



(10) **DE 10 2006 020 301 B4** 2014.07.31

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2006 020 301.1**
 (22) Anmeldetag: **03.05.2006**
 (43) Offenlegungstag: **09.11.2006**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **31.07.2014**

(51) Int Cl.: **G01R 27/26 (2006.01)**
G01D 5/24 (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).

(66) Innere Priorität:
10 2005 021 215.8 07.05.2005

(73) Patentinhaber:
acam-messelectronic gmbh, 76297, Stutensee, DE

(74) Vertreter:
LICHTI Patentanwälte, 76227, Karlsruhe, DE

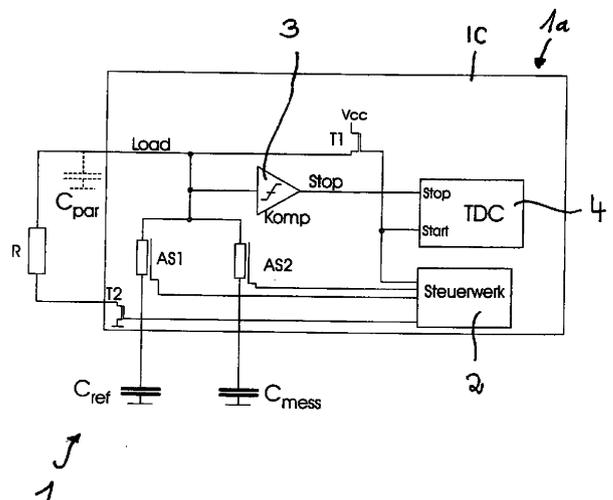
(72) Erfinder:
Braun, Augustin, 76689, Karlsdorf-Neuthard, DE;
Bohmüller, Friedrich, 76199, Karlsruhe, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	195 24 387	C1
DE	36 39 070	A1
DE	103 42 472	A1
DE	42 22 788	A1
US	4 558 274	A

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Messen von Kapazitäten**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Kapazitätsbestimmung, wobei eine bekannte Referenzkapazität (C_{ref}) und eine zu bestimmende unbekannte Messkapazität (C_{mess}) in einem Messnetzwerk aufgeladen und entladen werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazitäten über einen einzigen Widerstand (R) entladen werden, und dass zeitlich nacheinander Auf- oder Entladezeiten von Referenzkapazität (C_{ref}) und Messkapazität (C_{mess}) der Schaltung bis bzw. ab einem vorgegebenen Spannungswert gemessen werden, wobei in einem Messschritt die Auf- bzw. Entladezeiten sämtlicher Kapazitäten (C_{ref} , C_{mess} , C_{par}) gemeinsam gemessen werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kapazitätsmessung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine Vorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 12.

[0002] Kapazitive Sensoren weisen, je nach dem Zustand des zu messenden Parameters, unterschiedliche unbekannte Kapazitäten auf, die zur Gewinnung der genannten Parameter zu bestimmen sind. Derartige kapazitive Sensoren sind beispielsweise Drucksensoren, Feuchtesensoren, Neigungssensoren oder dergleichen, die in der Messtechnik weit verbreitet sind.

[0003] Bei der Sensorik mit kapazitiven Sensoren sind die Kapazitäten der Sensoren in der Regel sehr klein und liegen in der Größenordnung von parasitären oder Störkapazitäten des Messnetzwerkes, wie Leitungskapazitäten, Anschlusskapazitäten angeschlossener ICs, sowie sonstigen Kapazitäten elektronischer Teile im Messnetzwerk, zumindest sind derartige parasitäre Kapazitäten im Hinblick auf die geringen Kapazitäten der kapazitiven Sensoren nicht vernachlässigbar, da sie ebenfalls im Pico-Farad-Bereich der Messkapazität liegen und darüber hinaus einen nicht unerheblichen Temperaturgang aufweisen, was zu temperaturabhängigen Messfehlern, insbesondere zu einem Span-Fehler führt.

[0004] Weiterhin wird bei Messanordnungen mit kapazitiven Sensoren im Hochtemperaturbereich von mehreren hundert Grad Celsius, bei denen die Mess- und Referenzkapazität sich durchaus noch temperaturstabil auslegen lassen, zur Vermeidung einer Überhitzung der Elektronik diese über ein Kabel abgesetzt betrieben. Dieses Kabel, in aller Regel ein Koaxialkabel, hat eine erhebliche Eigenkapazität (z. B. 60 pF/m), welche häufig größer als die Mess- und Referenzkapazität selbst ist. Es entstehen erhebliche Grain und Offsetfehler, die schnell in einen nicht mehr tolerablen Bereich kommen können.

[0005] Aus der Praxis ist es bekannt, solche parasitären Kapazitäten dadurch zu unterdrücken, dass das Sensorsignal des Innenleiters des jeweiligen Koaxialkabels mit einem Verstärker mit der Verstärkung +1 abgekoppelt und dieses Signal auf den Schirm des Koaxialkabels gelegt wird. Damit befindet sich der Schirm des Koaxialkabels auf dem gleichen Potential wie der Innenleiter. Da es keine Potentialdifferenz gibt, fließt im Idealfall auch kein Strom in den parasitären Kondensator und es kommt zu keiner Messwertverfälschung. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass mehrere Analogverstärker benötigt werden und dass diese Analogverstärker auch eine recht gute Qualität haben müssen, da es ansonsten durch Phasenverschiebungen in den Analogverstärkern und durch dessen Rauschen zu zusätzlichen Fehlern kommen kann, welche die Kompensationswirkung dieses Verfahrens empfindlich beeinflussen können.

[0006] Die gattungsgemäße DE 36 39 070 A1 zeigt eine Schaltung mit einem Schalter, der zwischen einer Referenz- und einer unbekanntem zu messenden Messkapazität hin- und herschaltbar ist, mit einem Messgrößenwandler und einem Mikroprozessor. Der Messgrößenwandler wandelt Kapazitätswerte der Kondensatoren in jeweils eine Signalschwingung um, deren Frequenz vom Mikroprozessor oder einem zwischengeschalteten Impulszähler bestimmt wird. Der Mikroprozessor setzt dann die gemessenen Frequenzen zur Bestimmung des Verhältnisses der Kapazitäten ins Verhältnis. Auch steuert er die Umschaltung des Schalters mit einer um Größenordnung kleineren Frequenz als die mittlere Frequenz der gemessenen Signalschwingungen. Die Frequenzbestimmung erfolgt durch Auszählen der Perioden in einem der jeweiligen Einschaltdauer entsprechenden festgelegten Zeitraum.

[0007] Die Druckschrift befasst sich lediglich mit der Bestimmung einer unbekanntem Kapazität eines Kondensators. Die eingangs angesprochene Problematik von Streukapazitäten erkennt sie nicht einmal. Diese gehen in die jeweilige Kapazitätsmessung der Referenz- bzw. Messkapazität ein und führen damit zu einer Verfälschung des Verhältnisses, wobei der Fehler insbesondere desto größer ist, je mehr Größenordnung von Referenz- und/oder Messkapazität mit den Störkapazitäten übereinstimmen.

[0008] Die DE 103 42 472 A1 beschreibt eine Anordnung zum Testen einer Mehrzahl von Kapazitäten umfassenden Kapazitätäufeldes in einer integrierten Schaltung, mit einer Leistungsversorgung, einem von der Leistungsversorgung gespeisten Mittel zum zyklischen Auf- und Entladen einer der Kapazitäten, wobei die Zyklusfrequenz von dem Wert der Kapazität abhängig ist und einem Mittel zum Messen der Zyklusfrequenz oder einer von dieser beeinflussten Größe, wobei in der Druckschrift als von der Zyklusfrequenz beeinflussteste Größe lediglich der Zählwert beim Auszählen von Schwingungen während einer bestimmten Zeitdauer offenbart ist. Insofern entspricht diese Druckschrift der vorgenannten. Abweichend hiervon arbeitet der Gegenstand der DE 103 42 472 A1 nicht mit einem Referenzkondensator, der wechselweise mit den zu untersuchenden Kondensatoren sowohl der Kapazitäten mit der Messschaltung verbunden wird, sondern mit einem abgespei-

cherten Soll-Zellwert, über dessen Bestimmung nichts gesagt ist. Insofern sind hier auch keine Zeitmessung und kein Zeitmesser vorgesehen.

[0009] Aus der US 4,558,274 A ist ein Messverfahren bekannt, bei welchem eine bekannte Referenzkapazität und eine unbekannte Messkapazität über einen Widerstand aufgeladen und entladen werden. Die Aufladezeiten der Kapazitäten werden bis zu einem vorgegebenen Spannungswert gemessen. Dazu wird ein Komparator mit einem Referenzspannungswert verwendet.

[0010] Aus der DE 195 24 387 C1 ist ein Kapazitätsmessverfahren bekannt, bei welchem in einem Messschritt die Auf- bzw. Entladezeiten der parasitären Störkapazität allein gemessen wird.

[0011] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, unter Vermeidung der vorgenannten Nachteile ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen der Kapazitäten von kapazitiven Sensoren zu schaffen, bei dem unter Ausschluss von parasitären Kapazitäten mit geringem Aufwand hohe Messraten bei Messungen mit kleinen Betriebsströmen möglich sind.

[0012] Erfindungsgemäß wird die genannte Aufgabe mit einem Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, welches die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 aufweist.

[0013] Zur Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe sieht die Erfindung weiterhin eine gattungsgemäße Vorrichtung mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 12 vor.

[0014] Durch das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung ist es möglich, die jeweilige zu messende Kapazität des kapazitiven Sensors mit hoher Genauigkeit zu bestimmen, da durch das erfindungsgemäße Vorgehen parasitäre Kapazitäten sowie sonstige unbekannte Größen des Messnetzwerks eliminiert werden können. Demgemäß sieht die Erfindung in bevorzugter Ausgestaltung vor, dass die Messergebnisse bzw. aus diesen gewinnbare Werte, insbesondere Auf- und/oder Entladezeiten so in Beziehung gesetzt werden, dass die parasitären Kapazitäten eliminiert werden bzw. dass durch eine Einrichtung zum Inverhältnissetzen von Messergebnissen bzw. aus diesen gemessenen Werten, insbesondere Auf- und/oder Entladezeiten derart, dass die parasitären Kapazitäten eliminiert werden.

[0015] Durch die Kompensation der kapazitiven Kapazitäten lässt sich die Genauigkeit der Messung der interessierenden eigentlich zu bestimmenden Messungskapazität wesentlich erhöhen, gegenüber bekannten Verfahren hinsichtlich des Verstärkungsfehlers um einen Faktor von mehr als 5, hinsichtlich der Nullpunktdrift um einen Faktor von mehr als 10.

[0016] Durch die Erfindung werden insbesondere auch analoge Verstärker mit ihren Nachteilen bei Hochtemperaturmessungen vermieden.

[0017] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ist vorgesehen, dass das zum Messen der Auf- oder Entladezeiten erforderliche Bestimmen des Über- bzw. Unterschreitens eines bestimmten Spannungswertes mittels eines Komparators, der vorzugsweise ein Schmitt-Trigger ist, erfolgt.

[0018] Während, insbesondere beim Messen von Entladezeiten das Aufladen bei mit Masse verbundenem Widerstand erfolgen kann, sieht eine bevorzugte Ausgestaltung vor, dass das Aufladen der Kapazitäten bei von Masse getrenntem Widerstand erfolgt. Durch diese Ausgestaltung wird erreicht, dass während der Aufladung der Kondensatoren keine (nicht notwendigen) Ströme durch den Widerstand fließen. Die hierdurch bedingte Stromersparnis ist insbesondere deswegen interessant, weil ein, bei Nichtvorhandensein des Schalters, fließender parasitärer Strom durch den Widerstand während der Aufladung bei kleinen Messraten der größte Verbraucher wäre. Durch die vorstehend genannte bevorzugte Ausgestaltung können bei sehr kleinen Messraten, wie unter 20 Hz, sehr kleine Betriebsströme im unteren μA -Bereich, wie kleiner als $10 \mu\text{A}$, erreicht werden. Hierdurch ist es möglich, die erfindungsgemäße Vorrichtung mit Solarzellen zu speisen und das erfindungsgemäße Verfahren unter Solarzellenspeisung durchzuführen. Aber auch wenn im genannten Fall das Aufladen bei an Masse liegendem Widerstand erfolgt, hat dies keinerlei Auswirkungen auf die Messqualität.

[0019] In bevorzugter Ausgestaltung werden die Schalter durch ein Steuerwerk, wie einen Analogmultiplexer, geschaltet, während die Zeitmessung mittels eines Zeit-Digital-Wandlers (Time Digital Converter = TDC) erfolgt. Der Einsatz eines solchen Zeitmessers ermöglicht eine gegenüber herkömmlichen bekannten Zeitmessungen um einen Faktor 100 bis 1000 höhere Zeitauflösung, so dass auch die Messfrequenz beispielsweise mehr als 0,5 kHz, vorzugsweise mehr als 10 kHz, beträgt, wobei sich Messfrequenzen bis in einen Bereich von

etwa 50 kHz und mehr realisieren und damit schnelle Messungen erreichen lassen, was für einige Anwendungen, wie beispielsweise Drucksensoren, höchst interessant ist.

[0020] Darüber hinaus müsste bei anderen Zeitmessern als TDC, da die dort die eigentliche Messzeit um einen Faktor um 100 bis 1000 höher sein müsste, auch der Widerstand um diesen Faktor erhöht werden, während der Widerstand bei dem Verfahren nach der Erfindung in einer Größenordnung von 50 kOhm, vorzugsweise weniger als 50 kOhm liegen kann. Demgegenüber läge er bei einer anderen Zählerlösung, demgemäß bei 5 bis 50 MOhm. Damit wäre eine solche anderweitige Messanordnung sehr hochohmig und es ergäbe sich eine wesentlich höhere Problematik parasitärer Widerstände, wie durch Verschmutzung. Darüber hinaus wäre auch die EMV-Problematik ungleich höher als bei der erfindungsgemäßen Lösung mit einem TDC als Zeitmesser.

[0021] Die erfindungsgemäße Vorrichtung sieht einen Schalter zum Trennen und Verbinden des Widerstandes mit und von der der Spannungsquelle abgewandten Seite der Kapazitäten vor. Aufgrund der erörterten erfindungsgemäßen Schaltung kann dieser in einem integrierten Schaltkreis (IC) integriert sein.

[0022] Gemäß den durch das Verfahren vorgegebenen Möglichkeiten ist in Weiterbildung der erfindungsgemäßen Schaltung vorgesehen, dass der Widerstand mindestens 1 kOhm, vorzugsweise mehr als 10 kOhm beträgt. Die mit der erfindungsgemäßen Schaltung einsetzbaren kapazitiven Sensoren weisen kleine Kapazitäten, wie im Bereich von 5 bis 50 pF, auf. Insofern ist es zur Vermeidung zusätzlicher Störungen und zur Erhöhung der EMV-Festigkeit vorteilhaft, dass die Kapazitäten und der Widerstand gegen Masse geschaltet sind.

[0023] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und aus der nachfolgenden Beschreibung, in der ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung im Einzelnen erläutert ist. Dabei zeigt:

[0024] Fig. 1 ein schematisches Schaltbild einer ersten bevorzugten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung; und

[0025] Fig. 2 ein schematisches Schaltbild einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

[0026] Die erfindungsgemäße Vorrichtung **1** weist eine Schaltung **1a** in Form eines IC mit einer Spannungsquelle V_{cc} auf, die über einen ersten (elektronischen) Schalter T1 (Transistorschalter) mit einer Messkapazität C_{mess} eines kapazitiven Sensors, wie eines Drucksensors, eines Feuchtesensors, Neigungssensors oder dergleichen, einer Referenzkapazität C_{ref} und einen Widerstand R, die sämtlich parallel angeordnet sind, verbindbar ist, die mit ihrer der Spannungsquelle V_{cc} abgewandten Seite jeweils auf Masse liegen. Der Messkapazität C_{mess} und der Referenzkapazität C_{ref} ist jeweils ein Analogschalter AS1, AS2 zugeordnet. Der Widerstand R ist über einen Schalter T2 schaltbar.

[0027] Der Schalter T2 ist für die eigentliche Messfunktion nicht notwendig. Er könnte auch entfallen. Seine Aufgabe ist es lediglich, während der Aufladung der Kapazitäten keine (nicht notwendigen) Ströme durch den Widerstand fließen zu lassen. Hierdurch wird eine Stromersparnis erzielt, was äußerst von Vorteil ist, da der parasitäre Strom durch den Widerstand während der Aufladung bei kleinen Messraten der größte Verbraucher wäre. Hierdurch ist auch möglich, bei kleinen Messraten, wie < 20 Hz, sehr kleine Betriebsströme im unteren Mikrometerbereich, wie $< 10 \mu$ zu realisieren und damit z. B. eine Solarzellentauglichkeit des Messsystems zu erreichen. Negative Auswirkungen auf die Messqualität hat die Weglassung des Schalters T2 nicht.

[0028] Zum Schalten der genannten Schalter T1, T2, AS1, AS2 ist ein Steuerwerk **2** vorgesehen. Lade- bzw. Entladeschwellen werden durch einen Komparator **3** (gegenüber einem Referenzwert) erfasst und der Beginn und das Ende des Ladevorganges bzw. vorzugsweise des Entladevorganges und damit die Lade- bzw. vorzugsweise Entladezeit durch einen TDC **4** bestimmt (TDC = time digital converter bzw. Zeit-Digital-Wandler).

[0029] Störkapazitäten bzw. parasitäre Kapazitäten des Messnetzwerks, wie aufgrund von Zuleitungskapazitäten, Eingangskapazitäten des Komparators **3** und der Analogschalter wie auch des Verbindungskabels zur Sensorkapazität C_{mess} sind durch eine parasitäre Kapazität C_{par} , die gestrichelt dargestellt ist, erfasst.

[0030] Die Anordnung aus Steuerwerk **2**, TDC **4**, Komparator **3**, Schaltern T1, T2, AS1, AS2 und Spannungsquelle für das Messnetzwerk können in einem integrierten Schaltkreis IC sein, aus denen die Zuleitungen zu den Kapazitäten C_{mess} , C_{ref} sowie dem Entladewiderstand R herausgeführt sind.

[0031] Während grundsätzlich die Aufladung der Widerstände und die Aufladezeiten zur Bestimmung der zu messenden Kapazität C_{mess} des Sensors messbar sind, werden vorzugsweise die Entladezeiten gemessen. Demgemäß sieht eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens folgende Messvorgänge vor:

Einzelmessung 1

[0032] Zunächst wird der Schalter T1 der Spannungsquelle V_{cc} und der Anlogschalter AS1 geschlossen, wobei der Schalter T2 des Widerstands R ebenso wie der Schalter AS2 geöffnet sind. Hierdurch wird die Referenzkapazität auf die Betriebsspannung der Spannungsquelle V_{cc} aufgeladen.

[0033] Anschließend wird der Schalter T2 geschlossen und der Schalter T1 hochohmig geschaltet (also geöffnet), so dass eine Entladung der Referenzkapazität C_{ref} über den Widerstand R einsetzt. Mit diesem Schaltvorgang wird die Zeitmessung des TDCs gestartet.

[0034] Die Referenzkapazität C_{ref} wird über den Widerstand R und den Anlogschalter AS1 entladen, bis die Kondensatorspannung des Referenzkondensators C_{ref} die Triggerschwelle des Komparators **3** unterschreitet. Hiermit wird die Zeitmessung des TDCs gestoppt. Die gemessene Zeit t_1 ist

$$t_1 = (C_{\text{ref}} + C_{\text{par}}) \cdot R + t_{\text{komp}}, \quad (1)$$

wobei t_{komp} die Laufzeit des Komparators ist.

Einzelmessung 2

[0035] Zunächst wird der Schalter T1 der Spannungsquelle V_{cc} und der Anlogschalter AS2 geschlossen, wobei der Schalter T2 des Widerstands R ebenso wie der Schalter AS1 geöffnet sind. Hierdurch wird die Messkapazität auf die Betriebsspannung der Spannungsquelle V_{cc} aufgeladen.

[0036] Anschließend wird der Schalter T2 geschlossen und der Schalter T1 hochohmig geschaltet (also geöffnet), so dass eine Entladung der Messkapazität C_{mess} über den Widerstand R einsetzt. Mit diesem Schaltvorgang wird die Zeitmessung des TDCs gestartet.

[0037] Die Messkapazität C_{mess} wird über den Widerstand R und den Anlogschalter AS2 entladen, bis die Kondensatorspannung des Messkondensators C_{mess} die Triggerschwelle des Komparators **3** unterschreitet. Hiermit wird die Zeitmessung des TDCs gestoppt. Die gemessene Zeit t_2 ist

$$t_2 = (C_{\text{mess}} + C_{\text{par}}) \cdot R + t_{\text{komp}}. \quad (2)$$

Einzelmessung 3

[0038] In einem weiteren Schritt wird die Zeit des Entladens sämtlicher Kapazitäten C_{par} , C_{ref} und C_{mess} gemessen.

[0039] Die beiden Anlogschalter AS1 und AS2 sind beim Laden der Kapazitäten, also nach dem Schließen des Schalters T1 geschlossen, während, bei vorhandenem Schalter T2, der Schalter T2 geöffnet wird.

[0040] Zum Entladen wird dann der Schalter T1 wieder hochohmig geschaltet, d. h. die Spannungsquelle V_{cc} vom Messnetzwerk getrennt und der Schalter T2 geschlossen. Die Anlogschalter AS1 und AS2 bleiben geschlossen. Es erfolgt damit eine Entladung sämtlicher Kapazitäten C_{par} , C_{mess} , C_{ref} über den Widerstand R, wobei die Zeit durch die Summe der Kapazitäten bestimmt wird. Beim Entladen wird die Zeitmessung des TDCs gestartet. Die Entladung erfolgt wiederum bis zum Unterschreiten der Schwelle des Komparators **3** und die gemessene Zeit ergibt sich zu

$$t'_{12} = (C_{\text{par}} + C_{\text{ref}} + C_{\text{mess}}) \cdot R + t_{\text{comp}}. \quad (5)$$

[0041] Durch Umformung der Messgleichungen ergibt sich wieder das Verhältnis der zu messenden Kapazität zur Referenzkapazität mit

$$C_{\text{mess}}/C_{\text{ref}} = (t_1 - t'_{12})/(t_2 - t'_{12}). \quad (6)$$

[0042] Hinsichtlich des Herauskürzens von Zeitanteil RC der Streukapazität C_{par} und damit der Streukapazität als solcher sowie des Entladewiderstandes R, und der Laufzeit t_{comp} gilt das vorstehend Gesagte.

[0043] Die Fig. 2 zeigt eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung, die insbesondere dort zur Anwendung kommt, wo die parasitären Kapazitäten zwischen der zu messenden Kapazitäten (C_{ref} und C_{mess}) und den Schaltern AS1, AS2 (Fig. 1) nicht vernachlässigt werden können. Dies ist z. B. bei Hochtemperaturanwendungen der Fall wo die Elektronik wegen entsprechend hoher Temperaturen an den Sensoren z. B. über ein Koaxialkabel abgesetzt betrieben werden muss. Auch bei sehr kleinen Mess- und Referenzkapazitäten im unteren Picofarad Bereich kann der dadurch verursachte Fehler so groß werden, dass er nicht mehr vernachlässigt werden kann. Es sind wiederum Referenz- und Messkapazitäten C_{ref} , C_{mess} vorhanden, die demgemäß insbesondere in einem Hochtemperaturbereich anordbar sind. Weiterhin weist die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Schaltungs-Elektronik **1b** auf, die bei der Ausgestaltung der Fig. 2 eine Spannungsquelle V_{cc} , ein Steuerwerk **2** und einen TDC **4** sowie einen diesen mit dem eigentlichen Messnetzwerk **6** verbindenden Komparator **3** aufweist. Die Schaltung ist über einen Lade- Transistor-Schalter T_{load} mit der Spannungsquelle V_{cc} verbindbar bzw. von dieser trennbar. Der Elektronik **1b** ist ein Ladewiderstand R zuordbar, der mittels eines Schalters T_R mit Masse verbindbar und damit in die Messschaltung einschaltbar oder aber von der Masse trennbar und damit aus der Messschaltung herausnehmbar bzw. unwirksam ist.

[0044] Die Referenz- und Messkapazitäten C_{ref} und C_{mess} sind in diesem Falle über Koaxialkabel **11**, **12**, **13**, **14** mit der eigentlichen Messschaltung **6** verbunden. Die Messschaltung besteht im Wesentlichen aus elektronischen Analogschaltern S1, S2, S3, S4 und Transistor-Schaltern T1, T2, T3, T4. Mittels der Transistor-Schalter T1 bis T4 sind die Referenz- und Mess-Kapazität C_{ref} , C_{mess} und über die einzelnen Transistor-Schalter auch die parasitären Kapazitäten C_{S1} , C_{S2} , C_{S3} , C_{S4} der Koaxialkabel **11** bis **14** mit Masse und damit auch mit der Spannungsquelle verbindbar, während die Analogschalter S1, S2, S3, S4 Referenz- und Mess-Kapazität C_{ref} , C_{mess} sowie auch die einzelnen Kapazitäten C_{S1} bis C_{S4} der Koaxialkabel **11** bis **14** über den Komparator **3** mit dem TDC verbindbar sind. Die Steuerung der Schalter S1 bis S4, T1 bis T4 erfolgt über das Steuerwerk **2**, das einen Mikroprozessor aufweist (im Einzelnen nicht dargestellt). Die Steuerleitungen zwischen dem Steuerwerk **2** und den Schaltanschlüssen der Schalter S1, S4, T1, T4 sind aus Gründen der Übersicht nicht im Einzelnen dargestellt. So ist die Zeichnung aber dahingehend zu verstehen, dass vom Schaltanschluss des Schalters S1 eine Steuerleitung zum Anschluss i am Steuerwerk **2** und vom Schaltanschluss (Basis) des Transistor-Schalters T1 eine Steuerleitung zum entsprechenden Anschluss ii des Steuerwerks **2** führt. Entsprechendes gilt für die Steueranschlüsse der anderen Schalter S2 bis S4, T2 bis T4, ohne dass dies im Einzelnen dargestellt ist.

[0045] Die parasitäre Kapazität der eigentlichen Messschaltung **6** ist als Kapazität C_{sg} dargestellt. Diese wird bei sämtlichen Messungen – notwendigerweise – mitgemessen und geht daher in die verschiedenen Zeitbestimmungen ein.

[0046] Zur Auswertung und insbesondere zur Bestimmung der Messkapazität C_{mess} (bei bekannter Referenzkapazität C_{ref}) werden erfindungsgemäß die in der folgenden Tabelle 1 dargestellten Zeitmessungen mittels des TDC **4** durchgeführt:

Messung		S1	S2	T1	T2	S3	S4	T3	T4
1	$T11 = (C_{ref} + C_{s1} + C_{sg}) * R + t_{comp}$	1	0	0	1	0	0	1	1
2	$T12 = (C_{ref} + C_{s2} + C_{sg}) * R + t_{comp}$	0	1	1	0	0	0	1	1
3	$T13 = (C_{s1} + C_{s2} + C_{sg}) * R + t_{comp}$	1	1	0	0	0	0	1	1
4	$T21 = (C_{mess} + C_{s3} + C_{sg}) * R + t_{comp}$	0	0	1	1	1	0	0	1
5	$T22 = (C_{mess} + C_{s4} + C_{sg}) * R + t_{comp}$	0	0	1	1	0	1	1	0
6	$T23 = (C_{s3} + C_{s4} + C_{sg}) * R + t_{comp}$	0	0	1	1	1	1	0	0
7	$Tsg = C_{sg} * R + t_{comp}$	0	0	1	1	0	0	1	1

[0047] Die durchgeführten Messungen 1 bis 7 sind durchnummeriert. Mit S1 bis S4, T1 bis T4 sind die oben erläuterten und aus der Fig. 2 ersichtlichen Schalter bezeichnet. Mit T11, T12, T13, T21, T22, T23 und Tsg sind die mittels des TDC **4** gewonnenen Messzeiten bezeichnet, die sich bei Einschaltung der Kapazitäten in den Messzweig ergeben, die in der entsprechenden Gleichung rechts des Gleichheitszeichens in Klammern dargestellt sind. Diese dort angegebenen Kapazitäten sind in dem Messkreis bei den unter den jeweiligen Schaltern S1 bis S3, T1 bis T4 in der entsprechenden Zeile der Gleichung angegebenen Schalterstellungen

eingeschaltet, wobei "1" bedeutet, dass der entsprechende Schalter geschlossen ist, während "0" bedeutet, dass der entsprechende Schalter geöffnet ist.

[0048] So sind zur Messung der Messzeit T_{11} die Referenzkapazität C_{ref} und die Störkapazität C_{S1} des Koaxialleiters **11** über den Schalter S1 in den Messkreislauf eingeschlossen, wobei die Störkreis Kapazität C_{sg} der Messschalter immer miterfasst wird, während durch den geschlossenen Schalter T2 der Innenleiter des Koaxialkabels **12** ebenso wie der immer auf Erde liegende Außenleiter desselben und den offenen Schalter S2 aus dem Messkreislauf herausgenommen ist. Entsprechendes gilt für die Störkapazitäten C_{S3} , C_{S4} entsprechend der für diese unter der Messung 1 rechts in der Tabelle angegebenen Schalterstellungen (S3, S4 geöffnet, T3, T4 geschlossen, damit Innenleiter auf Erde). Entsprechendes gilt ebenfalls in offensichtlicher Weise für die weiteren Messungen 2 bis 6 sowie die Messung **7**, bei der durch Trennung sämtlicher Störkapazitäten und der Referenz- sowie der Mess-Kapazität C_{ref} , C_{mess} aufgrund der dort angegebenen Schalterstellungen lediglich die sich aufgrund der Messung der parasitären Kapazität oder Störkapazität der Messschaltung **6** selbst ergebende Messzeit T_{sg} (ebenfalls mit Einfluss der Laufzeit t_{comp} des Komparators **3**) ergibt.

[0049] Aus den derart durch die sieben Messungen gewonnenen sieben Gleichungen ergeben sich, wie leicht nachvollziehbar, die Störkapazitäten C_{S1} bis C_{S4} entsprechend der folgenden Gleichungen, wobei sowohl die Störkapazität C_{sg} der Messschaltung **6** als auch die Laufzeit t_{comp} des Komparators **3** aufgrund der in den folgenden Gleichungen vorgesehenen Additionen und Subtraktionen aus den Gleichungen herausfallen und damit in die Bestimmung der Störkapazitäten C_{S1} , C_{S4} nicht eingehen:

$$C_{S1} = 0,5 \cdot (T_{11} - T_{12} + T_{13} - T_{sg}) / R \quad (7a)$$

$$C_{S2} = 0,5 \cdot (T_{12} - T_{11} + T_{13} - T_{sg}) / R \quad (7b)$$

$$C_{S3} = 0,5 \cdot (T_{21} - T_{22} + T_{23} - T_{sg}) / R \quad (7c)$$

$$C_{S4} = 0,5 \cdot (T_{22} - T_{21} + T_{23} - T_{sg}) / R \quad (7d)$$

[0050] Aufgrund der vorgenommenen Messungen lässt sich damit das Verhältnis von Messkapazität C_{mess} zu Referenzkapazität C_{ref} bestimmen, wobei nur die Messzeiten der durchgeführten Messungen eingehen:

$$C_{mess} / C_{ref} = (T_{21} + T_{22} - T_{23} - T_{sg}) / (T_{11} + T_{12} - T_{13} - T_{sg}) \quad (8)$$

[0051] Die parasitären Kapazitäten C_{S1} bis C_{S4} sind relativ konstant bzw. ihre Änderung über die Temperatur ist relativ niederfrequent. Die Gleichungen, welche diese Kapazitäten berechnen, werden daher vorzugsweise hoch gemittelt, wie über 100 bis 1000 Zeitmessungen. Durch diese Mittelungsoperation wird das Rauschen der Messwerte dieser parasitären Kapazitäten sehr stark unterdrückt, so dass es praktisch keine Rolle mehr spielt. Die Bestimmung und Subtraktion dieser Werte bringt dadurch keinen zusätzlichen Rauschanteil in die Messung ein. Dies ist ein sehr großer Vorteil, der nicht unterschätzt werden darf.

[0052] Die Widerstandswerte zu Schalter und Transistoren S1 bis S4, T1 bis T4 sollten deutlich kleiner sein, als der Widerstandswert des Widerstands R, um deren Einfluss auf das Messergebnis zu minimieren. Da bei üblichen Sensorkondensatoren mit Kapazitäten von 10–100 pF ein R von 50–200 kOhm gewählt wird, ist es mit heutigen Technologien problemlos möglich die Schalter-Widerstände um mehr als den Faktor 1000 kleiner als R zu wählen. Wird die gesamte Schaltung in einen einzigen IC integriert, ergibt sich ein sehr gutes Gleichlaufverhalten der Analogschalter und Transistoren untereinander. Dadurch ist der Fehlereinfluss dieser Teile so klein, dass er keinerlei nennenswerten Einfluss mehr hat.

[0053] Ein weiterer Vorteil der Ausgestaltung der **Fig. 2** ist es, dass nun durch die Art der Ansteuerung der mittlere Gleichspannungspegel an den Mess- und Referenzkapazitäten C_{mess} und C_{ref} null ist. Dies ist eine Bedingung, welche manche Sensoren für eine korrekte Funktion benötigen (z. B. manche Feuchtsensoren).

Bezugszeichenliste

1	Vorrichtung
1a	Schaltung
1b	Schaltungs-Elektronik
2	Steuerwerk
3	Komparator

4	Zeitmesseinrichtung
6	Messschaltung
7	Messung
11–14	Koaxialkabel
AS1, AS2	Anlogschalter
C_{par}	parasitäre Kapazität
C_{mess}	Messkapazität
C_{ref}	Referenzkapazität
$C_{s1}–C_{s4}$	parasitäre Kapazitäten
C_{sg}	Kapazität
IC	integrierter Schaltkreis
TDC	Zeit-Digital-Wandler
i, ii	Schaltanschluss
R	widerstand
RC_{par}	Zeitanteil
S1–S4	Anlogschalter
t_1, t_2	Zeit
t'_{12}	Zeit
t_{comp}	des Komparators
T_1	Ladeschalter
T1–T4	Transistor-Schalter
T11–T13, T21–T23	
Tsg	Messzeiten
T_R	Schalter
V_{cc}	Spannungsquelle

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kapazitätsbestimmung, wobei eine bekannte Referenzkapazität (C_{ref}) und eine zu bestimmende unbekannte Messkapazität (C_{mess}) in einem Messnetzwerk aufgeladen und entladen werden, **dadurch gekennzeichnet**,

dass die Kapazitäten über einen einzigen Widerstand (R) entladen werden, und dass zeitlich nacheinander Auf- oder Entladezeiten von Referenzkapazität (C_{ref}) und Messkapazität (C_{mess}) der Schaltung bis bzw. ab einem vorgegebenen Spannungswert gemessen werden, wobei in einem Messschritt die Auf- bzw. Entladezeiten sämtlicher Kapazitäten (C_{ref} , C_{mess} , C_{par}) gemeinsam gemessen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messergebnisse bzw. aus diesen gewinnbare Werte, insbesondere Auf- und/oder Entladezeiten so in Beziehung gesetzt werden, dass der Einfluss der parasitären Kapazitäten (C_{par}) aus diesen bei der Bestimmung der Messkapazität eliminiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zum Messen der Auf- oder Entladezeiten erforderliche Bestimmen des Über- bzw. Unterschreitens eines bestimmten Spannungswertes mittels eines Komparators (3) erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zum Messen der Auf- oder Entladezeiten erforderliche Bestimmen des Über- bzw. Unterschreitens eines bestimmten Spannungswertes mittels eines Schmitt-Triggers als Komparator (3) erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Zu- bzw. Abschalten einer Spannungsquelle (V_{cc}) mittels eines Transistorschalters (T_1) erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Aufladen der Kapazitäten (C_{ref} , C_{mess} , C_{par}) bei von Masse getrenntem Widerstand (R) erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Schalter (T1, T2, AS1, AS2) durch ein Steuerwerk (2), wie ein Analogmultiplexer, geschaltet werden.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zeitmessungen mittels eines Zeit-Digital-Wandlers (TDC) erfolgen.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messung wiederholt mit Messfrequenzen von mehr als 0,5 kHz, vorzugsweise mit mehr als 10 kHz erfolgt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messungen mit Messfrequenzen kleiner 50 Hz, vorzugsweise kleiner 20 Hz, erfolgt.
11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messungen mit Betriebsströmen kleiner 50 μA , vorzugsweise kleiner 10 μA durchgeführt werden.
12. Vorrichtung (1) zur Messung einer unbekannt zu messenden Kapazität (C_{mess}), mit einer Spannungsquelle (V_{CC}), mit mindestens einer Referenzkapazität (C_{ref}), mit mindestens einem Schalter (AS1, AS2) zum Zuschalten und Trennen der Referenz- und der Messkapazität (C_{ref} , C_{mess}) zur bzw. von der Spannungsquelle (V_{CC}), gekennzeichnet durch eine Zeitmesseinrichtung (4), durch einen Widerstand (R) zum zeitlich aufeinanderfolgenden Laden oder Entladen der Referenzkapazität (C_{ref}) und der Messkapazität (C_{mess}), durch Schaltung getrennter Schalter (AS1, AS2) zum Zuschalten und Trennen der Messkapazität (C_{mess}) und der mindestens einen Referenzkapazität (C_{ref}) zu bzw. von der Zeitmesseinrichtung (4), und durch Schaltung der Schalter (T1, T2, AS1, AS2) zur Messung der Auf- bzw. Entladezeiten sämtlicher Kapazitäten (C_{ref} , C_{mess} , C_{par}) gemeinsam in einem Messschritt.
13. Vorrichtung (1) nach Anspruch 12, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Insverhältnissetzen von Messergebnissen bzw. aus diesen gemessenen Werten, insbesondere Auf- und/oder Entladezeiten derart, dass die parasitären Kapazitäten (C_{par}) eliminiert werden.
14. Vorrichtung (1) nach Anspruch 12 oder 13, gekennzeichnet durch einen Schalter (T2) zum Trennen und Verbinden des Widerstandes (R) von und mit der der Spannungsquelle (V_{CC}) abgewandten Seite der Kapazitäten (C_{mess} , C_{ref}).
15. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 14 gekennzeichnet durch einen Komparator (3), vorzugsweise in Form eines Schmitt-Triggers zum Bestimmen des Über- bzw. Unterschreitens einer bestimmten Spannungsschwelle.
16. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 15, gekennzeichnet durch ein Steuerwerk (2) zum Steuern der vorhandenen Schalter (T1, T2, AS1, AS2).
17. Vorrichtung (1) nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Steuerwerk (2) ein Analogmultiplexer ist.
18. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 17, gekennzeichnet durch eine Zeitmesseinrichtung (4), vorzugsweise in Form eines Zeit-Digital-Wandlers (TDC)
19. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie in einem integrierten Schaltkreis (IC) integriert ist.
20. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Widerstand (R) mindestens 1 k Ω m, vorzugsweise mehr als 10 k Ω m beträgt.
21. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kapazitäten (C_{mess} , C_{ref}) und der Widerstand (R) gegen Masse geschaltet sind.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

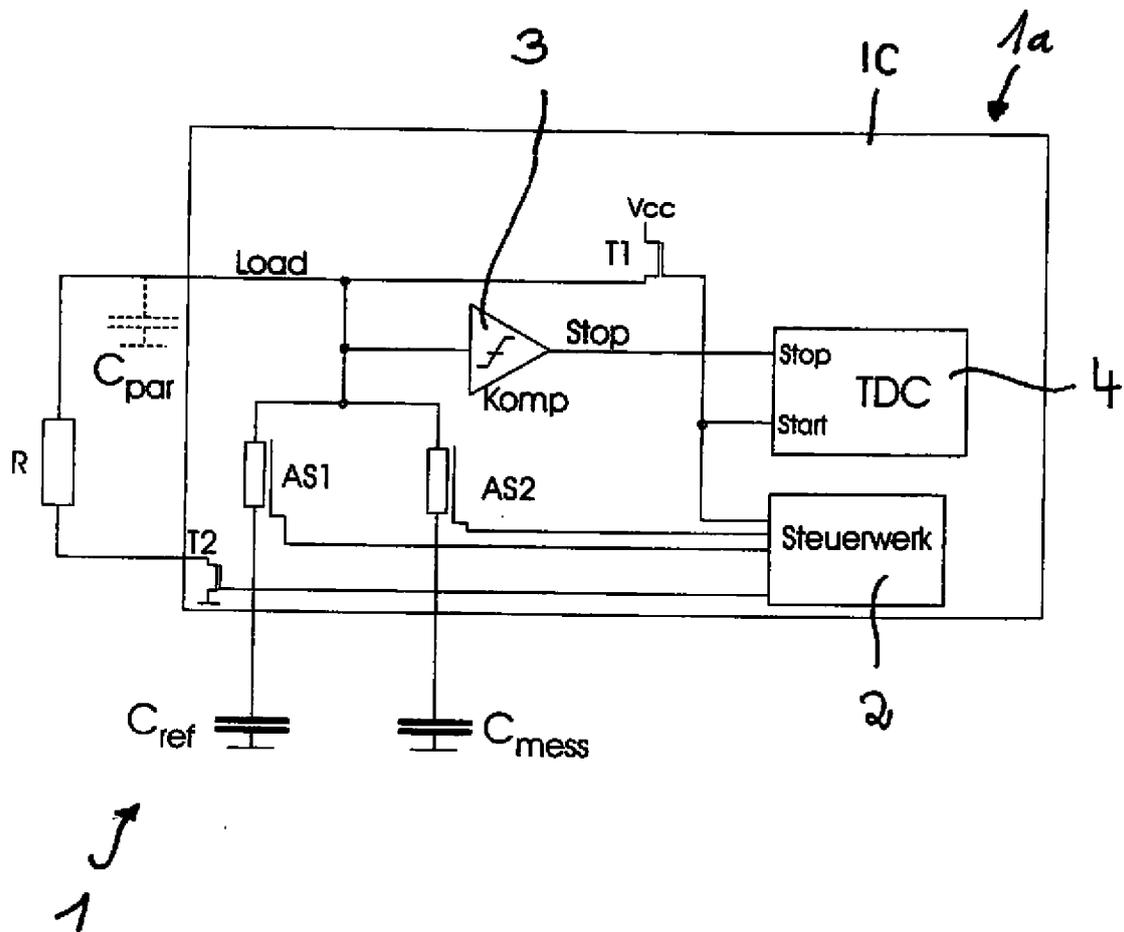


Fig. 1

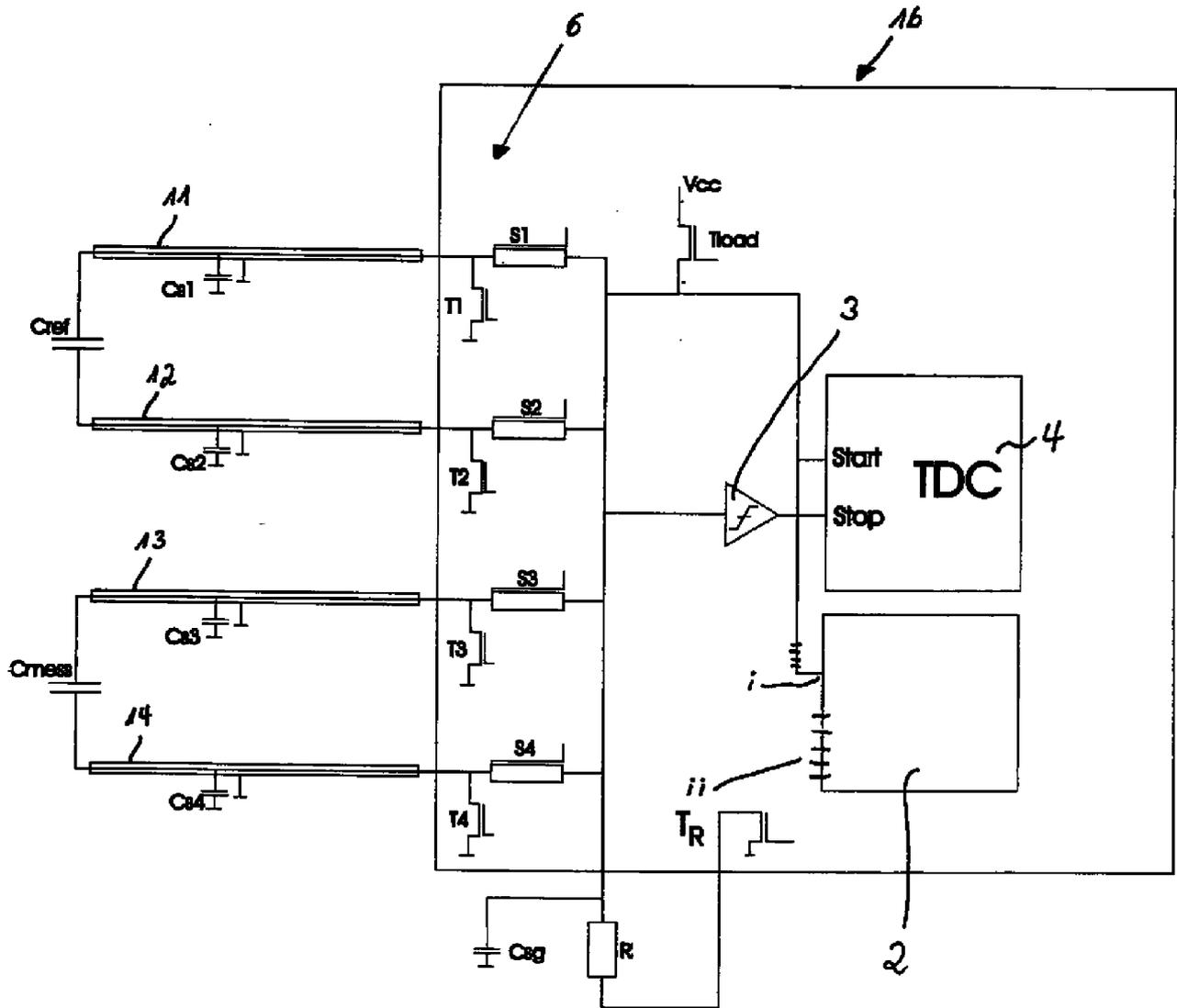


Fig. 2