

## AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21) WP G 01 D / 301 984 8

(22) 21.04.87

(45) 14.12.88

(71) Institut für Stahlbeton, Semperstraße 2, Dresden, 8020, DD

(72) Röthig, Harald, Dr. rer. nat.; Fritzsche, Eberhard, DD

(54) Schaltungsanordnung zur Linearisierung und Normierung des Kennlinienfeldes eines in einem Meßwert-aufnehmer erzeugten Wechselspannungs-Meßsignals

(55) Schaltungsanordnung, Linearisierung, Normierung, Kennlinienfeld, Meßwertaufnehmer, Bauwesen, Stahlbetonbauteile, Betondeckung

(57) Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Linearisierung und Normierung des Kennlinienfeldes eines in einem Meßwertaufnehmer erzeugten Wechselspannungs-Meßsignals. Sie ist insbesondere im Zusammenhang mit der Messung der Betondeckung von Stahlbewehrungen in Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen einsetzbar. Einem veränderbaren Eingangsspannungsteiler ist ein Gleichrichter nachgeordnet, der auf den invertierenden Eingang eines Differenzverstärkers arbeitet. An dessen nichtinvertierendem Eingang liegt eine konstante Gleichspannung. Dem Differenzverstärker ist ein modifizierter Logarithmierer nachgeschaltet. Die Basis des Rückkopplungstransistors liegt über einem umschaltbaren Spannungsteiler an einer positiven Gleichspannung. Parallel zur Emitter-Kollektor-Strecke liegt ein ohmscher Festwiderstand. Dieser ist so bemessen, daß der Strom im Rückkopplungszweig des Logarithmierers bei großen Eingangssignalen vom Strom durch den Rückkopplungstransistor und bei kleiner werdenden Eingangssignalen zunehmend vom Strom durch den Festwiderstand bestimmt wird. Fig. 3

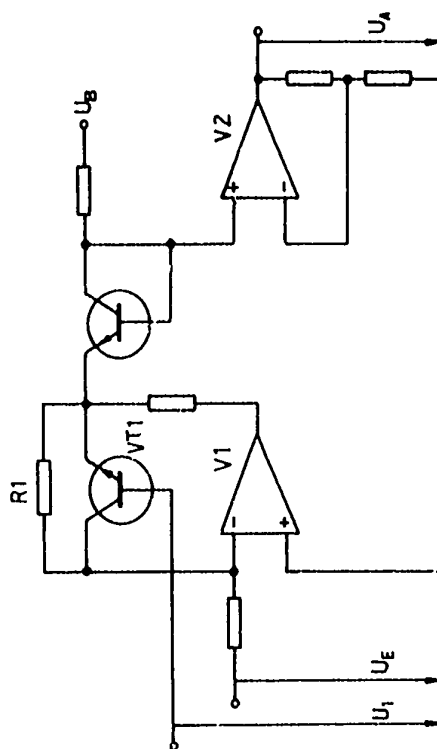


Fig. 3

**Patentanspruch:**

Schaltungsanordnung zur Linearisierung und Normierung des Kennlinienfeldes eines in einem Meßwertaufnehmer erzeugten Wechselspannungs-Meßsignals, wie es bei einer näherungsweise exponentiellen Abhängigkeit des Meßsignals von der zu messenden Größe für mehrere verschiedene Werte eines Parameters entsteht, **gekennzeichnet dadurch**, daß nach einem veränderbaren Eingangsspannungsteiler (1) ein Gleichrichter (2) angeordnet ist, der auf den invertierenden Eingang eines Differenzverstärkers (3) arbeitet, an dessen nichtinvertierendem Eingang eine konstante Gleichspannung anliegt, die größer als die am Ausgang des Gleichrichters (2) auftretende höchste Ausgangsspannung ist, und dem ein modifizierter Logarithmierer (4) nachgeschaltet ist, wobei die Basis des Rückkopplungstransistors dieses modifizierten Logarithmierers (4) über einen umschaltbaren, dem jeweiligen Wert des Parameters entsprechend eingestellten, Spannungsteiler (5) an einer positiven Gleichspannung liegt und parallel zur Emitter-Kollektor-Strecke des Rückkopplungstransistors ein ohmscher Festwiderstand liegt, der so bemessen ist, daß der Strom im Rückkopplungszweig des modifizierten Logarithmierers (4) bei großen Eingangssignalen vom Strom durch den Rückkopplungstransistor und bei kleiner werdenden Eingangssignalen zunehmend vom Strom durch den genannten Festwiderstand bestimmt wird, und dem Ausgang des modifizierten Logarithmierers (4) ein umschaltbarer, ebenfalls dem jeweiligen Wert des Parameters entsprechend eingestellter Ausgangsspannungsteiler (6) nachgeschaltet ist, der mit dem umschaltbaren Spannungsteiler (5) mechanisch starr gekoppelt ist.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

**Anwendungsgebiet der Erfindung**

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Linearisierung und Normierung eines Kennlinienfeldes eines Meßwertaufnehmers und ist im Rahmen des Qualitätssicherungssystems im Bauwesen bevorzugt einsetzbar in Geräten zur Messung der Betondeckung von Stahlbewehrungen in Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen.

**Charakteristik des bekannten Standes der Technik**

Zur Linearisierung der Kennlinie von Meßwertaufnehmern sind verschiedene Schaltungsanordnungen bekannt. So wird in der DE-OS 3337 752 A 1, IPK<sup>3</sup> G 01 D 3/02 eine Schaltungsanordnung beschrieben, deren Übertragungsfaktor bis zu einem charakteristischen Wert der Eingangsspannung durch einen ersten Operationsverstärker bestimmt wird und der bei Überschreiten dieses Wertes durch Wirksamwerden eines zweiten Operationsverstärkers mit einer Dioden-Widerstands-Beschaltung sprunghaft verändert wird. Dadurch ist es möglich, eine aus zwei Geradenabschnitten unterschiedlicher Steigung bestehende Kennlinie eines Meßwertaufnehmers zu linearisieren, d. h. den Kennlinienknick zu beseitigen.

Bei einer Schaltungsanordnung gemäß DD-PS 233 646 A 1, IPK<sup>3</sup> G 01 D 3/04 ist dem Gegenkopplungswiderstand eines am Meßsignal eines Meßwertaufnehmers anliegenden Inverters die Serienschaltung eines Operationsverstärkers, einer Schaltdiode und eines weiteren Widerstandes gegenläufig parallelgeschaltet, wobei der Ausgang oder der Eingang der Schaltdiode mit dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers verbunden ist. Diese Schaltung hat eine Kennlinie mit einem Knickpunkt beim Nulldurchgang des Eingangssignals. Durch Vorspannung des invertierenden Eingangs des zweiten Operationsverstärkers kann dieser Knickpunkt zu anderen Werten der Eingangsspannung hin verschoben werden. Durch Hintereinanderschalten von mehreren derartigen Schaltungsanordnungen kann eine Übertragungsfunktion realisiert werden, die aus mehreren Geradenabschnitten mit unterschiedlicher Steigung zusammengesetzt ist. Eine solche Übertragungsfunktion wird auch durch die in der DE-OS 2706431, A 1 IPK<sup>3</sup>, G 01 D 3/02 beschriebene Lösung realisiert, bei der der Meßwertaufnehmer an einem ersten Differenzverstärker angeschlossen ist, der erste Differenzverstärker über einen zweiten Differenzverstärker gekoppelt und zwischen dem Ausgang und einem Eingang des zweiten Differenzverstärkers ein Dioden-Widerstands-Netzwerk eingeschaltet ist. Derartige Schaltungsanordnungen zur Linearisierung der Kennlinie eines Meßwertaufnehmers beruhen darauf, daß diese Kennlinie durch hintereinanderliegende Geradenabschnitte mit unterschiedlicher Steigung angenähert wird. Wird die Kennlinie nur durch wenige Geradenabschnitte angenähert, ist der Schaltungsaufwand vertretbar, aber die Genauigkeit der „Linearisierung“ unzureichend. Zur Erzielung einer brauchbaren Näherung, beispielsweise für eine Exponentialfunktion, und damit einer ausreichenden Genauigkeit ist ein sehr großer Schaltungsaufwand notwendig.

Die aufgeführten bekannten Schaltungsanordnungen haben gemeinsam den Nachteil, daß nur die Linearisierung einer Kennlinie, nicht aber eines Kennlinienfeldes möglich ist und auch keine Normierung erreicht wird.

**Ziel der Erfindung**

Es ist das Ziel der Erfindung, die beschriebenen Nachteile des bekannten Standes der Technik zu beseitigen und eine Schaltungsanordnung zur Linearisierung und Normierung eines Kennlinienfeldes eines Meßwertaufnehmers zu entwickeln, die bei ihrer Realisierung in einem Meßgerät dessen Handhabung und Ablesbarkeit, insbesondere bei der Messung der Dicke der

Betondeckung von Stahlbewehrungen in Stahlbetonbauteilen, wesentlich verbessert und dadurch einerseits den Zeitaufwand für die Durchführung der Messungen verringert und andererseits subjektive Fehler — wie Ablesefehler, Interpolationsfehler, Fehlzuordnung von Skalen — weitestgehend ausschließt.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Kennlinien eines näherungsweise durch eine Exponentialfunktion darstellbaren nichtlinearen Kennlinienfeldes eines in einem Meßwertaufnehmer erzeugten Wechselspannungssignals in Abhängigkeit von der zu messenden Größe und einem Parameter so zu linearisieren und zu normieren, daß für mehrere unterschiedliche Werte des Parameters ein- und derselbe lineare Zusammenhang zwischen dem linearisierten und normierten Meßsignal und der zu messenden Größe entsteht. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch eine Schaltungsanordnung gelöst, bei der einem Eingangsspannungsteiler ein Gleichrichter und diesem ein Differenzverstärker nachgeschaltet ist, an dessen nichtinvertierendem Eingang eine konstante Gleichspannung anliegt, die größer als die höchste am Ausgang des Gleichrichters auftretende Gleichspannung ist.

Der Ausgang des Differenzverstärkers ist mit dem Eingang eines modifizierten Logarithmierers verbunden, bei dem die Basis des Rückkopplungstransistors über einen umschaltbaren, dem jeweiligen Wert des Parameters entsprechend eingestellten Spannungsteiler an einer positiven Gleichspannung liegt und parallel zur Emitter-Kollektor-Strecke des Rückkopplungstransistors ein ohmscher Festwiderstand angeordnet ist. Dieser Widerstand ist so bemessen, daß der Strom im Rückkopplungsweig des modifizierten Logarithmierers bei großen Eingangssignalen vom Strom durch den Rückkopplungstransistor und bei kleiner werdenden Eingangssignalen zunehmend vom Strom durch den Festwiderstand bestimmt wird. Dem Ausgang des modifizierten Logarithmierers ist ein umschaltbarer Ausgangsspannungsteiler nachgeschaltet, der mit dem Spannungsteiler für den Rückkopplungstransistor starr gekoppelt ist.

Das nichtlineare Ausgangssignal des Meßwertaufnehmers in Form einer Wechselspannung wird an den Eingang des Eingangsspannungsteilers angelegt. Dieser Eingangsspannungsteiler ist so bemessen, daß der Maximalwert des Eingangssignals, der für alle Werte des Parameters gleich ist, einen bestimmten für die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung geeigneten Wert am Ausgang des Spannungsteilers annimmt. Die Ausgangsspannung des Eingangsspannungsteilers gelangt an einen Gleichrichter, der für jede der beiden Halbwellen der Gleichrichtereingangsspannung eine positive Ausgangsspannung liefert. Diese Ausgangsgleichspannung gelangt auf den invertierenden Eingang eines Differenzverstärkers, an dessen nichtinvertierendem Eingang eine konstante Gleichspannung anliegt, die größer als die am Ausgang des Gleichrichters auftretende höchste Spannung ist. Die Differenz dieser beiden Eingangsspannungen wird verstärkt und gelangt auf den Eingang des modifizierten Logarithmierers, der die Kennlinien linearisiert.

Durch einen ohmschen Festwiderstand parallel zur Emitter-Kollektor-Strecke des Rückkopplungstransistors, der so bemessen ist, daß der Strom im Rückkopplungsweig des modifizierten Logarithmierers bei großen Eingangssignalen vom Strom durch den Rückkopplungstransistor und bei kleiner werdenden Eingangssignalen zunehmend vom Strom durch den genannten Festwiderstand bestimmt wird, wird die Übertragungsfunktion des Logarithmierers kontinuierlich so verändert, daß die Logarithmierung quasi zu einer stetig kleiner werdenden Basis erfolgt und auf dieser Weise an die tatsächliche Kennlinie des Meßwertaufnehmers angepaßt wird. Um zu erreichen, daß die linearisierten Ausgangskennlinien des modifizierten Logarithmierers alle durch den Koordinatenursprung gehen, wird die Basis des Rückkopplungstransistors des Logarithmierers zusätzlich mit einer kleinen Gleichspannung beaufschlagt, deren Wert, abhängig vom Wert des Parameters, mittels des umschaltbaren Spannungsteilers passend eingestellt wird.

Der modifizierte Logarithmierer bildet mit dem umschaltbaren Ausgangsspannungsteiler, der ebenfalls entsprechend dem jeweiligen Wert des Parameters einzustellen und deshalb mechanisch mit dem umschaltbaren Spannungsteiler gekoppelt ist, die linearisierten Ausgangsspannungen des modifizierten Logarithmierers für alle Werte des Parameters so auf einen vorgegebenen Bereich der Ausgangsspannung ab, daß im Arbeitsbereich der Schaltungsanordnung allen Werten der zu messenden Größe unabhängig vom jeweiligen Wert des Parameters eindeutig ein- und derselbe Wert der Ausgangsspannung des umschaltbaren Ausgangsspannungsteilers zugeordnet ist.

### Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel in einem Betondeckungsmeßgerät näher erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnung zeigen:

Figur 1: das Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung

Figur 2: die Ausgangsspannung des induktiven Meßwertaufnehmers als Funktion der Betondeckung bei unterschiedlichen Werten des Parameters Stahlbewehrungsdurchmesser

Figur 3: das Schaltbild des modifizierten Logarithmierers

Figur 4: die Ausgangsspannung der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung als Funktion der Betondeckung.

Die zur Messung der Betondeckung von Stahlbewehrungen in Stahlbetonbauteilen erforderliche Gerätetechnik besteht aus einem induktiven Meßwertaufnehmer und einem Betondeckungsmeßgerät, in dem die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung realisiert ist. Es wird die Forderung gestellt, die sich in Abhängigkeit vom Abstand zwischen einem induktiven Meßwertaufnehmer auf der Oberfläche eines Stahlbetonbauteiles und der im Beton befindlichen Stahlbewehrung nichtlinear ändernde Ausgangswechselspannung des Meßwertaufnehmers so in ein Gleichspannungssignal umzuformen, daß ein linearer Zusammenhang zwischen Betondeckung und Höhe der Ausgangsgleichspannung der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung erreicht wird. Der gemäß Fig. 2 bestehende Zusammenhang zwischen der Ausgangsspannung des Meßwertaufnehmers und der Betondeckung ist dadurch gekennzeichnet, daß er sich für kleine Werte der Betondeckung hinreichend genau durch eine e-Funktion beschreiben läßt. Bei großen Werten der Betondeckung folgt die Ausgangsspannung des Meßwertaufnehmers einer Potenzfunktion mit stetig kleiner werdender Basis.

Nach Fig. 1 gelangt das vom induktiven Meßwertaufnehmer gelieferte Wechselspannungsausgangssignal zunächst über einen, zur Kalibrierung erforderlichen, veränderbaren Eingangsspannungsteiler 1 zum Gleichrichter 2, in dem eine lineare Gleichrichtung des Wechselspannungssignals erfolgt.

Die vom Gleichrichter 2 erzeugte positive Ausgangsgleichspannung, für die sich infolge der linearen Gleichrichtung prinzipiell die gleiche Abhängigkeit von der Betondeckung wie beim Ausgangssignal des Meßwertaufnehmers ergibt, wird auf den invertierenden Eingang des Differenzverstärkers 3 gelegt. Am nichtinvertierenden Eingang des Differenzverstärkers 3 liegt eine konstante Gleichspannung  $U_0$ , die größer als die höchste am Ausgang des Gleichrichters 2 auftretende Ausgangsspannung ist. Dieser Höchstwert der Gleichrichterausgangsspannung stellt sich bei sehr großer Betondeckung ein, da dann die Ausgangsspannung des Meßwertaufnehmers einen, für alle Stahlbewehrungsdurchmesser gleichen, Maximalwert  $U_{\max}$  annimmt.

Durch die erfindungsgemäße Art der Differenzbildung wird erreicht, daß

- die Ausgangsspannung des Differenzverstärkers stets positive Werte annimmt,
- sich die Ausgangsspannung des Differenzverstärkers gegenüber der Ausgangsspannung des Gleichrichters in entgegengesetzter Weise ändert,
- sich durch weitgehendes Eliminieren des konstanten Anteiles der Gleichrichterausgangsspannung der nutzbare Signalhub vergrößert,
- sich der für die Linearisierung der Ausgangsgleichspannung des Differenzverstärkers geeignete Teil der logarithmischen Kennlinie durch die definierte Einstellung der Eingangsspannung des Logarithmierers für den Maximalwert der Wechselspannung am Eingang des Eingangsspannungsteilers festlegen läßt.

Die Ausgangsspannung des Differenzverstärkers 3 gelangt auf den Eingang des modifizierten Logarithmierers 4, dessen Schaltbild Fig. 3 zeigt. Hier liegt ein Widerstand  $R_1$  parallel zur Emitter-Kollektor-Strecke des Rückkopplungstransistors VT 1. Der Widerstand  $R_1$  ist so bemessen, daß bei großen Eingangsspannungen  $U_E$ , d. h. bei kleinen Werten für die Betondeckung, sein Einfluß auf das Übertragungsverhalten vernachlässigt werden kann.

Der Logarithmierer 4 liefert in diesem Fall eine Ausgangsspannung  $U_A$  an V2, die dem natürlichen Logarithmus der Eingangsspannung  $U_E$  proportional ist. Bei kleiner werdenden Eingangsspannungen  $U_E$ , d. h. für größer werdende Werte der Betondeckung, bewirkt der Widerstand  $R_1$  eine Logarithmierung zu einer sich stetig verringernden Basis. Demzufolge steigt bei kleiner werdender Eingangsspannung  $U_E$  die Ausgangsspannung  $U_A$  an V2 schneller als bei einer Logarithmierung nach der  $\ln$ -Funktion. Das dadurch erzielte Übertragungsverhalten ist erforderlich, um eine Linearisierung der gemäß Fig. 2 vorliegenden Kennlinien des Meßwertaufnehmers zu erreichen.

Damit alle linearisierten Kennlinien für den Wert „Betondeckung = 0“ im Koordinatenursprung beginnen, wird an die Basis des Transistors VT 1 eine kleine Gleichspannung  $U_1$  gelegt, die für jeden Stahlbewehrungsdurchmesser einen anderen Wert haben muß. Die Gleichspannung  $U_1$  wird vom umschaltbaren Spannungsteiler 5 erzeugt, der mit dem umschaltbaren Ausgangsspannungsteiler 6 gekoppelt ist.

Die unterschiedliche Steigung der Kennlinien für unterschiedliche Stahlbewehrungsdurchmesser wird durch den umschaltbaren Ausgangsspannungsteiler 6 ausgeglichen, so daß, unabhängig vom Wert des Parameters Stahlbewehrungsdurchmesser, alle Werte der zu messenden Größe gemäß Fig. 4 im Arbeitsbereich der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung auf einem vorgegebenen Wertebereich der Ausgangsspannung abgebildet werden.

Die Ausgangsspannung der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung wird in bekannter Weise nach A/D-Umsetzung digital in der Einheit mm Betondeckung angezeigt.

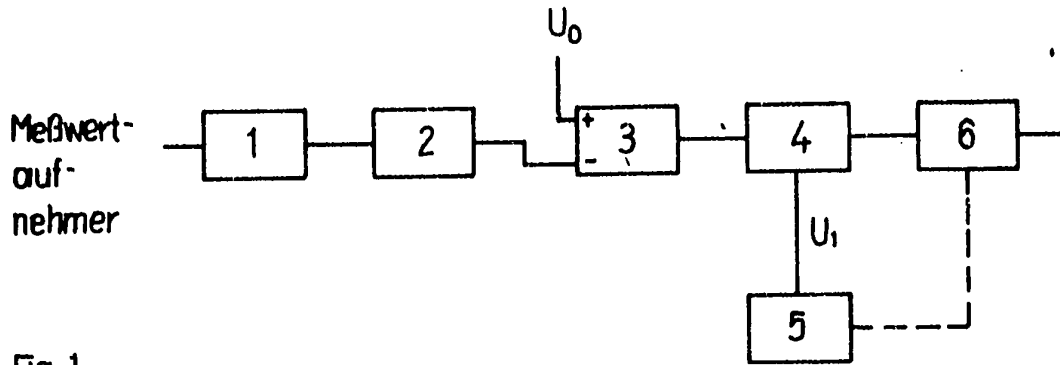


Fig. 1

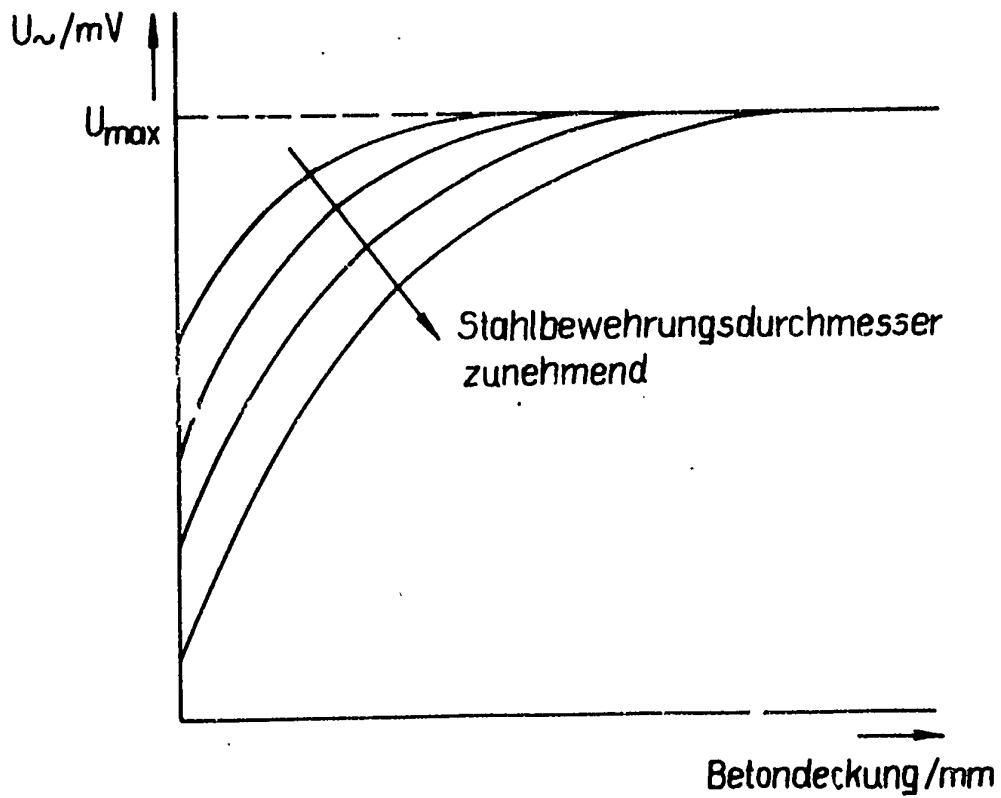


Fig. 2

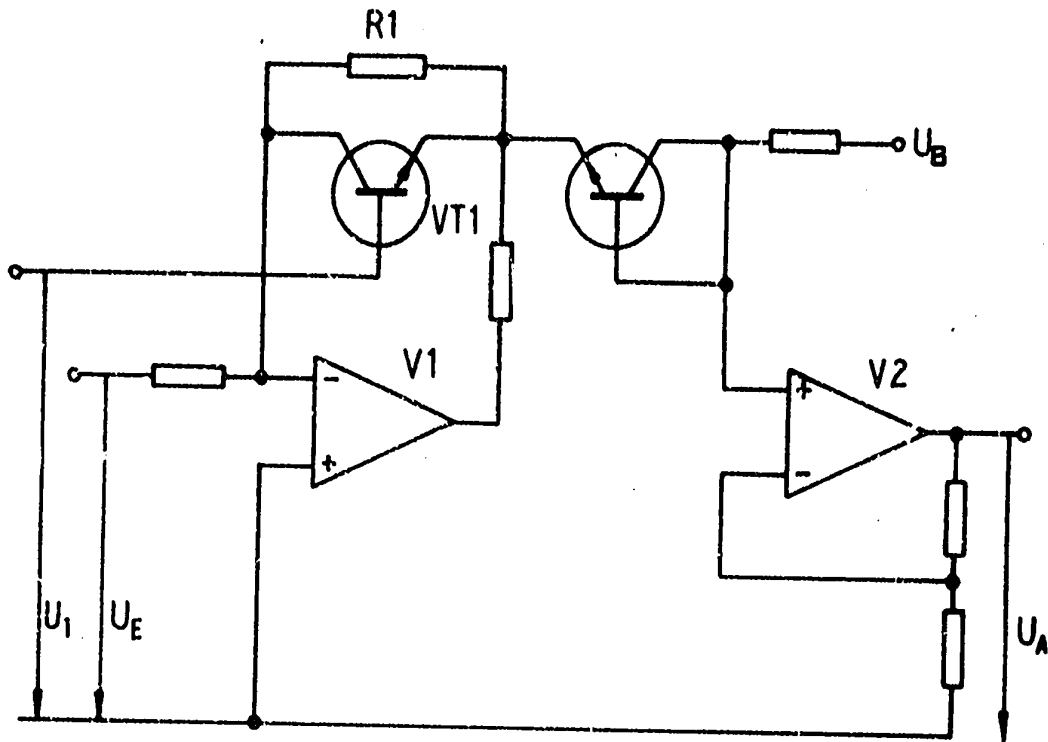


Fig. 3

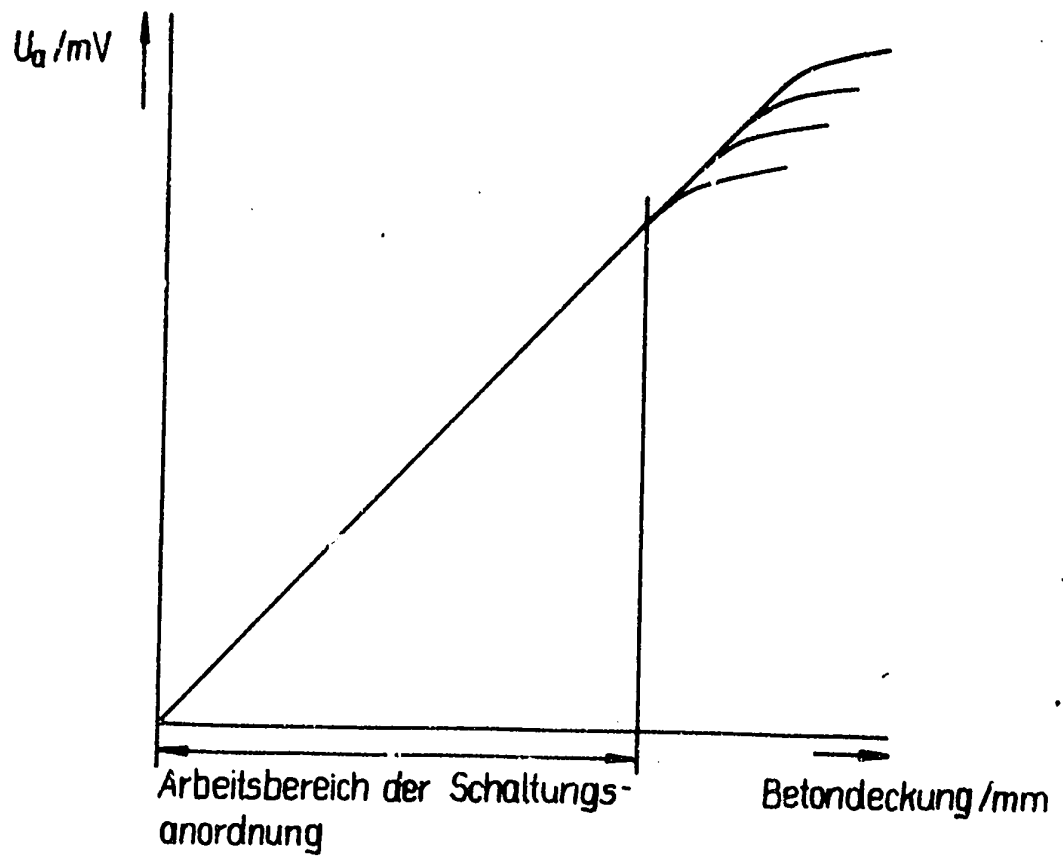


Fig. 4