



(10) **DE 10 2015 221 178 B4** 2020.12.31

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 221 178.9**
(22) Anmeldetag: **29.10.2015**
(43) Offenlegungstag: **04.05.2017**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **31.12.2020**

(51) Int Cl.: **G01D 5/241** (2006.01)
H03K 17/955 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
ifm electronic gmbh, 45128 Essen, DE

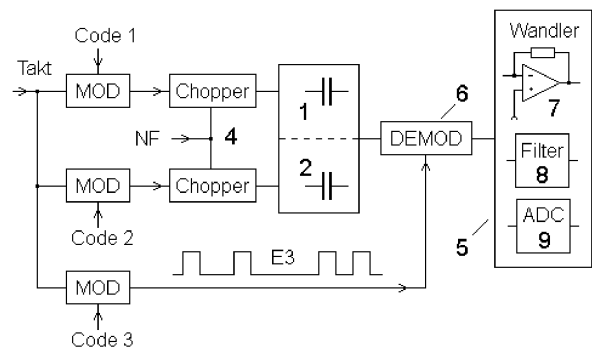
(72) Erfinder:
Tahedi, Markus, Dr., 88097 Eriskirch, DE;
Kampf, Sabine, Dr., 88069 Tettngang, DE; Bernd,
Francesco, 88069 Tettngang, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2012 015 423	B4
DE	103 23 030	A1
DE	198 13 013	A1
DE	10 2007 041 646	A1
DE	10 2012 015 423	A1
DE	10 2014 216 246	A1
DE	697 19 321	T2

(54) Bezeichnung: **Kapazitiver Sensor**

(57) Hauptanspruch: Kapazitiver Sensor mit einer ersten Sendeelektrode (1) und einer zweiten Sendeelektrode (2), einem Codegenerator (3) und einem Modulator (4) zur Erzeugung von zwei rechteckförmigen Sendesignalen (E1, E2), sowie einer Auswerteeinheit (5) mit einem Synchrondemodulator (6), wobei die Sendeelektroden (1, 2) mit den rechteckförmigen Sendesignalen (E1, E2) angetrieben, und die Empfangssignale mit ein und demselben rechteckförmigen Signal (E1, E2, E3) synchron demoduliert werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendesignale (E1, E2) mit zwei unterschiedlichen, nicht orthogonalen Codes (C1, C2) moduliert gesendet werden, wobei die Sendesignale (E1, E2) den vollen Spannungshub aufweisen, und die Empfangssignale mit einem der Sendesignale (E1, E2) oder einem Signal (E3) demoduliert werden, wobei das Signal (E3) unterschiedlich mit den Sendesignalen (E1, E2) korreliert und die Empfindlichkeit des Elektrodensystems durch Variation der Codesignale (C1, C2, C3) einstellbar ist, wobei die Sendeelektroden (1, 2) mit einem Chopper (4) im Choppertakt (NF) umgeschaltet werden können.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft berührungslos arbeitende kapazitive Sensoren und damit auch kapazitive Näherungsschalter und Bedienelemente gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Berührungslos arbeitende Näherungsschalter werden als elektronische Schaltgeräte vor allem in der Automatisierungstechnik eingesetzt. Sie sind seit langem bekannt und werden u. a. auch von der Anmelderin hergestellt und vertrieben.

[0003] Sie bestehen im Wesentlichen aus einem Sensor zur Erfassung von vorzugsweise elektrischen, aber auch optischen oder sonstigen physikalischen Eigenschaften von beweglichen Objekten, wobei die Änderung der betreffenden physikalischen Größe als Maß für die Annäherung eines Objekts dient, und einer Steuereinheit, die bei Erreichen eines Schwellwertes ein vorzugsweise binäres Schaltsignal erzeugt.

[0004] Kapazitive Sensoren weisen einen Verschiebungsstromkreis mit mindestens einer Sensorelektrode auf, wobei in der Regel die Kapazität der Messelektroden zur Umgebung oder deren Impedanz ausgewertet wird.

[0005] Um äußere Faktoren, wie z. B. Luftfeuchtigkeit auszublenden, wird oft mit Referenz- oder Kompensationselektroden gemessen, und die Differenz der beiden Kapazitäten ausgewertet. Weiterhin ist bekannt, die räumliche Verteilung des elektrischen Messfeldes durch Abschirm- und/oder Hilfelektroden zu beeinflussen.

[0006] Die DE 10 2014 216 246 A1 zeigt eine Schaltung zur Auswertung eines kapazitiven Sensors, wobei zum Abgleich des Systems ein Gegensignal mit der gleichen Frequenz wie das Ansteuersignal aber mit veränderlicher Phasenlage erzeugt, und dem Auswertesignal überlagert wird.

[0007] Die DE 697 19 321 T2 zeigt einen dreidimensionalen kapazitiven Positionssensor mit einer Anzahl von Sende- und Empfangselektroden, die mit mehreren Frequenzen erregt, deren Signale synchron demoduliert und von einer Schaltlogik ausgewertet werden.

[0008] Die DE 198 13 013 A1 zeigt ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zum Betreiben eines kapazitiven Näherungsschalters, bei dem ein frequenzgespreiztes Rausch- oder binäres Zufallssignal von einer Sendelektrode abgestrahlt und das von einer Messelektrode empfangene Signal mit einem Korrelator ausgewertet wird. So kann die spektrale Energiedichte ohne Änderung der Sendespannung verringert werden.

[0009] Die DE 103 23 030 A1 zeigt einen kapazitiven Sensor mit mehreren Sendeelektroden und mindestens einer Empfangselektrode, wobei die Sendelektroden nacheinander mit einem Rechtecksignal beaufschlagt werden, und der Verschiebungsstrom an der Empfangselektrode gemessen wird. Die Auswertung erfolgt mit einem getakteten Gleichrichter (Synchrongleichrichter).

[0010] Die Sendeelektroden werden codiert bzw. zeitlich nacheinander angetrieben und mit einer selektiven Erkennungsschaltung voneinander unterschieden.

[0011] Die DE 10 2012 015 423 A1 und B4 offenbaren einen kapazitiven Sensor mit einer Sendelektrode, einer Kompensationselektrode, ein oder zwei Empfangselektroden, sowie ein dafür geeignetes Auswerteverfahren. Hier wird vorgeschlagen, mit einer ersten Sendeelektrode eine festgelegte Codefolge (Codesignal) und mit einer zweiten Sendelektrode, der Kompensationselektrode, eine inverse Codefolge auszusenden, wobei die Kompensationselektrode in bekannter Weise auf die Empfangselektrode einwirkt, und die Übertragungsstrecke der ersten Sendeelektrode von einem Messobjekt beeinflusst wird.

[0012] Eine Verarbeitungseinheit korreliert die Codes, bestimmt den wahrscheinlichsten Code und dessen Wahrscheinlichkeit. Die Sendeleistung der Kompensationselektrode wird so geregelt, dass die Detektionswahrscheinlichkeit der inversen Codefolge Null ist, wobei das Sendesignal der Kompensationselektrode als Messwert für die Übertragungsstrecke dient.

[0013] Als nachteilig wird die Regelung der Sendeleistung angesehen, weil die verwendeten Logikbausteine für feste Spannungen, z. B. den TTL-Pegel von 5V ausgelegt sind. Ein weiterer Nachteil wird darin gesehen, dass zum Antreiben der Kompensationselektrode ein weiteres, d.h. zusätzliches Speisesignal erzeugt und demoduliert werden muss.

[0014] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen kostengünstigen kapazitiven Sensor, sowie ein Auswerteverfahren anzugeben, der diese Nachteile nicht aufweist.

[0015] Diese Aufgabe wird mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhaftere Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0016] Der wesentliche Erfindungsgedanke besteht darin, mit zwei unterschiedlichen Codes zu senden, die beiden Empfangssignale aber mit demselben Code zu demodulieren. Je mehr sich ein Sendecode vom Demodulationscode unterscheidet, umso ge-

ringer wird der Beitrag des jeweiligen Sendesignals am Empfangssignal. Damit ist eine Steuerung der Signalanteile der jeweiligen Sendelektrode am Empfangssignal möglich, ohne diese zeitlich zu trennen oder mit Hilfe von zwei Empfängern mit unterschiedlichen Demodulationscodes auszuwerten. Unter Ausnutzung dieses Umstandes kann man die Regelung der Sendeleistung durch eine Codeänderung ersetzen.

[0017] In einer vorteilhaften Ausgestaltung entspricht der Demodulationscode einem der Sendecodes. In einer weiteren Ausgestaltung ist der zweite Sendecode so gewählt, dass die Spektralanteile die gleichen wie beim ersten Sendecode sind, lediglich die Anzahl der gesendeten Taktflanken pro Zeiteinheit (Sendeenergie) abnimmt. Dabei weisen die Sendesignale E1 und E2 die gleichen Spektralanteile, aber mit unterschiedlicher Verteilung auf.

[0018] Bei kapazitiven Sensoren wird die Sendelektrode oftmals mit einem Rechtecksignal gespeist. Dies ermöglicht im Gegensatz zu Sinussignalen eine einfache Erzeugung des Speisesignals mit digitalen Bauelementen und damit eine einfache Anwendung von den in der DE 10 2007 041 646 A1 beschriebenen digitalen Codierv Verfahren.

[0019] Dabei wird die Elektrode mit jeder Taktflanke umgeladenen, wobei sich das Potential um den vollen Spannungshub, z.B. um den Betrag der Betriebsspannung ändert. Eine positive Taktflanke erzeugt einen positiven Stromimpuls und eine negative Taktflanke einen negativen Stromimpuls. Pro Stromimpuls wird die Ladungsmenge $Q=C \cdot U$ bewegt. Nach entsprechender Synchrongleichrichtung und Tiefpassfilterung ergibt sich ein konstanter Sensorstrom, der vom Spannungshub an der Sendelektrode, der Anzahl der Taktflanken pro Zeiteinheit und natürlich von der Sensorkapazität abhängt. Im Gegensatz dazu ist die Steuerung der Sendeleistung durch Amplituden- bzw. Spannungskontrolle verhältnismäßig aufwändig. Die Steuerung über die Flankenanzahl ist dagegen sehr einfach und nach wie vor mit digitalen Bausteinen realisierbar. Da die Sensorcharakteristik und insbesondere die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) des Systems vom verwendeten Spektrum abhängig sind, ist eine einfache Steuerung der Sendeleistung durch Anpassung der Speisefrequenz nur bedingt zielführend.

[0020] Bereits heute kommen Codierv Verfahren mit deterministischen Spreizsequenzen zum Einsatz. Dadurch kann die spektrale Verteilung der Signalenergie kontrolliert und die Sensor- und EMV-Eigenschaften des Systems optimal eingestellt werden.

[0021] Bei der Steuerung der Sendeleistung einzelner Elektroden ist es deshalb vorteilhaft, das Spek-

trum, oder zumindest die verwendeten Anteile beizubehalten.

[0022] Durch die Reduktion der Anzahl der Sendeflanken kann ein Signal mit reduzierter Sendeenergie erzeugt werden, das trotzdem den vollen Spannungshub an der Sendelektrode aufweist und keine Signalanteile enthält, die nicht demoduliert werden und potentielle Störsignalanteile darstellen würden.

[0023] Der Modulator 4 und vor allem auch die Sender können dadurch mit preiswerten Logikbausteinen wie den vier XOR-Gatter enthaltenden 74HCT86 bestückt werden.

[0024] Kapazitive Näherungsschalter werden typischerweise applikationsspezifisch eingestellt. Dabei wird der Schalterpunkt auf einen Referenzzustand abgeglichen, bei dem der Sensor am Ausgang schalten soll.

[0025] Da das sensorische Verhalten insbesondere im Zusammenhang mit einem binären Schaltengang im Schalterpunkt relevant ist, kann das Verhältnis der Anteile der beiden Sendelektroden bzw. die Sendeleistung der zweiten Sendelektrode durch das zweite Codesignal ebenso auf den Referenzzustand abgeglichen werden.

[0026] In einer besonderen Ausgestaltung wird der Anteil der zweiten Sendelektrode direkt von der Schalterpunkteinstellung abgeleitet. Dabei kann der Anteil der zweiten Sendelektrode linear mit der Schalterpunkteinstellung zu- oder auch abnehmen.

[0027] Somit wird eine Möglichkeit eröffnet, verschiedene Elektroden so zu steuern, dass ein optimaler Erfassungsbereich für das Target entsteht.

[0028] Ein weiterer Vorteil besteht darin, die Empfindlichkeit des Elektrodensystems auf die unterschiedlichen Effekte für den Kunden einstellbar zu machen.

[0029] Darüber hinaus kann die Auswirkung von Umgebungseinflüssen wie Temperaturschwankungen oder Elektrodenverschmutzung vermindert werden.

[0030] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert.

[0031] Es zeigen schematisch:

Fig. 1 zeigt eine erste erfindungsgemäße Messanordnung mit XOR-Gattern,

Fig. 2 zeigt eine zweite erfindungsgemäße Messanordnung mit einem AND-Gatter,

Fig. 3 zeigt ein Impulsdiagramm mit den Codes und den Signalen an den Elektroden,

Fig. 4 zeigt eine dritte erfindungsgemäße Messanordnung mit Chopper-Umtastung,

Fig. 5 zeigt eine erste Elektrodenanordnung zur Durchführung des Messverfahrens,

Fig. 6 zeigt eine zweite Elektrodenanordnung zur Durchführung des Messverfahrens.

[0032] Bei der nachfolgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder vergleichbare Komponenten.

[0033] **Fig. 1** zeigt eine erfindungsgemäße Messanordnung mit einer ersten Sendelektrode (Hauptelektrode) **1** und einer zweiten Sendelektrode (Zusatzelektrode) **2**, die beide von einem Modulator **4** angetrieben werden, der von einem Codegenerator **3** ein Taktsignal **CLK** und zwei Codesignale **C1** und **C2** erhält.

[0034] Der Modulator **4** enthält vier miteinander verknüpfte Exklusiv-ODER-Gatter (XOR), oder auch Antivalenzglieder, wobei XOR bedeutet, dass an genau einem Eingang ein High-Pegel anliegen muss, damit der Ausgang ebenfalls den High-Pegel führt. Anders ausgedrückt, wird das Taktsignal beim High-Pegel des Codesignals invertiert und beim Low-Pegel des Codesignals nichtinvertiert ausgegeben. Bei flanken synchronen Signalen wird also mit jeder Codeflanke eine Sendeflanke unterdrückt. Signaltheoretisch betrachtet entspricht dies einer Multiplikation oder Modulation des Sendetakts mit dem Codesignal.

[0035] Da der Modulator **4** eine reine Logikfunktion darstellt, können die Signale auch ganz oder teilweise in einem Mikrokontroller oder einem programmierbaren Logikbaustein erzeugt werden, wobei der Modulator **4** zur Entlastung des Mikrocontrollers und zur Verbesserung der Signalführung dient. Der Modulator **4** kann also diskret, oder auch vollständig oder nur teilweise als digitaler Logikbaustein, beispielsweise als Complex Programmable Logic Device (CLPD) ausgeführt sein.

[0036] Wie in der **Fig. 3** gezeigt wird, wandelt der Modulator **4** die Codes **C1** und **C2** in zwei takt-synchrone rechteckförmige Sendesignale **E1** und **E2** um. Diese erzeugen einen hochfrequenten Verschiebungsstrom mit ihrer Umgebung, die hier als Funktionserde wirkt. Von der Funktionserde fließt der Strom dann über einen Koppelkondensator und einen Synchrondemodulator **6** in einen Strom-Spannungs-Wandler **7**, der mit dem Codegenerator **3** über die Gerätemasse einem Stromkreis bildet. Anschließend wird das Signal in bekannter Weise gefiltert und schließlich digitalisiert.

[0037] Die Sendeleistung der beiden Elektroden **1** und **2** wird erfindungsgemäß mit Hilfe der Codes **1** und **2** geregelt, indem mit zwei ähnlichen Codes gesendet wird, aber beide Empfangssignale mit demselben Signal, vorzugsweise mit dem der Hauptelektrode **1** demoduliert werden.

[0038] Alternativ kann, wie in der **Fig. 4** gezeigt, mit einem dritten Code **C3**, oder mit einem auf **C3** basierende Demodulationssignal **E3** demoduliert werden.

[0039] Auf diese Weise wird die schaltungstechnisch aufwändige Amplitudenregelung durch die unterschiedlichen Korrelationskoeffizienten, also durch Software ersetzt und auf Grund der Eigenschaften der Codes ein zweiter Demodulator vermieden.

[0040] Zusätzlich zu den Codesignalen erfolgt eine weitere Modulation des Sendesignals mit einem niederfrequenten Chopper-Signal (**NF**) von beispielsweise 500 Hz. Durch diese verhältnismäßig kleine Frequenz ist die Auswirkung auf die spektrale Verteilung in der Praxis unerheblich. Allerdings werden die von Chopper-Verstärkern bekannten Vorteile genutzt. Insbesondere kann das Empfangssignal in den zwei NF-Phasen unabhängig voneinander betrachtet werden, wobei durch Differenzbildung ein Gleichanteil oder Offset in bekannter Weise ausgelöscht wird. Das ist vorteilhaft, da sich parasitär abgestrahlte Signalanteile nur von der Leitung zwischen Modulator und Elektrode auf die Signalauswertung auswirken können. Deshalb sind die XOR-Gatter in einer vorteilhaften Ausgestaltung nahe an den Sendelektroden **1** und **2** zu platzieren.

[0041] Neben den oben genannten Baugruppen enthält die Auswerteeinheit **5** ein Tiefpass-Filter **8** zur Erzeugung eines analogen Ausgangssignals, und einen Analog-Digital-Wandler **9** zur Erzeugung eines digital verarbeitbaren Ausgangssignals, wobei dem Fachmann geläufige Baugruppen zur besseren Übersicht weggelassen wurden.

[0042] Es sei noch angemerkt, dass die Auswerteeinheit **5** an Stelle des mit Funktionserde verbundenen Koppelkondensators auch eine Empfangselektrode aufweisen kann.

[0043] **Fig. 2** zeigt eine ähnliche Messanordnung wie **Fig. 1**. Es wurde lediglich ein XOR-Gatter durch ein UND (AND)-Gatter ersetzt, was die Schaltung vereinfacht, und außerdem eine Maskierung des Sendesignals **E2** der zweiten Sendelektrode **2** ermöglicht, indem ein weiteres Signal an den zweiten Eingang des UND Gatters gelegt wird.

[0044] **Fig. 3** zeigt das Impulsdiagramm einer erfindungsgemäßen Messanordnung. In der obersten Reihe ist das rechteckförmige Taktsignal **CLK** dargestellt. Darunter sieht man den ersten Code **C1** und

in der dritten Reihe den Code **C2**. Die beiden Codes sind unterschiedlich, aber nicht orthogonal. Die beiden unteren Reihen zeigen die Sendesignale **E1** und **E2** an den Elektroden **1** und **2**. Die Signale entstehen durch eine XOR-Verknüpfung des Taktsignals **CLK** mit einem der Codes **C1** oder **C2**, was mathematisch einer Multiplikation oder signaltheoretisch einer Modulation entspricht.

[0045] Fig. 4 zeigt eine Messanordnung mit einem Chopper **4**, wobei die Sendelektroden **1** und **2** im Choppertakt (**NF**) umgeschaltet werden. Die Demodulation erfolgt mit einem auf einem dritten Codesignal **C3** basierenden Demodulationssignal **E3**, das unterschiedlich mit den beiden Sendesignalen **E1** und **E2** korreliert, so dass die Empfindlichkeit auch hier durch Variation der Codesignale einstellbar ist.

[0046] Fig. 5 zeigt eine auf einer doppelseitigen Leiterplatte angeordnete kreisförmige Hauptelektrode **1** mit einer ringförmigen Zusatzelektrode **2** und einer Rückelektrode **R** auf der Rückseite. So wird eine rotationssymmetrische, gegen rückseitige Störer weitgehend unempfindliche Richtcharakteristik erreicht

[0047] Fig. 6 zeigt eine Elektrodenanordnung mit ortsauflösenden Eigenschaften, wobei die Hauptelektrode keilförmig in eine rechteckige Zusatzelektrode **2** hineinragt.

Bezugszeichenliste

1	Erste Sendelektrode (Hauptelektrode)
2	Zweite Sendelektrode (Kompensationselektrode, Zusatzelektrode)
3	Codegenerator
4	Modulator oder auch Chopper
5	Auswerteeinheit
6	Synchrondemodulator
7	Strom-Spannungs-Wandler
8	Filter
9	Analog-Digital-Wandler
C1	Erstes Codesignal (erster Code)
C2	Zweites Codesignal (zweiter Code) für die Kompensationselektrode
C3	Drittes Codesignal (Demodulationscode)
CLK	Taktsignal
E1	Sendesignal der ersten Elektrode (erstes Rechtecksignal)
E2	Sendesignal der zweiten Elektrode (zweites Rechtecksignal)
E3	Drittes Signal, Demodulationssignal (drittes Rechtecksignal)

NF Niederfrequentes Chopper-Signal, Choppertakt

R Rückseitige Elektrode

Patentansprüche

1. Kapazitiver Sensor mit einer ersten Sendelektrode (1) und einer zweiten Sendelektrode (2), einem Codegenerator (3) und einem Modulator (4) zur Erzeugung von zwei rechteckförmigen Sendesignalen (E1, E2), sowie einer Auswerteeinheit (5) mit einem Synchrondemodulator (6), wobei die Sendelektroden (1, 2) mit den rechteckförmigen Sendesignalen (E1, E2) angetrieben, und die Empfangssignale mit ein und demselben rechteckförmigen Signal (E1, E2, E3) synchron demoduliert werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sendesignale (E1, E2) mit zwei unterschiedlichen, nicht orthogonalen Codes (C1, C2) moduliert gesendet werden, wobei die Sendesignale (E1, E2) den vollen Spannungshub aufweisen, und die Empfangssignale mit einem der Sendesignale (E1, E2) oder einem Signal (E3) demoduliert werden, wobei das Signal (E3) unterschiedlich mit den Sendesignalen (E1, E2) korreliert und die Empfindlichkeit des Elektrodensystems durch Variation der Codesignale (C1, C2, C3) einstellbar ist, wobei die Sendelektroden (1, 2) mit einem Chopper (4) im Choppertakt (NF) umgeschaltet werden können.

2. Kapazitiver Sensor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die rechteckförmigen Sendesignale (E1, E2) die gleichen Spektralanteile aufweisen, wobei das Verhältnis der Sendeleistung an den Sendelektroden (1, 2) durch das Verhältnis der Sendeflanken der Sendesignale (E1, E2) eingestellt wird, wobei die Anzahl der gesendeten Taktflanken pro Zeiteinheit unterschiedlich ist.

3. Kapazitiver Sensor nach einem der vorigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet** dass zusätzlich zu den einem Codesignalen (C1, C2, C3) eine weitere Modulation der Sendesignale (E1, E2) mit niederfrequenten Chopper-Signal (NF) erfolgt, wobei durch Differenzbildung ein Gleichanteil oder Offset gelöscht wird.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

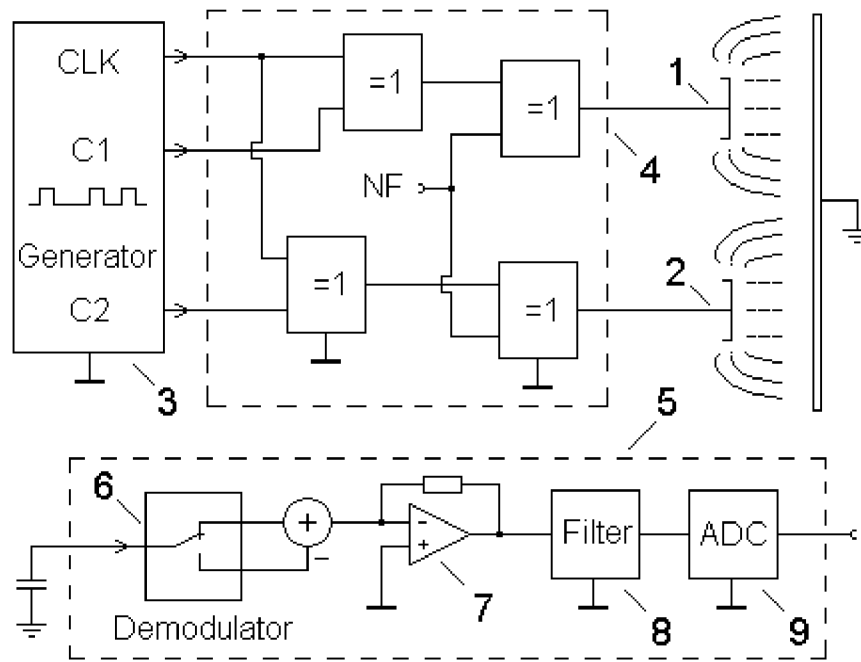


Fig. 1

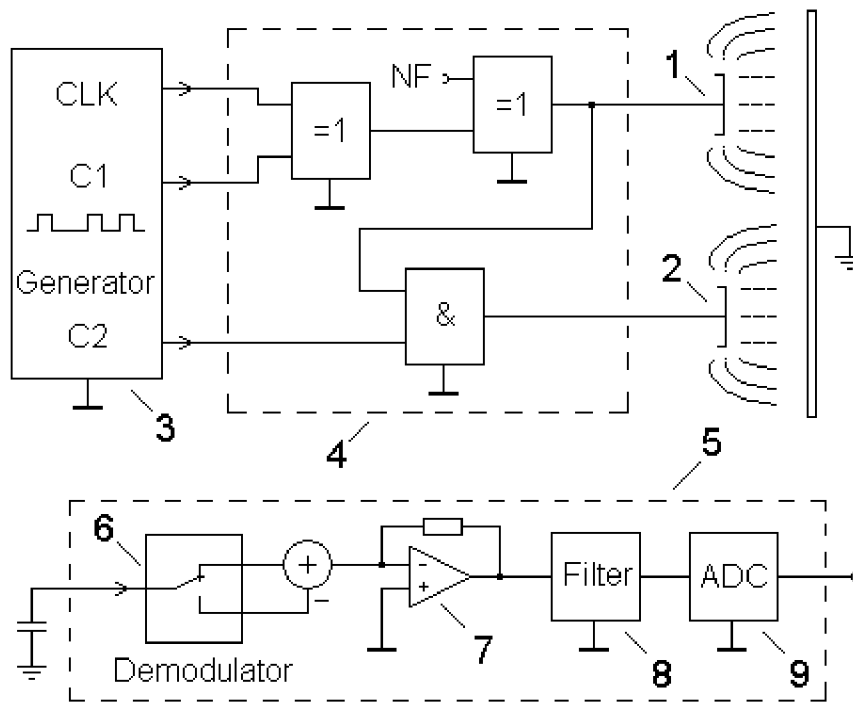


Fig. 2

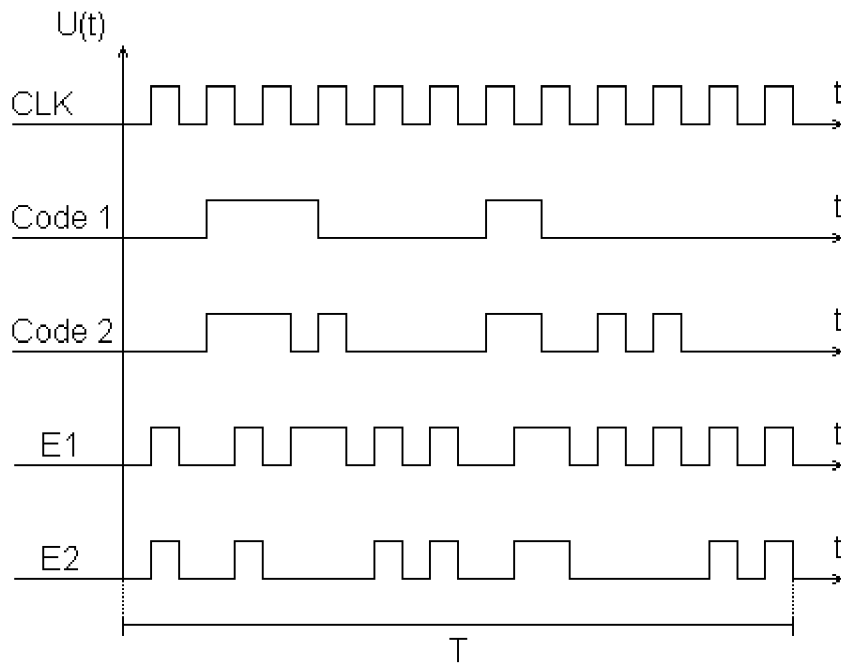


Fig. 3

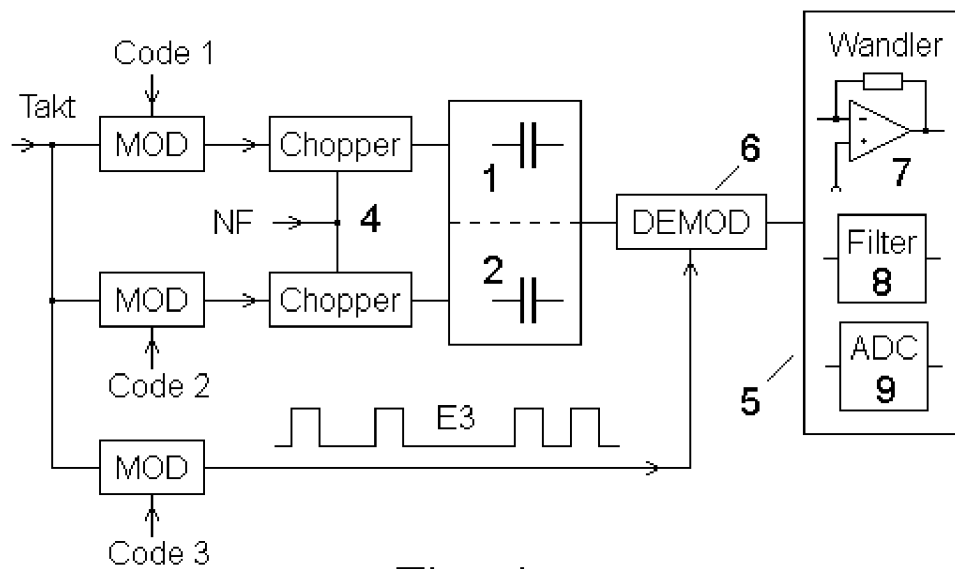


Fig. 4

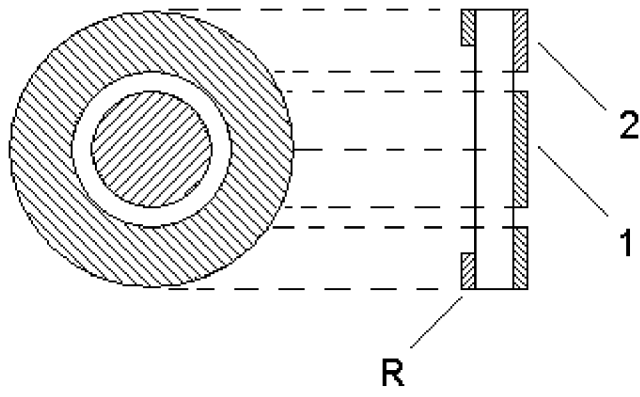


Fig. 5

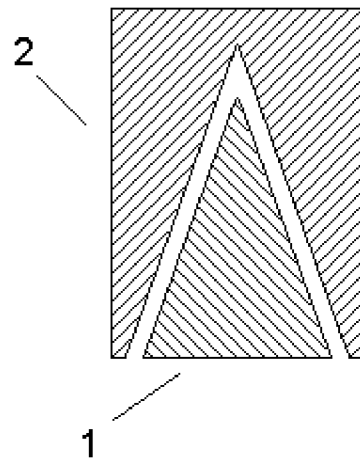


Fig. 6