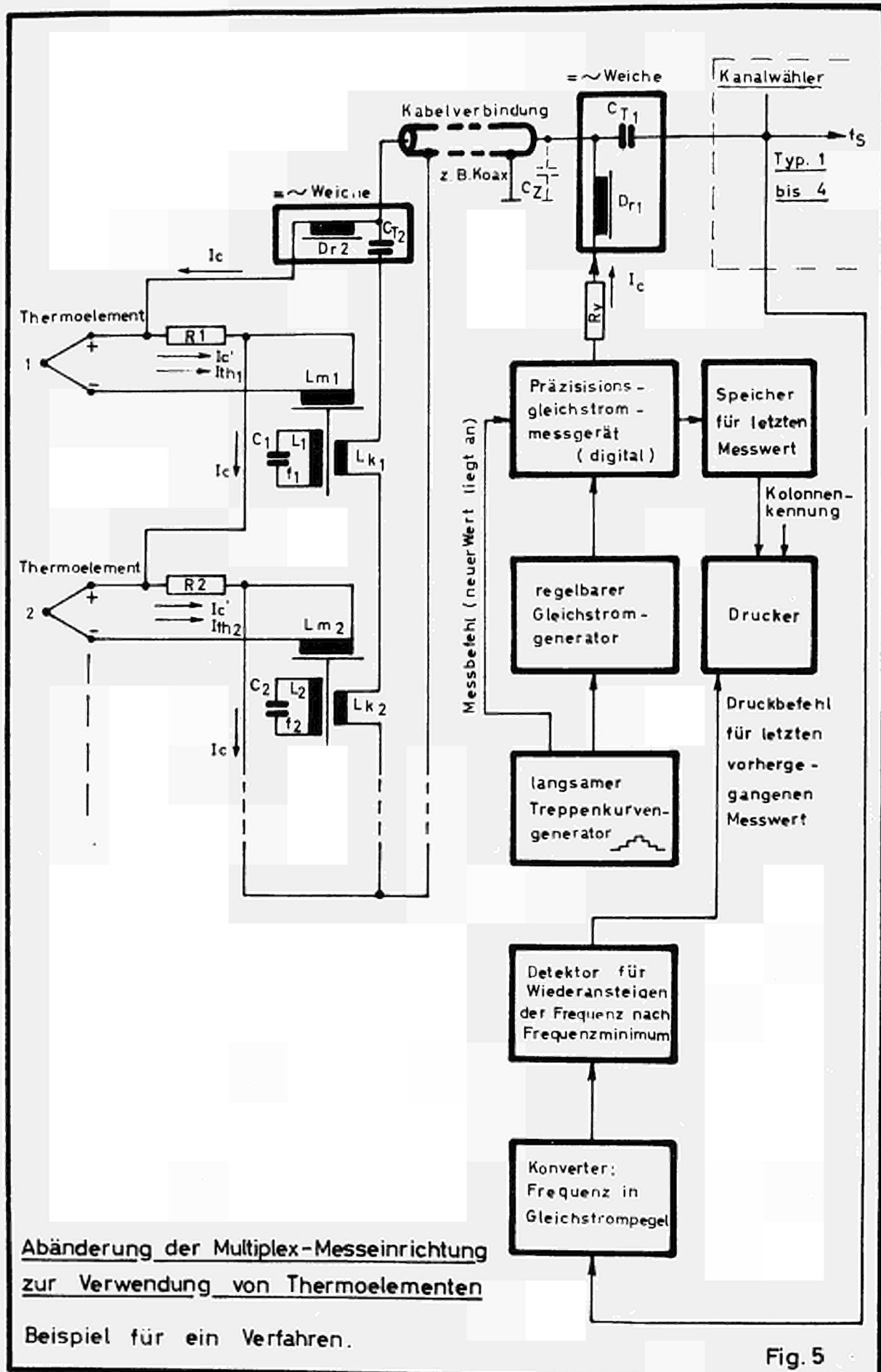


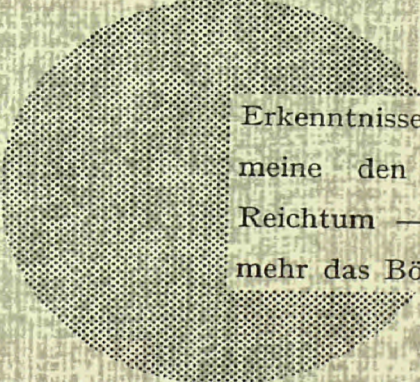
Fig. 4



Abänderung der Multiplex-Messeinrichtung zur Verwendung von Thermoelementen

Beispiel für ein Verfahren.

Fig. 5



Erkenntnisse verbreiten ist soviel wie Wohlstand verbreiten — ich meine den allgemeinen Wohlstand, nicht den individuellen Reichtum — denn mit dem Wohlstand verschwindet mehr und mehr das Böse, das uns aus dunkler Zeit vererbt ist.

Alfred Nobel

CDNA02421DEC

EURATOM - C.I.D.
51 - 53, rue Belliard
Bruxelles (Belgique)