

Reichsstelle für Hochfrequenzforschung
ERNST-LECHER-INSTITUT

Reichenau N.-D.

Vorschlag Nr. 2

Vorschläge und Modellversuche
zur Entstörung von Funkmessgeräten
durch hochfrequenten Phasenvergleich

Reichenau, 26.2.45.

Abteilung I

Fl.Stabsing.Dr.Herzog

Bearbeiter

Fl.Stabsing.Dr. Zechirnt

~~Nur für den Dienstgebrauch~~

5. Dienstausfertigung
Geheim

137/45y

Vorschläge und Modellversuche zur Ant-
störung von Funkmessgeräten durch hochfrequenten Phasenvergleich.

=====

Die von Ziel reflektierten Messimpulse eines Funkmessgerätes sind gegenüber einfallenden Störungen im Wesentlichen durch zwei Eigenschaften gekennzeichnet: durch ihre Periodizität und dadurch, dass zwischen der hochfrequenten Phase des ausgesandten und des reflektierten Impulses eine definierte Phasenbeziehung besteht. Beide Eigenschaften lassen sich ausnutzen, um das Nutzsignal aus dem Störsender verursachten Störnebel herauszufiltern. Im folgenden soll lediglich von Phasemessverfahren die Rede sein, und zwar unter besonderer Berücksichtigung der Möglichkeiten, die sie zur Beseitigung der durch rauschmodulierte Störsender bewirkten Störungen bieten.

Voraussetzung aller Phasenverfahren ist, dass die ausgesandten Impulse mit einer definierten Phase anschwingen, mit anderen Worten, dass der Anschwingvorgang des Impulssenders von den statistisch erfolgenden Anstößen durch Hausschwingungen oder ähnlichen Vorgängen unabhängig gemacht wird. Dies könnte durch Verwendung eines durchschwingenden Störsenders in Verbindung mit einem impulsgetasteten Senderverstärker, oder durch das Fackelverfahren, das einen Regulliersender, der die Anschwingphase bestimmt, vorsieht, erreicht werden. Das Funkmesszweck ist der zweite Weg der bei weitem naheliegendere. Das Verfahren von Fack, dass die Schwebungen zwischen Regulliersender und Impulssender sichtbar macht und infolge des bei bewegten Zielen auftretenden Dopplereffektes eine Unterscheidung zwischen bewegten und ruhenden Zielen ermöglicht, ist beim Vorhandensein von Haussendern wirkungslos, da die entstehenden "Schlängel" ebenso wie die "Läuse" i. Störgerätes verschwinden. Dagegen wird im folgenden gezeigt werden, dass unter gewissen Voraussetzungen ein phasenmäßiger Vergleich des ausgesandten und des reflektierten Impulses oder auch zweier aufeinanderfolgender Impulse zum Ziel führen kann.

Für die folgenden Überlegungen sei zunächst vorausgesetzt: 1) Der Impulsender sei durch einen Steuersender oder einen Reguliersender nach Fach in der oben skizzierten Weise hinsichtlich seiner Anschwingphase so festgelegt, dass sein Anschwingen stets in gleicher Weise erfolgt.

2) Es seien Vorkehrungen getroffen, die es gestatten, die ausgesandten sowie die reflektierten Impulse ohne Änderung ihrer Phase auf niedrigere Frequenzen zu übersetzen, sodass Sichtbarmachung an Braunschen Rohr oder Messungen mit im Bereich bis zu 10 MHz üblichen Geräten möglich sind. Über die praktische Verwirklichung dieser Forderungen wird später noch gesprochen werden.

Wir betrachten zunächst den Phasenvergleich des ausgesandten mit dem reflektierten Impuls. Wir nehmen dabei den Fall des durchschwingenden Steuersenders mit impulsgetastetem Senderverstärker oder, was gleichwertig ist, den eines Impulsenders an, der durch einen auf genau gleicher Frequenz schwingenden Reguliersender synchronisiert ist. Nach entsprechender Frequenzherabsetzung werde die Schwingung des Steuersenders auf die waagrechten Platten eines Braunschen Rohres gegeben, die des reflektierten Impulses auf die senkrechten Platten. Damit nicht alle vorhandenen Reflexionen gleichzeitig wirksam werden, muss durch einen hinsichtlich seines Einsatzzeitpunktes zwischen zwei ausgesandten Impulsen verschiebbaren "Suchimpuls" das Braunsche Rohr nur kurzzeitig, während des Eintreffens eines bestimmten Impulses, geöffnet werden (z.B. durch Holtzastang). Im Falle der zeitlichen Koinzidenz des Suchimpulses mit einer eintreffenden Reflexion sehen wir dann am Braunschen Rohr eine Ellipse, die bei ruhenden Zielen stillsteht, während sie bei bewegten Zielen mit der der Zielgeschwindigkeit zugeordneten Dopplereffrequenz alle möglichen Lagen durchläuft. Bei Einwirkung eines Störsenders auf den Empfängerzugang ergeben sich folgende Verhältnisse (ruhendes Ziel vorausgesetzt): Störsender unmoduliert, Trägerfrequenz des Stör. = Impulsenerffrequenz. Die Ellipse wird zu einem Zylinder auseinandergezogen, der oben und unten von der ursprünglichen Ellipse begrenzt ist. Die Erkennbarkeit der Ellipse und damit des Zieles ist nicht beeinträchtigt.

2) Störs. Dauerstrich, unmoduliert, jedoch Trägerfrequenz nahezu gleich Impulssenderfrequenz - Ellipse "trudelt" mit der Schwebungsfrequenz zwischen Stör- und Nutzsender, Ziel ist nur beim schnellen Überstreichen mit dem Suchimpuls an der ruckartigen Lageänderung der Ellipse zu erkennen. Bei Schwebungsfrequenzen grösser als 30 Hz (in Wirklichkeit immer vorhanden) Übergang in den Fall 1).

3) Störsender tonmoduliert - Bild nicht wesentlich verschieden von Fall 1).

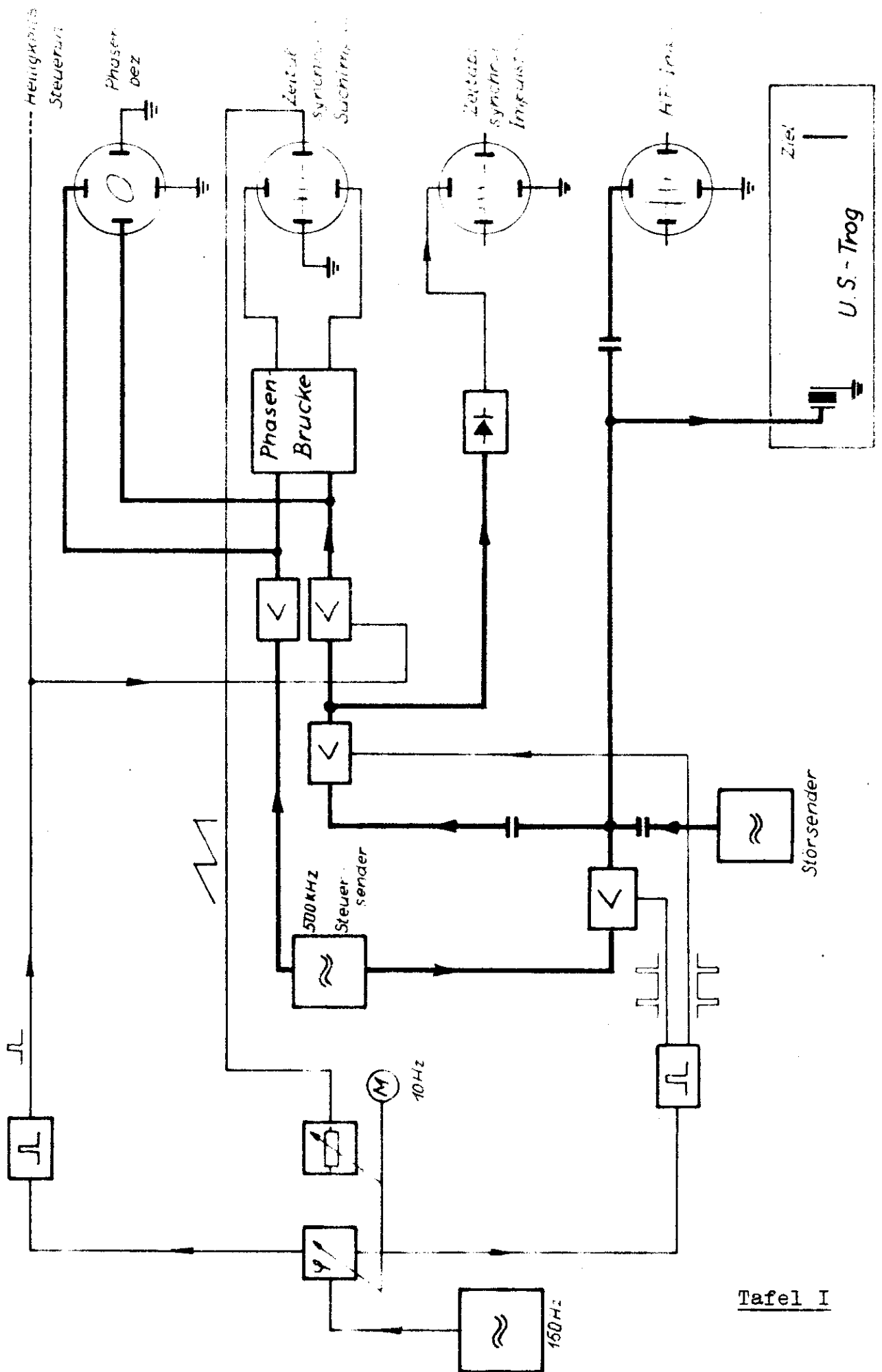
4) Störs. mit Rauschen moduliert - Die Ellipse ist bei ganz durchmoduliertem Störe. völlig verwaschen; das Ziel nur noch an einer gewissen Schrägstellung der Linien gleicher Helligkeit undeutlich erkennbar.

5) Störsender impulsgetastet - wie Fall 1), nur zeichnet sich in der Mittellinie des Zylinders noch die ursprüngliche Ellipse ab.

Die Fälle 1) bis 5) wurden in der weiter unten beschriebenen Modellanordnung untersucht (Tafel I) und ergaben die Abbildungen 1 bis 3.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Betrachtung der Phasenverhältnisse am Braunschen Rohr gegen Störsender zwar eine gewisse Verbesserung verspricht, aber, vor allem bei Rauschsendern, noch nicht ausreicht.

Anders und wesentlich günstiger liegen die Verhältnisse bei Verwendung einer phasenempfindlichen Gleichrichterbrücke (Abb.4). Werden an die Klemmen E_1 und E_2 einer solchen Brücke zwei Wechselfspannungen gleicher Frequenz, aber voneinander verschiedener Phase gelegt, gibt das Instrument J einen Ausschlag, der bei gleicher Grösse von E_1 und E_2 nahezu proportional dem Phasenwinkel zwischen den beiden Spannungen ist und bei 0° und 180° Grösstwerte, bei 90° und 270° den Wert Null hat. Ausgewertet wird nur die Gleichstromkomponenten des gleichgerichteten Spannungen $E_1 \pm E_2/2$, deren Differenz den Instrumentausschlag erzeugt. Die das Instrument durchfliessenden Wechselstromanteile werden nur soweit wiedergegeben, wie sie langsamer verlaufen, als die Einstellzeit des Instrumentes bzw. die Zeitkonstante R.C ist. Die Zeitkonstante der Anzeigeanordnung werde nun so bemessen, dass gerade noch die höchsten vorkommenden Dopplerfrequenzen vom Instrument angezeigt werden.



Tafel I

Versuchsanordnung für Modellversuch.
(HF-Phasenvergleich)

Wir legen an die Klemmen E_1 der Brücke die von dem dauernd schwingenden Steuersender kommende Spannung, an die Klemmen E_2 den reflektierten Impuls. Durch den Suchimpuls wird die Brücke, die sonst gesperrt ist, nur während des Eintreffens eines bestimmten Impulses geöffnet. Die Zeit, die zwischen dem Aussenden des Impulses und dem einem bestimmten Ziel zugeordneten Suchimpuls vergeht, ist ein Mass für die Entfernung dieses Zieles. Ist dem reflektierten Impuls die Rauschspannung eines Störsenders überlagert, so werden vom Instrument nur diejenigen in dem Rauschen enthaltenen Frequenzen angezeigt, die unterhalb der reziproken Einstellzeit, d.h. innerhalb der Bandbreite des Instrumentes liegen. Die mittlere Spannung eines aus einem Rauschspektrum herausgeschnittenen Frequenzbandes ist bekanntlich proportional der Wurzel aus der Bandbreite. Die höchsten zu erwartenden Dopplerfrequenzen betragen etwa 500 Hz, demzufolge ist auch als Bandbreite der Anzeigeordnung 500 Hz zu wählen. Die Bandbreite eines üblichen Funkmessempfängers liegt dagegen in der Grössenordnung von etwa 1 MHz. Die an der Anzeige der Phasenbrücke wirksame Stör-rauschspannung wird mithin um den Faktor $\sqrt{500:1000000} = 1/45$ kleiner als bei der üblichen Anzeige. Hat man erst einmal ein bestimmtes Ziel aufgefasst und ist in dem verwendeten Funkmessgerät eine Einrichtung zur Kompensation der Dopplerfrequenzen vorgesehen, so kann man die Zeitkonstante der Anzeige so gross wählen, wie man sich für die Anmessung des betreffenden Zieles Zeit nehmen kann. In diesem Falle ist theoretisch die beliebig restlose Beseitigung der Rauschstörspannung möglich.

Modellversuch im Ultraschalltrog. Die seeben skizzierten Überlegungen wurden durch einen Modellversuch mit Ultraschall nachgeprüft. Es diente dazu die in Tafel I schematisch gezeigte Anordnung. Ein Steuersender mit der Frequenz 500 kHz speist über einen impulegetasteten Verstärker einen Ultraschallquarz. Die in dem mit Wasser gefüllten Schalltrog vom Ziel (einem Metallstreifen) reflektierten Impulse werden vom Quarz wieder aufgenommen und gehen

1. direkt an die senkrechten Ablenkplatten eines Braunschen Rohres, an dem bei mit der Testfrequenz synchroner Ablenkung das Bild der hochfrequenten gesendeten und empfangenen Impulse beobachtet werden kann.

2. Über einen Verstärker und Gleichrichter an ein zweites Braunschweig'sches Rohr, Zeitablenkung wie bei 1); diese Ablesung entspricht der üblichen Sichtanzeige eines Funkmessgerätes. Durch einen dem Tastimpuls synchronen Sperringimpuls wird dieser Verstärker für den direkten Impuls gesperrt.

3. Hinter dem unter 2) erwähnten Verstärker, der den direkten Impuls absperrt, an einen weiteren, normalerweise gesperrten Verstärker, der nur durch den Suchimpuls geöffnet wird und hinter diesem an die Klemmen E_2 der Phasenbrücke, An den Klemmen E_1 der Brücke liegt über eine Trennröhre der Steuer-sender. Die Anzeigespannung der Brücke wird gleichstromver-stärkt und ebenfalls auf die senkrechten Platten eines Katho-denstrahloszillographen gegeben.

Die Zeitablenkung dieser Röhre erfolgt synchron mit der Be-wegung des Suchimpulses, der mittels eines motorgetriebenen Phasenschiebers zeitlich zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Impulsen verschoben wird und so gleichsam die Reichweite des Funkmessgerätes "absucht". Das auf diesem Rohr gezeigte Bild entspricht in seinem Inhalt somit genau dem des unter 3) be-sprochenen, nur mit dem Unterschied, dass die hier gezeigte Anzeige durch Auswertung der Phasenlage der Impulse gewonnen und mithin in der vorhin besprochenen Weise entstört ist.

4. Ein viertes Kathodenstrahlrohr schliesslich liegt mit seinen vertikalen bzw. horizontalen Platten parallel zu den Eingängen E_1 und E_2 der Phasenbrücke und wird durch den Suchimpuls hell-geleuchtet. Bei stillstehendem Suchimpuls zeigt sie die (weiter oben besprochene) Ellipse desjenigen reflektierten Impulses, dessen Eintreffen zeitlich mit dem Suchimpuls gerade zusammen-fällt.

Endlich ist parallel zum Quarz ein Störsender eingeko-ppelt, der die unter Fall 1 bis 5 oben besprochenen Störungen liefert. Das Ergebnis der verschiedenen Anzeigen mit und ohne Störungen zeigt die Tafel II, aus der sich ergibt, dass die von dem Phasenvergleich erwartete Entstörung tatsächlich eintritt. Die notwendigen Erklärungen sind den Abbildungen beigelegt.

Modellversuch: Leitstrang zur Phasenauswertung.

a) ohne, b) mit Leuchtstrahlung.

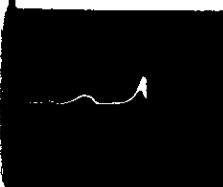
ungestört

gestört



a)

Hochfrequenz



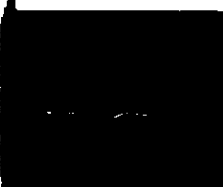
a)

Gleichgerichtet



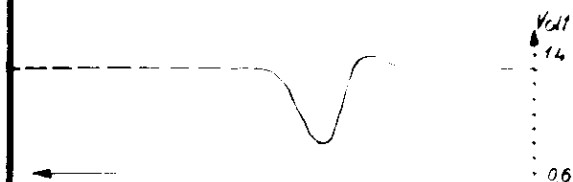
a)

Phasenbild

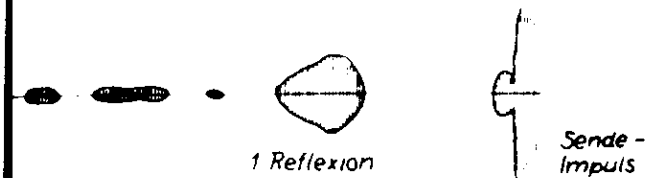


a)

Phasenauswertung



Auswertung m. Instrument



Erklärung zu Bild 1 a.

1. Leuchtstrahl-Ablesung: empfangene Hochfrequenz
 2. Leuchtstrahl-Ablesung: (von rechts nach links). Im
 3. Leuchtstrahl-Ablesung: mehr zu erkennen.

4. Leuchtstrahl-Ablesung: empfangene HF.
 5. Leuchtstrahl-Ablesung: (von rechts nach links). Im
 6. Leuchtstrahl-Ablesung: mehr zu erkennen.

7. Leuchtstrahl-Ablesung: empfangene HF.
 8. Leuchtstrahl-Ablesung: (von rechts nach links). Im
 9. Leuchtstrahl-Ablesung: mehr zu erkennen.

10. Leuchtstrahl-Ablesung: empfangene HF.
 11. Leuchtstrahl-Ablesung: (von rechts nach links). Im
 12. Leuchtstrahl-Ablesung: mehr zu erkennen.

13. Leuchtstrahl-Ablesung: empfangene HF.
 14. Leuchtstrahl-Ablesung: (von rechts nach links). Im
 15. Leuchtstrahl-Ablesung: mehr zu erkennen.

Übertragungsauf das Funkmessgerät.

Während durch den Modellversuch gezeigt wurde, dass grundsätzlich eine Entzerrung durch die Phasenauswertung möglich ist, stellen sich ihrer Verwirklichung in der soeben geschilderten Form am Funkmessgerät fast unüberwindliche technische Schwierigkeiten entgegen. Die grösste ist die folgende: Der Phasenvergleich des reflektierten Impulses mit einem Dauerstrichsender ist nur möglich, wenn ausgesandter Impuls und Dauerstrichsender genau die gleiche Frequenz haben. Dies liesse sich am saubersten durch einen durchschwingenden Steuersender mit impulsgetasteter Sendeverstärkerstufe erreichen. Eine solche Anordnung besteht bei FM-Geräten nicht, ihre Entwicklung würde grosse Schwierigkeiten bieten und kussenst langwierig sein. Eine zweite Möglichkeit wäre Synchronisierung des Impulssenders mit einem Reguliersender gleicher Frequenz. Es dürften dabei zwischen den beiden Sendern wegen der geringen Bandbreite der Anzeigeanordnung, auf der ja schliesslich ihre Wirksamkeit beruht, keine Schwebungen mit höherer Frequenz als 500 Hz auftreten. Das bedingt eine Frequenzkonstanz bei der Sender höher als 10^{-6} , eine Forderung, die sich mit den derzeitigen technischen Mitteln nicht erfüllen lässt. Weitere grosse Schwierigkeiten sind von der Umsetzung der Funkmessfrequenz auf die Ultraschallfrequenz auf zwei getrennten Kanälen (Dauerstrich und refl. Impuls) zu erwarten, bei denen alle ZF-Verstärker den gleichen Phasengang haben müssten. Unter Beibehaltung des Grundsätzlichen muss also das Verfahren in eine Form gebracht werden, die diesen Schwierigkeiten aus dem Wege geht. Die Möglichkeit ist geboten durch Einführung des Vergleiches der Phase zweier aufeinanderfolgender reflektierter Impulse. Dieses Verfahren soll im Folgenden besprochen und über einen grundlegenden Versuch dazu berichtet werden.

Phasenauswertung durch Vergleich zweier aufeinanderfolgenden reflektierter Impulse.

Wenn man nicht, wie in vorigen Abschnitt beschrieben, den reflektierten Impuls mit dem Steuer- bzw. Regulierring vergleicht, sondern mit dem vorhergehenden reflektierten Impuls, der bis zum Eintreffen des zweiten Impulses durch eine Ultraschall-Laufzeitstrecke gespeichert wurde, werden einige der oben erwähnten Schwierigkeiten umgangen. Vor allem entfällt nunmehr die Forderung der genauen Frequenzübereinstimmung zwischen Impulssender und Regulierring.

Die Wirkungsweise durch einen grundsätzlichen Vorversuch wurde erwiesen, dass die Phasenbrücke bei Beaufschlagung beider Eingänge mit Impulsen befriedigend arbeitet und zusätzliche Rauschspannungen ohne Einfluss auf die Anzeige bleiben.

Vergleichen wir jetzt mittels der Brücke jeweils aufeinanderfolgende, von ein und demselben Ziel herrührende Impulse ihrer Phase nach, so werden wir bei ruhendem Ziel zwischen beiden stets die Phasenverschiebung Null messen. Hat das Ziel eine gleichförmige, von Null verschiedene Radialgeschwindigkeit, so entsteht zwischen den beiden Impulsen eine Phasenverschiebung, deren Betrag gleich

$$\frac{V \cdot T \cdot f}{c} \cdot 360 \text{ (Grad) ist.}$$

Darin ist V die Geschwindigkeit des Zieles in Richtung auf das Punktmessgerät (m/sec); $T = 1/f_{\text{Imp}}$ der zeitliche Abstand zweier Impulse; f die Frequenz des Impulssenders und $c = 3 \cdot 10^8$ m/sec. Bei einem mit der sehr hohen Radialgeschwindigkeit von 200 m/sec = 720 km/h bewegten Ziel beträgt die Phasenverschiebung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Impulsen bei einer Impulsfrequenz von 3750 Hz 36° . Es ergeben sich durch aus brauchbare, mit der Phasenbrücke gut auswertbare Werte. Führen wir für die Impulse eine Amplitudenbegrenzung ein, so ist der Betrag der Anzeige der Phasenbrücke nur noch von der Phasenlage der beiden Impulse zueinander abhängig und gibt damit ein Mass für die Geschwindigkeit des Zieles.

Es ist nun notwendig, die Einstellgeschwindigkeit der Phasenbrücke festzulegen, die ja gleichzeitig für ihre Entstörwirkung massgebend ist. Soll nur ein einmal aufgefasstes Ziel verfolgt

werden, so können sehr grosse Einstellzeiten, etwa $\frac{1}{2}$ sec in Kauf genommen werden. Soll hingegen eine Übersicht geschaffen werden und zu diesem Zwecke der Suchimpuls periodisch über die gesamte Reichweite des Funkmessgerätes geführt werden, muss die Einstellzeit wesentlich kürzer genommen werden. Die höchstzulässige Suchgeschwindigkeit ist dabei durch folgende Überlegung gegeben: Um eine hinreichende Empfindlichkeit der Anzeige zu erhalten, muss der Suchimpuls mindestens die halbe zeitliche Breite wie der Messimpuls haben. Da eine Anzeige während der ganzen Zeit erfolgt, während der sich Such- und Zielimpuls, auch nur teilweise, überdecken, wird dadurch das Auflösungsvermögen des Funkmessgerätes auf die Hälfte herabgesetzt; es beträgt in dem speziell hier betrachteten Falle statt 300 m nur noch 600 m. Um eine völlige Einstellung der Anzeige zu gewährleisten, müssen in die Zeit der Überdeckung von Such- und Zielimpuls wenigstens 10 ausgesandte Impulse fallen. Das ergibt für das Überstreichen von 600 m durch den Suchimpuls eine Mindestzeit von $\frac{1}{375}$ sec bei der Folgefrequenz von 3750 Hz. Bei einer Reichweite des Gerätes von ⁴⁰ km dauert einmaliges Absuchen der Reichweite mithin $\frac{1}{375} \cdot 40 = 0,166$ sec.

Bei einer Bandbreite von 1000 Hz der Anzeigevorrichtung würde sich dabei eine Entzerrung um etwa den Faktor 30 gegenüber der üblichen Anzeige ergeben. (D.h., der Störsender müsste 30mal so stark einfallen wie bei der üblichen Anzeige, um den gleichen Störeffekt zu erzielen. (vgl. S. 4.)

Die Entzerrung wird jedoch wesentlich wirksamer durch eine notwendige Massnahme, die im folgenden besprochen werden soll. Würden wir nämlich die vorstehend beschriebene Anlage mit einem Dauerstrichsender von der Frequenz des Impulssenders beaufschalten, so würden wir bei jeder beliebigen Stellung des Suchimpulses eine Anzeige bekommen, da die Anordnung dann stets zwei um den Impulsabstand voneinander entfernte Teile und desselben Wellenzuges auswertet. Es muss also eine Kennung zwischen Nutz- und Störsender eingeführt werden: Die dauernde Anzeige eines störenden Dauerstrichsenders wird zunächst dadurch beseitigt, dass der Ausgang der Phasenbrücke im Rhythmus der Impulsfolgefrequenz umgepolt wird. Der so entstehende rechteckige Wechselstrom wird von der Anzeige infolge ihrer Trägheit nicht wieder-

gegeben. Um wieder eine Anzeige des Nutzsignals zu erhalten, muss jetzt die Phase des Impulssenders so umgetastet werden, dass die beiden miteinander verglichenen Impulse abwechselnd gleiche und entgegengesetzte Phase bekommen. Dies wird dadurch erreicht, dass der den Impulssender steuernde Reguliersender nach je zwei Impulsen um 180 Grad umgetastet wird, wodurch der Anschwingmoment des Impulssenders nach je zwei Impulsen um eine halbe Wellenlänge verschoben wird (Abb.5). Man erhält so nach jedem Impuls eine Umkehr der Anzeige des Phasennessers, die durch die synchrone Umpolung wieder aufgehoben wird. Gleichzeitig ergibt sich dadurch eine weitere wirksame Entstörung.

In der von der Sichtanzeige auszuwertenden Spannung sind zwei Störwechselspannungen enthalten: die Impulsfolgefrequenz und die Grillenfrequenz von etwa 50 Hz. Die erste wird durch die Trägheit der Anzeige eliminiert, die zweite tritt im Wesentlichen als Amplitudenmodulation der beiden Impulse am Brückeneingang auf. Ihr Einfluss wird durch die Amplitudenbegrenzung zum grössten Teil beseitigt, der Rest dürfte für die Anzeige nicht weiter störend sein.

Die Sichtanzeige würde dann etwa folgendermassen zu verwirklichen sein: Es werde ein Braunsches Rohr von ähnlicher Bauart wie bei den jetzt üblichen Würzburggeräten benutzt, das eine Kreisablenkung erhält, die synchron mit der durch einen Motor erfolgenden Verschiebung des Suchimpulses über den Zeitraum zwischen je zwei ausgesandten Impulsen erfolgt. Die Auswertespannung der Phasenbrücke wird auf den Zylinderkondensator des Rohres gegeben und zeichnet dann bei der der Entfernung des Zieles entsprechenden Stelle des Zeitkreises einen Zacken von ca. 600 m Basisbreite bezogen auf die Entfernungseichung, des en Höhe der Radialgeschwindigkeit des Zieles ents rricht, während bei entsprechender Einstellung des Brückennullpunktes sein Vorzeichen den Sinn der Radialgeschwindigkeit (An- oder Abflug) angibt. Durch einen von Hand zu bedienenden Schalter könnte die Amplitudenbegrenzung ausgeschaltet werden, um so zu prüfen, ob die einfallende Signalamplitude genügend gross ist, um eine richtigzeitige Geschwindigkeitsmessung zu ermöglichen.

Höhen- und Seitenpeilung wäre ebenfalls zu ermöglichen, in

dem man vor der Begrenzerstufe abzweigt und auf eine weitere Phasenbrücke geht, deren Anzeige dann nicht amplitudenunabhängig ist, was man in der bekannten Weise unter Benutzung der Umschalteinrichtung an der Grille auswertet.

Es wären nun noch einige Betrachtungen darüber anzustellen, welche Genauigkeiten von den einzelnen Elementen der Anordnung verlangt werden müssen.

1. Verzögerungsstrecke: Damit der Phasenunterschied zweier aufeinanderfolgender Impulse stets erhalten bleibt, muss die Laufzeit des Impulses über diese Strecke immer sehr genau mit dem zeitlichen Abstand der beiden Impulse übereinstimmen. Eine Geschwindigkeitsmessung, die auf 10 km/h genau ist, verlangt, dass beim Durchlaufen der Strecke die Phase um weniger als $0,5^\circ$ schwankt. Das erfordert bei einer Streckenlänge von 40 cm (entspricht Impulsfolgefrequenz von 3750 Hz und Füllung der Strecke mit Wasser) eine Konstanz der Länge auf $7,34 \cdot 10^{-4}$ mm d.h. auf $1,8 \cdot 10^{-3}$ Promille bei einer Ultraschallfrequenz v. 7 MHz. Eine entsprechende Genauigkeit würde hinsichtlich der Temperaturkonstanz der Strecke verlangt werden. Abgesehen davon, dass auch die Impulsfolgefrequenz selbst in gleichen Masse konstant gehalten werden müsste, ist dies eine Forderung, die sich schon aus mechanischen Gründen nicht einhalten lässt. Diese Schwierigkeit wird auf folgende Weise umgangen: Die Erzeugung der Impulsfolgefrequenz wird durch eine Anordnung vorgenommen, die die Laufzeitstrecke selbst als frequenzbestimmendes Glied enthält. Auf diese Weise wird dafür gesorgt, dass Laufzeit und Impulsabstand stets genau übereinstimmen.

Die zur Durchführung dieser Massnahme nötigen Zusätze sind nicht allzu umfangreich. Sollten sich bei einer Erstaussführung hier Schwierigkeiten ergeben, besteht die Möglichkeit, zunächst auf die Geschwindigkeitsmessung zu verzichten und nur die Zielanzeige durchzuführen. Die in diesem Falle an die Genauigkeit zu stellenden Forderungen können in jedem Falle erfüllt werden.

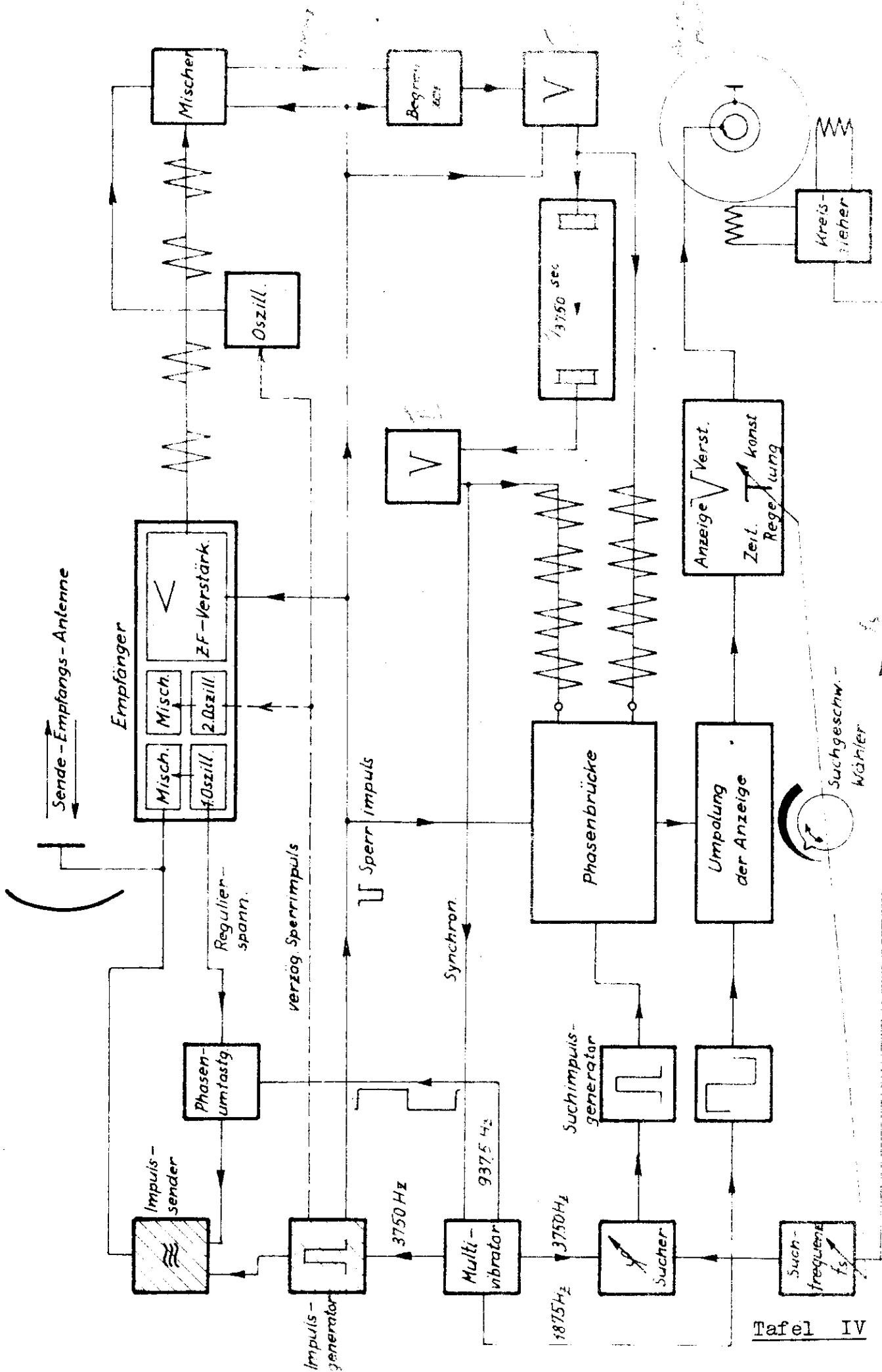
2. Reguliersender und Oszillatoren.

Die Notwendigkeit, zur Herstellung einer geeigneten Frequenz für die Phasenmessung eine mehrfache Mischung vorzunehmen, zwingt zur Erwägung der Tatsache, dass die Phase der erzeugten

Zwischenfrequenz in gleichen Masse wie von der Phase der Urfrequenz von der der Oszillatoren abhängt. Dieser Überlegung wird durch folgende Massnahmen Rechnung getragen: Der Reguliersender dient gleichzeitig als erster Überlagerer; ausserdem werden erforderlichenfalls die anderen Oszillatoren jeweils zwischen zwei Impulsen ausgetastet und zum erneuten Anschwingen gebracht. Dadurch wird vermieden, dass bei einem Frequenzsprung eines der Oszillatoren sich die Phasenfehler von Impuls zu Impuls addieren und so die Geschwindigkeitsanzeige alle möglichen Werte durchläuft. Das phasenrichtige Anschwingen der Überlagerer wird bei den hier vorliegenden niedrigeren Frequenzen schon durch die Flankensteilheit des Fastimpulses gesichert. Auch in diesem Falle ist bei Verzicht auf die Geschwindigkeitsmessung der erforderliche Aufwand an Genauigkeit erheblich geringer. Die im übrigen im Hinblick auf die Geschwindigkeitsmessung an die Konstanz der Bauelemente zu stellenden Anforderungen entsprechen denen, die auch beim Pachschen Verfahren gestellt und bereits erfüllt wurden.

Einführung des Verfahrens an Funkmessgerät.

Eine schematische Darstellung eines Funkmessgerätes in dem das soeben beschriebene Verfahren angewandt wird, zeigt die Tafel IV. Der Impulssender wird vom Impulsgenerator getastet, der seine Steuerfrequenz von einem Multivibrator erhält, der vom Laufzeitglied her, das die Verzögerung der Messimpulse zur Aufgabe hat, Synchronisierimpulse erhält. Die Anschwingphase des Impulssenders wird bestimmt durch eine Regulierspannung, die über eine Schaltung, die das oben erwähnte Untasten der Phase bewirkt, vom ersten Oszillator des Empfängers geliefert wird. Die aus dem ZF-Verstärker des im übrigen bis auf geringe Eingriffe unveränderten Empfängers kommende Hochfrequenz wird durch eine weitere Überlagerung auf 7 MHz gebracht. Dem Oszillatoren wird, mit Ausnahme des ersten, unmittelbar nach dem Aussenden des Messimpulses der Austastimpuls zugeführt. (In der Abbildung als "verzögerter Sperrimpuls" bezeichnet im Gegensatz zu dem Sperrimpuls, der den Empfangsverstärkern üblicherweise zur Beschneidung des direkten Sendeimpulses zugeführt wird). Die 7 - MHz-Frequenz geht über einen Begrenzer und Verstärker

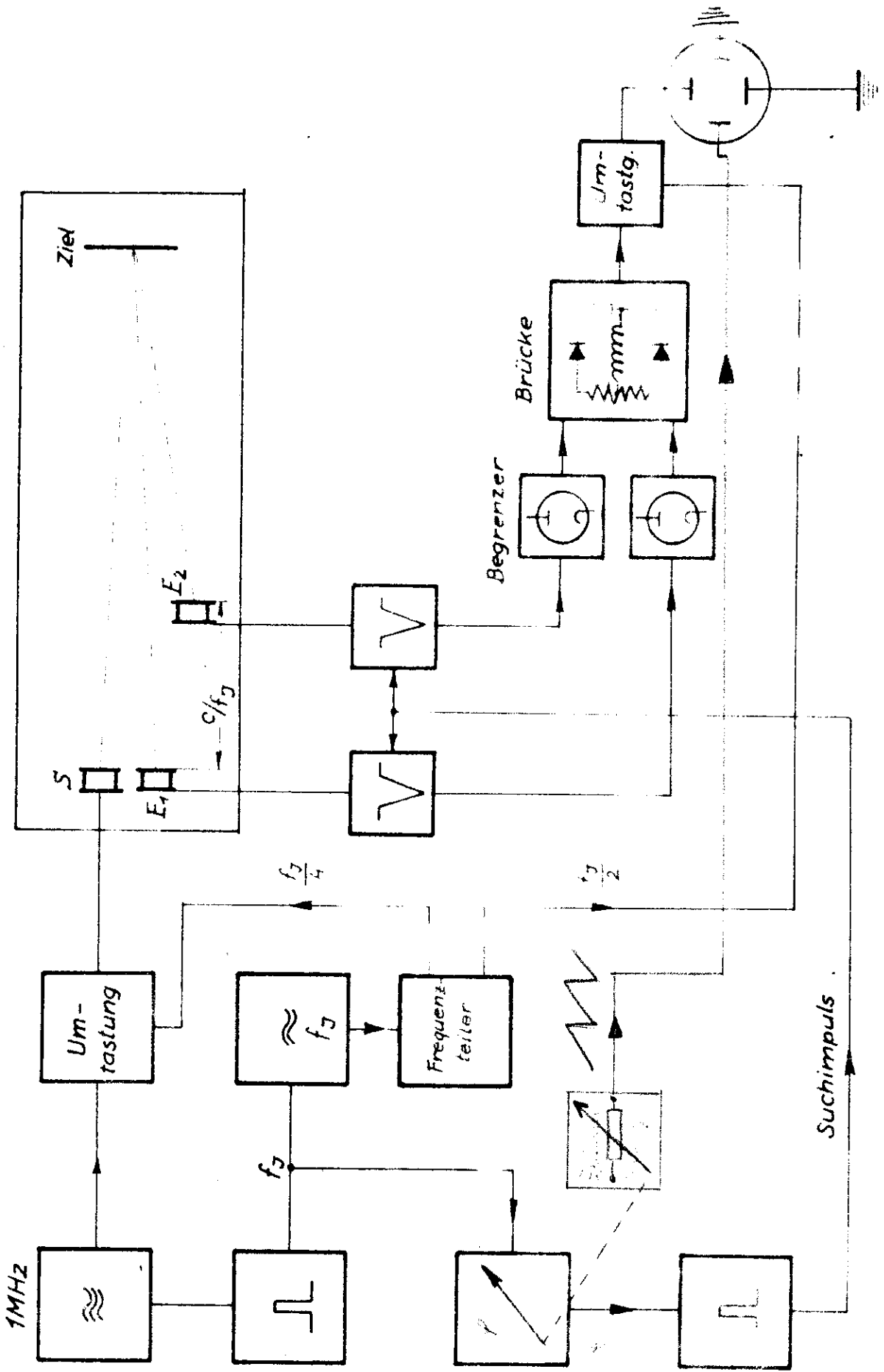


in die Laufzeitstrecke und hinter dieser zu einem Phasenbrückeneingang. Dem anderen Eingang der Brücke wird die gleiche Spannung unter Umgehung der Laufzeitstrecke direkt zugeführt. Auf diese Weise wird erreicht, dass jeweils ein Impuls mit seinem Vorgänger phasennüchsig verglichen wird, da der Impuls gerade die Zeit zum Durchlaufen der Ultraschallstrecke braucht, die bis zum Eintreffen des nächsten Impulses verfliesst. Um Verfälschung der Anzeige zu vermeiden, muss sorgfältig darauf geachtet werden, dass die Phasenbrücke nur zu den Zeiten, wo der Suchimpuls eintrifft, geöffnet wird. Die Brücke bekommt diesen Suchimpuls über einen periodisch den Bereich von 0 bis 360° bestreichenden Phasenschleifer und Impulsgenerator aus dem die Tastfrequenz erzeugenden Multivibrator. Durch Frequenzteilung wird diesem Multivibrator die halbe Impulsfolgefrequenz entnommen, unter deren Einfluss die Anzeigespannung der Gleichrichterbrücke im Rhythmus der Impulsfolge umgepolt wird. Diese Umpolung bewirkt die Auswertung der durch die Phasenumtastung bewirkten Kennung des Nutzzeichens, Nach Verstärkung wird die so entstandene Auswertespannung auf den Zylinderkondensator des üblichen Anzeigerohres gegeben. Die Ziehung des Zeitreises erfolgt mit der gleichen Frequenz, mit der der Suchimpuls die Zeit zwischen je zwei Impulsen überstreicht. Diese Frequenz kann eventuell regelbar gemacht werden, um die Entstörung wirksamer zu gestalten. Gleichzeitig mit der Veränderung der Suchfrequenz muss dann auch die Zeitkonstante der Phasenbrücke geregelt werden.

Trotz der Zahl der neu einzuführenden Bausteine ist der Umfang der Änderung gegenüber dem bestehenden Zustand nicht allzugross, da sie im einzelnen nicht sehr umfangreich und kompliziert sind. Einige Aufmerksamkeit ist der Temperaturhaltung der Laufzeitstrecke zu schenken, für die ein Thermostat vorzusehen wäre. Ebenso sind einige umfangreichere Eingriffe an dem Anzeigeteil nötig. Das technisch grösste Problem ist die saubere Phasenumtastung des Reguliersenders, doch dürfte auch diese Aufgabe durchaus lösbar sein.

Modellversuch für die Phasenauswertung durch Vergleich zweier aufeinanderfolgender Impulse.

In der Tafel V ist das Blockschema eines Modellversuches gezeigt, der in ähnlicher Weise, wie es eingangs für den Ver-



Tafel V

Versuchsanordnung für Zweilms. Sverfänger
 (M. Sell)

gleich eines Impulses mit einem Dauerstrichsender gezeigt ist, die Wirkbarkeit des Vorverfahrens bei Vergleich zweier aufeinanderfolgender Impulse zu prüfen gestattet: Der Tongenerator mit Frequenzsteller steuert die Impulsfolgefrequenz und auch die Frequenzen, die durch Teilung im Verhältnis 1:2 und 1:4 daraus entstehen. Mit der ganzen Folgefrequenz wird ein Impuls-generator betrieben, der einen Sender von 1 MHz Trägerfrequenz tastet. Die von diesem Sender abgegriffenen HF-Impulse werden, geteilt von der 1:4 geteilten Folgefrequenz, nach jedem 8. Impuls um 230° umgetastet, und speisen dann einen Ultrastahlquarz. In dem Flüssigkeitstrag, in dem sich dieser Sondequarz befindet, ist das Ziel und zwei Infrarotquarze angeordnet, die voneinander eine Entfernung haben, die den Laufzeitverlauf der zeitlichen Abstand zweier aufeinanderfolgender Impulse entspricht. Die von diesen Quarzen gelieferten Strahlungen werden über Verstärker und Begrenzer auf die Messplatte gegeben und dort ausgewertet. Die Ausgangsleistung der Brücke wird unter der Einwirkung des der Frequenzsteller entnommenen 1/2 halben Folgefrequenz Rhythmus der Impulsfolge umgetastet und dann auf ein Messschloß sehr gegeben. Die beiden Messschloßverstärker sind normalerweise geschaltet und werden nur durch den Nachimpuls kurzzeitig geöffnet. Die Frequenz des Nachimpulses ist die Impulsfolgefrequenz; er wird in einem Impuls-generator erzeugt, der die Impulsfolgefrequenz in der geschilderten Weise über einen retierenden Phasenschieber erhält, wodurch das Durchschalten des Lichtes erfolgt. Die Zeitablenkung des Braunstrahlrohres wird mit der "Nachfrequenz", d.h. der Frequenz, mit der der Nachimpuls die Zeit zwischen zwei Impulsen überstreicht, vorgenommen. In dem Träg kann noch ein weiterer Sondequarz angeordnet werden, der dann die Rolle des Strahlensenders übernimmt. Der Versuch befindet sich in Vorbereitung und wird in diese Angelegenheit werden.

Zusammenfassung.

Es wird ein Verfahren vorgeschlagen, durch das die Durchdringungsfähigkeit von Hochfrequenzstrahlung, insbesondere von Hochfrequenzstrahlung, untersucht werden kann. Es beruht auf dem definierten hochfrequenten Phasenverlauf, durch welche die von einem phasenregulierten Impulsgeber ausgesendeten

Impulse gegenüber den Störzeichen ausgezeichnet sind. Die Auswertung erfolgt nach entsprechender Frequenzherabsetzung durch eine Gleichrichterbrücke. Zwei Abarten des Verfahrens, von denen die erste den Vergleich des reflektierten Impulses mit einem Dauerstrichsender vorsieht, während das zweite den Vergleich zweier aufeinanderfolgender Impulse miteinander hinsichtlich ihrer Phasenlage enthält, werden besprochen. Zum ersten Verfahren wird über Modellversuche berichtet, die seine grundsätzliche Wirksamkeit erwiesen haben. Das zweite Verfahren bietet den Vorteil, dass die Grösse des Zielzackens auf der Sichtanzeige ein Mass für die Geschwindigkeit des Zieles in Richtung auf das Messgerät darstellt, vorausgesetzt, dass die Amplitude der reflektierten Zeichen eine gewisse Grösse nicht unterschreitet. Ein grundsätzlicher Vorversuch, der auch dieses Verfahren als aussichtereich erscheinen lässt, wird geschildert. Ein Modellversuch auch mit diesem Verfahren ist in Vorbereitung und wird beschrieben. Die für die erfolgreiche Anwendung der beiden Verfahren am Funkmessgerät nötigen Genauigkeiten und Konstanz werden diskutiert. Dabei zeigt sich, dass für die praktische Anwendung nur das zweite Verfahren in Betracht kommt. Das Schema eines mit dem Verfahren arbeitenden Funkmessgerätes wird besprochen; die zur Einführung desselben an gebräuchlichen Funkmessgeräten vorzunehmenden Änderungen und Zusätze tragbar zu sein. Die Anforderungen an Genauigkeit und Konstanz der Geräte ermässigen sich beträchtlich, wenn man auf die Geschwindigkeitsmessung verzichtet. Beide Verfahren versprechen eine weitgehende Befreiung von Störungen durch unmodulierte, Ton-, rausch- oder impulsmodulierte Sender. Das zweite Verfahren ist durch das Vorhandensein einer phasenmässigen Kennung der Nutzzeichen dabei noch überlegen. Es bietet auch infolge der Möglichkeit einer Geschwindigkeitsmessung eine Handhabe zum Unterscheiden von Flugzielen und Düppeln.

Henry

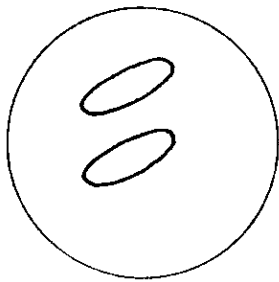


Abb. 1
Fall 1 und 3

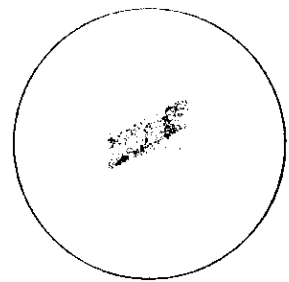


Abb. 2
Fall 4

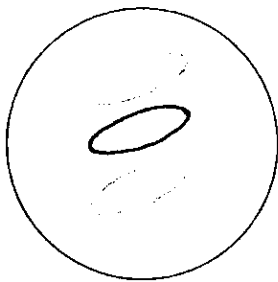


Abb. 3
Fall 5

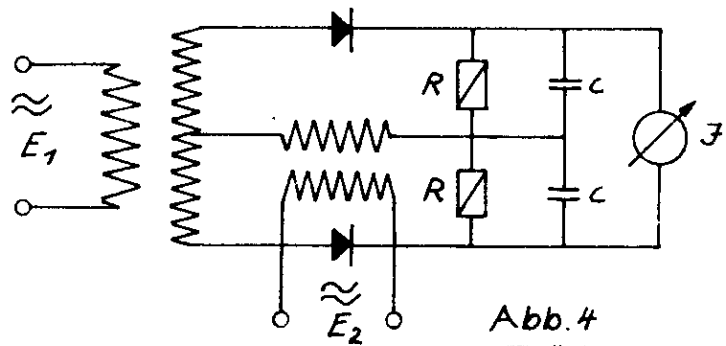


Abb. 4

Phasenumtastung.

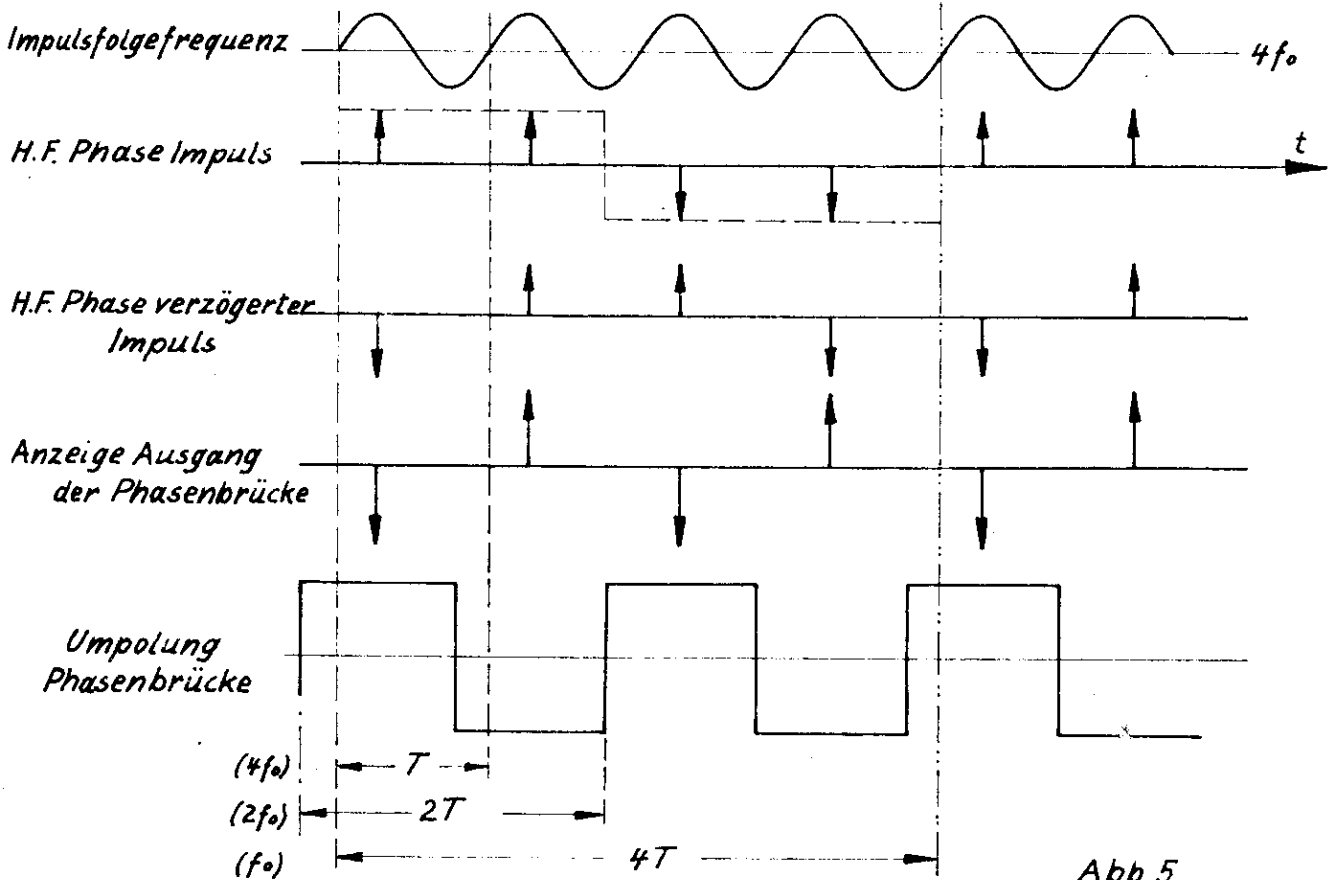


Abb. 5