

(19)



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 666 557 A5

(51) Int. Cl. 4: G 01 S 7/52
G 01 S 15/88
G 08 C 19/02
G 01 F 23/28

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT A5

(21) Gesuchsnummer: 5259/84

(22) Anmeldungsdatum: 02.11.1984

(30) Priorität(en): 04.11.1983 DE 3339968
17.10.1984 DE 3438045

(24) Patent erteilt: 29.07.1988

(45) Patentschrift
veröffentlicht: 29.07.1988

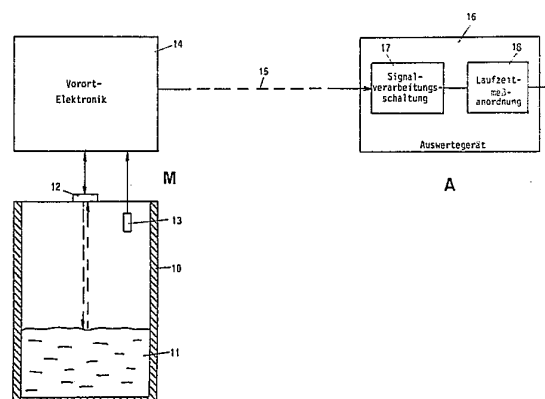
(73) Inhaber:
Endress u. Hauser GmbH & Co., Maulburg (DE)

(72) Erfinder:
Michalski, Bernhard, Schopfheim (DE)
Lau, Jürgen, Weil am Rhein (DE)
Berger, Wolfram, Dr. rer. nat., Steinen (DE)

(74) Vertreter:
Scheidegger, Zwicky & Co., Zürich

(54) Verfahren und Anordnung zur Signalübertragung bei Ultraschall-Echolotgeräten.

(57) Ein an einem Messort (M) angeordnetes Ultraschall-Echolotgerät (12, 14) sendet in aufeinanderfolgenden Sendeperioden Ultraschallimpulse aus. Die nach Reflexion an einem Ziel (11) empfangenen Echoimpulse werden in elektrische Hüllkurvensignale umgewandelt, die die Hüllkurven der Echoimpulse darstellen. Die Hüllkurvensignale werden über eine Verbindungsleitung (15) zu einem Auswertegerät (16) übertragen, das an einer vom Messort (M) entfernten Auswertestelle (A) angeordnet ist. Im Auswertegerät (A) werden die Hüllkurvensignale zur Ermittlung des Zielabstands aus der Laufzeit der Ultraschallimpulse ausgewertet. Die Übertragung von Hüllkurvensignalen ergibt den Vorteil, dass die in der Kurvenform der Echoimpulse enthaltenen Informationen an der Auswertestelle verfügbar sind, ohne dass es erforderlich ist, Signale mit der hohen Frequenz der Ultraschallimpulse über die Verbindungsleitung zu übertragen. Vorzugsweise werden die Hüllkurvensignale in einem ersten Abschnitt jeder Sendeperiode übertragen, und in einem zweiten Abschnitt jeder Sendeperiode werden weitere niederfrequente elektrische Signale übertragen, die am Messort erzeugt werden und für Parameter kennzeichnend sind, die für die Auswertung der Hüllkurvensignale erforderlich sind. Im zweiten Abschnitt jeder Sendeperiode können auch Steuersignale von der Auswertestelle (A) zum Messort (M) übertragen werden.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Signalübertragung zwischen einem an einem Messort angeordneten Ultraschall-Echolotgerät und einer vom Messort entfernten Auswertestelle, wobei am Messort in aufeinanderfolgenden Sendeperioden Ultraschallimpulse ausgesendet und die nach Reflexion an einem Ziel empfangenen Echoimpulse in elektrische Signale umgewandelt werden, die über eine Verbindungsleitung zur Auswertestelle übertragen und dort zur Ermittlung des Zielabstands aus der Laufzeit der Ultraschallimpulse ausgewertet werden, dadurch gekennzeichnet, dass am Messort (M) elektrische Hüllkurvensignale (U_H ; I_H) erzeugt werden, die die Hüllkurven der Echoimpulse darstellen, und dass die Hüllkurvensignale (U_H ; I_H) über die Verbindungsleitung (15) zu der Auswertestelle (A) übertragen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Erzeugung und Übertragung der Hüllkurvensignale (U_H ; I_H) in einem ersten Abschnitt (T_{P1}) jeder Sendeperiode (T_P) erfolgt, dessen Dauer mindestens gleich der grössten vorkommenden Laufzeit der Ultraschallimpulse ist, und dass in einem zweiten Abschnitt (T_{P2}) jeder Sendeperiode (T_P) am Messort (M) erzeugte niederfrequente elektrische Signale, die für zur Auswertung der Hüllkurvensignale (U_H ; I_H) erforderliche Parameter kennzeichnend sind, über die gleiche Verbindungsleitung (15) zur Auswertestelle (A) übertragen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass am Beginn jedes Abschnitts (T_{P1} , T_{P2}) der Sendeperiode (T_P) ein diesen Beginn kennzeichnendes elektrisches Signal (U_A , U_C ; I_A , I_C) über die gleiche Verbindungsleitung zur Auswertestelle (A) übertragen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass im zweiten Abschnitt (T_{P2}) jeder Sendeperiode (T_P) ein für die Temperatur des Ausbreitungsmediums der Ultraschallimpulse kennzeichnendes elektrisches Signal (U_T ; I_T) zur Auswertestelle (A) übertragen wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass im zweiten Abschnitt (T_{P2}) jeder Sendeperiode (T_P) ein für die Amplitude der empfangenen Echoimpulse kennzeichnendes elektrisches Signal zur Auswertestelle (A) übertragen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das für die Amplitude der empfangenen Echoimpulse kennzeichnende elektrische Signal von der Verstärkungsregelspannung eines in der Empfangsschaltung enthaltenen, die Hüllkurvensignale auf einen konstanten Pegel regelnden Verstärkerregelkreises (24, 25, 28) abgeleitet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eines der während des zweiten Abschnitts (T_{P2}) jeder Sendeperiode (T_P) übertragenen elektrischen Signale durch eine Amplitudeninformation dargestellt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitudeninformation durch eine Gleichspannung (U_T) dargestellt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitudeninformation durch einen Gleichstrom (I_T) dargestellt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eines der während des zweiten Abschnitts (T_{P2}) jeder Sendeperiode (T_P) übertragenen Signale durch eine Zeitinformation (T_V) dargestellt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitinformation (T_V) durch den Zeitpunkt der Umschaltung von einem Amplitudenwert zu einem anderen Amplitudenwert dargestellt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass im zweiten Abschnitt (T_{P2}) jeder Sendeperiode (T_P) wenigstens ein Steuersignal (U_S), das von den im gleichen Abschnitt (T_{P2}) übertragenen niederfrequenten elektrischen Signalen unterscheidbar ist, über die gleiche Verbindungsleitung (15) von der Auswertestelle (A) zum Messort (M) übertragen wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung jedes Steuersignals (U_S) eine Spannung, die höher als jede während der Übertragung der niederfrequenten elektrischen Signale auf der Verbindungsleitung (15) auftretende Spannung ist, während eines vorbestimmten Zeitfensters (T_F) an die Verbindungsleitung (15) angelegt wird.
14. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit wenigstens einem am Messort angeordneten Ultraschallwandler, einer am Messort angeordneten Vorort-Elektronik, die einen elektrischen Hochfrequenz-Sendeimpulse erzeugenden Sendepuls-generator, dessen Ausgang mit dem bzw. einem der Ultraschallwandler verbunden ist, einem Verstärker, dessen Eingang mit dem bzw. einem der Ultraschallwandler verbunden ist, und eine den Zeitablauf steuernde Steuereinheit enthält, und mit einem an der Auswertestelle angeordneten Auswertegerät, das durch die Verbindungsleitung mit der Vorort-Elektronik verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorort-Elektronik (14) eine dem Verstärker (24) nachgeschaltete Hüllkurvenerzeugungsschaltung (25) sowie eine Einrichtung (26) zur Verbindung des Ausgangs der Hüllkurvenerzeugungsschaltung (25) mit der Verbindungsleitung (15) enthält, und dass das Auswertegerät (16) eine für die Verarbeitung von Hüllkurvensignalen geeignete Signalverarbeitungsschaltung (17) enthält.
15. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die den Ausgang der Hüllkurvenerzeugungsschaltung (25) mit der Verbindungsleitung (15) verbindende Einrichtung (26) eine Schaltlogik ist, die von der Steuereinheit (20) so gesteuert wird, dass sie die Verbindungsleitung (15) in einem ersten Abschnitt (T_{P1}) jeder Sendeperiode (T_P) mit dem Ausgang der Hüllkurvenerzeugungsschaltung (25) und in einem zweiten Abschnitt (T_{P2}) jeder Sendeperiode (T_P) mit wenigstens einer weiteren Signalquelle verbindet.
16. Anordnung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass eine der weiteren Signalquellen ein die Temperatur des Ausbreitungsmediums der Ultraschallwellen messender Temperaturfühler (13) ist.
17. Anordnung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstärkung des in der Vorort-Elektronik (14) enthaltenen Verstärkers (24) durch eine Verstärkungssteuerspannung veränderlich ist, und dass eine der weiteren Signalquellen ein von der Verstärkungssteuerspannung abhängiges Signal zu der Schaltlogik (26) liefert.
18. Anordnung nach Anspruch 17, gekennzeichnet durch einen Spannungs/Zeit-Umsetzer (29), der ein von der Verstärkungssteuerspannung abhängiges Zeitsignal zu einem Steuereingang der Schaltlogik (26) liefert.
19. Anordnung nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorort-Elektronik (14) einen Verstärkungsregler (28) enthält, der zu dem Verstärker (24) eine Verstärkungssteuerspannung liefert, die den Pegel der Hüllkurvensignale (U_H ; I_H) auf einen vorgegebenen Wert regelt.
20. Anordnung nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (20) synchron mit der Erzeugung eines Hochfrequenz-Sendeimpulses am Beginn des ersten Abschnitts (T_{P1}) jeder Sendeperiode (T_P) die Übertragung eines ersten Synchronimpulses (U_A ; I_A) über die Verbindungsleitung (15) und am Beginn des zweiten Abschnitts (T_{P2}) jeder Sendeperiode (T_P) die Übertragung

eines zweiten Synchronimpulses (U_c ; I_c) über die Verbindungsleitung (15) durch die Schaltlogik (26) auslöst.

21. Anordnung nach einem der Ansprüche 15 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass im Auswertegerät (16) eine Anordnung (73) zum Anlegen wenigstens eines Steuersignals (U_s) während eines vorgegebenen Zeitfensters (T_F) im zweiten Abschnitt (T_{F2}) jeder Sendeperiode (T_F) an die Verbindungsleitung (15) vorgesehen ist, und dass in der Vorort-Elektronik (14) eine auf das Vorhandensein des Steuersignals (U_s) während des vorgegebenen Zeitfensters (T_F) in jeder Sendeperiode (T_F) ansprechende Detektorschaltung (50) vorgesehen ist.

22. Anordnung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung zum Anlegen wenigstens eines Steuersignals (U_s) einen Schalter (73) enthält, durch den an die Verbindungsleitung (15) eine Spannung anlegbar ist, die höher als jede während der Übertragung der niederfrequenten elektrischen Signale auf der Verbindungsleitung (15) auftretende Spannung ist.

23. Anordnung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungsleitung (15) als Stromschleife an den Ausgang eines in der Vorort-Elektronik (14) angeordneten Stromtreibers (40) angeschlossen ist.

24. Anordnung nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass in der Vorort-Elektronik (14) eine Verstärkungssteuerschaltung (60) vorgesehen ist, die eine vom Ausgangssignal der Detektorschaltung (50) abhängige Verstärkungssteuerspannung zu dem Verstärker (24) liefert.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Signalübertragung zwischen einem an einem Messort angeordneten Ultraschall-Echolotgerät und einer vom Messort entfernten Auswertestelle, wobei am Messort in aufeinanderfolgenden Sendeperioden Ultraschallimpulse ausgesendet und die nach Reflexion an einem Ziel empfangenen Echoimpulse in elektrische Signale umgewandelt werden, die über eine Verbindungsleitung zur Auswertestelle übertragen und dort zur Ermittlung des Zielabstands aus der Laufzeit der Ultraschallimpulse ausgewertet werden.

Ein häufiger Anwendungsfall des vorstehend angegebenen Verfahrens ist die Füllstandsmessung in einem Behälter mit Hilfe eines Ultraschall-Echolots. Für diesen Zweck ist im Behälter oberhalb des höchsten vorkommenden Füllstands ein Ultraschallwandler angeordnet, der Ultraschallsendepulse ausgesendet, die auf die Oberfläche des im Behälter befindlichen Füllguts treffen. Die am Füllgut reflektierten Ultraschall-Echoimpulse werden von dem gleichen oder von einem zweiten Ultraschallwandler empfangen und in elektrische Empfangssignale umgewandelt. Aus der Laufzeit der Ultraschallimpulse kann der Abstand der Füllgutoberfläche von dem Ultraschallwandler und damit der Füllstand im Behälter berechnet werden. Die Anregung des Ultraschallwandlers zur Aussendung von Ultraschallimpulsen erfolgt durch elektrische Hochfrequenzimpulse mit der Frequenz der Ultraschallwelle. Diese Anregungsimpulse können jede beliebige gewünschte Impulsform (Hüllkurve) haben, beispielsweise rechteckförmig getastet sein. Die vom Ultraschallwandler beim Empfang von Echoimpulsen abgegebenen elektrischen Empfangssignale sind Hochfrequenzimpulse der gleichen Frequenz, deren Kurvenform jedoch, bedingt durch die Übertragungsfunktion des Ultraschallwandlers und des Ausbreitungsmediums der Ultraschallwelle, von der Kurvenform der Anregungsimpulse abweicht. Ferner ist die Amplitude der Empfangssignale sehr klein gegen die Amplitude der Anregungsimpulse.

Bei vielen Anwendungen von Echolotgeräten, insbesondere bei der Füllstandsmessung, ist es erforderlich, das Messergebnis an einer vom Messort entfernten Stelle zur Verfügung zu haben. Einerseits ist der Messort oft schwer zugänglich, und es herrschen dort meist ungünstige Verhältnisse; andererseits ist es erwünscht, die Messergebnisse vieler Messstellen in einer Zentrale zusammenzufassen.

Es ist bekannt, die gesamte Elektronik in der vom Messort entfernten Auswertestelle anzuordnen, so dass sich am Messort nur der Ultraschallwandler befindet, der über eine Verbindungsleitung mit der Elektronik der Auswertestelle verbunden ist. Die hochfrequenten Anregungsimpulse werden in diesem Fall an der Auswertestelle erzeugt und zum Ultraschallwandler am Messort übertragen, und die hochfrequenten Ausgangssignale des Ultraschallwandlers werden zur Auswertestelle zurück übertragen. Bei diesem Verfahren erfolgt die Auswertung der hochfrequenten Empfangssignale an der Auswertestelle, wo sie in jeder gewünschten Weise analysiert werden können. Für die Übertragung der hochfrequenten Signale in beiden Richtungen sind jedoch abgeschirmte Spezialkabel erforderlich, deren Leitungslänge begrenzt ist, weil die vom Ultraschallwandler aufgrund der Ultraschall-Echoimpulse erzeugten elektrischen Hochfrequenzimpulse verhältnismässig schwach sind. Ferner besteht die Gefahr der Überlagerung von Störungen auf dem Übertragungsweg, so dass eine solche Anlage störanfällig ist. Schliesslich muss das Auswertegerät an den jeweils verwendeten Ultraschallwandler genau angepasst sein, so dass für jede Messstelle ein eigenes Auswertegerät erforderlich ist und jeder Wechsel eine erneute Anpassung erforderlich macht.

Bei einem anderen bekannten Verfahren befindet sich ein wesentlicher Teil der Elektronik am Messort in unmittelbarer Nähe des Ultraschallwandlers. Diese Vorort-Elektronik enthält einen Sendepulsengenerator, der die elektrischen Hochfrequenzimpulse zur Anregung des Ultraschallwandlers erzeugt. Ferner enthält die Vorort-Elektronik eine Empfangs- und Messschaltung, welche die vom Ultraschallwandler abgegebenen elektrischen Empfangssignale verstärkt und zur Ermittlung der Laufzeit zwischen Sendung und Empfang verarbeitet. Die gesamte Auswertung der Empfangssignale erfolgt somit in der Vorort-Elektronik.

Die Empfangs- und Messschaltung erzeugt ein von der Laufzeit abhängiges Ausgangssignal, das problemlos zu einer entfernten Warte übertragen werden kann, beispielsweise einen zwischen 4 und 20 mA veränderlichen Gleichstrom. Dieses Verfahren ermöglicht die Verwendung von normalen Installationskabeln beliebiger Leitungslänge, so dass sich die Warte in beliebiger Entfernung vom Messort befinden kann. Die Signalübertragung ist störsicher. Bei diesem Verfahren sind aber viele Informationen, die in der Impulsform der Empfangssignale enthalten sind, wie akustische Verhältnisse im Behälter, Reflexionseigenschaften des zu messenden Füllguts, einwandfreies Arbeiten der Elektronik und des Ultraschallwandlers usw., in der Warte nicht mehr vorhanden. Es kann also geschehen, dass ein Füllstand angezeigt wird, dass aber in der Warte nicht überprüfbar ist, wie diese Anzeige zustandegekommen ist und ob sie richtig ist.

Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines Verfahrens, das eine störsichere Signalübertragung bei Ultraschall-Echolotgeräten über normale Kabel beliebiger Länge ermöglicht und bei welchem die Empfangssignale in der vom Messort entfernten Auswertestelle hinsichtlich eines Höchstmasses an Informationen analysiert werden können, ohne dass eine besondere Anpassung des Auswertegeräts an den jeweils verwendeten Ultraschallwandler erforderlich ist.

Nach der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst,

dass am Messort elektrische Hüllkurvensignale erzeugt werden, die die Hüllkurven der Echoimpulse darstellen, und dass die Hüllkurvensignale über die Verbindungsleitung zu der Auswertestelle übertragen werden.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass alle für die Auswertung der Empfangssignale erforderlichen Informationen in deren Hüllkurve enthalten sind, während die Trägerfrequenz hierfür nicht benötigt wird. Die am Messort erzeugten Hüllkurvensignale enthalten somit alle benötigten Informationen. Die Übertragung der Hüllkurvensignale vom Messort zur Auswertestelle ist über normale Kabel beliebiger Länge problemlos und störsticher möglich, weil die Hüllkurvensignale eine wesentlich niedrigere Frequenz und geringere Bandbreite als die impulsmodulierten Hochfrequenzsignale haben. Die Hüllkurvensignale können in der Auswertestelle in jeder gewünschten Weise zur Gewinnung der erforderlichen Messwerte verarbeitet werden, insbesondere natürlich zur Messung der Laufzeit der Ultraschallimpulse. Darüber hinaus können die Hüllkurvensignale in der Auswertestelle zur Gewinnung zusätzlicher Informationen analysiert werden, beispielsweise um Aufschluss über die Übertragungsverhältnisse im Behälter zu gewinnen, für statistische Selektion bezüglich Zeitgleichheit der Signale, Erkennen von Doppelreflexionen, Ausblenden von unerwünschten Festzielen (Störreflexionen), Feststellung des Abfalls des Signalpegels unter einem bestimmten Grenzwert, Überwachung des richtigen Funktionierens der Vorort-Elektronik und des Ultraschallwandlers usw.

Die Verarbeitung der Hüllkurvensignale setzt keine besondere Anpassung des Auswertegeräts an sensorspezifische Daten voraus, wie beispielsweise die angewendete Ultraschallfrequenz, die Impedanz des Ultraschallwandlers od. dgl. Dadurch ist es insbesondere möglich, verschiedene Ultraschallwandler an das gleiche Auswertegerät anzuschliessen, ohne dass dieses jeweils einjustiert werden muss. Dies bietet die Möglichkeit, eine grössere Anzahl von Ultraschall-Echolotgeräten mit dem gleichen Auswertegerät zusammenarbeiten zu lassen, wodurch die Anzahl der Auswertegeräte, die beispielsweise für die Messung der Füllstände in einer grösseren Anzahl von Behältern benötigt werden, erheblich reduziert werden kann.

Eine bevorzugte Weiterbildung des Verfahrens nach der Erfindung besteht darin, dass die Erzeugung und Übertragung der Hüllkurvensignale in einem ersten Abschnitt jeder Sendeperiode erfolgt, dessen Dauer mindestens gleich der grössten vorkommenden Laufzeit der Ultraschallimpulse ist, und dass in einem zweiten Abschnitt jeder Sendeperiode am Messort erzeugte niederfrequente elektrische Signale, die für zur Auswertung der Hüllkurvensignale erforderliche Parameter kennzeichnend sind, über die gleiche Verbindungsleitung zur Auswertestelle übertragen werden.

Die Übertragung weiterer niederfrequenter elektrischer Signale über die gleiche Verbindungsleitung ermöglicht in der Auswertestelle die Gewinnung zusätzlicher Informationen sowie die Verbesserung der Messgenauigkeit und der Störsicherheit. So ist beispielsweise die Temperatur des Ausbreitungsmediums der Ultraschallwelle (also der Luft im Behälter über dem Füllgut) eine für die Genauigkeit der Füllstandsmessung wichtige Information, weil die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ultraschallwelle temperaturabhängig ist und somit die Temperatur in die Berechnung des zurückgelegten Wegs aus der gemessenen Laufzeit eingeht. Vorzugsweise ist daher eines der zusätzlich übertragenen Signale für die Temperatur des Ausbreitungsmediums kennzeichnend. Die Störsicherheit kann dadurch verbessert werden, dass die Hüllkurvensignale der sehr schwachen und je nach der Messentfernung mit sehr unterschiedlichen Pegeln erhaltenen Empfangssignale in der Vorort-Elektronik durch eine Ver-

stärkungsregelung auf einen ausreichend hohen Pegel gebracht werden. Dadurch geht aber die in der Echoamplitude enthaltene Information verloren, die Aufschluss über verschiedene Übertragungsbedingungen gibt. Vorzugsweise ist daher eines der zusätzlich übertragenen Signale für die Amplitude der empfangenen Echoimpulse kennzeichnend. Dieses Signal kann beispielsweise aus der Verstärkungsregelspannung abgeleitet werden.

Die Unterteilung jeder Sendeperiode in zwei Abschnitte bietet ferner die Möglichkeit, während jedes zweiten Abschnitts wenigstens ein Steuersignal, das von den im gleichen Abschnitt übertragenen niederfrequenten elektrischen Signalen unterscheidbar ist, über die gleiche Verbindungsleitung von der Auswertestelle zum Messort zu übertragen, ohne dass die Übertragung der Hüllkurvensignale dadurch beeinträchtigt wird. Dadurch ist es möglich, bestimmte Funktionen in der Vorort-Elektronik von der Auswertestelle her zu steuern. Beispielsweise kann die Verstärkung des Verstärkers in der Vorort-Elektronik von der Auswertestelle her eingestellt werden.

Eine Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens mit wenigstens einem am Messort angeordneten Ultraschallwandler, einer am Messort angeordneten Vorort-Elektronik, die einen elektrischen Hochfrequenz-Sendeimpulse erzeugenden Sendepulsengenerator, dessen Ausgang mit dem bzw. einem Ultraschallwandler verbunden ist, einen Verstärker, dessen Eingang mit dem bzw. einem Ultraschallwandler verbunden ist, und eine den Zeitablauf steuernde Steuereinheit enthält, und mit einem an der Auswertestelle angeordneten Auswertegerät, das durch die Verbindungsleitung mit der Vorort-Elektronik verbunden ist, ist nach der Erfindung dadurch gekennzeichnet, dass die Vorort-Elektronik eine dem Verstärker nachgeschaltete Hüllkurvenerzeugungsschaltung sowie eine Einrichtung zur Verbindung des Ausgangs der Hüllkurvenerzeugungsschaltung mit der Verbindungsleitung enthält, und dass das Auswertegerät eine für die Verarbeitung von Hüllkurvensignalen geeignete Signalverarbeitungsschaltung enthält.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 das Prinzipschema einer nach der Erfindung ausgebildeten Anordnung zur Messung des Füllstands in einem Behälter mittels eines Ultraschall-Echolots,

Fig. 2 das Blockschaltbild der Vorort-Elektronik der Anordnung von Fig. 1,

Fig. 3 Diagramme des zeitlichen Verlaufs verschiedener Signale, die in der Schaltung von Fig. 2 auftreten,

Fig. 4 das Zeitdiagramm der in einer Sendeperiode über die Verbindungsleitung übertragenen Signale,

Fig. 5 das Blockschaltbild der Vorort-Elektronik und des Auswertegeräts bei einer abgeänderten Ausführungsform der Anordnung nach der Erfindung,

Fig. 6 die Ausbildung verschiedener Bestandteile der Vorort-Elektronik von Fig. 6 und

Fig. 7 das Zeitdiagramm der bei der Anordnung von Fig. 5 und 6 in einer Sendeperiode über die Verbindungsleitung übertragenen Signale.

Fig. 1 zeigt einen an einem Messort M angeordneten Behälter 10, in dem sich ein Füllgut 11 befindet. Zur Messung des Füllstands im Behälter 10 ist an der Oberseite des Behälters oberhalb des höchsten vorkommenden Füllstands ein Ultraschallwandler 12 angeordnet, der periodisch Ultraschall-Sendeimpulse erzeugt, die nach unten auf das im Behälter befindliche Füllgut 11 gerichtet sind, und der die an der Oberfläche des Füllguts 11 reflektierten Ultraschall-

Echoimpulse empfängt und in elektrische Empfangssignale umwandelt. Die Laufzeit der Ultraschallimpulse vom Ultraschallwandler 12 zur Oberfläche des Füllguts 11 und zurück zum Ultraschallwandler 12 ist bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ultraschallwellen ein Mass für die von den Ultraschallwellen im Behälter zurückgelegte Strecke und somit auch ein Mass für den Füllstand im Behälter. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ultraschallwellen hängt insbesondere von der Temperatur des Ausbreitungsmediums ab, das im dargestellten Fall die oberhalb des Füllguts im Behälter befindliche Luft ist. Damit der Einfluss der Temperatur auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit berücksichtigt werden kann, ist im Behälter ein Temperaturfühler 13 angeordnet, der ein von der Temperatur im Behälter abhängiges elektrisches Ausgangssignal liefert.

Der Ultraschallwandler 12 und der Temperaturfühler 13 sind mit einer Vorort-Elektronik 14 verbunden, die gleichfalls am Messort M in unmittelbarer Nähe des Behälters 10 angeordnet ist. Die Vorort-Elektronik 14 liefert zum Ultraschallwandler 12 elektrische Hochfrequenz-Sendeimpulse, die dieser in die Ultraschall-Sendeimpulse umwandelt und sie empfängt vom Ultraschallwandler 12 die den Ultraschall-Echoimpulsen entsprechenden elektrischen Empfangssignale. Ferner empfängt die Vorort-Elektronik 14 das Ausgangssignal des Temperaturfühlers 13.

Die Vorort-Elektronik 14 ist über eine Verbindungsleitung 15 mit einem Auswertegerät 16 verbunden, das sich an einer vom Messort M entfernten Auswertestelle A befindet. Das Auswertegerät 16 enthält in erster Linie eine Signalverarbeitungsschaltung 17, der eine Laufzeitmessanordnung 18 nachgeschaltet ist. Die Signalverarbeitungsschaltung verarbeitet die Signale, die von der Vorort-Elektronik 14 über die Verbindungsleitung 15 übertragen werden, entsprechend der durchzuführenden Auswertung. Die Laufzeitmessanordnung 18 ermittelt aus den von der Signalverarbeitungsschaltung 17 verarbeiteten Signalen die Laufzeit der Ultraschallimpulse im Behälter 10, und sie liefert am Ausgang ein Signal, das entweder zur Anzeige des Füllstands im Behälter 10 oder zur Auslösung von Schaltvorgängen in Abhängigkeit von diesem Füllstand verwendet werden kann.

In Fig. 2 ist das Blockschaltbild der in der Vorortelektronik 14 enthaltenen elektronischen Schaltungen dargestellt. Fig. 2 zeigt auch den Ultraschallwandler 12 und den Temperaturfühler 13 sowie die Verbindungsleitung 15, die die Vorortelektronik 14 mit dem Auswertegerät 16 verbindet.

Die Vorort-Elektronik 14 enthält eine Steuereinheit 20, die den zeitlichen Ablauf aller Vorgänge in der Vorort-Elektronik steuert. Insbesondere liefert die Steuereinheit 20 an einem Ausgang 20a periodische Auslöseimpulse zu einem Sendepuls-Generator 21, dessen Ausgang mit dem Ultraschallwandler 12 verbunden ist. Der Sendepuls-Generator 21 liefert auf jeden Auslöseimpuls hin einen Hochfrequenz-Sendeimpuls, der die gewünschte optimale Ultraschallfrequenz hat und vom Ultraschallwandler 12 in einen Ultraschall-Sendeimpuls umgewandelt wird. Die Dauer jedes Sendepulses ist klein gegen die Sendeperiode. Die Sendeperiode ihrerseits ist grösser als die grösste vorkommende Laufzeit der Ultraschallimpulse im Behälter 10, d.h. die Laufzeit bei leerem Behälter bzw. beim niedrigsten vorkommenden Füllstand. Wie später anhand von Fig. 4 noch näher erläutert wird, wird bei dem beschriebenen Beispiel angenommen, dass die grösste vorkommende Laufzeit der Ultraschallimpulse im Behälter 10 vom Ultraschallwandler 12 bis zur Oberfläche des Füllguts 11 und wieder zurück zum Ultraschallwandler 12 weniger als 250 ms beträgt, dass die Sendeperiode eine Dauer T_p von 500 ms hat und dass die Dauer T_s jedes Sendepulses 1 ms beträgt. Somit liefert die Steuereinheit 20 in periodischen Zeitabständen von 500 ms jeweils

einen Auslöseimpuls zum Sendepuls-Generator 21, der daraufhin den Ultraschallwandler 12 mit einem Hochfrequenz-Sendeimpuls von 1 ms Dauer beaufschlagt.

Die am Ausgang 20a der Steuereinheit 20 periodisch abgegebenen Auslöseimpulse werden ausserdem einer Blockdistanzschaltung 22 zugeführt. Die Blockdistanzschaltung 22, die im einfachsten Fall durch ein Monoflop gebildet ist, gibt auf jedes Auslösesignal hin an ihrem Ausgang ein Sperrsignal ab. Die Dauer T_{BL} dieses Sperrsignals entspricht der «Blockdistanz», d.h. der Zeit, in welcher der Ultraschallwandler 12 keine nutzbaren Echoimpulse empfangen kann. Dies ist einerseits die Zeit, in welcher der Sendepuls abgestrahlt wird, und andererseits die sich an jeden Sendepuls anschliessende Ausschwingzeit, in welcher der Ultraschallschwinger mit einer abnehmenden Amplitude ausschwingt. Das Ausschwingen lässt am Anschluss des Ultraschallwandlers 12 gleichfalls ein elektrisches Signal entstehen, und ein während des Ausschwingens eintreffender Echoimpuls kann nicht ausgewertet werden, wenn die Amplitude des von ihm stammenden elektrischen Empfangssignals kleiner als die Amplitude des Ausschwingens ist. Die Blockdistanz kann in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Ultraschallwandlers, von den Umgebungsbedingungen (Temperatur) sowie von den Einbaubedingungen sehr verschieden sein. Die Dauer des von der Blockdistanzschaltung 22 abgegebenen Sperrsignals wird daher so bemessen, dass sie die maximal vorkommende Ausschwingzeit mit einem zeitlichen Sicherheitsfaktor übersteigt. Bei dem zuvor angenommenen Zahlenbeispiel beträgt die Blockdistanzzeit T_{BL} beispielsweise 6 ms ab dem Beginn des Sendepulses.

Der Ultraschallwandler 12 ist mit dem Eingang 24a eines Verstärkers 24 verbunden, der die elektrischen Empfangssignale verstärkt, die der Ultraschallwandler 12 beim Empfang jedes Ultraschall-Echoimpulses liefert. Die Verstärkung des Verstärkers 24 ist durch eine an einen Verstärkungssteuer-Eingang 24b angelegte Spannung steuerbar. Ferner hat der Verstärker 24 einen Sperreingang 24c, der mit dem Ausgang der Blockdistanzschaltung 22 verbunden ist, so dass er für die Dauer jedes von der Blockdistanzschaltung 22 abgegebenen Sperrsignals gesperrt ist. Somit werden die von dem Sendepuls-Generator 21 abgegebenen Hochfrequenz-Sendeimpulse sowie die durch das Ausschwingen des Ultraschallwandlers 12 erzeugten elektrischen Schwingungen vom Verstärker 24 nicht übertragen, und am Ausgang des Verstärkers 24 erscheinen nun die nach Ablauf der Blockdistanz eintreffenden Echosignale.

Bei der Füllstandsmessung gibt es in jeder Sendeperiode nur ein nutzbares Empfangssignal, das von dem an der Oberfläche des Füllguts 11 reflektierten Ultraschall-Echoimpuls stammt. Dieses Empfangssignal ist ein Hochfrequenzimpuls, der die gleiche Trägerfrequenz wie der vom Sendepuls-Generator 21 abgegebene Hochfrequenz-Sendeimpuls hat, dessen Kurvenform jedoch, bedingt durch das Übertragungsverhalten des Ultraschallwandlers 12 und die Übertragungsverhältnisse im Behälter 10, von derjenigen des Sendepulses verschieden ist. Das Diagramm A von Fig. 3 zeigt als Beispiel einen der vom Sendepuls-Generator 21 abgegebenen hochfrequenten Sendepulse, wobei angenommen ist, dass die Sendepulse rechteckförmig getastet sind. Das Diagramm B von Fig. 3 zeigt das dem empfangenen Ultraschall-Echoimpuls entsprechende Empfangssignal am Ausgang des Verstärkers 24. Der Zeitabstand T_m zwischen dem Sendepuls und dem Empfangsimpuls entspricht der Laufzeit der Ultraschallwelle im Behälter 10 und kennzeichnet somit den Füllstand. Die Amplitude und der zeitliche Verlauf des Echosignals spiegeln die Übertragungsverhältnisse im Behälter wieder.

An den Ausgang des Verstärkers 24 ist eine Hüllkurven-

zeugungsschaltung 25 angeschlossen, die Ausgangssignale liefert, deren zeitlicher Verlauf den Hüllkurven der Ausgangssignale des Verstärkers 24 entspricht. Das Diagramm C von Fig. 3 zeigt das Hüllkurvensignal, das am Ausgang der Hüllkurvenzeugungsschaltung 25 für das Empfangssignal des Diagramms B erhalten wird. Das Hüllkurvensignal ist ein Spannungsimpuls, dessen zeitlicher Verlauf der Hüllkurve des Hochfrequenzsignals des Diagramms B entspricht. Dieser Spannungsimpuls enthält somit alle Informationen, die für die Auswertung und für die Beurteilung der Übertragungsverhältnisse erforderlich sind. Die Hüllkurvenzeugungsschaltung 25 kann im einfachsten Fall durch einen Amplitudendemodulator gebildet sein, dem gegebenenfalls ein auf die Trägerfrequenz der Empfangssignale abgestimmtes Bandfilter vorgeschaltet ist.

Der Ausgang der Hüllkurvenzeugungsschaltung 25 ist mit einem Signaleingang 26a einer Schaltlogik 26 verbunden, an deren Ausgang die Verbindungsleitung 15 angeschlossen ist. Die Schaltlogik 26 hat einen Steuereingang 27a, der an einen zweiten Ausgang 20b der Steuereinheit 20 angeschlossen ist. Ein weiterer Steuereingang 27b der Schaltlogik 26 empfängt das Sperrsignal vom Ausgang der Blockdistanzschaltung 22.

Ausserdem wird das Ausgangssignal der Hüllkurvenzeugungsschaltung 25 dem Eingang eines Verstärkungsreglers 28 zugeführt, der zum Verstärkungssteuereingang 24b des Verstärkers 24 eine Verstärkungsregelspannung liefert, die die Amplitude der den Empfangssignalen entsprechenden Hüllkurvensignale auf einem vorgegebenen konstanten Wert zu halten sucht. Auf diese Weise werden die beträchtlichen Schwankungen der Echoimpulsamplituden ausgeglichen, die einerseits durch die unterschiedlichen Messentfernungen und andererseits durch unterschiedliche Ausbreitungsbedingungen für die Ultraschallwellen verursacht werden. In diesem Zusammenhang ist die Tatsache von Bedeutung, dass bei der Füllstandsmessung sowie auch bei den meisten anderen Anwendungen von Echolotgeräten in jeder Sendeperiode nur ein Nutz-Echosignal erhalten wird, das einer bestimmten Zielentfernung entspricht, die sich im allgemeinen nur langsam und stetig ändert. Es ist daher leicht möglich, die Verstärkung im Sinne einer Konstanthaltung der Amplitude dieser Nutz-Echoimpulse zu regeln. Gegebenenfalls können zusätzliche Massnahmen getroffen werden, um Störimpulse oder Mehrfachechos zu unterdrücken.

Infolge der Verstärkungsregelung geht jedoch die in der Amplitude der Echosignale enthaltene Information über die Echodämpfung verloren, welche die Ultraschallimpulse auf ihrem Weg vom Ultraschallwandler zur Füllgutoberfläche und zurück zum Ultraschallwandler erleiden. Da auch diese Information für die Auswertung der Echosignale im Auswertegerät von Bedeutung sein kann, wird zusätzlich zum Auswertegerät eine getrennte Information über die Echoamplitude übertragen. Zu diesem Zweck wird die vom Verstärkungsregler 28 abgegebene Verstärkungsregelspannung dem Eingang 29a eines Spannungs/Zeit-Umsetzers 29 zugeführt, dessen Ausgang mit einem weiteren Steuereingang 27c der Schaltlogik 26 verbunden ist. Ein weiterer Eingang 29b des Spannungs/Zeit-Umsetzers 29 ist an den Ausgang 20b der Steuereinheit 20 angeschlossen. Der Spannungs/Zeit-Umsetzer 29 gibt nach jedem dem Eingang 29b zugeführten Signal ein Ausgangssignal ab, dessen Dauer T_v von der am Eingang 29a anliegenden Verstärkungsregelspannung abhängt.

Schliesslich wird das Ausgangssignal des Temperaturfühlers 13 nach Verstärkung in einem Verstärker 30 an einen weiteren Signaleingang 26b der Schaltlogik 26 angelegt.

Die Schaltlogik 26 ist eine elektronische Umschaltanordnung, die unter Steuerung durch die von der Steuereinheit

20, von der Blockdistanzschaltung 22 und von dem Spannungs/Zeit-Umsetzer 29 gelieferten Zeitsteuersignale die Verbindungsleitung 15 der Reihe nach mit verschiedenen Signalquellen verbindet.

Das Diagramm von Fig. 4 zeigt als Funktion der Zeit die im Verlauf einer Sendeperiode der Dauer $T_P = 500$ ms über die Verbindungsleitung 15 übertragenen Signale. Die Dauer verschiedener Signale ist der Deutlichkeit wegen nicht im richtigen Zeitmassstab dargestellt.

Gemäss dem zuvor angegebenen Zahlenbeispiel ist die Dauer der Sendeperiode T_P mehr als doppelt so gross wie die längste vorkommende Laufzeit der Echoimpulse. Die Sendeperiode ist in zwei gleich grosse Abschnitte T_{P1} und T_{P2} von 250 ms Dauer unterteilt. Der Abschnitt T_{P1} dient der Übertragung der den Echoimpulsen entsprechenden Hüllkurvensignale, während im Abschnitt T_{P2} die übrigen Signale übertragen werden, die im Auswertegerät 16 für die Auswertung der Hüllkurvensignale benötigt werden. Natürlich ist es nicht zwingend, dass die beiden Abschnitte T_{P1} und T_{P2} gleich gross sind; beispielsweise könnte der für die Übertragung der übrigen Signale reservierte Abschnitt T_{P2} auch wesentlich kürzer sein als der für den Empfang und für die Übertragung der Echoimpulse reservierte Abschnitt T_{P1} .

Im Zeitpunkt t_0 am Beginn jeder Sendeperiode legt die Steuereinheit 20 synchron mit dem vom Ausgang 20a abgegebenen Auslöseimpuls an den Steuereingang 27a der Schaltlogik 26 ein Signal an, das die Schaltlogik 26 in eine Stellung bringt, in der eine konstante Gleichspannung U_A , vorzugsweise die Versorgungsspannung V_{CC} , an die Leitung 15 angelegt wird. Der Beginn dieser Spannungsstufe signalisiert dem Auswertegerät 16 den Zeitpunkt der Aussendung des Ultraschall-Sendeimpulses und damit den Beginn der Messzeit. Die Dauer der Übertragung des Gleichspannungspotentials V_{CC} ist vorzugsweise gleich der Dauer T_S des Sendepulses, bei dem hier angenommenen Zahlenbeispiel also 1 ms. Diese Dauer ist in Fig. 4 im Vergleich zu der Dauer T_P der Sendeperiode übertrieben gross dargestellt.

Nach Ablauf der Sendezeit T_S geht die Schaltlogik 26 im Zeitpunkt t_1 unter der Wirkung des von der Blockdistanzschaltung 22 an den Steuereingang 27b angelegten Sperrsignals in eine Stellung, in der die an die Verbindungsleitung 15 angelegte Gleichspannung auf einen niedrigeren Wert U_B gebracht wird, der beispielsweise $2/3 V_{CC}$ beträgt. Dieser Zustand bleibt für die Dauer der von der Blockdistanzschaltung 22 bestimmten Blockzeit T_{BL} bestehen, die bei dem zuvor angegebenen Zahlenbeispiel 6 ms vom Beginn des Sendepulses an beträgt. Dadurch wird dem Auswertegerät 16 die Dauer der Blockzeit angezeigt. Die Blockzeit T_{BL} ist in Fig. 4 ebenfalls übertrieben gross dargestellt.

Nach Beendigung der Blockzeit T_{BL} im Zeitpunkt t_2 verbindet die Schaltlogik 26 die Verbindungsleitung 15 mit dem Signaleingang 26a. In dem sich an die Blockzeit anschliessenden restlichen Teil des ersten Abschnitts T_{P1} der Sendeperiode wird daher das dem Echoimpuls entsprechende Hüllkurvensignal U_H zum Auswertegerät 16 übertragen. Das Auswertegerät 16 ermittelt den Zeitabstand T_M zwischen dem Sendezeitpunkt t_0 und dem Zeitpunkt t_M , in welchem die Vorderflanke des Hüllkurvensignals U_H einen vorgegebenen Schwellenwert erreicht, und berechnet daraus unter Berücksichtigung der mit Hilfe der übrigen Signale übertragenen Parameter den Füllstand im Behälter 12.

Nach Ablauf von 250 ms legt die Steuereinheit 20 im Zeitpunkt t_3 erneut ein Signal an den Steuereingang 27a der Schaltlogik 26 an, das die Aussendung eines Synchronimpulses U_C von 1 ms Dauer mit dem Wert der Versorgungsspannung V_{CC} bewirkt. Dieser Synchronimpuls U_C zeigt dem Auswertegerät 16 den Beginn des zweiten Abschnitts T_{P2} der Sendeperiode an.

Der Synchronimpuls U_c ist jedoch nicht von einem Auslöseimpuls am Ausgang 20a der Steuereinheit 20 begleitet, so dass in diesem Zeitpunkt keine Aussendung eines Ultraschall-Sendeimpulses erfolgt und die Blockdistanzschialtung 22 kein Sperrsignal an den Steuereingang 27b anlegt. Der Spannungspegel auf der Verbindungsleitung 15 fällt daher am Ende des Synchronimpulses U_c im Zeitpunkt t_4 auf 0 V. Das Fehlen der Spannungsstufe von $2/3 V_{cc}$ ermöglicht der Auswerteschaltung 16 die Unterscheidung zwischen den beiden Abschnitten T_{P1} und T_{P2} der Sendeperiode.

Nach Ablauf der Zeitdauer T_v , die durch das an den Steuereingang 27c angelegte Ausgangssignal des Spannungs-/Zeit-Umsetzers 29 bestimmt ist, stellt die Schaltlogik 26 vom Zeitpunkt t_5 an die Verbindung zwischen dem Signaleingang 26b und der Verbindungsleitung 15 her, so dass die Ausgangsspannung des Verstärkers 30 zur Verbindungsleitung 15 übertragen wird. Die Verbindungsleitung 15 führt somit im restlichen Teil des Abschnitts T_{P2} eine Spannung U_T , die für die vom Temperaturfühler 13 festgestellte Temperatur im Behälter kennzeichnend ist. Diese Spannung bleibt bis zum Zeitpunkt t_6 bestehen, in welchem die nächste Sendeperiode beginnt und erneut ein Synchronimpuls mit dem Spannungswert V_{cc} über die Verbindungsleitung 15 übertragen wird.

Die vom Spannungs-/Zeit-Umsetzer 29 bestimmte Zeitdauer T_v hängt von der Verstärkungsregelspannung am Ausgang des Verstärkungsreglers 28 ab und ist somit ein Mass für die Echoamplitude. Der Zeitpunkt t_5 des Spannungssprungs zwischen dem Wert 0 V und der Temperaturspannung U_T wird somit in Abhängigkeit von der Echoamplitude verschoben. Im Zeitabschnitt T_{P2} wird also die Echoamplitudeninformation durch ein Zeitsignal und die Temperaturinformation durch einen Spannungspegel übertragen.

Auf diese Weise werden alle an der Auswertestelle benötigten Informationen über die Verbindungsleitung 15 durch sehr niederfrequente Signale übertragen. Die Verbindungsleitung 15 kann daher eine einfache, un abgeschirmte Leitung sein, und die übertragenen Signale werden selbst bei beträchtlicher Länge der Verbindungsleitung nicht wesentlich gedämpft.

Natürlich können die verschiedenen Informationen auch in anderer zeitlicher Reihenfolge über die Verbindungsleitung übertragen werden, oder es kann die Übertragungsart beliebig vertauscht werden, so dass beispielsweise die Echoamplitude durch einen Spannungswert und die Temperatur durch eine Zeitinformation ausgedrückt wird. Ferner ist es möglich, im Zeitabschnitt T_{P2} noch weitere interessierende Informationen mit Hilfe ähnlicher niederfrequenter Signale zu dem Auswertegerät 16 zu übertragen.

Die im Auswertegerät 16 enthaltene Signalverarbeitungsschaltung 17 ist natürlich so ausgebildet, dass sie für die Verarbeitung der übertragenen Hüllkurvensignale und der übrigen übertragenen Signale geeignet ist. Diese Ausbildung sowie auch die Ausbildung der Laufzeitmessanordnung 18 braucht nicht näher beschrieben zu werden, da sie für den Fachmann bei Kenntnis der übertragenen Signale keine Schwierigkeit bietet. Beispielsweise kann als wesentlicher Bestandteil der Signalverarbeitungsschaltung 17 und der Laufzeitmessanordnung 18 ein geeignet programmierter Mikrocomputer verwendet werden. Die übertragenen Signale werden in diesem Fall in der Auswertestelle digitalisiert, abgespeichert und vom Mikrocomputer verarbeitet.

Anhand der Figuren 5 bis 7 wird eine abgänderte Ausführungsform der Füllstandsmessanordnung beschrieben, bei welcher die Verstärkung des Verstärkers 24 von der Auswertestelle A aus durch Signale gesteuert wird, die während der zweiten Abschnitte der Sendeperioden über die gleiche Verbindungsleitung 15 in der Gegenrichtung vom Auswertegerät 16 zur Vorort-Elektronik 14 übertragen werden.

Fig 5 zeigt im linken Teil das Blockschaltbild der am Messort M befindlichen Vorort-Elektronik 14, im rechten Teil das Blockschaltbild des an der Auswertestelle A befindlichen Auswertegeräts 16 und dazwischen die Verbindungsleitung 15, die unterbrochen dargestellt ist, da sie beliebig lang sein kann.

Das Blockschaltbild der Vorort-Elektronik 14 entspricht weitgehend der Darstellung von Fig. 2. Die unverändert beibehaltenen Schaltungsbestandteile sind mit den gleichen Bezugszeichen wie in Fig. 2 bezeichnet und werden nicht noch einmal beschrieben. Die Vorort-Elektronik 14 von Fig. 5 unterscheidet sich von derjenigen von Fig. 2 nur in den folgenden Punkten:

- Dem Ausgang der Schaltlogik 26 ist ein Stromtreiber 40 nachgeschaltet, der die jeweils von der Schaltlogik 26 gelieferte Signalspannung in einen Strom umwandelt, der über die Verbindungsleitung 15 zum Auswertegerät 16 übertragen wird. Die Verbindungsleitung 15 wird also nicht mehr als Spannungsübertragungsleitung, sondern als Stromschleife betrieben. Das Diagramm von Fig. 7 zeigt den zeitlichen Verlauf des über die Verbindungsleitung 15 übertragenen Strom I . Er stimmt mit dem zeitlichen Verlauf des Spannungsdiagramms von Fig. 2 überein. Den Spannungswerten U_A , U_B , U_H , U_c und U_T von Fig. 2 entsprechen nun Stromwerte I_A , I_B , I_H , I_c bzw. I_T . Der maximale Stromwert, der der positiven Versorgungsspannung V_{cc} entspricht, beträgt beispielsweise 10 mA.

- Mit dem Stromtreiber 40 ist eine Detektorschaltung 50 verbunden, die ausserdem einen Steuereingang hat, der an einen weiteren Ausgang 20c der Steuereinheit 20 angeschlossen ist.

- Anstelle des in einer Regelschleife liegenden Verstärkungsreglers 28 von Fig. 2 ist eine Verstärkungssteuerschaltung 60 vorgesehen, deren Eingang mit dem Ausgang der Detektorschaltung 50 verbunden ist. Der Ausgang der Verstärkungssteuerschaltung 60 ist in gleicher Weise wie der Ausgang des Verstärkungsreglers 28 von Fig. 2 mit dem Verstärkungssteuereingang 24b des Verstärkers 24 und mit dem Eingang 29a des Spannungs-/Zeit-Umsetzers 29 verbunden.

Das Auswertegerät 16 enthält einen Mikrocomputer 70, der so programmiert ist, dass er die Funktionen der Signalverarbeitungsschaltung 17 und der Laufzeitmessanordnung 18 von Fig. 1 ausführt. Ein im Auswertegerät 16 zwischen der Verbindungsleitung 15 und Masse angeschlossener Widerstand 71 schliesst die Stromschleife. Der Spannungsabfall am Widerstand 71 ist an den Eingang eines Analog/Digital-Wandlers 72 angelegt, dessen digitale Ausgangssignale dem Mikrocomputer 70 zugeführt werden.

Ein Ausgang des Mikrocomputers 70 steuert einen Schalter 73, durch den eine Spannung von +24 V an die Verbindungsleitung 15 angelegt werden kann. Diese Spannung ist wesentlich höher als die in der Vorort-Elektronik verwendete positive Versorgungsspannung V_{cc} , die beispielsweise +12 V beträgt. Für die Übertragung eines Spannungsimpulses U_s von +24 V durch Schliessen des Schalters 73 ist im zweiten Abschnitt T_{P2} der Sendeperiode ein Zeitfenster T_F vorgesehen, das so gelegt ist, dass das Ende der veränderlichen Zeitdauer T_v auf keinen Fall in das Zeitfenster T_F fällt. In Fig. 7 ist angenommen, dass die maximale Zeitdauer T_v kleiner als 140 ms ist. Das Zeitfenster T_F beginnt 140 ms nach dem Ende des Synchronimpulses I_c im Zeitpunkt t_6 und hat eine Dauer von 60 ms, so dass es im Zeitpunkt t_7 endet, der einen Zeitabstand von 200 ms vom Ende des Synchronimpulses I_c hat.

Das Vorhandensein oder Fehlen des Spannungsimpulses U_s während des Zeitfensters T_F stellt die vom Auswertegerät 16 zur Vorort-Elektronik übertragene Steuerinformation dar. Das Anlegen des Spannungsimpulses U_s an die Verbindungsleitung 15 durch Schliessen des Schalters 73 bedeutet «Ver-

stärkung erhöhen». Das Fehlen des Spannungsimpulses U_s während des Zeitfensters T_F bedeutet «Verstärkung verringern». Die Detektorschaltung 50 in der Vorort-Elektronik 14 hat die Aufgabe, das Vorhandensein oder Fehlen eines Spannungsimpulses U_s in jedem Zeitfenster T_F festzustellen und die entsprechende Änderung der Verstärkung des Verstärkers 24 durch die Verstärkungssteuerschaltung 60 zu veranlassen.

Eine Ausführungsform des Stromtreibers 40, der Detektorschaltung 50 und der Verstärkungssteuerschaltung 60 ist in Fig. 6 in näheren Einzelheiten dargestellt.

Der Stromtreiber 40 enthält einen als Spannungs/Strom-Wandler wirkenden Verstärker 41, an dessen Ausgang die Verbindungsleitung 15 über einen Widerstand 42 angeschlossen ist. Da der vom Verstärker 41 über die Leitung 15 geschickte Strom I stets positiv ist (Fig. 7), erzeugt er am Widerstand 42 einen Spannungsabfall in der Weise, dass die mit dem Ausgang des Verstärkers 41 verbundene Klemme des Widerstands 42 stets das höhere Potential führt. Der Verstärker 41 ist so ausgebildet, dass er bei der positiven Versorgungsspannung V_{cc} von +12 V in die Sättigung geht. Wenn daher im Auswertegerät 16 durch Schliessen des Schalters 73 eine höhere Spannung als +12 V an die Verbindungsleitung 15 gelegt wird, kann der Verstärker 41 keinen Strom mehr liefern, und die Polarität am Widerstand 42 kehrt sich um. Diese Polaritätsumkehr wird von der Detektorschaltung 50 festgestellt.

Die Detektorschaltung 50 enthält einen Komparator 51, der durch einen Operationsverstärker mit Differenzeingang gebildet ist. Der invertierende Eingang des Operationsverstärkers ist mit dem Abgriff eines aus zwei Widerständen 52, 53 gebildeten Spannungsteilers verbunden, der zwischen der mit dem Verstärker 41 verbundenen Klemme des Widerstands 42 und Masse angeschlossen ist. Der nichtinvertierende Eingang des Operationsverstärkers ist mit dem Abgriff eines aus zwei Widerständen 54, 55 gebildeten Spannungsteilers verbunden, der zwischen der mit der Verbindungsleitung 15 verbundenen Klemme des Widerstands 42 und Masse angeschlossen ist. Der Ausgang des Operationsverstärkers führt eine negative Spannung, wenn das am invertierenden Eingang anliegende Potential höher als das am nichtinvertierenden Eingang anliegende Potential ist; wenn sich die Potentialverhältnisse umkehren, wird die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers positiv.

Das Ausgangssignal des Komparators 51 wird über eine Torschaltung 56 zu einem Halteglied 57 übertragen. Die Torschaltung 56 wird durch eine Zeitsteuerschaltung gesteuert, die aus zwei in Kaskade geschalteten Monoflops 58 und 59 gebildet ist. Die beiden Monoflops 58 und 59 werden durch negativ gehende Impulsflanken ausgelöst. Die Haltezeit des Monoflops 58 beträgt 140 ms, und die Haltezeit des Monoflops 59 beträgt 60 ms.

Der Auslöseeingang des Monoflops 58 ist mit dem Ausgang 20c der Steuereinheit 20 verbunden. Die Steuereinheit 20 gibt am Ausgang 20c jeder Sendeperiode einen Impuls ab, der zeitlich mit dem Synchronimpuls I_c (Fig. 7) zusammen-

fällt. Das Monoflop 58 wird durch die Hinterflanke dieses Impulses ausgelöst. Nach Ablauf seiner Haltezeit von 140 ms löst es seinerseits das Monoflop 59 aus. Der Ausgang des Monoflops 59 ist mit dem Steuereingang der Torschaltung 56 verbunden, so dass die Torschaltung 56 für die Dauer der Haltezeit des Monoflops 59 geöffnet ist. Wie aus Fig. 7 unmittelbar zu erkennen ist, entspricht die Öffnungszeit der Torschaltung 56 genau dem Zeitfenster T_F . Somit wird in jeder Sendeperiode die während des Zeitfensters T_F bestehende Ausgangsspannung des Komparators 51 in das Halteglied 57 übertragen, in dem sie bis zum Beginn des Zeitfensters in der nächsten Sendeperiode gespeichert wird.

Die Verstärkungssteuerschaltung 60 enthält einen Integrator 61, der in der üblichen Weise durch einen Operationsverstärker 62 gebildet ist, in dessen Rückkopplungskreis vom Ausgang zum invertierenden Eingang ein Kondensator 63 liegt. Der invertierende Eingang ist über einen Widerstand 64 an den Ausgang des Halteglieds 57 der Detektorschaltung 50 angeschlossen, während der nichtinvertierende Eingang an ein festes Potential, z.B. Massepotential gelegt ist. Entsprechend der bekannten Funktionsweise eines solchen Integrators steigt die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers 62 linear an, wenn am Eingang eine konstante negative Spannung anliegt, und sie fällt linear ab, wenn am Eingang eine konstante positive Spannung anliegt. Dem Integrator 61 ist ein invertierender Verstärker 65 nachgeschaltet, dessen Ausgang die Verstärkungssteuerspannung zum Verstärker 24 und zum Spannungs/Zeit-Umsetzer 29 liefert.

Aus der vorstehenden Beschreibung ist unmittelbar zu erkennen, dass die Verstärkung des Verstärkers 24 in und nach jedem Zeitfenster, in welchem der Spannungsimpuls U_s an die Verbindungsleitung 15 angelegt ist, fortlaufend erhöht wird, während sie in und nach jedem Zeitfenster, in welchem der Spannungsimpuls U_s fehlt, fortlaufend verringert wird. Dadurch kann die Verstärkung des Verstärkers 24 vom Auswertegerät 16 her gesteuert werden.

Natürlich wäre es auch möglich, anstelle der Verstärkung des Verstärkers 24 eine andere Funktion der Vorort-Elektronik durch die Spannungsimpulse U_s zu steuern. Auf entsprechende Weise können auch mehrere Funktionen der Vorort-Elektronik vom Auswertegerät her gesteuert werden, wenn in jeder Sendeperiode mehrere zeitlich hintereinanderliegende Zeitfenster vorgesehen werden und in der Vorort-Elektronik für jedes Zeitfenster eine Detektorschaltung vorhanden ist, die feststellt, ob ein Spannungsimpuls in dem zugeordneten Zeitfenster vorhanden ist oder nicht. In jedem Fall ist durch das Anlegen der überhöhten Spannung an die Verbindungsleitung sichergestellt, dass die vom Auswertegerät zur Vorort-Elektronik übertragenen Steuersignale eindeutig von den in der Gegenrichtung übertragenen Hüllkurven- und Informationssignalen unterscheidbar sind. Die Übertragung der Steuersignale im zweiten Abschnitt jeder Sendeperiode stellt sicher, dass die Übertragung der Hüllkurvensignale im ersten Abschnitt der Sendeperiode nicht beeinträchtigt wird.

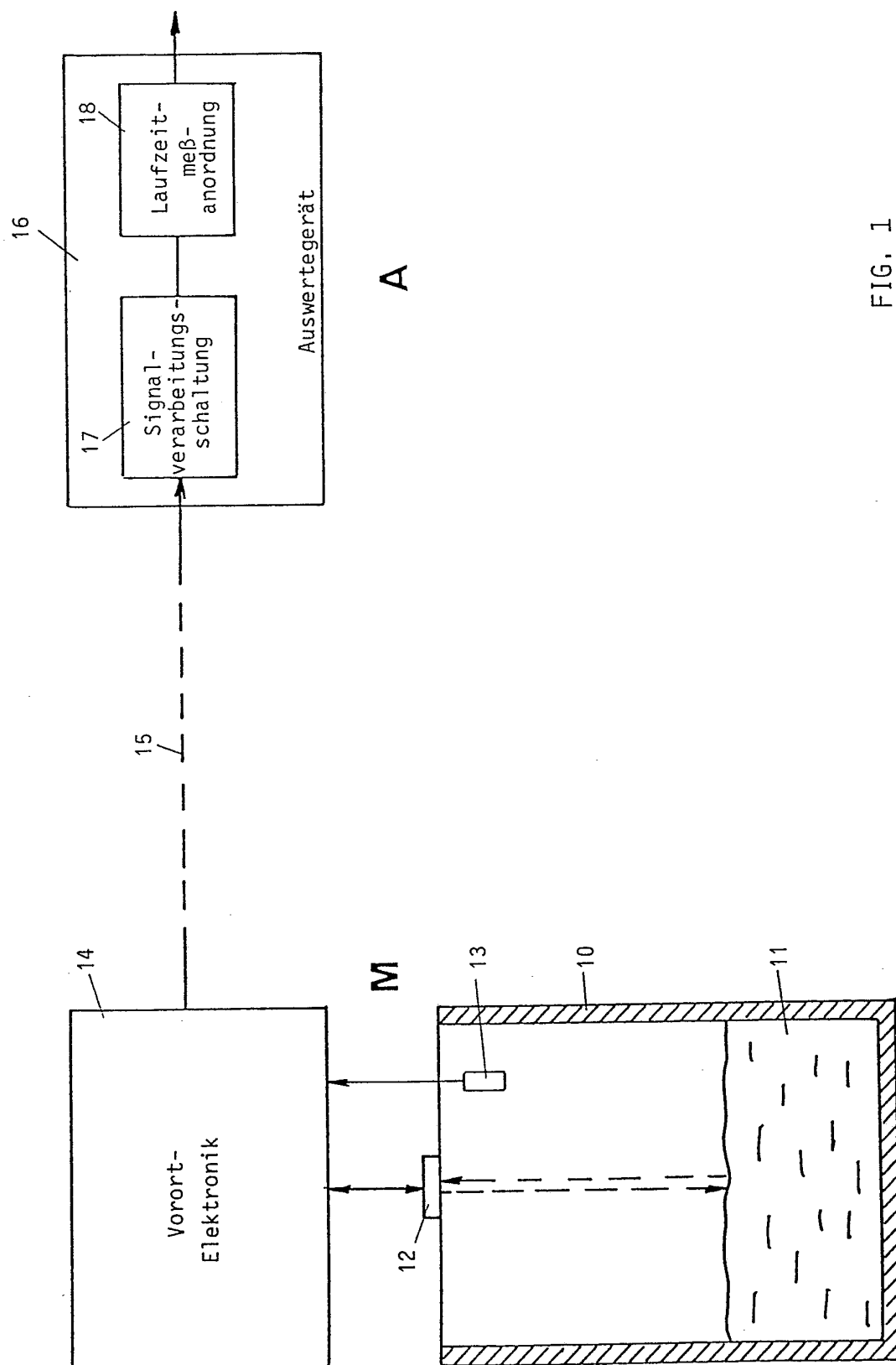


FIG. 1

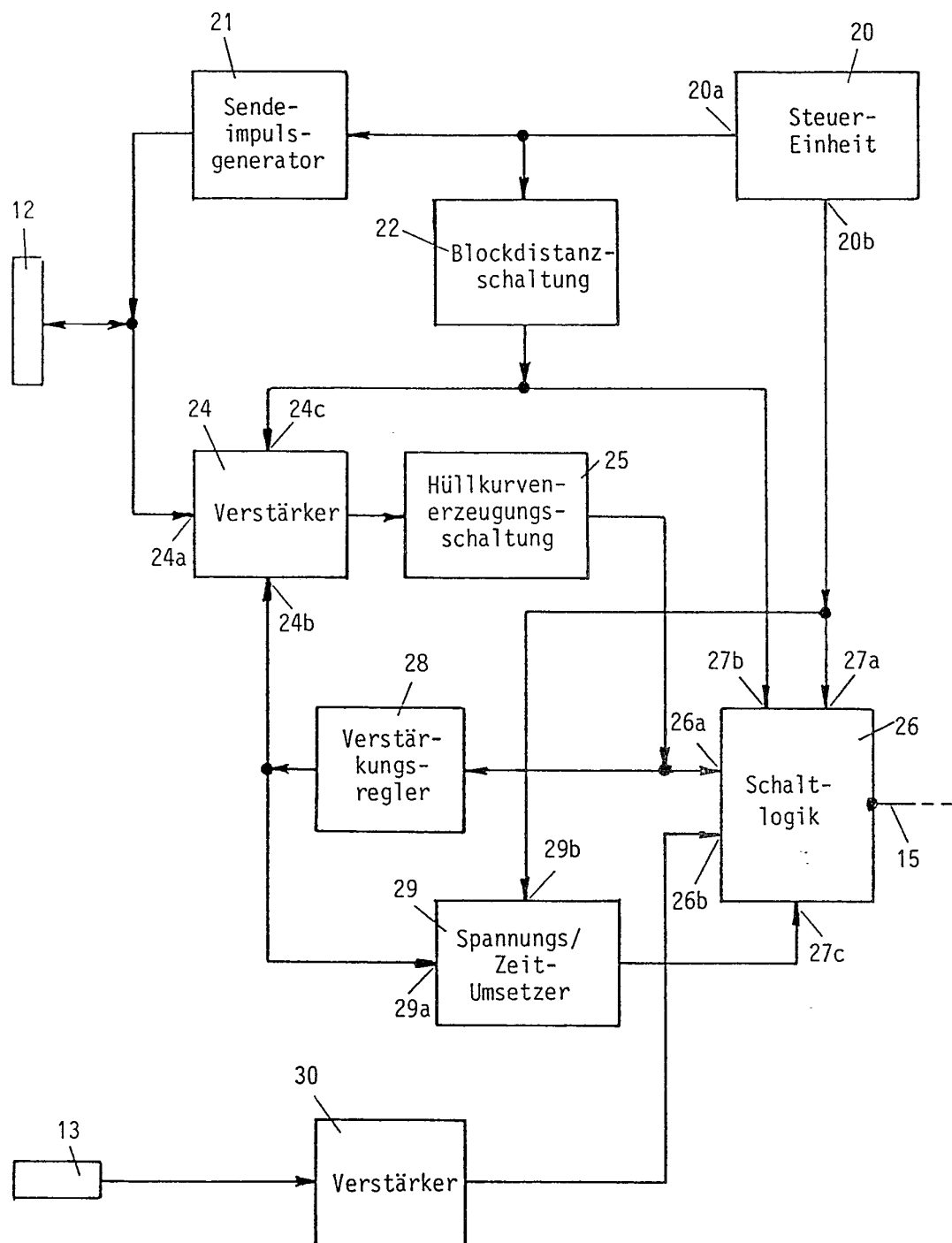


FIG. 2

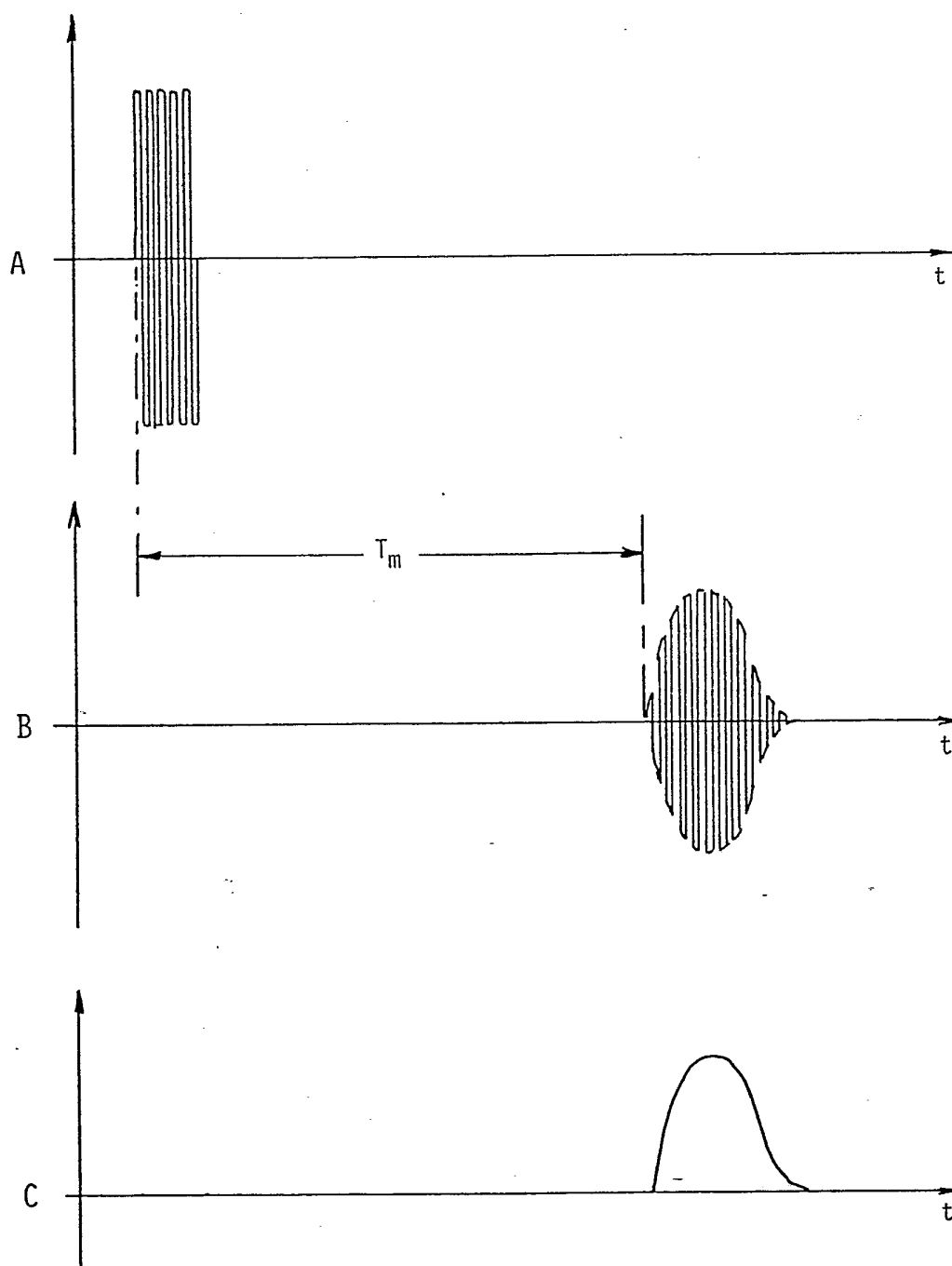


FIG. 3

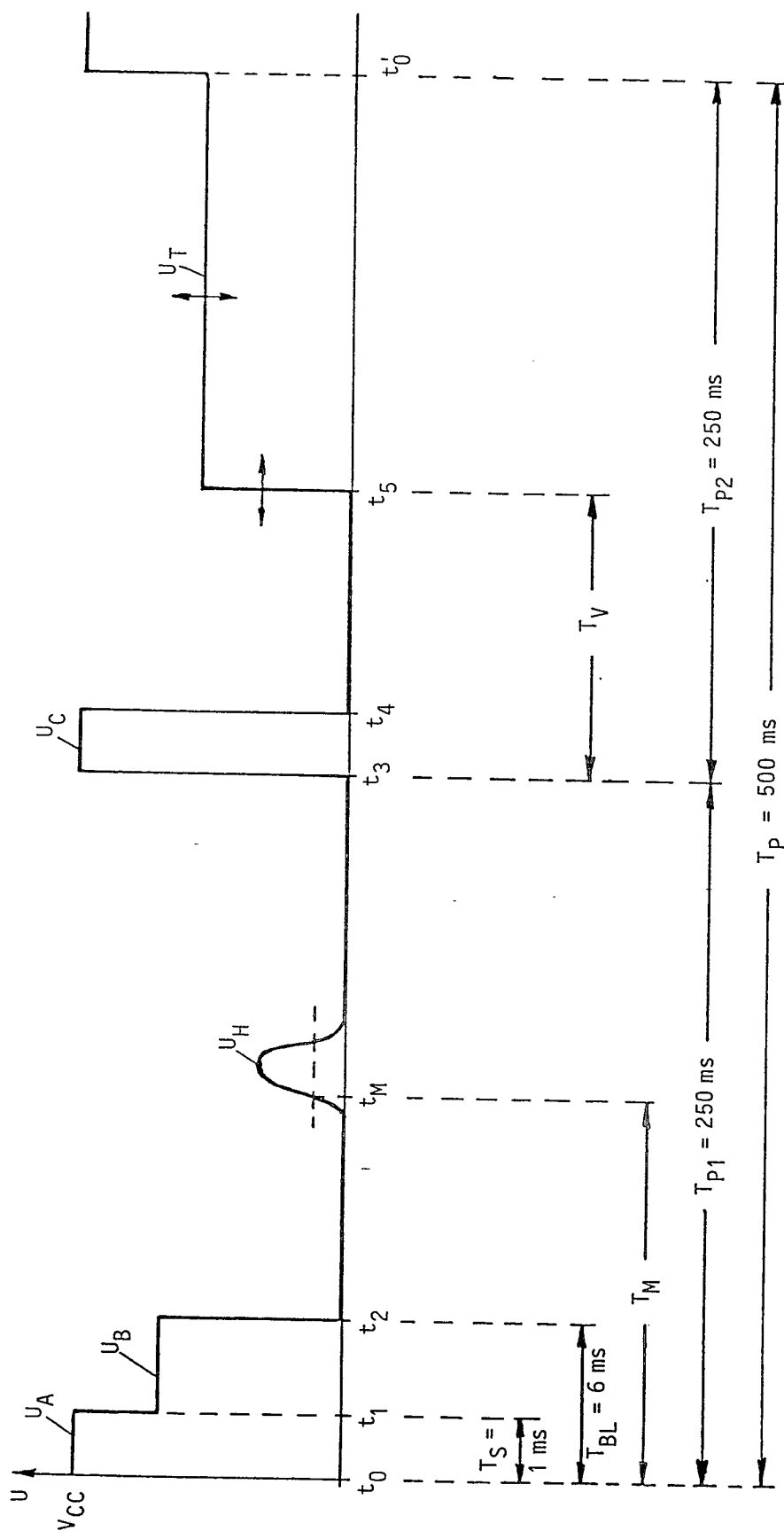


FIG. 4

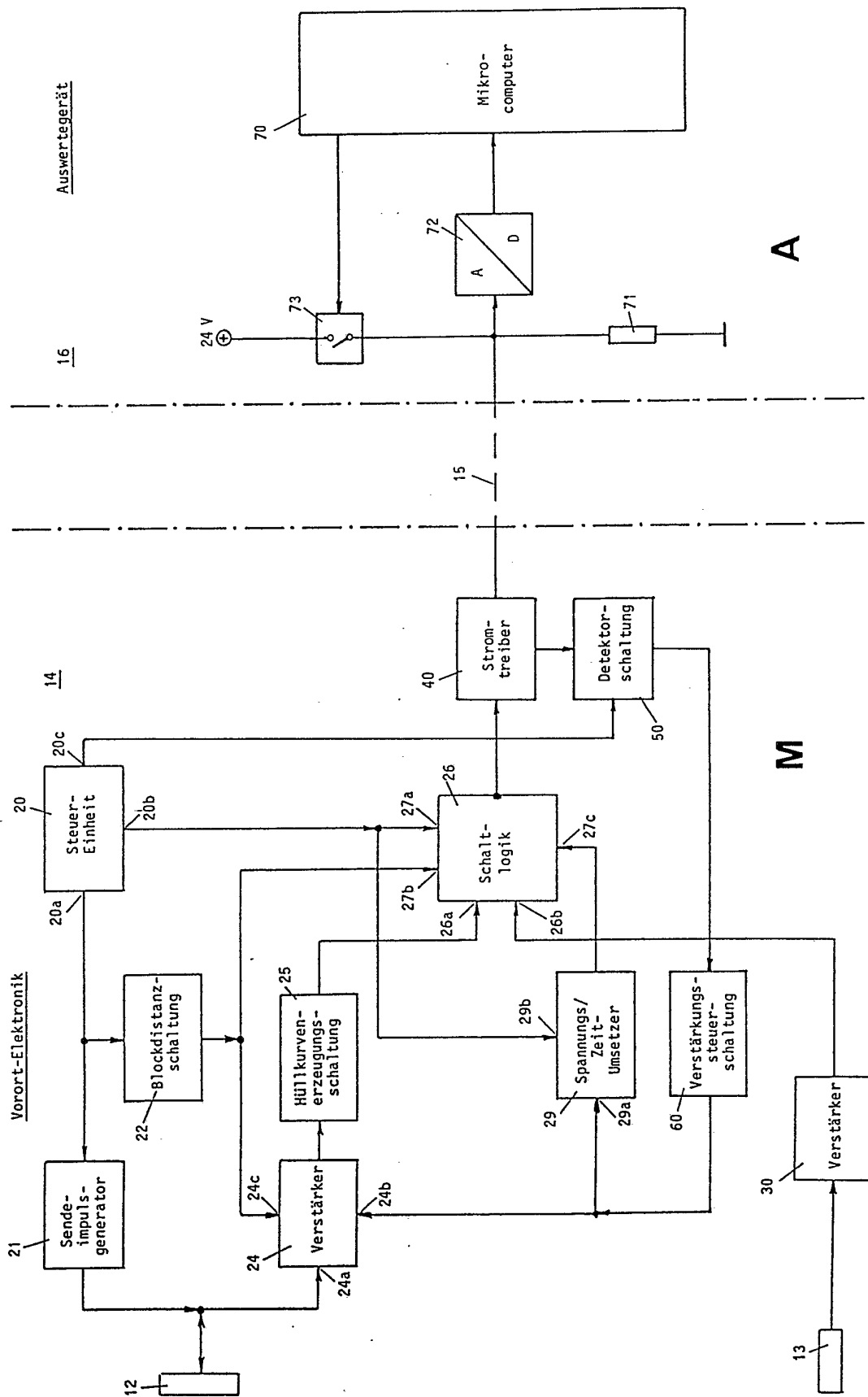


FIG. 5

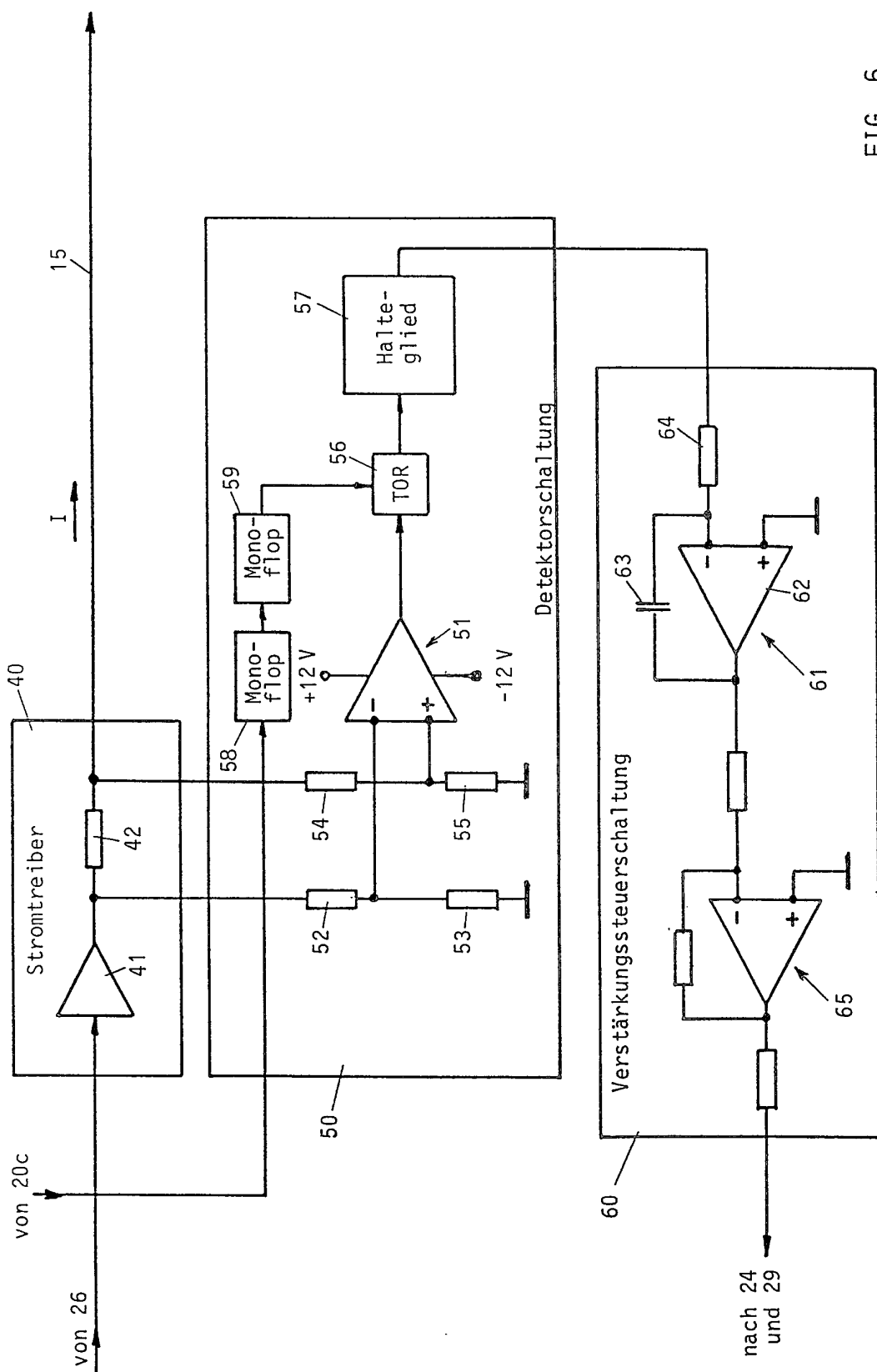


FIG. 6

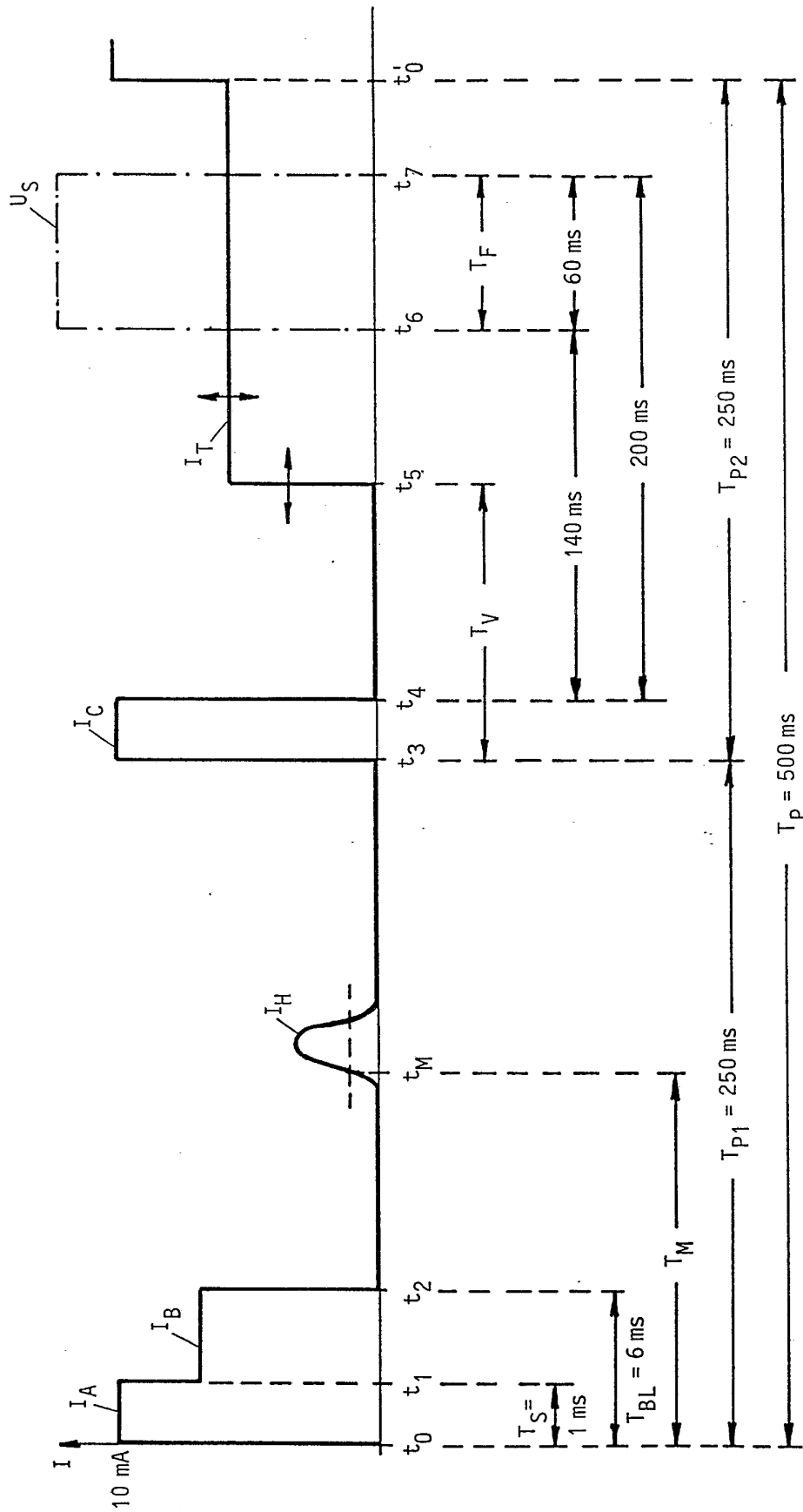


FIG. 7