

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
5. Oktober 2017 (05.10.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/167876 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H04R 29/00 (2006.01) **H04R 19/00** (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/057543
- (22) Internationales Anmeldedatum:
30. März 2017 (30.03.2017)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2016 105 904.8 31. März 2016 (31.03.2016) DE
- (71) Anmelder: **TDK CORPORATION** [JP/JP]; 3-9-1
Shibaura, Minato-ku, Tokyo 108-0023 (JP).
- (72) Erfinder: **WALSER, Sebastian**; Anton-Geisenhofer-Str.
91, 81825 München (DE). **SIEGEL, Christian**;
Wendelsteinstr. 12, 83104 Tuntenhausen (DE). **WINTER,**
Matthias; Margeritenweg 16a, 83109 Grosskarolinenfeld
(DE).
- (74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER**
PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH;
Schloßschmidstr. 5, 80639 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO,
RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV,
SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

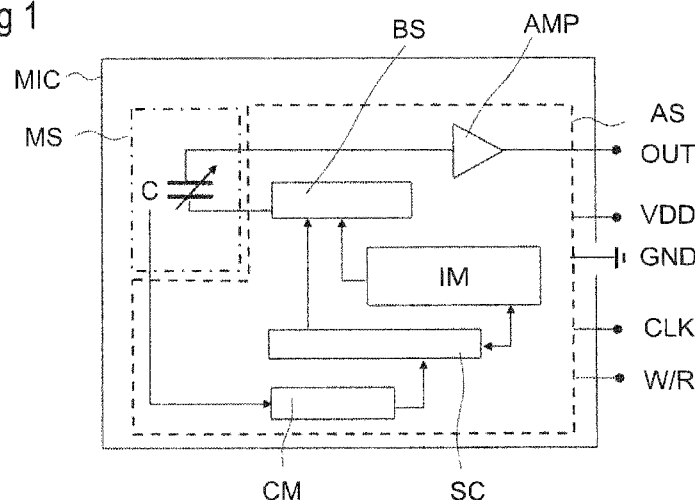
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: MEMS MICROPHONE AND METHOD FOR SELF-CALIBRATION OF THE MEMS MICROPHONE

(54) Bezeichnung : MEMS-MIKROFON UND VERFAHREN ZUR SELBSTKALIBRIERUNG DES MEMS-MIKROFONS

Fig 1



(57) Abstract: In a capacitive MEMS microphone, the pull-in point is determined via variation of the bias voltage, and the current pull-in voltage as well as the corresponding pull-in capacity between the membrane and back electrode is also determined. A newly calibrated bias voltage is determined and adjusted from the deviation of the current pull-in point from the values of a first pull-in point determined after an end test and stored in an internal storage of the MEMS microphone and the similarly stored values at a first working point, and the sensitivity is thereby returned closer to what it was at the original first working point.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/167876 A1



Bei einem kapazitiv arbeitenden MEMS Mikrofon wird durch Variation der BIAS Spannung der Pull-In Punkt bestimmt und dabei die aktuelle Pull-In-Spannung und die dem entsprechende Pull-In-Kapazität zwischen Membran und Rückelektrode ermittelt. Aus der Abweichung des aktuellen Pull-In-Punkts vom den nach einem Endtest bestimmten und in einem internen Speicher des MEMS Mikrofons abgespeicherten Werten eines ersten Pull-In-Punkts und den ebenfalls abgespeicherten Werten bei einem ersten Arbeitspunkts wird eine neukalibrierte BIAS Spannung bestimmt und eingestellt, und dadurch die Empfindlichkeit wieder an die beim ursprünglichen ersten Arbeitspunkt anzunähern.

Beschreibung

MEMS-Mikrofon und Verfahren zur Selbstkalibrierung des MEMS-Mikrofons

Kapazitiv arbeitende MEMS-Mikrofone weisen einen MEMS-Sensor auf, dessen schallaufnehmende Membran eine Kapazität zu einer oder zwei benachbarten Ruckelektroden ausbildet. Die Kapazität ändert sich in Abhängigkeit von der Auslenkung. Aus der gemessenen Kapazitätsänderung wird in einem ASIC eine Spannung errechnet und verstärkt, die ein Maß für das akustische Signal darstellt.

Zur Einstellung einer gewünschten Empfindlichkeit wird an den MEMS-Sensor eine BIAS-Spannung zwischen Membran und Rückelektrode angelegt, um die Membran elektrisch vorzuspannen. Die BIAS-Spannung kann auch dazu verwendet werden, das MEMS-Mikrofon einer bestimmten Umgebung beziehungsweise den dort herrschenden Bedingungen anzupassen.

Aufgrund von Herstellungstoleranzen können MEMS-Mikrofone eine Streuung ihrer charakteristischen Eigenschaften aufweisen. Für hochwertige MEMS-Mikrofone ist daher eine Kalibrierung der MEMS Mikrofone unbedingt erforderlich.

Doch selbst gut kalibrierte MEMS-Mikrofone können eine Alterung aufweisen, bei der sich die Empfindlichkeit in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen, insbesondere mechanischen, thermischen und Feuchtigkeitseinwirkungen, auch bei unveränderter BIAS-Spannung ändert. Dies kann unzulässige Abweichungen von den gewünschten Werten erreichen.

Bis heute ist jedoch kein Verfahren bekannt, um derart gealterte MEMS-Mikrofone neu zu kalibrieren und die gewünschte Empfindlichkeit neu einzustellen, da dies eine bekannte akustische Umgebung und kalibrierte Referenzmikrofone erfordert. Diese steht im normalen Betrieb des Mikrofons beim User bzw. nach dem Einbau in ein Gerät oder eine andere Schaltungsumgebung nicht zur Verfügung

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein MEMS-Mikrofon anzugeben, mit dem ein Verfahren zur nachträglichen Kalibrierung in einer beliebigen Umgebung durchgeführt werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein MEMS-Mikrofon und ein Verfahren zur Selbstkalibrierung nach den beiden unabhängigen Ansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus weiteren Ansprüchen hervor.

Grundlegende Idee der Erfindung ist es, die zwischen Membran und Rückelektrode anliegende Kapazität des MEMS-Sensors als Maß für die Empfindlichkeit des Mikrofons zu verwenden.

Dasselbe Prinzip funktioniert zwar auch mit anderen Transformationsarten (Kapazität, Spannung, Strom, Ladung), jedoch wird vorteilhaft die Kapazitätsänderung eingesetzt.

Normalerweise gelingt es nur in einer definierten akustischen Umgebung, aus der Kapazität den absoluten Wert für die Empfindlichkeit des MEMS Mikrofons zu ermitteln.

Möglich ist es jedoch mit relativ einfachen Mitteln, die Pull-in-Spannung des MEMS Sensors zu jedem Zeitpunkt zu ermitteln. Dies ist die Spannung, bei der sich Membran und Rückelektrode durch die elektrische und damit auch

mechanische Vorspannung so weit annähern, dass es zum direkten Kontakt kommt. Dies führt entweder zu einem Kurzschluss oder zu einer deutlichen Zunahme der Kapazität am Pull-in-Punkt.

Zur Neukalibrierung wird nun vorgeschlagen, die Abweichung der Messwerte am Pull-in-Punkt von den ursprünglich in einem Endtest bestimmten Messwerten für den ersten und ursprünglichen Pull-in-Punkt vergleichen. Daraus ergibt sich ein Drift sowohl für die Pull-In Spannung, also die BIAS-Spannung, bei der der Pull-in eintritt, als auch eine Abweichung bei der Kapazität, die am Pull-in-Punkt gemessen wird. bzw. der Kapazitätsänderung zwischen der bisherigen Bias-Einstellung und dem der Biaseinstellung direkt vor dem PULL-IN.

Diese Messwerte und die gespeicherten Werte aus dem Endtest dienen nun zur Ermittlung eines neuen Arbeitspunkts, bei dem die Drift des Pull-in Punkts bezüglich der Pull-in-Spannung und der bestimmten Pull-in-Kapazität kompensiert wird.

Als erste Kompensationskomponente kann die absolute Drift der Pull-in-Spannung verwendet werden. Die Drift wird zur bisherigen Arbeitsspannung addiert.

Hinsichtlich der Drift der Pull-in-Kapazität dient als zweite additive Kompensationskomponente die Spannungsdifferenz, die erforderlich wäre, um den gemessenen Kapazitätsdrift des Pull-In Punkts zum Zeitpunkt eines Endtests, der in definierter akustischer Umgebung unmittelbar nach der Herstellung des MEMS-Mikrofons durchgeführt wurde, zu kompensieren.

Zur Ermittlung dieser Spannungsdifferenz wird daher auf die beim Endtest gespeicherten Messwerte für den ersten Pull-in-Punkt und den ersten Arbeitspunkt zurückgegriffen. Aus der Steigung des Graphen, der die Abhängigkeit der Kapazität von der anliegenden BIAS-Spannung darstellt, wird nun auf das Verhalten des gealterten MEMS-Sensors interpoliert. Die Steigung kann aus der den ersten Pull-In Punkt und den ersten Arbeitspunkt verbindenden Geraden bestimmt werden. Die Spannungsdifferenz zur Kompensation der Kapazitätsdrift dient als weitere additive Kompensationskomponente. Somit wird eine neukalibrierte BIAS Spannung für den neuen Arbeitspunkt durch Summierung der bisherigen Arbeitsspannung und der beiden Kompensationskomponenten erhalten.

Zur genauen Durchführung des Verfahrens wird die am MEMS-Mikrofon anliegende BIAS-Spannung schrittweise erhöht, bis der aktuelle Pull-In Punkt erreicht und die aktuelle Pull-in-Spannung V_{pa} und die entsprechende aktuelle Pull-in-Kapazität C_{pa} des MEMS-Mikrofons ermittelt ist. Diese beiden Messwerte, lassen sich zu einem beliebigen Zeitpunkt und an einem beliebigen Ort und somit in einem beliebigen Stadium während des Betriebs des MEMS-Mikrofons sicher ermitteln.

Diese Werte des aktuellen Pull-In Punkts werden nun mit fest im internen Speicher des ASIC abgelegten Messwerten aus dem Endtest verglichen. Die gespeicherten Messwerte umfassen zumindest die ursprüngliche Pull-in-Spannung, die Pull-in-Kapazität sowie die BIAS-Spannung am Arbeitspunkt (erste Arbeitsspannung V_{s1}) und die dazugehörige Arbeitskapazität (erste Arbeitskapazität C_{s1}). Aus diesen bekannten Werten wird nun ermittelt, wie die anliegende BIAS-Spannung verändert werden muss, um den Kapazitätsunterschied zwischen Pull-in-Kapazität und erster Arbeitskapazität zu erzielen.

Anschließend wird die anliegende erste Arbeitsspannung VS_1 um den Korrekturwert erhöht (oder ggfs. erniedrigt) und als neue Arbeitsspannung VS_{neu} eingestellt.

Der wird Pull-In wird z. B. mittels einer Sensitivitätsmessung nachgewiesen. Es wird die Bias Spannung konstant erhöht und für jeden Punkt die Sensitivität bestimmt. Im Falle eines Pull-In ergibt dies einen Sensitivitätssprung (diesen Sprung gibt es auch bei anderen Mikrofon-Wandler-Arten: Kapazitiv, Strom, Spannung, Ladung). Die im Sprung gemessene Sensitivität und Bias Spannung kann mit der gewünschten Sensitivität und Bias Spannung zur Kalibration genutzt werden.

Um die Effektivität beziehungsweise Exaktheit des Verfahrens zu überprüfen, wird das erfindungsgemäße Verfahren bei einer Reihe gealterter Mikrofone durchgeführt. Parallel dazu wird die tatsächliche Empfindlichkeit durch einen Test in genormter akustischer Umgebung überprüft. Beim Test zeigt sich, dass sich eine ursprünglich eingestellte Empfindlichkeit über alle getesteten Mikrofone von ursprünglich gemessenen $-38 \pm 0,05$ dBV/Pa durch Alterung verändert und die Empfindlichkeit nun in einem Bereich von $-38 \pm 1,97$ dBV/Pa streut. Diese Abweichung von der eingestellten Empfindlichkeit bzw. eine solche Messwerttoleranz ist deutlich zu hoch.

Nach Durchführung des erfindungsgemäßen Selbstkalibrierungsalgorithmus mittels der genannten Sensitivitätsmessung wird die Abweichung von der gewünschten Empfindlichkeit deutlich reduziert und beträgt nun nur noch $-38 \pm 0,31$ dBV/Pa. Es wird zwar nicht mehr die ursprüngliche Empfindlichkeit beziehungsweise die ursprüngliche geringe Abweichung von der

gewünschten Empfindlichkeit erhalten, aber die Abweichung von der gewünschten Empfindlichkeit wird deutlich reduziert. Damit ist die Wirksamkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens erwiesen.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Kalibrierung des Mikrofons sind die im ASIC des MEMS-Mikrofons abgespeicherten Werte eines unter definierten Bedingungen durchgeführten Endtests. Während des Endtests wird eine erste Pull-in-Spannung V_{P1} ermittelt, indem stetig die Kapazität am MEMS-Sensor bestimmt wird, während die BIAS-Spannung in definierten Schritten erhöht wird. Parallel dazu wird die Empfindlichkeit über die genormte Messumgebung bestimmt. Aus den Messwerten wird erkannt, welche Arbeitsspannung für eine gewünschte Empfindlichkeit einzustellen ist. Als Ersatzwert für die gewünschte Empfindlichkeit wird der bei der gewünschten Empfindlichkeit bestimmte Kapazitätswert (erste Arbeitskapazität C_{S1}) hergenommen und im internen Speicher des ASICs abgelegt. Entsprechend werden Kapazität und BIAS-Spannung am Pull-in-Punkt abgespeichert. Aus der Steigung der Messkurve zwischen dem Arbeitspunkt und dem Pull-in-Punkt während des Endtests wird der Wert erhalten, der zur Kompensation der veränderten Kapazität am Pull-in-Punkt (aktuelle Pull-in-Kapazität) benötigt wird.

Das Verfahren zur Selbstkalibrierung kann beliebig oft wiederholt werden. Dabei wird jedoch stets auf die gespeicherten ersten Werte aus dem Endtest zurückgegriffen, um die jeweilige Neukalibrierung vorzunehmen. Die entsprechenden Messwerte aus einer vorher erfolgten Neukalibrierung können verworfen werden.

Die neukalibrierte BIAS-Spannung $V_{S_{neu}}$, die zur Wiederannäherung an eine gewünschte Empfindlichkeit geeignet ist, kann zum Beispiel nach folgender Formel berechnet werden:

$$V_{S_{neu}} = V_{S1} - (V_{P1} - V_{P2}) + (C_{P1} - C_{P2}) \times (V_{P1} - V_{P2}) / (C_{P1} - C_{P2})$$

Dabei entspricht der Wert $(V_{P1} - V_{P2})$ der Spannungsdrift des Pull-in-Punkts, während der Wert $(C_{P1} - C_{P2})$ der Kapazitätsdrift des Pull-in-Punkts entspricht. Der Quotient aus $(V_{P1} - V_{P2})$ und $(C_{P1} - C_{P2})$ entspricht dabei der Steigung der Messkurve aus dem Endtest, die die Abhängigkeit der bestimmten Kapazität von der anliegenden BIAS-Spannung angibt.

Nutzt das Kalibrierungsverfahren anstelle der Kapazitätswerte Sensitivität, Induktivität, Strom, Spannung oder Ladung, wird die Formel analog umgeformt.

Die Neu- beziehungsweise Selbstkalibrierung kann mehrfach durchgeführt werden. Als Auslöser für eine Neukalibrierung können bestimmte Regeln verwendet werden, die das Erreichen einer bestimmten akustischen oder thermischen Stressbelastung erfassen. Möglich ist es jedoch auch, eine Neukalibrierung in festen Zeitintervallen durchzuführen. Alternativ kann eine Neukalibrierung natürlich jederzeit durch einen Benutzer ausgelöst werden. Dies wird dann angezeigt sein, wenn das Mikrofon einer starken mechanischen Belastung oder einer starken thermischen Belastung ausgesetzt ist und eine Eigenschaftsdrift zu erwarten ist. Die Neu- beziehungsweise Selbstkalibrierung kann alternativ oder zusätzlich bei jedem Neustart des Geräts durchgeführt werden, wenn ein flüchtiger Speicher verwendet wird, aus dem dann die Werte der letzten Kalibrierung gelöscht sind.

Sowohl im Endtest als auch während jeder Neukalibrierung wird die am MEMS-Sensor anliegende BIAS-Spannung schrittweise bis zum Erreichen des Pull-in-Punkts erhöht. Nach jedem Schritt wird die jeweilige Kapazität bestimmt. Da beim Erreichen des Pull-in-Punkts die Kapazität des MEMS-Sensors auf einen sehr großen Wert springt, wenn sich zwischen Membran und Gegenelektrode üblicherweise ein Isolator / Dielektrikum mit $\epsilon > 1$ befindet, ist es erforderlich, als für das Verfahren verwendbare Pull-in-Kapazität den jeweils vorherigen Kapazitätswert unmittelbar vor Erreichen des Pull-In zu verwenden, der dem Erreichen des Pull-in-Punkts unmittelbar vorausgeht. Vorzugsweise wird die BIAS-Spannung sowohl beim Endtest als auch beim Neukalibrieren in konstanten Schritten gesteigert. Möglich ist es jedoch auch, unterschiedliche Stufen zu verwenden, sofern das Erreichen des Pull-in-Punkts noch nicht unmittelbar erwartet wird.

Ein erfindungsgemäßes MEMS-Mikrofon mit Selbstkalibrierungsvorrichtung umfasst einen kapazitiv arbeitenden MEMS-Sensor und einen damit verbundenen ASIC. Am MEMS-Sensor ist eine BIAS-Spannung anlegbar. Um das Verfahren zur Selbstkalibrierung durchführen zu können, ist der ASIC für die folgenden Schritte ausgelegt:

- a) Stufenweise Erhöhung der am MEMS-Sensor anliegenden BIAS-Spannung
- b) Bestimmung der sich dabei jeweils am MEMS-Sensor ausbildenden Kapazität bzw. Kapazitätsänderung
- c) Ermitteln des aktuellen Pull-in-Punkts über die Kapazitätsmessung
- d) Abspeichern der Messwerte für BIAS-Spannung V_{P1} und dazugehörige Kapazität C_{P1} bzw. Kapazitätsänderung am

Pull-in-Punkt in einem nicht-flüchtigen internen Speicher des ASIC

e) Durchführen eines Algorithmus zur Neukalibrierung durch Berechnen einer neu kalibrierten BIAS-Spannung VS_{neu} unter Verwendung der aktuell bestimmten Messwerte und bereits abgespeicherter Messwerte aus dem Endtest

f) Anlegen der neu kalibrierten BIAS-Spannung VS_{neu} an den MEMS-Sensor.

Da auch mit einem bereits bekannten MEMS-Mikrofon eine erste Kalibrierung in einer definierten akustischen Umgebung möglich ist, umfasst auch ein bekanntes MEMS-Mikrofon bereits Mittel zur Variation der anliegenden BIAS-Spannung. Zumindest dieser Wert ist auch bei bekannten MEMS-Mikrofonen in einem internen Speicher des ASIC abgelegt. Für das erfindungsgemäße MEMS-Mikrofon ist nun lediglich ein erweiterter Speicher erforderlich, sowie ein im ASIC abgelegter Algorithmus, der aktuelle Messwerte und abgespeicherte Messwerte entsprechend umsetzt, um eine neue kalkulierte BIAS-Spannung für einen neu kalkulierten Arbeitspunkt zu ermitteln. Abschließend wird die neu ermittelte Arbeitsspannung im MEMS-Mikrofon eingestellt, womit die Neukalibrierung beendet ist. Möglich ist auch ein dauerhaftes Speichern der neuen Kalibrierwerte im Speicher des ASICs oder z. B. auch des Telefons, in das das Mikrofon eingebaut ist.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und der dazugehörigen Figuren näher erläutert.

Figur 1 zeigt den schematischen Aufbau eines erfindungsgemäßen MEMS-Mikrofons mit Selbstkalibrierung,

Figur 2 zeigt einen schematischen Verfahrensablauf bei der Durchführung des Endtests und der Selbstkalibrierung,

Figur 3 zeigt in einem Diagramm die Abhängigkeit der Kapazität des MEMS-Sensors von der angelegten BIAS-Spannung nach dem Endtest und nach einer Alterung,

Figur 4 zeigt für fünf unterschiedliche MEMS-Mikrofone die nach dem Endtest eingestellte Empfindlichkeit, sowie die nach dem Verlöten und nach der Neukalibrierung bestimmten Empfindlichkeiten.

Figur 1 zeigt den schematischen Aufbau eines erfindungsgemäßen MEMS-Mikrofons MIC. Dieses umfasst einen MEMS-Sensor MS und einen ASIC AS, die beide als Chip-Bauelemente ausgebildet sind und vorzugsweise neben- oder übereinander auf einem gemeinsamen Träger angeordnet sein können. Kernstück des MEMS-Mikrofons MIC ist der MEMS-Sensor MS, der als mikrominiaturisierte Kapazität mit einer beweglichen Elektrode (Membran) und einer oder zwei Festelektroden ausgebildet ist. Die Kapazität C oder die Kapazitätsänderung ΔC des MEMS-Sensors MS wird über eine Vorrichtung zur Kapazitätsmessung CM erfasst und in eine Spannung umgewandelt, die ein Maß für die Auslenkung der Membran und damit für die Stärke des empfangenen akustischen Signals darstellt.

Mit Hilfe eines BIAS-Spannungsgenerators BS wird eine gewünschte BIAS-Spannung z. B. zwischen 8-16V erzeugt und im MEMS-Sensor MS zwischen Membran und Festelektrode angelegt. Eine geeignete BIAS-Spannung beträgt zum Beispiel ca. 12

Volt. Das an einer Elektrode des MEMS-Sensors MS abgegriffene Signal z. B. die Kapazität bzw. Kapazitätsänderung und das daraus im ASIC generierte Spannungssignal) wird über einen Verstärker AMP einem Ausgang OUT des MEMS-Mikrofons MIC zugeleitet.

Weiterhin umfasst der ASIC eine Vorrichtung zur Selbstkalibrierung SC, die beispielsweise als programmierbare Logikschaltung ausgebildet ist. Diese Logikschaltung verarbeitet Daten, die von der Kapazitätsmessung CM geliefert werden und vergleicht diese mit Daten, die in einem internen Speicher IM abgelegt sind.

Als Ergebnis der Selbstkalibrierung wird eine neu kalibrierte BIAS Spannung VS_{neu} erhalten, bei der die Empfindlichkeit des MEMS Mikrofons einem Zielwert wieder angenähert ist. Die Messwerte am neuen Arbeitspunkt können anschließend ebenfalls im internen Speicher IM abgelegt werden. Auf jeden Fall wird die bei der Neukalibrierung für einen optimalen Arbeitspunkt ermittelte BIAS-Spannung VS_{neu} an den BIAS-Spannungsgenerator BS geleitet, der diese erzeugt und am MEMS-Sensor MS entsprechend einstellt.

Der ASIC ist als integrierte Schaltung ausgebildet und beispielsweise auf der Basis Silizium CMOS Technologie oder von Galliumarsenid ausgeführt. Möglich sind jedoch auch andere Technologien, um die gewünschten Funktionen des ASIC zu verwirklichen.

Figur 2 zeigt einen schematischen Verfahrensablauf, wie die Selbstkalibrierung des erfindungsgemäßen MEMS-Mikrofons durchgeführt werden kann. Der Selbstkalibrierung vorgeschaltet ist ein Endtest ET, welcher direkt nach der

Fertigung des MEMS-Sensors MS in einer definierten akustischen Umgebung durchgeführt wird. Möglich ist es natürlich auch diesen Endtest bzw. eine Erstkalibrierung zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt vorzunehmen, gegebenenfalls sogar erst nach Einbau des Mikrofons in ein gewünschtes Gerät, z. B. ein Mobiltelefon.

Im Endtest ET wird die Empfindlichkeit des MEMS-Sensors MS in Abhängigkeit von der anliegenden BIAS-Spannung gemessen. Die Messung wird bis zum Erreichen des Pull-in-Punkts PI durchgeführt, bei der die gemessene Empfindlichkeit (bzw. die Kapazität oder Kapazitätsänderung) den bereits erwähnten Sprung macht oder zumindest einen starken Einbruch erfährt. Die gewünschte Empfindlichkeit/Kapazität und insbesondere die dazu erforderliche erste Arbeitsspannung VS_1 wird im internen Speicher IM abgelegt, ebenso die beim Arbeitspunkt gemessene erste Arbeitskapazität CS_1 des MEMS-Sensors. Entsprechende Daten werden für den Pull-in-Punkt bestimmt und abgespeichert. Es wird angenommen, dass die Kapazität ein Maß für die Empfindlichkeit darstellt.

Mit Hilfe dieser im internen Speicher IM abgelegten Daten und der in Figur 1 beispielhaft dargelegten Anordnung gelingt nun eine Selbstkalibrierung SC. Dabei wird zunächst die am MEMS-Sensor MS anliegende BIAS-Spannung mit Hilfe eines Spannungsgenerators VS stufenweise gesteigert. Bei jeder Stufe wird eine Kapazitätsmessung CM oder eine Messung deren Änderung durchgeführt. In einer Logikschaltung wird nun anhand der gemessenen Kapazität/ Kapazitätsänderung an der eingestellten BIAS-Spannung geprüft, ob der Pull-in-Punkt PI erreicht ist. Ist der Pull-in-Punkt noch nicht erreicht (N), wird die BIAS-Spannung im BIAS-Spannungsgenerator VS erneut um eine Stufe erhöht. Ergibt die Logikschaltung, dass bei

einer anliegenden BIAS-Spannung der Pull-in erreicht ist (Y), so werden die Werte in einen Selbstkalibrierungsalgorithmus SCA eingespeist. Diese Werte werden mit den im internen Speicher IM hinterlegten Daten aus dem Endtest verglichen, die ebenfalls Parameter für den Selbstkalibrierungsalgorithmus darstellen. Als Ergebnis der Selbstkalibrierung wird eine neu kalibrierte Arbeitsspannung VS_{neu} erhalten, im internen Speicher IM abgelegt und für den weiteren Betrieb des MEMS-Mikrofons als unveränderliche BIAS-Spannung verwendet, so lange keine Neukalibrierung durchgeführt wird.

Nach einer vorgegebenen Zeit, und/oder nach Erreichen bestimmter Bedingungen und/oder nach Anforderung eines Mikrofonbenutzers kann erneut eine Selbstkalibrierung durchgeführt werden. Dabei werden wiederum die Daten für den aktuellen Pull-in-Punkt gemessen und über den Selbstkalibrierungsalgorithmus mit den entsprechenden Daten aus dem Endtest ET verglichen und eine neu kalibrierte BIAS-Spannung ermittelt und für den weiteren Betrieb des MEMS-Mikrofons zugrunde gelegt.

Figur 3 zeigt die im Endtest ermittelte Abhängigkeit der Mikrofonempfindlichkeit, gemessen in dBV/Pa, von der anliegenden BIAS-Spannung, gemessen in Volt. Diese mit Dreiecken dargestellten Messpunkte ergeben in der Figur die obere Kurve.

Es wird nun eine gewünschte Zielempfindlichkeit eingestellt, die beispielsweise bei -38 dBV/Pa liegt. Zum Einstellen dieser Empfindlichkeit ist hier beispielsweise eine BIAS-Spannung von ca. 11,1 Volt erforderlich. Parallel zur tatsächlichen Empfindlichkeit wird während des Endtests auch die dazu proportionale Kapazität/ Kapazitätsänderung des

MEMS-Sensors ermittelt, die im eingestellten ersten Arbeitspunkt bei der ersten Arbeitsspannung VS_1 eine erste Arbeitskapazität CS_1 aufweist. Auf eine Darstellung der entsprechenden Kapazitätsskala wird der Übersichtlichkeit halber im vorliegenden Diagramm aber verzichtet.

Nach thermischer oder mechanischer Belastung oder sonstiger Alterung des MEMS-Mikrofons, beispielsweise nach dem Verlöten des Mikrofons in eine Schaltungsumgebung, wird nun eine erste Selbstkalibrierung durchgeführt. Dazu wird mit dem in Figur 2 schematisch dargestellten Verfahren der aktuelle Pull-in-Punkt des MEMS-Mikrofons ermittelt. Dieser liegt bei einer aktuellen Pull-in-Kapazität CP_a , die bei einer aktuellen Arbeitsspannung VP_a auftritt. Dieser Pull-in-Punkt unterscheidet sich von dem ersten Arbeits-Pull-in-Punkt sowohl bezüglich der dafür erforderlichen BIAS-Spannung als auch bezüglich der dabei gemessenen aktuellen Pull-in-Kapazität. Die Abweichung beträgt ΔX für die Spannung und ΔY für die Kapazität/ Kapazitätsänderung.

Zur Neukalibrierung müssen nun die beiden Abweichungen ΔX und ΔY kompensiert werden. Dazu wird zunächst die anliegende BIAS-Spannung um den direkt ablesbaren Wert ΔX verschoben. Zur Kompensation der Y-Drift ΔY wird angenommen, dass sich die Empfindlichkeit des MEMS-Mikrofons in Abhängigkeit von der anliegenden BIAS-Spannung nach Alterung (untere Kurve) ähnlich verhält wie die im Endtest exakt bestimmte obere Kurve.

Es wird nun die Anzahl der Schritte hergenommen, die bei der Spannungserhöhung um konstante Werte erforderlich sind, um vom Wert der ersten Arbeitsspannung VS_1 bis zum Erreichen des Pull-ins bei der ersten Pull-in-Spannung VP_1 zu gelangen. Die

dieser Anzahl entsprechende Spannungsdifferenz wird nun als weiterer Summand zur Ermittlung der neu kalibrierten Arbeitsspannung verwendet. Ziel ist es, die Arbeitsspannung so einzustellen, dass die gewünschte Zielempfindlichkeit von hier -38 dBV/Pa möglichst genau wieder erreicht wird. Der Selbstkalibrierungsalgorithmus stellt dabei nur eine Annäherung dar, da das erreichte Ergebnis, also die nach Neukalibrierung tatsächlich eingestellte Empfindlichkeit dem Zielwert zwar besser angenähert ist, aber immer noch davon abweichen kann. Eine genaue Ermittlung der Empfindlichkeit des Mikrofons ist bei der Selbstkalibrierung aber nicht möglich.

Zur Überprüfung des Erfolgs der Selbstkalibrierung wird eine Anzahl von hier fünf unterschiedlichen MEMS-Mikrofonen hergenommen und einem Endtest und einer ersten Kalibrierung unterzogen. Nach dieser ersten Kalibrierung auf einen gewünschten ersten Arbeitspunkt weisen alle fünf Mikrofone nahezu die gleiche Zielempfindlichkeit von - 38 dBV/Pa auf. Die Abweichung beträgt dabei nur 0,05 dBV/Pa. Die Linie 1 verbindet die eingestellten tatsächlichen Empfindlichkeiten der fünf Mikrofone und weicht nur unwesentlich von einer waagrechten Geraden ab.

Nach dem Verlöten des MEMS-Mikrofons in eine Schaltungsumgebung wird eine neue exakte Vermessung der Mikrofonempfindlichkeit bei der eingestellten erster Arbeitsspannung durchgeführt. Die Linie 2 verbindet die Messpunkte für die fünf Mikrofone. Es ist klar ersichtlich, dass die Linie 2 deutlich von der Ideallinie beziehungsweise der ursprünglichen Verteilung 1 der eingestellten Mikrofonempfindlichkeit abweicht. Für die fünf Mikrofone ergibt sich eine Abweichung

der Empfindlichkeit von $\pm 1,97$ dBV/Pa. Eine solche Abweichung ist für Hochleistungsmikrofone nicht akzeptabel.

An allen fünf Mikrofonen wird nun jeweils eine erfindungsgemäße Selbstkalibrierung durchgeführt. Dabei wird eine neu kalibrierte Arbeitsspannung für das jeweilige Mikrofon ermittelt und am MEMS-Sensor angelegt. Für die derart neu kalibrierten fünf Mikrofone wird nun erneut eine Empfindlichkeitsmessung durchgeführt. Die Linie 3 verbindet die Messpunkte für die fünf neukalibrierten Mikrofone. Es zeigt sich, dass die neu kalibrierten Empfindlichkeiten den ursprünglich bestimmten und eingestellten Empfindlichkeiten wieder gut angenähert sind. Die erreichte Abweichung beträgt im Mittel nur noch $\pm 0,31$ dBV/Pa. Rein optisch lässt sich dies aus der Grafik auch an der Annäherung der Kurve 2 an die ursprüngliche Kurve 1 erkennen. Mit den Pfeilen 4 ist das Ausmaß der Verbesserung dargestellt, wie stark die Empfindlichkeit durch die erfindungsgemäße Neukalibrierung in die gewünschte Richtung verändert werden konnte. Dies zeigt den Erfolg des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Obwohl die Erfindung nur anhand eines Ausführungsbeispiels beschrieben wurde, ist sie nicht auf dieses beschränkt. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können sowohl analoge als auch digitale, kapazitiv arbeitende MEMS-Mikrofone kalibriert werden, wobei die Kalibrierung automatisch und/oder auf Wunsch des Benutzers durchgeführt werden kann. Zur Umsetzung des erfindungsgemäßen Selbstkalibrierungsverfahrens sind nur unwesentliche Erweiterungen der ASIC-Architektur erforderlich, so dass das erfindungsgemäße MEMS-Mikrofon nur einen unwesentlich erhöhten Hardware-Aufwand erfordert. Damit ist sowohl das erfindungsgemäße Mikrofon nur unwesentlich verteuert, während das erfindungsgemäße Selbstkalibrierungs-

verfahren automatisiert und schnell durchzuführen ist, und ebenfalls keinen größeren zeitlichen oder energetischen Mehraufwand erfordert.

Bezugszeichenliste

MIC	MEMS Mikrofon
VP ₁	erste Pull-In Spannung
BS	BIAS Spannungsgenerator
VS ₁	erste Arbeitsspannung am ersten Arbeitspunkt
CS ₁	erste Arbeits-Kapazität
CP ₁	erste Pull-In-Kapazität am ersten Pull-In-Punkt
VP ₁	erste Pull-In-Spannung
IM	interner Speicher
VP _a	aktuelle Pull-In-Spannung
CP _a	aktuelle Pull-In-Kapazität
VS _{neu}	neue kalibrierte BIAS Spannung
MS	MEMS Sensor
AS	ASIC
AMP	Verstärker
CM	Kapazitätsmessung
SC	Selbstkalibrierung
OUT	Mikrofonausgang
VDD	Versorgungsspannung
GND	Masse
CLK	Clock
W/R	Schreib-/Leseeingang
VS	Spannungsveränderung
PI	Pull-In
1	gewünschte Empfindlichkeit
2	Empfindlichkeit nach Verlöten
3	Empfindlichkeit nach Selbstkalibrierung
4	Verschiebung der Empfindlichkeit
ΔX	X-Drift des Pull-In Punkts
ΔY	Y-Drift des Pull-In Punkts

Patentansprüche

1. Verfahren zur Neukalibrierung eines kapazitiv arbeitenden MEMS Mikrofons (MIC),
bei dem die am MEMS Mikrofon anliegende BIAS Spannung schrittweise erhöht wird, um die aktuelle Pull-In-Spannung VP_a und die entsprechende Pull-In-Kapazität CP_a oder die mit der aktuellen Erhöhung der BIAS Spannung verbundene Kapazitätsänderung am Pull-In-Punkt des MEMS Mikrofons zu ermitteln
bei dem aus der Abweichung des aktuellen Pull-In-Punkts vom den nach einem Endtest bestimmten und in einem internen Speicher (IM) des MEMS Mikrofons abgespeicherten Werten eines ersten Pull-In-Punkts und den Werten CS_1 , VS_1 eines ersten Arbeitspunkts eine neu kalibrierte BIAS Spannung VS_{neu} bestimmt und eingestellt wird, um dadurch die Empfindlichkeit wieder an die ursprünglich am ersten Arbeitspunkt eingestellte Empfindlichkeit anzunähern.

2. Verfahren nach dem vorangehenden Anspruch,
bei dem der Endtest direkt nach der Herstellung des MEMS Mikrofons (MIC) durchgeführt wird, umfassend

- Ermittlung der ersten Pull-In Spannung VP_1
- Einstellen des Arbeitspunkts entsprechend einer gewünschten Empfindlichkeit des MEMS Mikrofons durch Variation der BIAS Spannung auf eine erste Arbeitsspannung VS_1
- Ermitteln der ersten Pull-In-Kapazität CP_1 des MEMS Mikrofons bei der ersten Pull-In-Spannung VP_1 und der ersten Arbeits-Kapazität CS_1 bei der ersten Arbeitsspannung VS_1 oder alternativ der entsprechenden Änderungen des beobachteten Wertes, der mit der

aktuellen Erhöhung der BIAS Spannung verbundenen Kapazitätsänderung am Pull-In-Punkt

- Einspeichern der Werte CS_1 , VS_1 , CP_1 und VP_1 in einem internen Speicher (IM) des MEMS Mikrofons, bei dem eine erste Neukalibrierung nach dem Einbau des MEMS Mikrofons in eine Schaltungs-umgebung durchgeführt wird.

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die neu kalibrierte BIAS Spannung VS_{neu} nach der Formel berechnet wird

$$VS_{\text{neu}} = VS_1 - (VP_1 - VP_2) + (CP_1 - CP_2) * (VP_1 - VP_2) / (CP_1 - CP_2)$$

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die gewünschte Empfindlichkeit sowie die Werte für den ersten Arbeitspunkt und den ersten Pull-In-Punkt in einer definierten akustischen Umgebung bestimmt werden.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Neukalibrierung mehrfach durchgeführt wird, wobei als Referenz jeweils die nach dem Endtest bestimmten Werte CS_1 , VS_1 , CP_1 und VP_1 verwendet werden.

6. Verfahren nach dem vorangehenden Anspruch, bei dem das MEMS Mikrofon eine Neukalibrierung durchführt entweder

- automatisch nach bestimmten Regeln in Abhängigkeit von der akustischen oder thermischen Stressbelastung des MEMS Mikrofons, und/oder
- automatisch dann, wenn ein bestimmtes Zeitintervall verstrichen ist, und/oder
- wenn die Neukalibrierung manuell durch einen Benutzer ausgelöst wird, und/oder

- nach jedem Neustart des Geräts, in das das Mikrofon eingebaut ist.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die BIAS Spannung sowohl im Endtest als auch bei der Neukalibrierung schrittweise bis zum Erreichen des Pull-In-Punkts erhöht wird und bei dem bei jedem Schritt die jeweilige Kapazität oder Kapazitätsänderung bestimmt wird, wobei bei Erreichen des Pull-In-Punkts die Kapazität des MEMS Mikrofons einen hohen Wert annimmt oder einen Sprung macht und als Pull-In-Spannung VP_a und -Kapazität CP_a oder -Kapazitätsänderung die jeweils letzten Werte vor Erreichen des des Pull-In-Punkts verwendet und gespeichert werden.

8. MEMS Mikrofon mit Selbstkalibrierungsvorrichtung,
- mit einem kapazitiv arbeitenden MEMS Sensor (MS), an den eine BIAS Spannung anlegbar ist und
 - mit einem mit dem MEMS Sensor verbundenen ASIC (AS)
 - bei dem der ASIC für folgende Schritte ausgelegt ist
 - a) Durchführen einer stufenweisen Erhöhung der BIAS Spannung
 - b) Bestimmen der Kapazitätsänderung oder der sich jeweils am MEMS Sensor ausbildenden Kapazität
 - c) Ermitteln des aktuellen Pull-In-Punkts über die Kapazitätsmessung
 - d) Abspeichern der Messwerte für BIAS Spannung und dazugehörige Kapazität oder Kapazitätsänderung am Pull-In-Punkt in einem internen Speicher
 - e) Durchführen eines Algorithmus zur Berechnung einer neu kalibrierten BIAS Spannung VS_{neu} unter Verwendung der aktuell bestimmten Messwerte und bereits abgespeicherter Messwerte aus einer ersten Messung

f) Anlegen der neu kalibrierten BIAS Spannung
 $V_{S_{neu}}$ an das MEMS Mikrofon.

1/2

Fig 1

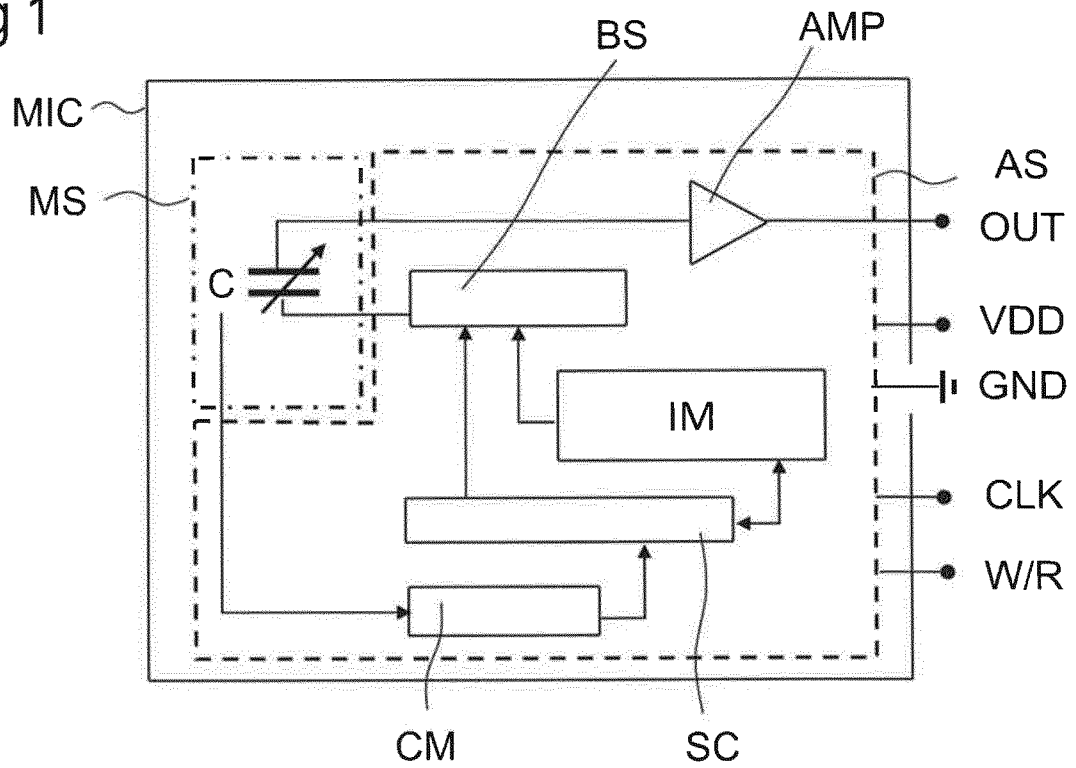
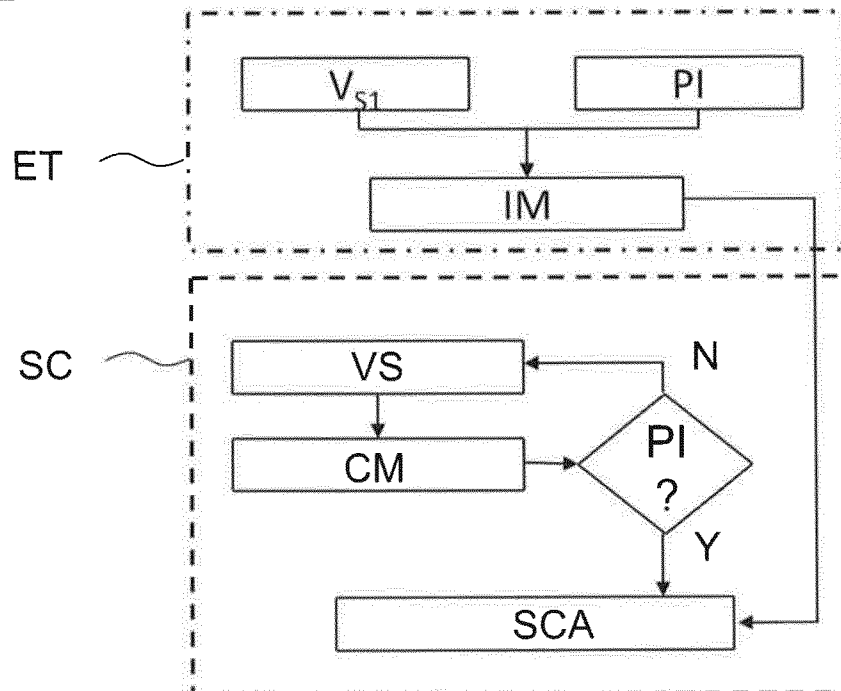


Fig 2



2/2

Fig 3

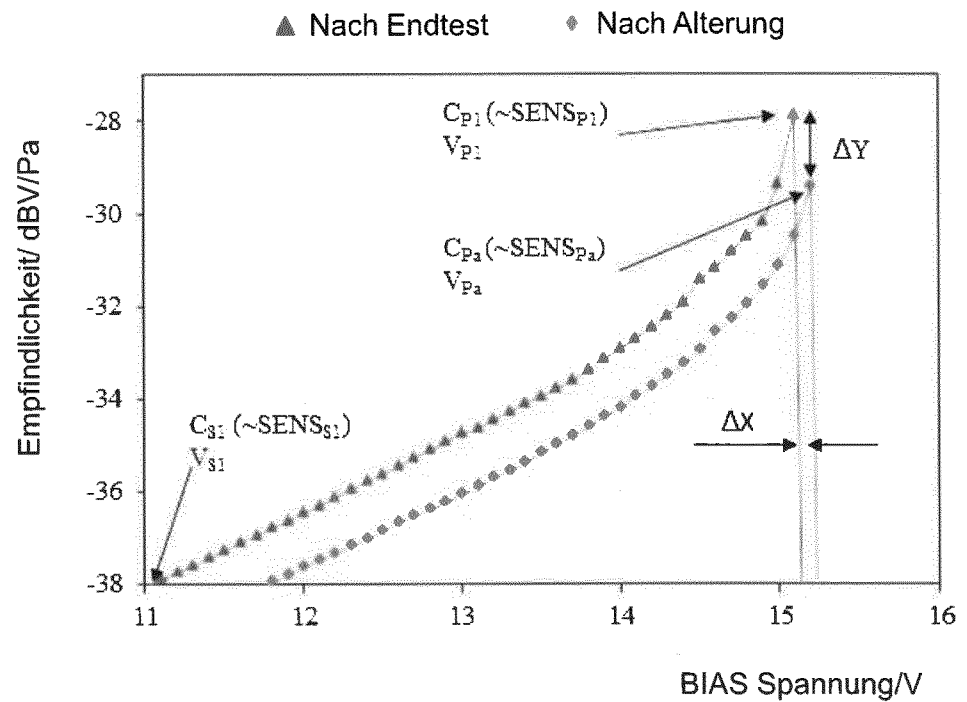
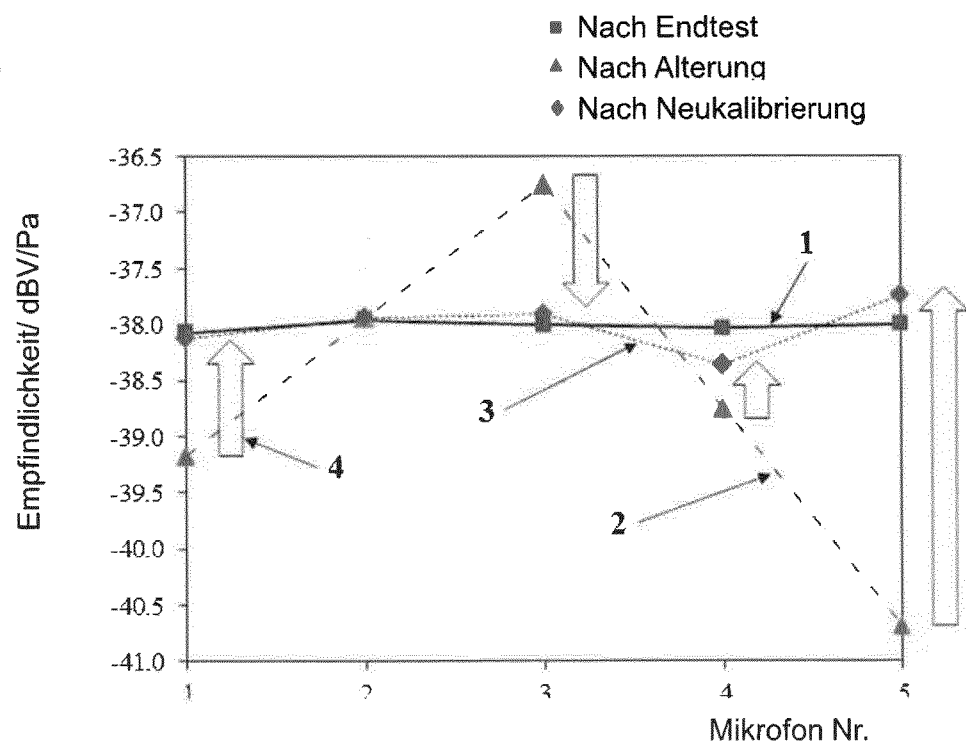


Fig 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/057543

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H04R29/00 H04R19/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H04R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2015/138116 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 17 September 2015 (2015-09-17)	1-3,5-8
Y	paragraphs [0002], [0021], [0025], [0032], [0035] - [0037]; figures 1,2 -----	4
Y	DE 10 2013 207233 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 24 October 2013 (2013-10-24)	4
A	paragraph [0030] - paragraph [0031] -----	1-3,5-8
A	DE 10 2014 103445 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 2 October 2014 (2014-10-02) paragraph [0003] - paragraph [0013] paragraph [0041] - paragraph [0043] -----	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 May 2017

Date of mailing of the international search report

24/05/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Betgen, Benjamin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/057543

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2015138116 A1	17-09-2015	DE 112015000345 T5 KR 20160123364 A WO 2015138116 A1	22-09-2016 25-10-2016 17-09-2015
DE 102013207233 A1	24-10-2013	CN 103373696 A CN 106115611 A DE 102013207233 A1 KR 20130119367 A US 2013277776 A1 US 2016087606 A1	30-10-2013 16-11-2016 24-10-2013 31-10-2013 24-10-2013 24-03-2016
DE 102014103445 A1	02-10-2014	CN 104053111 A DE 102014103445 A1 KR 20140113476 A US 2014266263 A1 US 2016041211 A1	17-09-2014 02-10-2014 24-09-2014 18-09-2014 11-02-2016

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H04R29/00 H04R19/00
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H04R

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2015/138116 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 17. September 2015 (2015-09-17)	1-3,5-8
Y	Absätze [0002], [0021], [0025], [0032], [0035] - [0037]; Abbildungen 1,2	4
Y	----- DE 10 2013 207233 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 24. Oktober 2013 (2013-10-24)	4
A	Absatz [0030] - Absatz [0031] -----	1-3,5-8
A	DE 10 2014 103445 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 2. Oktober 2014 (2014-10-02) Absatz [0003] - Absatz [0013] Absatz [0041] - Absatz [0043] -----	1-8



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

16. Mai 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

24/05/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Betgen, Benjamin

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/057543

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2015138116 A1	17-09-2015	DE 112015000345 T5	22-09-2016
		KR 20160123364 A	25-10-2016
		WO 2015138116 A1	17-09-2015

DE 102013207233 A1	24-10-2013	CN 103373696 A	30-10-2013
		CN 106115611 A	16-11-2016
		DE 102013207233 A1	24-10-2013
		KR 20130119367 A	31-10-2013
		US 2013277776 A1	24-10-2013
		US 2016087606 A1	24-03-2016

DE 102014103445 A1	02-10-2014	CN 104053111 A	17-09-2014
		DE 102014103445 A1	02-10-2014
		KR 20140113476 A	24-09-2014
		US 2014266263 A1	18-09-2014
		US 2016041211 A1	11-02-2016
