



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2015 117 248.8

(51) Int Cl.: G01N 15/14 (2006.01)

(22) Anmeldetag: 09.10.2015

G01F 3/00 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 13.04.2017

B41J 2/175 (2006.01)

B05B 1/02 (2006.01)

F16K 21/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

Vermes Microdispensing GmbH, 83624 Otterfing,
DE

(72) Erfinder:

Karger, Jiri, 80807 München, DE; Mehrle, Klaus
Werner, 83624 Otterfing, DE

(74) Vertreter:

Beckord & Niedlich Patentanwaltskanzlei, 83607
Holzkirchen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

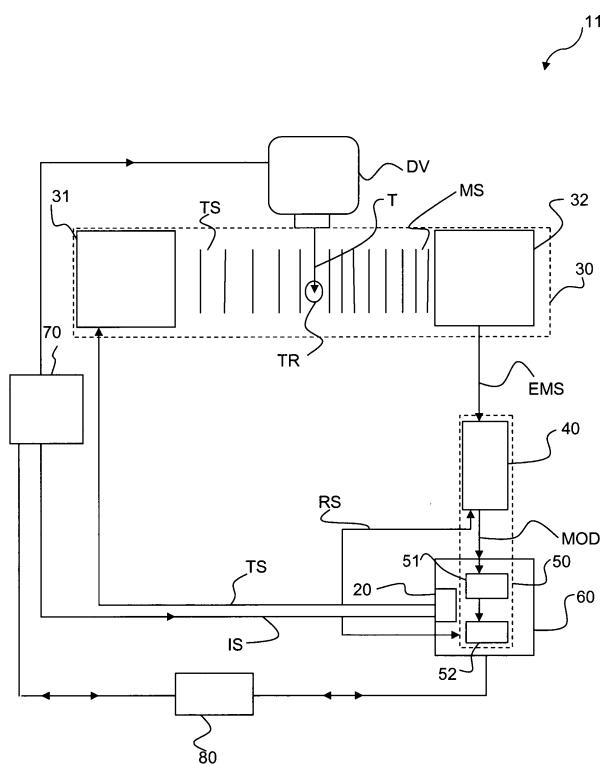
GB 1 520 606 A

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Tropfendetektionseinrichtung

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Tropfendetektionseinrichtung (11, 11a, 11b) zur Detektion von aus einer Düse eines Dosierventils (DV), vorzugsweise eines Mikrodosierventils, austretenden Tropfen (TR) beschrieben. Die Tropfendetektionseinrichtung (11, 11a, 11b) umfasst eine Signalerzeugungseinheit (20), welche dazu eingerichtet ist, ein Trägersignal (TS) mit einer definierten Pulsfrequenz zu erzeugen. Zudem weist die Tropfendetektionseinrichtung (11, 11a, 11b) eine Modulationseinheit (30, 30a) auf, welche dazu eingerichtet ist, ein durch eine physikalische Wechselwirkung des Trägersignals (TS) mit einem zu detektierenden Tropfen (TR), moduliertes Signal (MS) zu erzeugen. Weiterhin umfasst die Tropfendetektionseinrichtung (11, 11a, 11b) eine Auswertungseinheit (50), welche dazu eingerichtet ist, unter Berücksichtigung der definierten Pulsfrequenz auf Basis des Messsignals (MS) zu ermitteln, ob ein Tropfen (TR) von dem Dosierventil (DV) abgegeben wurde. Es wird auch ein Verfahren (600) zum Detektieren eines Tropfens (TR) eines Dosierventils (DV) beschrieben.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Tropfendetektionseinrichtung. Zudem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Detektieren eines Tropfens eines Dosierventils, vorzugsweise eines Mikrodosierventils.

[0002] Bei dem Aufbringen und Dosieren von dünnflüssigen oder pastösen Medien, beispielsweise bei dem Aufbringen von Klebstoffen, kommen Dosierventile zum Einsatz. Ein Dosierventil umfasst an der Stelle des Austritts des zu dosierenden Mediums eine Düse. Bei herkömmlichen Nadelventilen wird zum Dosieren einer definierten Medienmenge die Öffnung des Dosierventils freigegeben, indem die Dosiernadel aus dem Ventilsitz etwas herausgezogen wird. Dabei kann das Medium, beispielsweise unter Vordruck getrieben, die Düsenöffnung bzw. Ventilöffnung durchströmen. Wenn der Befüllvorgang oder der Doservorgang abgeschlossen werden soll, wird die Düse des Dosierventils geschlossen.

[0003] Insbesondere basierend auf der Piezodosierventiltechnik lassen sich auch sogenannte „Jet-Ventile“ aufbauen. Hierbei erfolgt die Abgabe von Medienmengen durch die Hin- und Herbewegung der Dosiernadel bzw. eines Ventilstößels, wobei eine Medienmenge bei einer Bewegung der Dosiernadel bzw. des Ventilstößels in Richtung der Düsenöffnung aus dieser strahlartig herausgestoßen wird. Dies erlaubt ein Aufbringen von definierten Mengen des Dosiermediums auch über größere Distanzen zwischen Dosierventil und Auftragsfläche, z. B. auf einem zu bearbeitenden Bauteil. Die Dosierabstände können dabei je nach Einsatzgebiet zwischen einem halben Millimeter und wenigen Millimetern variieren. Jet-Ventile ermöglichen eine sehr feine Dosierung mit hoher Geschwindigkeit bei vollständiger Kontaktlosigkeit zu dem zu bearbeitenden Bauteil. Um die Abgabe einzelner Tropfen kontrollieren zu können, sind Sensoren zur Detektion der Tropfen und entsprechende Auswertungsprozesse nötig.

[0004] Bei der optischen Detektion von Tropfen, welche insbesondere zuvor durch ein Jet-Ventil erzeugt wurden, treten folgende Schwierigkeiten auf:

[0005] Zunächst einmal soll zwischen dem Dosierventil und einer mit dem Tropfen beaufschlagten Oberfläche eines zu bearbeitenden Bauelements ein möglichst geringer Abstand eingehalten werden. Dieser Abstand kann je nach Anwendungsfall zwischen 0,5 mm und 3 mm variieren. Durch diese Vorgabe wird die mögliche Bauhöhe eines Tropfensors stark eingeschränkt. Weiterhin sind die zu detektierenden Tropfen mit Durchmessern von manchmal weniger als 10 µm sehr klein. Ferner ist die Geschwindigkeit der Tropfen mit bis zu 50 m/s sehr hoch, wodurch sich eine extrem kurze Durchflugszeit durch einen von einem detektierenden Sensor überwachten Bereich von einigen Mikrosekunden ergibt. Die geringe Größe und hohe Geschwindigkeit des Tropfens bedingen ein schwaches Sensorsignal mit geringen Signalamplituden und einem ungünstigen Signal-Rausch-Verhältnis, was eine störungssichere optische Detektion eines Tropfens sehr erschwert. Versucht man einen optoelektronischen Sensor, wie zum Beispiel einen Fotodetektor, nahe an der Düse des Ventils anzu bringen, um ein möglichst starkes optisches und damit nach der Wandlung elektrisches Signal zu erhalten, so kommt man mit den geringen Abmessungen des Systems in Konflikt. Beispielsweise ist es aufgrund des geringen Platzangebots kaum möglich, die gesamte Auswertelektronik direkt am Sensor zu positionieren. Wird die Auswertelektronik jedoch entfernt von der Sensorik angeordnet, so besteht das Problem, dass das erfasste elektrische analoge Signal zu der Auswertelektronik störungssicher übertragen werden muss.

[0006] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine an die beengten Platzverhältnisse angepasste Tropfendetektionseinrichtung zu entwickeln, welche hochsensitiv und störungssicher arbeitet.

[0007] Diese Aufgabe wird durch eine Tropfendetektionseinrichtung nach Anspruch 1 und ein Verfahren zum Detektieren eines Tropfens eines Dosierventils gemäß Patentanspruch 15 gelöst.

[0008] Eine erfindungsgemäße Tropfendetektionseinrichtung zur Detektion von aus einer Düse eines Dosierventils austretenden Tropfen weist eine Signalerzeugungseinheit auf, welche dazu eingerichtet ist, ein Trägersignal mit einer definierten Pulsfrequenz zu erzeugen. Als Trägersignal soll ein gepulstes Signal verstanden werden, welches sich mit konstanten charakteristischen Parametern (z. B. Frequenz, Amplitude) periodisch ändert, beispielsweise in einem bestimmten Rhythmus an- und abgeschaltet wird. Das Signal trägt zunächst im unmodulierten Zustand außer den konstanten charakteristischen Parametern keine Information mit sich. Die zu übertragende Information erhält es erst durch die Modulation, welche durch irgendeine Art von physikalischer Wechselwirkung des Trägersignals mit einer Informationsquelle realisiert sein kann. Beispielsweise kann ein Trägersignal mit Hilfe eines Modulationssignals moduliert werden oder durch eine sonstige physikalische Störung beeinflusst werden. Als Modulation soll in diesem Zusammenhang eine Änderung des Trägersignals bezüglich einer oder mehrerer seiner Parameter, wie zum Beispiel der Amplitude, der Frequenz oder

der Phase, verstanden werden. Die Pulsfrequenz sollte höher als die Frequenz der Modulation sein bzw. die Wellenlänge sollte kürzer sein als eine durch einen Tropfen verursachte „Störung“ des Signals.

[0009] Zudem umfasst die erfindungsgemäße Tropfendetektionseinrichtung eine Modulationseinheit, welche dazu eingerichtet ist, ein durch eine physikalische Wechselwirkung des Trägersignals mit einem zu detektierenden Tropfen moduliertes Messsignal zu erzeugen. Überdies weist die erfindungsgemäße Tropfendetektionseinrichtung eine Auswertungseinheit auf, welche dazu eingerichtet ist, auf Basis des modulierten Messsignals unter Berücksichtigung der definierten Pulsfrequenz zu ermitteln, ob ein Tropfen von dem Dosierventil abgegeben wurde. Vorzugsweise kann hierzu in einer Demodulationseinheit, welche zum Beispiel Teil der Auswertungseinheit sein kann, unter Berücksichtigung der definierten Pulsfrequenz ein Modulationssignal auf Basis des modulierten Signals ermittelt werden, und auf Basis des Modulationssignals wird dann ermittelt, ob ein Tropfen von dem Dosierventil abgegeben wurde. Als Modulationssignal soll in diesem Zusammenhang ein der Modulation des Trägersignals durch den Tropfen entsprechendes Signal verstanden werden, das durch Demodulation von dem Trägersignal wieder „getrennt“ werden kann. Das Trägersignal wird von der Signalerzeugungseinheit vorzugsweise mit einer definierten Pulsfrequenz und einem für die Modulationseinheit optimalen Tastverhältnis erzeugt. Auf das Trägersignal abgestimmt bzw. davon abgeleitet können von der Signalerzeugungseinheit vorzugsweise weitere Steuersignale, wie zum Beispiel Steuersignale eines Mischers der Demodulationseinheit mit einer optimalen Phasenlage zur Seitenbandselektion, erzeugt werden.

[0010] Bestimmte Signalparameterwerte des modulierten Messsignals bzw. des Modulationssignals, wie zum Beispiel der Verlauf der Kurve der zeitlichen Abhängigkeit von Amplitude und Phase des Modulationssignals, entsprechen bestimmten Eigenschaften bzw. Abmessungen eines zu detektierenden Tropfens. Die Beziehung zwischen den genannten Signalparametern und den Eigenschaften bzw. Abmessungen eines zu detektierenden Tropfens müssen für die Detektion nicht unmittelbar bekannt sein. Es reicht aus, wenn vorab, beispielsweise in einem Trainingsverfahren mit Hilfe von „Muster-Tropfen“ mit definierten Abmessungen, festgelegt wurde, welche Signalparameterwerte des modulierten Messsignals bzw. des Modulationssignals auf einen Tropfen mit den gewünschten Eigenschaften bzw. Abmessungen (der im Trainingsverfahren genutzten „Muster-Tropfen“) hinweisen, d. h. wann ein Tropfen als detektiert gilt. Relevante Einstellparameter können zum Beispiel durch die automatisierte Beobachtung von in einem Trainingsprozess detektierten Soll-Tropfen gefunden werden.

[0011] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zum Detektieren eines Tropfens eines Dosierventils wird ein vorzugsweise gepulstes Trägersignal mit einer definierten Pulsfrequenz erzeugt. Durch Beaufschlagen einer Trajektorie, auf der sich ein möglicher Tropfen bewegt, welcher von dem Dosierventil abgegeben wird, wird dafür gesorgt, dass durch eine physikalische Wechselwirkung des Trägersignals mit einem zu detektierenden Tropfen, der von dem Dosierventil abgegeben wurde, ein moduliertes Messsignal erzeugt wird. Dieses Messsignal entspricht, wenn kein Tropfen abgegeben wird, im Wesentlichen dem unveränderten Trägersignal und ansonsten dem durch die „Störung“ des Tropfens modifizierten Trägersignal. Das Messsignal wird analysiert, und auf Basis des modulierten Messsignals wird unter Berücksichtigung der definierten Pulsfrequenz, vorzugsweise indem zunächst auf Basis des modulierten Messsignals ein Modulationssignal für die weitere Auswertung erzeugt wird, ermittelt, ob ein Tropfen von dem Dosierventil abgegeben wurde.

[0012] Weitere besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung, wobei die Patentansprüche einer bestimmten Kategorie auch gemäß den abhängigen Ansprüchen einer anderen Kategorie weitergebildet sein können und Merkmale verschiedener Ausführungsbeispiele zu neuen Ausführungsbeispielen kombiniert werden können.

[0013] In einer Ausgestaltung der Tropfendetektionseinrichtung wird eine Abgabe eines Tropfens in einem definierten Zeitfenster überprüft, welches mit einer Tropfenabgabesteuerung des Dosierventils synchronisiert ist. Anders ausgedrückt, wird ein Zeitfenster, in dem ein Tropfen detektiert bzw. nach einem Tropfen überhaupt „gesucht“ wird oder gegebenenfalls überhaupt ein Trägersignal abgegeben wird, mit einer Tropfenabgabe des Dosierventils so synchronisiert, dass die vorgesehene Tropfenabgabe innerhalb des Zeitfensters liegt.

[0014] In einer speziellen Ausgestaltung umfasst die Tropfendetektionseinrichtung eine Demodulationseinheit, die dazu eingerichtet ist, eine Amplitudendemodulation des Messsignals durchzuführen.

[0015] In einer besonders effektiven Ausgestaltung wird eine Quadraturdemodulation des Messsignals durchgeführt, um eine In-Phase-Komponente und eine Quadratur-Komponente zu ermitteln. Hierzu kann die Demodulationseinheit entsprechend eingerichtet sein.

[0016] Vorzugsweise können auf Basis der In-Phase-Komponente und der Quadratur-Komponente der Betrag der Amplitude und/oder die Phase eines auf dem modulierten Messsignal basierenden Modulationssignals ermittelt werden. Beispielsweise lassen sich Amplitude und Phase des Modulationssignals durch Polarkoordinatentransformation der In-Phase-Komponente und der Quadratur-Komponente gewinnen. Hierzu kann die Auswertungseinheit der Tropfendetektionseinrichtung bevorzugt eine Modulationswertermittlungseinheit aufweisen, welche dazu eingerichtet ist.

[0017] In einer speziellen Variante der Tropfendetektionseinrichtung ist diese, insbesondere die Modulationswertermittlungseinheit, dazu eingerichtet, Amplituden-Ableitungswerte, umfassend die zeitliche Ableitung des Betrags der Amplitude, und/oder Phasen-Ableitungswerte, umfassend die zeitliche Ableitung der Phase des Modulationssignals, zu ermitteln.

[0018] In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Tropfendetektionseinrichtung, insbesondere die Modulationswertermittlungseinheit, dazu eingerichtet, in einem vorbestimmten festen Zeit-Intervall des Zeitfensters eine vorbestimmte Anzahl der Amplituden-Ableitungswerte zu Amplituden-Vergleichswerten und/oder in einem vorbestimmten zweiten Zeit-Intervall des Zeitfensters eine vorbestimmte Anzahl der Phasen-Ableitungswerte zu Phasen-Vergleichswerten zu kombinieren. Beispielsweise kann die Kombination der Amplituden-Ableitungswerte und der Phasen-Ableitungswerte eine Summation bzw. Addition mehrerer Amplituden-Ableitungswerte zu Amplituden-Vergleichswerten und eine Summation bzw. Addition mehrerer Phasen-Ableitungswerte zu Phasen-Vergleichswerten umfassen. Prinzipiell werden die beiden Zeit-Intervalle für die Kombination der Amplituden-Ableitungswerte und die Kombination der Phasen-Ableitungswerte während der Trainingsphase bzw. bei dem oben genannten Trainingsverfahren festgelegt. Dabei werden während des Trainings der Zeit-Intervalle ständig Werte ohne zeitliche Beschränkung gewonnen. Die Zeit-Intervalle werden so festgelegt, dass eine definierte Anzahl von Maximalwerten für die Amplituden-Ableitungswerte und die Phasen-Ableitungswerte in diesen Zeit-Intervallen gewonnen werden können. Die Zeit-Intervalle für die Amplituden-Ableitungswerte und die Phasen-Ableitungswerte werden vorzugsweise unabhängig voneinander festgelegt. D. h., deren Zeitdauer und deren Startzeitpunkt sind unabhängig voneinander.

[0019] Beispielsweise kann ein Zeit-Intervall so liegen, dass es 50 Messwerte umfasst, sollte die definierte Anzahl von Maximalwerten, zum Beispiel 10, in einem solch großen Bereich liegen. Nach Festlegung auf diesen Bereich, also nach der Trainingsphase, werden dann immer die 10 Maxima aus diesem 50 Messwerte umfassenden Zeit-Intervall ermittelt bzw. gesucht und weiterverwendet.

[0020] Auf Basis der Amplituden-Vergleichswerte und/oder der Phasen-Vergleichswerte kann dann bevorzugt ermittelt werden, ob das Modulationssignal einen Tropfen indiziert. Zusätzlich zu der Modulationswertermittlungseinheit umfasst daher die Auswertungseinrichtung der erfundungsgemäßen Tropfendetektionseinrichtung bevorzugt eine Detektionsfiltereinheit, welche dazu eingerichtet ist, auf Basis der Amplituden-Vergleichswerte und/oder der Phasen-Vergleichswerte zu ermitteln, ob das Modulationssignal einen Tropfen indiziert.

[0021] Zur Detektion eines Tropfens kann insbesondere die Detektionsfiltereinheit der Tropfendetektionseinrichtung dazu eingerichtet sein, eine Abweichung eines, z. B. von der Modulationswertermittlungseinheit, ermittelten Amplituden-Vergleichswerts von einem Amplituden-Referenzwert zu ermitteln und/oder eine Abweichung eines, z. B. von der Modulationswertermittlungseinheit, ermittelten Phasen-Vergleichswerts von einem Phasen-Referenzwert zu ermitteln. Ein Amplituden-Referenzwert kann zum Beispiel aus einer Mehrzahl von Amplituden-Vergleichswerten von vorher erfassten Modulationssignalen gebildet sein. Ein Phasen-Referenzwert kann zum Beispiel aus einer Mehrzahl von Phasen-Vergleichswerten von vorher erfassten Modulationsignalen gebildet sein. Bei der Bildung der Referenzwerte sollte darauf geachtet werden, dass nur Vergleichswerte, welche als korrekt detektierten Tropfen zugeordnet sind, in die Ermittlung der Referenzwerte eingehen.

[0022] In einer speziellen Ausgestaltung kann die Tropfendetektionseinrichtung eine Referenzwert-Speicherseinrichtung aufweisen, in der ein Amplituden-Referenzwert, welcher aus einer Mehrzahl von Amplituden-Vergleichswerten von vorher erfassten Modulationssignalen gebildet ist und/oder ein Phasen-Referenzwert, welcher aus einer Mehrzahl von Phasen-Vergleichswerten von vorher erfassten Modulationssignalen gebildet ist, als variable Referenzwerte gespeichert sind. Hieraus resultiert eine ständige Anpassung des Referenzwertes bei einer – in Bezug auf die Vergleichswerte eines Einzeltropfens – langsamen globalen durchschnittlichen Schwankung der Vergleichswerte. Gegenüber dem Vergleich der Vergleichswerte mit einer absoluten Größe können hierdurch die erlaubten Schwankungsbreiten in Bezug auf die Referenzwerte verkleinert werden.

[0023] Zur Ermittlung, ob ein Tropfen detektiert wurde, kann die Tropfendetektionseinrichtung, insbesondere die Detektionsfiltereinheit, dazu eingerichtet sein, zu ermitteln, ob die ermittelte Abweichung des Amplituden-

Vergleichswerts vom Amplituden-Referenzwert und/oder die ermittelte Abweichung des Phasen-Vergleichswerts vom Phasen-Referenzwert einen Maximalwert nicht überschreiten. Die Referenzwerte werden während des normalen Detektionsvorgangs laufend neu gewonnen. Sie stellen in Verbindung mit den aus einer Filtertrainingsphase ermittelten erlaubten relativen Abweichungen eine Art Sollwert dar. Die erlaubten relativen Abweichungsbreiten stellen empirische Größen dar, da sie bei dem Filtertraining ermittelt werden. Liegen die ermittelten Vergleichswerte zu weit weg von dem Sollwert, so wird daraus geschlossen, dass entweder kein Tropfen oder zumindest kein regulärer Tropfen detektiert wurde.

[0024] In einer besonders bevorzugten Variante wird ermittelt, ob der für die Ermittlung der Abweichung des Amplituden-Vergleichswerts verwendete Amplituden-Referenzwert in einem vorbestimmten Amplituden-Referenzwertintervall liegt und/oder ob der für die Ermittlung der Abweichung des Phasen-Vergleichswerts verwendete Phasen-Referenzwert in einem vorbestimmten Phasen-Referenzwertintervall liegt. Hierzu kann wiederum die Detektionsfiltereinheit entsprechend eingerichtet sein. Beispielsweise kann in einer Referenzwert-Speichereinrichtung jeweils ein festes Referenzwertintervall für die Amplituden- und Phasenreferenzwerte gespeichert sein. Ein solches festes Referenzwertintervall kann beispielsweise in einer Trainingsphase ermittelt werden, in der auch eine mögliche Schwankungsbreite eines Referenzwerts gemessen wird. Liegt der verwendete Referenzwert nicht in dem festen Referenzwertintervall, so wird davon ausgegangen, dass zur Festlegung des Referenzwertes überwiegend nicht reguläre Tropfen beigetragen haben, so dass ein solcher Referenzwert als nicht mehr sicher zu betrachten ist. Beispielsweise kann in einem solchen Fall ein Ermittlungsresultat als zumindest unsicher eingestuft oder gar verworfen werden. Eine solche Situation kann auftreten, wenn sich die Ausmaße der von einem Dosierventil dosierten Tropfen nur langsam, aber stetig ändern. Wird nun ein Referenzwert auf Basis solcher geänderter Modulationswerte bzw. Vergleichswerte gebildet, so kann im ungünstigen Fall ein Referenzwert auch einem nicht korrekten Tropfen entsprechen, der von einem vorab ermittelten Soll-Tropfen zu stark abweicht. Um einen solchen Fehler zu vermeiden, wird bevorzugt ein festes Intervall für die Referenzwerte festgelegt, von dem diese nicht abweichen dürfen. Wird ermittelt, dass die Referenzwerte nicht mehr in dem vorbestimmten Intervall liegen, so kann zum Beispiel eine Meldung an den Benutzer der Tropfendetektionseinrichtung ausgegeben werden, dass das System nicht mehr korrekt kalibriert ist. Der Benutzer kann dann Gegenmaßnahmen ergreifen. Beispielsweise kann der Benutzer das Dosierventil auf korrekte Funktion überprüfen und eventuelle Funktionsstörungen beseitigen. Anschließend können zum Beispiel nach einem Neustart des Systems korrekte Referenzwerte ermittelt werden. Die Referenzwerte werden in diesem Fall nach dem Neustart in einer Art Vorlaufphase ermittelt und während des Messvorgangs durch Mittelwertbildung von aktuellen Messwerten mit bisherigen Referenzwerten ständig aktualisiert.

[0025] In einer besonders praktikablen Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Tropfendetektionseinrichtung umfasst die Modulationseinheit eine Lichtemissionseinheit und eine Lichtsensoreinheit. Als Lichtemissionseinheit kann zum Beispiel eine Leuchtdiode, insbesondere eine Halbleiterdiode, verwendet werden, welche ein elektrisches Trägersignal in ein Lichtsignal wandelt. Die Lichtsensoreinheit kann zum Beispiel einen auf dem Fotoeffekt beruhenden Sensor, vorzugsweise einen Halbleitersensor, umfassen.

[0026] Zusätzlich kann die Modulationseinheit der erfindungsgemäßen Tropfendetektionseinrichtung mindestens zwei Lichtleiter umfassen. Diese Lichtleiter sind bevorzugt mit der Lichtemissionseinheit und der Lichtsensoreinheit derart verbunden und derart positioniert, dass von der Lichtemissionseinheit emittiertes Licht zu einer Trajektorie eines von einem Dosierventil emittierten Tropfens geleitet wird, die Trajektorie des Tropfens kreuzt und der Lichtsensoreinheit zugeführt wird. Anders ausgedrückt, führt einer der beiden Lichtleiter das von der Lichtemissionseinheit erzeugte Licht zu einem Bereich, durch den erwartungsgemäß ein von einem Dosierventil emittierter Tropfen hindurchfliegt. Der andere Lichtleiter wird bevorzugt dem ersten Lichtleiter gegenüberliegend positioniert, so dass er das von einem Tropfen eventuell modulierte Licht aufnimmt und der Lichtsensoreinheit zuführt. Bei der Verwendung zweier Lichtleiter als Lichttransporteinheiten kann vorteilhaft auf die Anordnung der Lichtemissionseinheit und der Lichtsensoreinheit direkt im Bereich der Trajektorie des Tropfens verzichtet werden. Somit muss bei der Dimensionierung der Lichtemissionseinheit und der Lichtsensoreinheit nicht auf die üblicherweise sehr eingeschränkten räumlichen Verhältnisse im Bereich der Düse des Dosierventils bzw. zwischen Dosierventil und Werkstück Rücksicht genommen werden.

[0027] Alternativ oder zusätzlich kann die erfindungsgemäße Tropfendetektionseinrichtung auch eine Modulationseinheit mit einer kapazitiven Sensoreinheit umfassen. In diesem Fall kann also das Prinzip der Tropfendetektion auf der Modulation der Kapazität eines Kondensators basieren, welche durch einen Tropfenflug bedingte Schwankung der relativen Permittivität hervorgerufen wurde. Die Analyse und Auswertung des modulierten Signals sowie die Erzeugung eines elektrischen Trägersignals können bei dieser Ausgestaltung analog zu den anderen Ausgestaltungen vorgenommen werden.

[0028] Besonders bevorzugt ist es, wenn die Signalerzeugungseinheit der erfindungsgemäßen Tropfendetektionseinrichtung dazu eingerichtet ist, als Trägersignal ein vorzugsweise gepulstes Rechtecksignal, d. h. ein möglichst rechteckförmiges Trägersignal, zu erzeugen.

[0029] Bevor mit der eigentlichen Tropfendetektion begonnen wird, wird bevorzugt zunächst eine Kalibration der erfindungsgemäßen Tropfendetektionseinrichtung vorgenommen. Dabei wird zum Beispiel eine Pulsweite des Trägersignals derart eingestellt, dass z. B. bei einer Variante, bei der mit einem Lichtsignal gearbeitet wird, eine optimale Helligkeit eines auf Basis des Trägersignals gebildeten Lichtstrahls erreicht wird. Die optimale Helligkeit bezieht sich auf das den optoelektronischen Sensor, vorzugsweise eine Photodiode, erreichende Restlicht, also das Licht, welches nach der gesamten optischen Strecke noch übrig bleibt und auf die Photodiode trifft. Die Intensität des emittierten Lichts – und damit auch des empfangenen Restlichts – muss so gewählt werden, dass der Sensor in diesem Betriebspunkt seine maximale Empfindlichkeit besitzt. Die Empfindlichkeit bezieht sich dabei darauf, dass aus einer leichten Schwankung der Lichtintensität eine maximal mögliche Schwankung des Ausgangsstroms der Photodiode resultiert. Die Einstellung der optimalen Helligkeit muss bei einem Tausch der Lichtwellenleiter angepasst werden.

[0030] Die zunehmenden Einstellungen betreffen zum Beispiel das Festlegen einer Frequenz des gepulsten Trägersignals, so dass das empfangene Signal, d. h. das Trägersignal sowie die durch die durch den Tropfen verursachte Amplitudenmodulation entstandenen Seitenbänder, den Bandpassfilter optimal durchlaufen können. Durch die Einstellung der Phasenlagen zwischen dem Trägersignal und den Ansteuersignalen der Demodulationseinheit wird dann ein Seitenband des modulierten Messsignals selektiert. Alle hier genannten Einstellungen sind Hardware-Parameter, welche im Prinzip nur beim ersten Start der Tropfendetektion oder beim Tausch von Hardware-Komponenten geändert werden müssen, beispielsweise auch beim Wechsel auf eine andere Lichtwellenleiterlänge. Hinzu kommen noch die Parameter für die drei Verstärkerstufen (**Fig. 3**, **Fig. 41**, **Fig. 44**, **Fig. 54**). Alle Hardware-Parameter können manuell eingegeben, aber auch automatisiert im Rahmen des Hardware-TeachIn (oder Hardware-Trainingsphase) gefunden/eingestellt werden.

[0031] Außerdem können in einer Trainingsphase Parameter der Detektionsfilttereinheit durch die automatisierte Beobachtung von „Soll-Tropfen“ gefunden werden. Die einstellbaren Parameter umfassen zum Beispiel Erfassungs-Zeitfenster für Amplituden/Phasen-Vergleichswerte, einen relativen erlaubten Bereich der Vergleichswerte in Bezug auf die Referenzwerte und einen erlaubten Bereich der Referenzwerte. Diese Werte ändern sich, wenn sich der Dosierprozess der Tropfen ändert. Sämtliche Parameter der Detektionsfilttereinheit können auch manuell gesetzt werden.

[0032] Vorzugsweise erfolgt die Aktivierung des Trägersignals synchron mit dem Empfang eines Steuersignals zum Öffnen des Dosierventils, welches die Steuereinheit des Dosierventils (Ventilsteuerungseinheit) an die Tropfendetektion aussendet. Das Steuersignal ist dabei bevorzugt als Rechtecksignal ausgebildet, welches sowohl für das Öffnen des Dosierventils als auch für das Schließen des Dosierventils ausgegeben wird. Der eigentliche Tropfenausstoßvorgang erfolgt während des Schließens des Dosierventils. Die Aktivierung des Trägersignals erfolgt bereits mit der ersten steigenden Flanke des Steuersignals zum Öffnen des Dosierventils, da das Trägersignal einige Mikrosekunden zur Stabilisierung benötigt. Die Reaktion der Auswertungseinheit erfolgt erst auf die zweite steigende Flanke des Steuersignals, also erst, wenn die tatsächliche Tropfenausstoßung beginnt. Denn erst in diesem Moment besteht die Möglichkeit, dass ein Tropfen die Modulationseinheit passiert. Auf diese Weise kann das zeitliche Verhalten des eigentlichen Jetvorgangs extrem genau detektiert werden.

[0033] Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von Ausführungsbeispielen noch einmal näher erläutert. Dabei sind in den verschiedenen Figuren gleiche Komponenten mit identischen Bezugsziffern versehen. Die Figuren sind in der Regel nicht maßstäblich. Es zeigen:

[0034] **Fig. 1** eine schematische Darstellung einer Tropfendetektionseinrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

[0035] **Fig. 2** ein Schaubild, welches den zeitlichen Verlauf einer Tropfendetektion veranschaulicht,

[0036] **Fig. 3** eine detailliertere schematische Darstellung einer Tropfendetektionseinrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

[0037] **Fig. 4** eine schematische Darstellung einer Modulationseinheit einer Tropfendetektionseinrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

[0038] **Fig.** 5 eine detailliertere schematische Darstellung einer Mischereinheit einer Demodulationseinheit einer Tropfendetektionseinrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

[0039] **Fig.** 6 eine schematische Darstellung einer Außenansicht einer Kontrolleinheit einer Tropfendetektionseinrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

[0040] **Fig.** 7 ein Flussdiagramm, mit dem ein Verfahren gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht wird,

[0041] **Fig.** 8 ein Flussdiagramm, mit dem das Funktionsprinzip der in den **Fig.** 1 und **Fig.** 3 gezeigten Modulationswertermittlungseinheit im Detail veranschaulicht ist,

[0042] **Fig.** 9 ein Flussdiagramm, mit dem das Funktionsprinzip der in den **Fig.** 1 und **Fig.** 3 gezeigten Detektionsfiltereinheit im Detail veranschaulicht ist,

[0043] **Fig.** 10 eine detailliertere schematische Darstellung einer Tropfendetektionseinrichtung gemäß einem alternativen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0044] In **Fig.** 1 ist eine Tropfendetektionseinrichtung **11** gemäß einem sehr vereinfachten, prinzipiellen Ausführungsbeispiel der Erfindung an einem Dosierventil DV schematisch gezeigt. Die Tropfendetektionseinrichtung **11** umfasst eine Signalerzeugungseinheit **20**. Die Signalerzeugungseinheit **20** erzeugt ein Trägersignal TS mit einer definierten Pulsfrequenz. Das Trägersignal TS wird an eine Modulationseinheit **30** übermittelt, welche dazu eingerichtet ist, das Trägersignal TS (in Abhängigkeit von einem zu detektierenden Tropfen) mit einem Modulationssignal zu beaufschlagen.

[0045] Die Modulationseinheit **30** umfasst einen Zwischenraum, in dem eine Trajektorie T eines Tropfens TR verläuft, der von dem Dosierventil DV emittiert wurde. Die Modulationseinheit **30** umfasst in dem in **Fig.** 1 gezeigten Ausführungsbeispiel eine erste Signalwandlungseinheit **31**, welche das erzeugte Trägersignal TS in eine Signalform wandelt, mit der eine Wechselwirkung des Trägersignals TS mit einem zu detektierenden Tropfen TR möglich ist. Der ersten Signalwandlungseinheit **31** gegenüberliegend ist eine zweite Signalwandlungseinheit **32** angeordnet, die ein eventuell von einem zu detektierenden Tropfen TR moduliertes Messsignal MS wieder in ein elektrisch übertragbares und elektronisch weiterverarbeitbares Signal EMS wandelt. Die Signalwandlungseinheiten **31**, **32** können auch zusätzlich Signalzuführungseinheiten und Signalabführungseinheiten (siehe **Fig.** 2) umfassen, die ein ungestörtes Zu- und Abführen eines mit einem Tropfen TR möglicherweise wechselwirkenden Signals in dem Zwischenraum zwischen den beiden Signalwandlungseinheiten **31**, **32** gewährleisten.

[0046] Das elektrische, modulierte Messsignal EMS wird von der Modulationseinheit **30** weiter an eine Auswertungseinheit **50** übermittelt. Die Auswertungseinheit **50** umfasst eine Demodulationseinheit **40**, welche das elektrische modulierte Messsignal EMS demoduliert. D. h., es wird ein Modulationssignal MOD (welches die Information enthält, ob eine Wechselwirkung zwischen dem Trägersignal und einem Tropfen erfolgt ist) des elektrischen modulierten Messsignals EMS von dem Trägersignal TS getrennt und anschließend an eine Modulationswertermittlungseinheit **51** übermittelt, welche in dem in **Fig.** 1 gezeigten ersten Ausführungsbeispiel Teil einer Steuereinrichtung **60** ist.

[0047] Die Modulationswertermittlungseinheit **51** ermittelt auf Basis des Modulationssignals MOD Vergleichswerte, wie zum Beispiel Amplituden-Vergleichswerte oder Phasen-Vergleichswerte. Die Vergleichswerte werden an eine Detektionsfiltereinheit **52** übermittelt, welche auf der Basis der genannten Vergleichswerte und vorab ermittelten Referenzwerte prüft, ob ein Tropfen TR mit der gewünschten Dimensionierung von dem Dosierventil DV abgegeben wurde oder nicht.

[0048] Weiterhin kann die Signalerzeugungseinheit **20** mit der Demodulationseinheit **40** elektrisch verbunden sein, um der Demodulationseinheit **40** ein Referenzsignal RS, zum Beispiel das erzeugte Trägersignal TS oder ein um eine bestimmte Phase verschobenes Trägersignal zu übermitteln. Die Signalerzeugungseinheit **20** und/oder die Auswertungseinheit **50** können zusätzlich mit einer Ventilsteuerungseinheit **70** des Dosierventils DV signaltechnisch verbunden sein. Beispielsweise übermittelt die Steuerungseinheit des Dosierventils DV ein Startsignal IS bzw. Triggersignal an die Signalerzeugungseinheit **20** und/oder an die Auswertungseinheit **50**, mit dem die genannten Einheiten **20**, **50** jedes Mal gestartet werden können, kurz bevor das Dosierventil DV einen Tropfen TR abgibt.

[0049] Die Ventilsteuerungseinheit **70** legt mit dem Startsignal IS sowohl den Startzeitpunkt eines Auslesefensters als auch den Start der Generierung des Trägersignals TS fest. Für die Festlegung des Startzeitpunkts des Auslesefensters wird das Startsignal IS an die Auswertungseinheit **50** gesandt. Für den Start der Trägersignalgenerierung wird das Startsignal zusätzlich an die Signalerzeugungseinheit **20** übermittelt. Zusätzlich ist zwischen die Ventilsteuerungseinheit **70** und die Steuereinrichtung ein Prozessleitrechner **80** geschaltet, welcher von der Steuereinrichtung **60** Informationen über die aktuelle Tropfen-Dosierung erhält.

[0050] In **Fig. 2** ist der zeitliche Ablauf einer Tropfendetektion mit Hilfe eines Schaubilds veranschaulicht, in dessen oberen Teil die Stößelposition SP des Dosierventils DV in Abhängigkeit von der Zeit t dargestellt ist. In dem unteren Teil des Schaubilds der **Fig. 2** ist der zeitliche Verlauf eines Steuersignals AS zur Steuerung der Stößelposition aufgezeichnet. Zeitgleich mit der Aktivierung des Stößels des Dosierventils DV durch die Ventilsteuerungseinheit **70** zum Zeitpunkt t_0 wird von der Ventilsteuerungseinheit **70** ein Startsignal IS an die Signalerzeugungseinheit **20** gesendet, welche darauf ein Trägersignal TS generiert. Die Aktivierung des Trägersignals TS erfolgt also bereits mit der ersten steigenden Flanke des Steuersignals des Dosierventils DV, da das Steuersignal einige Mikrosekunden zur Stabilisierung benötigt. Zugleich wird das Startsignal IS auch an die Auswertungseinheit **50** übermittelt, welche mit einer Verzögerung aktiviert wird und zu dem Zeitpunkt t_2 eine Tropfendetektion startet. Zu dem Zeitpunkt t_1 erreicht der Stößel des Dosierventils DV eine Position, bei der das Ventil vollständig geöffnet ist. Bei dem Zeitpunkt t_1 erfolgt mit Hilfe des Steuersignals des Dosierventils ein Stopp der Betätigung des Dosierventils. Bei dem Zeitpunkt t_2 wird ein Schließvorgang des Dosierventils DV gestartet. Zwischen den Zeitpunkten t_2 und t_3 wird ein Tropfen von dem Dosierventil DV emittiert und es erfolgt eine Detektion des Tropfens mit Hilfe der Auswertungseinheit **50**. Bei dem Zeitpunkt t_3 ist das Dosierventil wieder vollständig geschlossen und das Triggersignal IS wird gestoppt, so dass auch das Trägersignal TS mit einer bestimmten Verzögerung abgebrochen wird. Die Reaktion der Auswertungseinheit erfolgt verzögert zu dem Zeitpunkt t_2 , also erst, wenn der tatsächliche Tropenausstoßvorgang beginnt. Denn erst ab diesem Moment besteht die Möglichkeit, dass ein Tropfen die Modulationseinheit **30** passiert. Das ausgesendete Triggersignal IS der Ventil-Steuerungseinheit **70** dient der Signalerzeugungseinheit **20** als Start-Signal für die Erzeugung des Trägersignals TS. Der Detektionsfiltereinheit **52** dient es als Zeitbasis für das Filterzeitfenster. Das Filterzeitfenster bezieht sich immer auf dieses Triggersignal.

[0051] In **Fig. 3** ist eine Tropfendetektionseinrichtung **11a** gemäß einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung im Detail gezeigt. Die Tropfendetektionseinrichtung **11a** umfasst wie die in **Fig. 1** gezeigte Tropfendetektionseinrichtung **11** gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung eine Signalerzeugungseinheit **20**, welche in **Fig. 3** gestrichelt eingezeichnet ist. Die Signalerzeugungseinheit **20** umfasst in diesem Ausführungsbeispiel eine Sendesignalgenerierungseinheit **21**, welche ein Sendesignal PWM_5 mit einer definierten, vorgebbaren Pulsfrequenz zum Beispiel als gepulstes Rechtecksignal erzeugt. Das erzeugte Sendesignal PWM_5 wird an einen Leistungsverstärker **24** übermittelt, welcher das Sendesignal PWM_5 zu einem Trägersignal TS verstärkt. Die Signalerzeugungseinheit **20** umfasst eine zweite Signalgenerierungseinheit **23**, welche dazu eingerichtet ist, gegenüber dem Trägersignal phasenverschobene gepulste Steuersignale PWM_1, ..., PWM_4 an eine Mischereinheit **43** einer Demodulationseinheit **40** zu übermitteln. Die Pulsfrequenz der Steuersignale PWM_1, ..., PWM_4 für den Mischer **43** ist immer gleich der Frequenz des Sendesignals PWM_5. Die Phasenverschiebung zwischen den Steuersignalen PWM_1, ..., PWM_4 und dem Sendesignal ist variabel. Die Pulsfrequenz beträgt vorzugsweise 450 kHz ± 15 kHz. Die Festlegung der Frequenz des Trägersignals dient dazu, dass das empfangene Signal (das Trägersignal und durch die durch den Tropfen bewirkte Amplitudenmodulation entstandene Seitenbänder) das Bandpassfilter optimal durchlaufen kann.

[0052] Durch die Einstellung der Phasenlage zwischen dem Trägersignal und den Ansteuersignalen der Demodulationseinheit wird dann ein Seitenband selektiert. Die Trägerfrequenz muss dem Abtasttheorem nach höher als die zweifache, sich aus der Tropfendurchfluszeit durch die Modulationseinheit **30** ergebende Frequenz sein.

[0053] Das Trägersignal TS wird von dem Verstärker **24** an eine Modulationseinheit **30** übermittelt. Die Modulationseinheit **30** umfasst wie die in **Fig. 1** gezeigte Modulationseinheit **30** erste und zweite Signalwandlungseinheiten **31**, **32**. In dem in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsbeispiel umfasst die erste Signalwandlungseinheit **31** eine Lichtemissionseinheit. Die Lichtemissionseinheit kann zum Beispiel eine Leuchtdiode sein, welche in Abhängigkeit von dem an der Leuchtdiode anliegenden Trägersignal TS leuchtet. Anders ausgedrückt, wird das zunächst als gepulster elektrischer Strom vorliegende Trägersignal TS in ein gepulstes Lichtsignal gewandelt. Die erste Signalwandlungseinheit **31** ist hier mit einem ersten Lichtwellenleiter L1 verbunden, der das gepulste Lichtsignal einem Zwischenraum ZR zuführt, in dem eine Trajektorie eines zu detektierenden Tropfens TR eines Dosierventils verläuft. Dem ersten Lichtwellenleiter L1 gegenüberliegend ist ein zweiter Lichtwellenleiter L2 angeordnet, welcher mit einer zweiten Signalwandlungseinheit **32** verbunden ist und ein eventuell durch

einen Tropfen TR moduliertes Lichtsignal MS an die zweite Signalwandlungseinheit **32** weiterleitet. Die zweite Signalwandlungseinheit **32** umfasst zum Beispiel einen Photodetektor, welcher das modulierte Lichtsignal MS empfängt und wieder in ein von einer elektrischen Leitung transportierbares elektrisches moduliertes Signal EMS umwandelt.

[0054] Das elektrische modulierte Signal EMS wird anschließend von der Modulationseinheit **30** an eine Auswertungseinheit **50** übermittelt, welche auch eine Demodulationseinheit **40** aufweist. Die Demodulationseinheit **40** umfasst eine Verstärkereinheit **41**, welche das modulierte Signal EMS verstärkt. Die Verstärkereinheit **41** wird über einen Steuerungssignalausgang **22** von der Signalerzeugungseinheit **20** angesteuert und dient einerseits zur Vorverstärkung des von dem Photodetektor **32** erfassten modulierten Signals EMS und andererseits als Transimpedanzverstärker. Der Photodetektor **32** wird dabei in Sperrrichtung vorgespannt, und in einem Quasikurzschluss betrieben. Hierdurch erfolgt vom Photodetektor **32** nur noch die Abgabe eines von der Beleuchtungsstärke über viele Größenordnungen linear abhängigen Stroms ohne Spannungsschwankung. Hierdurch liegt die normalerweise durch die Sperrsichtkapazität limitierte Bandbreite des Detektors wesentlich höher, da keine Umladung der Kapazität erfolgt. Durch die Vorspannung wird zudem eine weitere Verkleinerung der Kapazität erreicht, womit eine weitere Steigerung der erzielbaren Bandbreite einhergeht. Durch den Transimpedanzverstärker erfolgt zudem eine Umsetzung des Stromsignals in ein Spannungssignal. Der Verstärkungsfaktor dieser Umsetzung ist justierbar. Hierdurch wird eine maximale, von der Tropfenabschattung abhängige, spannungsgeführte Signalmodulation erreicht.

[0055] Weiterhin umfasst die Demodulationseinheit **40** eine Filtereinheit **42**. Die Filtereinheit **42** kann zum Beispiel einen Bandpassfilter umfassen, welcher nur die beiden Seitenbänder und die Trägerfrequenz des modulierten Signals EMS durchlässt. Die Filtereinheit **42** entfernt außerdem eventuelle – durch externe Lichteinstrahlung verursachte – Störsignale, beispielsweise mit von der Pulsfrequenz des Trägersignals TS weit entfernten Frequenzen. Zudem entfernt die Filtereinheit **42**, bevorzugt ein steilflankiger Bandpassfilter, auch durch die Pulsweitenmodulation erzeugte Oberwellen. Das so gefilterte modulierte Messsignal EMS wird anschließend an einen Mischer **43** weitergeleitet, der das modulierte und gefilterte Messsignal EMS mit von der zweiten Signalgenerierungseinheit **23** erzeugten, gegenüber dem Trägersignal phasenverschobenen gepulsten Ansteuersignalen PWM_1, ..., PWM_4 mischt und ein In-Phase-Signal bzw. eine In-Phase-Komponente I an einen In-Phase-Signalverstärker **44** übermittelt und ein Quadratur-Signal bzw. eine Quadraturkomponente Q an einen Quadratur-Signal-Verstärker **45** übermittelt. Die phasenrichtige Ansteuerung des Mischers **43** bewirkt die Demodulation nur eines Seitenbandes. Der In-Phase-Signalverstärker **44** und der Quadratur-Signal-Verstärker **45** werden von einem Steuerungssignalausgang **22** der Signalerzeugungseinheit **20** angesteuert. Die Verstärker **41**, **44**, **45** werden getrennt voneinander angesteuert. Sie werden jeweils über einen über einen Datenbus (zb. I2C-Bus) programmierbaren veränderlichen Widerstand (Rheostat), welcher die Rückkopplung beeinflusst, eingestellt. Jeder Rheostat (und damit Verstärker) wird hierbei einzeln verstellt. Die Einstellung des Verstärkers **41** ist dabei vom Wert her völlig unabhängig von den Verstärkern **44** und **45**. Die Verstärker **44** und **45** weisen jedoch immer denselben Wert auf, um die Relation zwischen dem I- und dem Q-Signal nicht zu verändern. Dennoch werden auch diese beiden getrennt voneinander angesteuert. Die Funktionsweise der Mischereinheit **43** ist in **Fig. 4** im Detail gezeigt und wird später noch näher erläutert. Die In-Phase-Komponente I und die Quadraturkomponente Q bilden dabei das Modulationssignal MOD.

[0056] Nach der Verstärkung der beiden Signalkomponenten I, Q in den Verstärkern **44**, **45** werden die beiden Komponenten I, Q innerhalb der Auswertungseinheit **50** an die Teileinheiten der Auswertungseinheit **50** übermittelt, welche in dem in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsbeispiel Teil der Steuereinheit **60** sind. Die Steuereinheit **60** umfasst entsprechende Eingänge **53**, **54** für die Signalkomponenten I, Q. Den Eingängen **53**, **54** nachgeschaltet sind AD-Wandler (nicht gezeigt), welche die analogen Signalkomponenten I, Q in digitale Signale wandeln. Die Verstärker **44**, **45** der Demodulationseinheit **40** sind in ihrem Verstärkungsfaktor anpassbar und dienen dazu, die von der Mischereinheit **43** erzeugten Signalkomponenten I, Q des Modulationssignals MOD auf ein für die AD-Wandler optimales Spannungsniveau anzuheben. Hierdurch wird eine maximale Ausnutzung der Wandlerauflösung gewährleistet. Um die AD-Wandler nicht durch die in den Komponenten I, Q vorhandenen Gleichanteile an ihr durch eine Referenzspannung vorgegebenes Spannungslimit zu bringen, werden nur die durch einen Tropfen verursachten Wechselanteile verstärkt.

[0057] Weiterhin umfasst die Auswertungseinheit **50** die bereits im Zusammenhang mit der **Fig. 1** beschriebene Modulationswertermittlungseinheit **51** und die Detektionsfiltereinheit **52**. Diese Teileinheiten der Auswertungseinheit **50** sind in dem in **Fig. 3** gezeigten zweiten Ausführungsbeispiel Teil der Steuereinrichtung **60**. In der Modulationswertermittlungseinheit **51** werden die digitalisierten Signalkomponenten I, Q mathematisch aufbereitet und in Amplituden- und Phaseninformationen transformiert, beispielsweise mit Hilfe der Polarkoordinatentransformation. Die Detektionsfiltereinheit **52** lässt sich zum Beispiel als parametrierbarer Softwarefilter

ausbilden, mit dem anhand der erfassten Informationen ermittelt wird, ob ein Tropfen das von der Modulationseinheit **30** gebildete Sensorsystem passiert hat. Bevor das System **11a** seinen regulären Betrieb aufnimmt, muss es durch zwei voneinander getrennt ablaufende Initialisierungsvorgänge eingestellt werden.

[0058] Zum einen müssen sämtliche Hardware-Baugruppen auf einen für die Detektion optimalen Arbeitspunkt eingestellt werden. Diese Einstellungen umfassen die Festlegung des Arbeitspunktes des Lichtsensors **32** durch das Trägersignal-Tastverhältnis, die Frequenzabstimmung des Trägersignals TS auf die Filterkennlinie des Bandpassfilters **42**, die Einstellung der Phasenlage der Mischersignale PWM_1...PWM_4 in Relation zum Trägersignal zur genauen Seitenbandselektion, die Findung des optimalen Verstärkungsfaktors des Transimpedanzverstärkers **41** sowie die Signalanpassung der I- und Q-Signale für die AD-Wandler der Eingänge **53**, **54** durch die ADC-Vorverstärker **44**, **45**.

[0059] Zum anderen müssen alle Parameter der Detektionsfiltereinheit **52**, bezogen auf die zu erwartenden Soll-Tropfen TR, justiert werden. Dies umfasst die Zeitfenster für die Suche der Ableitungsmaxima für die Amplituden- und Phasenwerte, die erlaubten relativen Abweichungsbreiten der Vergleichswerte von den Referenzwerten der Amplituden- und Phasenwerte sowie die erlaubten absoluten Bereiche der Referenzwerte der Amplituden- und Phasenwerte. Sowohl die Hardware- als auch die Filter Einstellungen können manuell oder durch automatische Trainingsprozesse eingestellt werden. Diese Einstellungen werden für die Modulationswertgewinnung sowie die Signalbeurteilung hinsichtlich der Erkennung eines Tropfens TR benötigt.

[0060] In **Fig. 4** ist eine Modulationseinheit **30**, wie sie in dem Beispiel gemäß **Fig. 3** eingesetzt werden kann, im Detail gezeigt. Die Modulationseinheit **30** umfasst in dem in **Fig. 4** gezeigten Ausführungsbeispiel eine Leuchtdiode **31** und einen Lichtsensor **32**. Das von der Leuchtdiode **31** erzeugte gepulste Licht TS wird mit Hilfe eines ersten Lichtleiterelements L1 durch ein Emissionsfenster **14** einem Zwischenraum ZR zugeführt, in dem eine Trajektorie eines von einem Dosierventil DV (mit einer Düsenstellmutter DEM) emittierten Tropfens TR verläuft. Von dem Tropfen TR wird das gepulste Licht TS zu einem modulierten Lichtsignal MS moduliert. Das modulierte Lichtsignal MS wird über ein Detektionsfenster **15** in ein zweites Lichtleiterelement L2 eingekoppelt und dem Lichtsensor **32** zugeführt. Da das erfundungsgemäße Detektionsverfahren sehr unempfindlich gegen Streulicht und andere Störung, jedoch höchst empfindlich gegenüber dem Nutzsignal ist, ist es vorteilhafterweise nicht erforderlich, am Emissionsfenster **14** des ersten Lichtleiterelements L1 oder am Detektionsfenster **15** des zweiten Lichtleiterelements L2 zusätzliche optische Elemente, wie z. B. Linsensysteme oder dergleichen, einzusetzen. Die Aus bzw. Eintrittsseiten der Lichtwellenleiterelemente L1, L2 müssen möglichst plausenrecht zur Längsachse der Lichtwellenleiter L1, L2 sein. Da sich der Lichtsensor **32** und die Lichtemissionseinheit **31** außerhalb des von dem Dosierventil DV eingenommenen Arbeitsbereichs befinden, können der Lichtsensor **32** und die Lichtemissionseinheit **31** unabhängig von den im Bereich der Düsenstellmutter DEM des Dosierventils vorherrschenden beengten Platzverhältnissen dimensioniert sein. Die Lichtemissionseinheit **31** dient als Signalwandler, welcher das unmodulierte elektrische Trägersignal TS in ein unmoduliertes Lichtsignal LS wandelt. Der Lichtsensor **32** dient als Signalwandler, welcher das modulierte Lichtsignal MS in ein moduliertes elektrisches Messsignal EMS wandelt. Die anschließende Verarbeitung des modulierten elektrischen Messsignals EMS ist im Zusammenhang mit den **Fig. 3** und **Fig. 5** ausführlicher beschrieben.

[0061] In **Fig. 5** ist eine Mischereinheit **43**, in dieser Ausführungsform ein Quadraturdemodulator, im Detail gezeigt. Der Quadraturdemodulator **43** umfasst einen Übertrager **431**, eine Schaltereinheit **432** mit parallel geschalteten Schaltern **432a**, **432b**, **432c**, **432d** eine Integratoreinheit **433** mit den parallel geschalteten Schaltern **432a**, **432b**, **432c**, **432d** jeweils nachgeschalteten Integratoren **433a**, **433b**, **433c**, **433d** sowie einen ersten und einen zweiten Differenzverstärker **434a**, **434b**, welche jeweils mit zwei Integratoren elektrisch verbunden sind. Der Quadraturdemodulator **43** wirkt als Einseitenbandmischer und setzt das elektrische modulierte Messsignal EMS wieder zurück in das Basisband. Das für die Demodulation verwendete Seitenband wird durch eine passende Wahl der Phasenlage des modulierten Messsignals EMS in Bezug zu vier Steuersignalen PWM_1, ..., PWM_4, welche die Schalter **432a**, **432b**, **432c**, **432d** des Mischers **43** steuern, über die Differenzverstärker **434a**, **434b**, welche den Integratoren **433a**, **433b**, **433c**, **433d** nachgeschaltet sind, selektiert. Als Ausgangssignale der Differenzverstärker **434a**, **434b** werden Inphase-Signale I und Quadratur-Signale Q erzeugt.

[0062] Im Einzelnen funktioniert die Mischereinheit **43** wie folgt: Ein Messsignal EMS wird von dem Übertrager **431** auf den Eingang der Mischereinheit **43** übertragen. Der Übertrager **431** dient der Leistungsanpassung zwischen verschiedenen Bauteilen sowie der Signalsymmetrierung und der Entfernung von bestehenden Gleichanteilen. Weiterhin umfasst der Mischer **43** einen Widerstand R, der seriell zu dem Ausgang des Übertragers geschaltet ist und mit den Integratoren **433a**, **433b**, **433c**, **433d** zusammen einen Filter bildet. Die Schalter **432a**, **432b**, **432c**, **432d** werden von der zweiten Signalgenerierungseinheit **23** mit Steuersignalen PWM_1, ..., PWM_4 beaufschlagt bzw. getaktet, welche jeweils für ein Viertel der Periode T_{PWM} bzw. eine Viertelwelle des

Trägersignals TS einen der Schalter **432a**, **432b**, **432c**, **432d** durchschalten. Die Steuersignale PWM_1, ..., PWM_4 sind also mit dem Trägersignal TS synchronisiert. Ist einer der Schalter **432a**, **432b**, **432c**, **432d** geschlossen, so wird das Messsignal EMS für das Zeitintervall, in dem der jeweilige Schalter **432a**, **432b**, **432c**, **432d** geschlossen ist, von dem zugeordneten Integrator **433a**, **433b**, **433c**, **433d** zu einem Durchschnittswert aufintegriert. Die Integratoren **433a**, **433b**, **433c**, **433d** können beispielsweise parallel geschaltete Kondensatoren umfassen und erzeugen Durchschnittswerte der den einzelnen Viertelwellen des Trägersignals TS zu geordneten Abschnitte des Messsignals EMS. Ein in der ersten Viertelwelle aufintegrierter Durchschnittswert liegt an dem mit „+“ gekennzeichneten positiven Eingang des ersten Differenzierers **434a** und ein in der dritten Viertelwelle aufintegrierter Durchschnittswert liegt an dem mit „-“ gekennzeichneten negativen Eingang des ersten Differenzierers **434a** an. Ein in der zweiten Viertelwelle aufintegrierter Durchschnittswert liegt an dem positiven Eingang des zweiten Differenzierers **434b** und ein in der vierten Viertelwelle aufintegrierter Durchschnittswert liegt an dem negativen Eingang des zweiten Differenzierers **434b** an. An dem Ausgang des ersten Differenzierers **434a** wird ein In-Phase-Signal I im Basisband erzeugt und an dem Ausgang des zweiten Differenzierers wird ein Quadratur-Signal Q im Basisband erzeugt. Details zur Funktionsweise solcher Misch-einheiten sind in US 6,230,000 B1 beschrieben.

[0063] In Fig. 6 ist eine Außenansicht (eines Gehäuses) einer Steuereinrichtung **60** gezeigt, mit der die Ansteuerung einzelner Einheiten einer Tropfendetektionseinrichtung **11**, **11a**, **11b**, die Auswertung von Messsignalen, die Überwachung der Funktionsfähigkeit einzelner Einheiten und die Einstellung und Abstimmung einzelner Systemparameter vorgenommen werden kann. In diesem Gehäuse ist die gesamte Elektronik untergebracht. Dies betrifft im Prinzip das Gesamtsystem der Tropfendetektion inkl. der optoelektronischen Signalauswandler (Empfänger-Fotodiode **32**, und Sende-LED **31**). Diese stellen die Grenze zur „optischen Strecke“ dar, d. h. dem Sende-Lichtwellenleiter L1, dem Emissionsfenster und der Tropfenstrecke T, welche extern liegt.

[0064] Der Datenbus-Anschluss DB soll zukünftig unter anderem der Kommunikation mit der Ventil-Steuereinheit dienen. Beispielsweise können über diesen Datenbus-Anschluss DB der momentane Status der Tropfendetektion oder auch Statistiken zu den vergangenen Dosierprozessen (Anzahl detekтирter Fehler, und wann diese aufgetreten sind) an diese übermittelt werden. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit für diesen Datenbus-Anschluss DB besteht darin, dass die Tropfendetektion die Ventil-Steuereinheit über diesen Bus auffordern könnte, absichtlich Fehl-Dosierungen zu veranlassen, um die korrekte Funktion der Tropfendetektion zu überprüfen. Diese müsste dann diese absichtlichen Fehl-Dosierungen sicher detektieren.

[0065] Teil der Steuereinrichtung **60** ist auch eine Kommunikationsschnittstelle I/O, mit der Triggersignale von der Ventil-Steuereinheit **70** empfangen werden und über die Informationen bezüglich des Systemstatus der Tropfendetektionseinrichtung und des Dosierungsstatus ausgegeben werden.

[0066] Weiterhin umfasst die Steuereinrichtung **60** eine serielle Schnittstelle SI, welche als Anschluss an einen übergeordneten Prozessleitrechner **80** dient. Der Prozess-Leitrechner **80** kann über die serielle Schnittstelle SI die Tropfendetektion steuern und/oder Statusberichte zu den vergangenen Dosierungen abfragen.

[0067] Die Steuereinrichtung **60** weist zudem einen Eingang RX auf, der als Anschluss des Empfangs-Lichtwellenleiters L2 an das Fotoelement **32** dient. Ein Ausgang TX dient als Anschluss des Sende-Lichtwellenleiters L1 an die Sende-Leuchtdiode **31**. Ein weiterer Eingang U_S dient der Spannungsversorgung der Steuereinrichtung **60**. Ein zusätzlicher Eingang PGM kann als Programmierbuchse zur Firmwareübertragung genutzt werden.

[0068] Überdies umfasst die Steuereinrichtung **60** ein Display **55** sowie mehrere Kontrollleuchten **56**, ..., **59**. Eine erste Kontrollleuchte **56** dient der Anzeige verschiedener Systemfehler. Eine zweite Kontrollleuchte **57** dient der Anzeige eines Systemstatus bzw. einer Aktivität des Systems. Dieser Status kann beispielsweise den Sachverhalt betreffen, dass ein Lichtwellenleiter L1, L2 nicht richtig angeschlossen, beschädigt, zu lang oder verschmutzt ist. Eine dritte Kontrollleuchte **58** kann eine Mitteilung darüber beinhalten, dass ein Tropfen mit einer korrekten Dosierung detektiert wurde. Eine vierte Kontrollleuchte **59** kann eine Mitteilung umfassen, dass ein Fehler bei der Dosierung aufgetreten ist, dass also zum Beispiel kein Tropfen detektiert wurde oder der detektierte Tropfen eine zu große Abweichung von einem Soll-Tropfen aufweist.

[0069] Die Steuereinrichtung **60** umfasst zwei Druckschalter S1, S2 zum Abstimmen einzelner Einheiten einer Tropfendetektionseinrichtung. Beispielsweise wird durch Drücken des einen Schalters S1 für eine definierte Zeitspanne (hier z. B. 2 s) ein erster Trainingsmodus, ein „Hardware-Trainingsmodus“, eingeschaltet, in dem zum Beispiel das Einstellen einer Pulsweite des Trägersignals TS, so dass eine optimale Helligkeit der Lichtmissionseinheit **31** in Bezug auf das die Lichtsensoreinheit erreichende Restlicht eines auf Basis des Trägersi-

gnals TS gebildeten Lichtstrahls erreicht wird, das Festlegen einer Frequenz des gepulsten Trägersignals TS, so dass die beiden Seitenbänder des modulierten Signals EMS eine der Sensoreinrichtung nachgeschaltete Filtereinheit **42** passieren können, das Einstellen der Phasenlage des Trägersignals TS über das Signal PWM_5 in Relation zu den Steuersignalen PWM_1,...,PWM_4, mit welchen die der Demodulationseinheit zugehörige Mischereinheit **43** angesteuert wird, und das Einstellen der Verstärkereinheiten **44** und **45** zur Spannungsanpassung sowie der Verstärkereinheit **41**, welche als Transimpedanzverstärker wirkt, erfolgt. Dieser Hardware-Trainingsmodus wird z. B. bei einer ersten Inbetriebnahme der Tropfendetektionseinrichtung durchgeführt oder wenn Hardwarekomponenten getauscht wurden.

[0070] Durch Drücken des anderen Schalters S2 für eine definierte Zeitspanne (auch z. B. 2 s) wird ein zweiter Trainingsmodus, ein „Software-Trainingsmodus“, eingeschaltet, in dem z. B. die Detektionsfiltereinheit **52** sowie die Modulationswertermittlungseinheit **51** der Auswertungseinheit **50** auf einen neuen Tropfentyp trainiert wird. Hierbei werden die relativen erlaubten Schwankungsbreiten der Vergleichswerte in Relation zu den Referenzwerten, die Erfassungszeitfenster der für die Detektionsfiltereinheit **52** relevanten Werte sowie die absoluten Wertebereiche der Referenzwerte festgelegt. Dieser Software-Trainingsmodus wird z. B. dann durchgeführt, wenn eine neue Prüfserie ansteht, d. h. eine andere Sorte von Tropfen detektiert werden soll.

[0071] In **Fig. 7** ist ein Flussdiagramm gezeigt, mit dem ein Verfahren **700** zum Detektieren eines Tropfens eines Dosierventils DV veranschaulicht ist. Bei dem Schritt **7.I** wird ein gepulstes Trägersignal TS mit einer definierten Pulsfrequenz und einem definierten Tastverhältnis erzeugt. Bei dem Schritt **7.II** wird ein moduliertes Messsignal MS durch eine physikalische Wechselwirkung des Trägersignals TS mit einem zu detektierenden Tropfen TR, der von dem Dosierventil DV abgegeben wurde, erzeugt. Bei dem Schritt **7.III** wird ein Modulationssignal MOD auf Basis des modulierten Messsignals MS ermittelt. Anschließend wird bei dem Schritt **7.IV** auf Basis des Modulationssignals MOD ermittelt, ob ein Tropfen TR von dem Dosierventil DV abgegeben wurde.

[0072] In **Fig. 8** ist das Funktionsprinzip **800** der in den **Fig. 1** und **Fig. 3** gezeigten Modulationswertermittlungseinheit **51** einer Auswertungseinheit **50** im Detail veranschaulicht. Bei dem Schritt **8.I** erfasst die Modulationswertermittlungseinheit **51** Inphase- und Quadraturkomponenten I, Q von den den in **Fig. 2** gezeigten Eingängen **53**, **54** der Steuereinheit **60** nachgeschalteten AD-Wandlern der Auswertungseinheit **50**. Die Abtastung des Inphase-Signals I und des Quadratursignals Q erfolgt kontinuierlich. Dabei werden die beiden Werte I, Q bevorzugt absolut zeitgleich gewonnen. Die Werte I, Q durchlaufen vor ihrer Weiterverarbeitung einen Median- als auch Mittelwertfilter, um Extremwerte, hervorgerufen durch Störeinstrahlung, ADC-Wandlungsfehler usw. zu entfernen. Bei dem Schritt **8.II** werden die Signalkomponenten I, Q mit Hilfe einer Polarkoordinatentransformation in ein Signal MOD(A, φ) gewandelt, welches Informationen bezüglich der Amplitude A und der Phase φ des Modulationssignals MOD umfasst. Beispielsweise ergibt sich die Amplitude A wie folgt:

$$A = \sqrt{I^2 + Q^2} . \quad (1)$$

[0073] Weiterhin ergibt sich die Phase φ des Modulationssignals MOD aus folgender Gleichung:

$$\varphi = \arctan(\frac{Q}{I}) . \quad (2)$$

[0074] Dabei entsprechen I und Q den Amplituden der Inphase- und Quadraturkomponenten I, Q des demodulierten Signals bzw. des Modulationssignals MOD. Die Amplitude A und die Phase φ sind wie die Signalkomponenten I und Q zeitabhängige Größen. Aufgrund der hohen Abtastrate und der damit verbundenen schnellen Wertegewinnung werden die Berechnungen gemäß Gleichung 1 und 2 über Look-up-Tabellen mit linearer Zwischenwertinterpolation durchgeführt.

[0075] Im Schritt **8.III** erfolgt eine zeitliche Ableitung der Amplitude A und der Phase φ des Modulationssignals MOD(A, φ). Im Schritt **8.IV** werden Ableitungswerte dA/dt, dφ/dt in einem vorbestimmten Zeitintervall I_T betrachtet und eine vorab bestimmte Anzahl von Maximalwerten der Ableitungswerte dA/dt, dφ/dt, zum Beispiel die größten **10** Werte, in dem Zeitintervall I_T selektiert. Das Zeitintervall I_T kann zum Beispiel vorab bei der Initialisierung des Gesamtsystems bzw. während des Detektionsfiltertrainings festgelegt werden. Bei dem Schritt **8.V** werden Modulationswerte A_M , φ_M für die Amplitude A und die Phase φ als Summe über die vorab bestimmte Anzahl von Maximalwerten gebildet.

[0076] In **Fig. 9** ist das Funktionsprinzip **900** der in den **Fig. 1**, **Fig. 3** und **10** gezeigten Detektionsfiltereinheit **52** der Auswertungseinheit **50** im Detail veranschaulicht. Bei dem Schritt **9.I** werden von der Modulationswertermittlungseinheit **51** nach dem in **Fig. 8** veranschaulichten Verfahren ermittelte Modulationswerte A_M , φ_M für

die Amplitude A und die Phase φ , auch Vergleichswerte genannt, empfangen. Bei dem Schritt **9.II** werden diese Vergleichswerte A_M , φ_M in einem elektronischen Speicher abgespeichert. Weiterhin werden bei dem Schritt **9.III** die gespeicherten Vergleichswerte zur Referenzwertberechnung herangezogen. Es werden Referenzwerte RW_A , RW_φ für die Amplitude A und die Phase φ ermittelt. Diese Referenzwerte RW_A , RW_φ können beispielsweise Mittelwerte aus älteren Amplituden- und Phasenwerten sein, d. h. Vergleichswerten, die zum Beispiel bei einer früheren Detektion von Tropfen gewonnen wurden.

[0077] Bei dem Schritt **9.IV** wird eine Abweichung AW der von der Modulationswertermittlungseinheit **51** ermittelten Modulationswerte A_M , φ_M für die Amplitude A und die Phase φ von den Referenzwerten RW_A , RW_φ berechnet. Anschließend erfolgt bei dem Schritt **9.V** ein Vergleich zwischen der jeweils ermittelten Abweichung AW und einer maximal erlaubten relativen Abweichung nach oben AW_Oben bzw. nach unten AW_Unten. Falls die Abweichung zu groß ist, was in **Fig. 9** mit „j“ gekennzeichnet ist, so wird bei dem Schritt **9.VI** gemeldet, dass ein fehlerhafter Tropfen ermittelt wurde. Das Maß der erlaubten Abweichung AW_Oben bzw. AW_Unten wird anhand eines oder mehrerer Soll-Tropfen bei einem Initialisierungsvorgang bzw. im erwähnten Software-Trainingsmodus der Tropfendetektionseinrichtung ermittelt.

[0078] Um einen schlechenden Fehler, zum Beispiel das Phänomen, dass sich die Größe der zu detektierenden Tropfen TR während einer häufig wiederholten Abgabe von Tropfen TR aus einem Dosierventil DV sehr langsam ändert, ebenfalls erkennen zu können, werden auch die Referenzwerte RW_A , RW_φ , d. h. zum Beispiel die Mittelwerte über die Modulationswerte A_M , φ_M von vergangenen Tropfen überwacht. Bei dem Schritt **9.VII** wird ermittelt, ob die Referenzwerte RW_A , RW_φ für Amplitude A und Phase φ in einem vorbestimmten absoluten Wertebereich ARI, PRI liegen. Falls die Referenzwerte RW_A , RW_φ nicht in dem vorbestimmten Wertebereich ARI, PRI liegen, was in **Fig. 9** mit „n“ gekennzeichnet ist, so wird bei dem Schritt **9.VIII** eine Meldung ausgegeben, dass nun eine Folge fehlerhafter Tropfen vorliegt. Die Auflösung dieses Fehlerfalls erfolgt erst nach einer Stabilisierung des Mittelwerts, d. h., wenn wieder ein gültiger Referenzwert über die vorausgegangenen Tropfen vorliegt. Falls die Referenzwerte RW_A , RW_φ in dem vorbestimmten Wertebereich ARI, PRI liegen und die Relation der Modulationswerte A_M , φ_M , des aktuellen Tropfens zu den Referenzwerten RW_A , RW_φ innerhalb des tolerierten relativen Bereichs liegt, was in **Fig. 9** mit „j“ gekennzeichnet ist, so wird bei dem Schritt **9.IX** eine Meldung ausgegeben, dass ein korrekter Tropfen detektiert wurde. Die Ausgabe der Ergebnisse kann zum Beispiel über die in **Fig. 6** gezeigten Kontrollleuchten **58**, **59** erfolgen.

[0079] In **Fig. 10** ist eine Tropfendetektionseinrichtung **11b** gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung im Detail gezeigt. Die Tropfendetektionseinrichtung **11b** umfasst wie die in **Fig. 2** gezeigte Anordnung **11a** gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel eine Signalerzeugungseinheit **20**, welche in **Fig. 9** gestrichelt eingezeichnet ist. Die Signalerzeugungseinheit **20** umfasst in dem dritten Ausführungsbeispiel eine Sendesignalgenerierungseinheit **21**, welche ein Sendesignal PWM_5 zum Beispiel als gepulstes pulsweitenmoduliertes Rechtecksignal erzeugt. Das erzeugte Sendesignal PWM_5 wird an einen Leistungsverstärker **24** übermittelt, welcher das Sendesignal PWM_5 zu einem Trägersignal TS verstärkt. Die Signalerzeugungseinheit **20** umfasst eine zweite Signalgenerierungseinheit **23**, welche dazu eingerichtet ist, gegenüber dem Trägersignal phasenverschobene gepulste Ansteuersignale PWM_1, ..., PWM_4 an eine Mischereinheit **42** zu übermitteln.

[0080] Das Trägersignal TS wird von dem Verstärker **24** an eine Modulationseinheit **30** übermittelt. Die Modulationseinheit **30a** umfasst, anders als die in **Fig. 2** gezeigte Modulationseinheit, einen Kondensator **31a**, vorzugsweise einen Plattenkondensator mit einer ersten und einer zweiten Kondensatorplatte **31b**, **31c**. In dem in **Fig. 9** gezeigten Ausführungsbeispiel wird also als Signalwandler statt der in **Fig. 2** gezeigten Leuchtodiode **31** und des in **Fig. 2** gezeigten Fotodetektors **32** ein Kondensator **31a** verwendet. Der Kondensator **31a** ermöglicht eine kapazitive Einkopplung des Trägersignals TS vom Sendezeig in den Empfangszweig. Der Kondensator **31a** wird derart positioniert, dass eine Trajektorie T eines Tropfens TR, der von einem Dosierventil DV emittiert wurde, zwischen den Kondensatorplatten **31b**, **31c** des Kondensators **31a**, senkrecht zum Feldlinienverlauf des sich ausbildenden elektrischen Feldes, verläuft. Mit dem Tropfen TR wird die zwischen Sendeund Empfangszweig erzielte Kopplung beeinflusst. Diese Kopplung ist abhängig vom Blindwiderstand X_c des Kondensators **31a**. Leichte Änderungen des Blindwiderstands X_c des Kondensators **31a**, welche durch einen durchfliegenden Tropfen TR verursacht werden, führen zu einer Modulation des Trägersignals TS. Der Blindwiderstand X_c ist durch folgende Beziehung gegeben:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}. \quad (3)$$

[0081] Dabei ist f die Frequenz des an dem Kondensator **31a** anliegenden Trägersignals TS und C die Kapazität des Kondensators **31a**. Bei konstanter Trägerfrequenz f hängen Änderungen ΔX_c des Blindwiderstands

X_c also nur von Änderungen ΔC der Kapazität des Kondensators **31a** ab. Die Kapazität des Kondensators **31a** ergibt sich aus folgender Formel zu:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}. \quad (4)$$

[0082] Dabei stehen ϵ_0 für die Dielektrizitätskonstante, ϵ_r für die Permittivität des Kondensators **31a**, A für die Fläche der Kondensatorplatten **31b**, **31c** und der Parameter d für den Abstand zwischen den Kondensatorplatten **31b**, **31c**. Da die Fläche A der Kondensatorplatten **31b**, **31c** sowie der Abstand d zwischen den Kondensatorplatten **31b**, **31c** nicht geändert werden, ist eine Änderung der Kapazität C und damit des Blindwiderstands X_c nur abhängig von einer Änderung $\Delta \epsilon_r$ der materialspezifischen Permittivität ϵ_r . Tritt ein Tropfen TR in den Zwischenraum zwischen den beiden Kondensatorplatten **31b**, **31c** ein, so ändert sich die Permittivität ϵ_r in diesem Bereich in Abhängigkeit von der Dosierung und dem Material des Tropfens. Die Modulation des Trägersignals TS resultiert also aus der durch den Tropfen verursachten Schwankung der Permittivität ϵ_r . Lichtwellenleiter sind in dieser Ausführungsform nicht nötig. Dafür müssen die Kondensatorplatten **31b**, **31c** relativ nah an der Flugbahn des Tropfens TR und damit bei dem Ausgang des Dosierventils DV positioniert sein.

[0083] Das von einem Tropfen TR möglicherweise modulierte Messsignal MS wird als moduliertes elektrisches Messsignal EMS von der Modulationseinheit **30** an eine Auswertungseinheit **50** übermittelt. Die Auswertungseinheit **50** umfasst wie bei dem in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsbeispiel eine Demodulationseinheit **40**, welche im Wesentlichen auch die gleichen Komponenten mit den gleichen Funktionen aufweist wie die Demodulationseinheit **40** bei dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2**.

[0084] Die Demodulationseinheit **40** weist also eine Verstärkereinheit **41** auf, welche das modulierte elektrische Messsignal EMS verstärkt. Die Verstärkereinheit **41** dient zur Vorverstärkung des von der Modulationseinheit **30** erfassten modulierten elektrischen Messsignals EMS und wird von einem Steuerungssignal ausgang **22** der Signalerzeugungseinheit **20** angesteuert. Sie ist hier als normaler Spannungsverstärker ausgeführt, und nicht wie bei der optischen Detektionsvariante als Transimpedanzverstärker. Weiterhin umfasst die Demodulationseinheit **40** auch eine Filtereinheit **42**. Die Filtereinheit **42** kann zum Beispiel einen Bandpassfilter umfassen, welcher nur die beiden Seitenbänder und die Trägerfrequenz des modulierten elektrischen Messsignals EMS durchlässt. Die Filtereinheit **42** entfernt außerdem eventuelle durch Störfelder verursachte Störsignale, welche beispielsweise von der Frequenz des Trägersignals TS weit entfernte Frequenzen umfassen. Zudem entfernt die Filtereinheit, bevorzugt ein steilflankiger Bandpassfilter, auch durch die Pulsweitenmodulation erzeugte Oberwellen. Das so gefilterte modulierte elektrische Messsignal EMS wird anschließend an einen Mischer **43** weitergeleitet, der das modulierte und gefilterte Messsignal EMS mit von der zweiten Signalgenerierungseinheit **23** erzeugten, gegenüber dem Trägersignal phasenverschobenen gepulsten Ansteuersignalen PWM_1, ..., PWM_4 mischt und an einen In-Phase-Signalverstärker **44** ein In-Phase-Signal bzw. eine In-Phase-Komponente I übermittelt und an einen Quadratur-Signal-Verstärker **45** ein Quadratur-Signal bzw. eine Quadraturkomponente Q übermittelt. Die phasenrichtige Ansteuerung des Mixers **43** bewirkt die Demodulation nur eines Seitenbandes. Der In-Phase-Signalverstärker **44** und der Quadratur-Signal-Verstärker **45** werden von einem Steuerungssignal ausgang **22** der Signalerzeugungseinheit **20** angesteuert. Die Verstärker **41**, **44**, **45** werden getrennt voneinander angesteuert. Sie werden über einen über einen Datenbus (z.B. I2C-Bus) programmierbaren veränderlichen Widerstand (Rheostat) eingestellt. Jeder Rheostat (und damit Verstärker) wird hierbei einzeln verstellt. Die Einstellung des Verstärkers **41** ist dabei vom Wert her völlig unabhängig von den Verstärkern **44** und **45**. Die Verstärker **44** und **45** weisen jedoch immer denselben Wert auf, um die Relation zwischen dem I- und dem Q-Signal nicht zu verändern. Dennoch werden auch diese beiden getrennt voneinander angesteuert.

[0085] Nach der Verstärkung der beiden Signalkomponenten I, Q in den Verstärkern **44**, **45** werden die beiden Komponenten I, Q innerhalb der Auswertungseinheit **50** an die Teileinheiten der Auswertungseinheit **50** übermittelt, welche in dem in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsbeispiel Teil der Steuereinheit **60** sind. Die Steuereinheit **60** umfasst Eingänge **53**, **54** für die Signalkomponenten I, Q. Den Eingängen **53**, **54** nachgeschaltet sind auch AD-Wandler (nicht gezeigt), welche die analogen Signalkomponenten I, Q in digitale Signale wandeln. Die Verstärker **44**, **45** der Demodulationseinheit **40** sind in ihrem Verstärkungsfaktor anpassbar und dienen dazu, die von der Mischereinheit **43** erzeugten Signalkomponenten I, Q auf ein für die AD-Wandler optimales Spannungsniveau anzuheben. Hierdurch wird eine maximale Ausnutzung der Wanderauflösung gewährleistet. Um die AD-Wandler nicht durch die in den Komponenten I, Q vorhandenen Gleichanteile an ihr durch eine Referenzspannung vorgegebenes Spannungslimit zu bringen, werden nur die durch einen Tropfen verursachten Wechselanteile verstärkt. Weiterhin umfasst die Auswertungseinheit **50** auch eine Modulationswertermittlungseinheit **51** und eine Detektionsfiltereinheit **52**. Die Auswertungseinheit **50** ist in dem in **Fig. 9** gezeigten Ausführungsbeispiel Teil einer Ansteuerungseinheit **60**.

[0086] In der Modulationswertermittlungseinheit **51** werden die digitalisierten Signalkomponenten I, Q mathematisch aufbereitet und in Amplituden- und Phaseninformationen, beispielsweise mit Hilfe der Polarkoordinatentransformation, transformiert. Die Detektionsfiltereinheit **52** lässt sich zum Beispiel als parametrierbarer Softwarefilter ausbilden, mit dem anhand der erfassten Informationen ermittelt wird, ob ein Tropfen das von der Modulationseinheit **30a** gebildete Sensorsystem passiert hat. Bevor das System **11a** seinen regulären Betrieb aufnimmt, muss es durch zwei voneinander getrennt ablaufende Initialisierungsvorgänge eingestellt werden. Zum einen müssen sämtliche Hardware-Baugruppen auf einen für die Detektion optimalen Arbeitspunkt eingestellt werden. Diese Einstellungen umfassen die Frequenzabstimmung des Trägersignals TS auf die Filterkennlinie des Bandpassfilters **42**, die Einstellung der Phasenlage der Mischersignale PWM_1...PWM_4 in Relation zum Trägersignal zur genauen Seitenbandselektion, die Findung des optimalen Verstärkungsfaktors des Transimpedanzverstärkers **41** sowie die Signalanpassung der I- und Q-Signale für die AD-Wandler der Eingänge **53**, **54** durch die ADC-Vorverstärker **44**, **45**.

[0087] Zum anderen müssen alle Parameter der Detektionsfiltereinheit **52**, bezogen auf die zu erwartenden Soll-Tropfen TR, justiert werden. Dies umfasst die Zeitfenster für die Suche der Ableitungsmaxima für die Amplituden- und Phasenwerte, die erlaubten relativen Abweichungsbreiten der Vergleichswerte von den Referenzwerten der Amplituden- und Phasenwerte sowie die erlaubten absoluten Bereiche der Referenzwerte der Amplituden- und Phasenwerte. Sowohl die Hardware- als auch die Filter-Einstellungen können manuell oder durch automatische Trainingsprozesse eingestellt werden

[0088] Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorhergehend detailliert beschriebenen Vorrichtungen lediglich um Ausführungsbeispiele handelt, welche vom Fachmann in verschiedenster Weise modifiziert werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Weiterhin schließt die Verwendung der unbestimmten Artikel „ein“ bzw. „eine“ nicht aus, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können. Ebenso soll der Begriff „Einheit“ auch Komponenten umfassen, die aus mehreren, gegebenenfalls auch räumlich getrennten, Untereinheiten bestehen. Zudem kann mit dem Begriff „Einheit“ auch eine gedankliche logische Einheit gemeint sein, so dass ein und dieselbe Hardware-Komponente mehrere dieser logischen Einheiten umfassen kann. Dies gilt zum Beispiel insbesondere für die Modulationseinheit **30**, die Demodulationseinheit **40** und ggf. auch für die Signalerzeugungseinheit **20** und die Auswertungseinheit **50**.

Bezugszeichenliste

11, 11a, 11b	Tropfendetektionseinrichtung
20	Signalerzeugungseinheit
21	Sendesignalgenerierungseinheit
22	Steuerungssignalausgang der Signalerzeugungseinheit
23	Sendesignalgenerierungseinheit
24	Leistungsverstärker
30	Modulationseinheit
30a	Modulationseinheit
31, 32	Signalwandlungseinheit
31a	Kondensator
31b, 31c	Kondensatorplatte
40	Demodulationseinheit
41	Verstärkereinheit
42	Filtreneinheit
43	Mischer
44	In-Phase-Signalverstärker
45	Quadratur-Signal-Verstärker
50	Auswertungseinheit
51	Modulationswertermittlungseinheit
52	Detektionsfiltereinheit
53, 54	Eingänge für die Signalkomponenten I, Q
56, ...59	Kontrollleuchten
60	Steuereinrichtung
70	Ventilsteuerungseinheit
80	Prozess-Leitrechner
431	Übertrager
432	Schaltereinheit

432a, 432b, 432c, 432d	Schalter
433	Integratoreinheit
433a, 433b, 433c, 433d	Integratoren
434a, 434b	Differenzverstärker
A_M	Amplituden-Modulationswert / Amplituden-Vergleichswert
ARI	Amplituden-Referenzwertintervall
AS	Steuersignal
AW	Abweichung
AW_Oben	relative Abweichung nach oben
AW_Unten	relative Abweichung nach unten
dA/dt	Amplituden-Ableitungswert
dφ/dt	Phasen-Ableitungswert
DB	Datenbus-Anschluss
DEM	Düseneinstellmutter
DV	Dosierventil
EMS	elektrisches moduliertes Messsignal
I	In-Phase-Signalkomponente
I/O	Kommunikationsschnittstelle
IS	Startsignal
I_T	Zeitintervall
L1, L2	Lichtwellenleiter
LS	Lichtsignal
max	maximaler Abweichungsbetrag
MOD	Modulationssignal
MS	Messsignal / moduliertes Signal
PGM	Programmierbuchse zur Firmwareübertragung
PRI	Phasen-Referenzwertintervall
PWM_1, ..., PWM_4	Steuersignale
PWM_5	Sendesignal
Q	Quadraturkomponente
R	Widerstand
RS	Referenzsignal
RWA	Amplituden-Referenzwert
RWφ	Phasen-Referenzwert
RX	Eingang
S1, S2	Druckschalter
SI	serielle Schnittstelle
SP	Stößelposition
T	Trajektorie
T_{PWM}	Periode
TR	Tropfen
TS	Trägersignal
TX	Ausgang
Us	Eingang zur Spannungsversorgung der Steuereinrichtung
ZR	Zwischenraum
ZW	Zwischenraum
Φ_M	Phasen-Modulationswert / Phasen-Vergleichswert

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 6230000 B1 [0062]

Patentansprüche

1. Tropfendetektionseinrichtung (**11, 11a, 11b**) zur Detektion von aus einer Düse eines Dosierventils (DV), vorzugsweise eines Mikrodosierventils, austretenden Tropfen (TR), aufweisend:
 - eine Signalerzeugungseinheit (**20**), welche dazu eingerichtet ist, ein Trägersignal (TS) mit einer definierten Pulsfrequenz zu erzeugen,
 - eine Modulationseinheit (**30, 30a**), welche dazu eingerichtet ist, durch eine physikalische Wechselwirkung des Trägersignals (TS) mit einem zu detektierenden Tropfen (TR) ein moduliertes Messsignal (MS) zu erzeugen,
 - eine Auswertungseinheit (**50**), welche dazu eingerichtet ist, unter Berücksichtigung der definierten Pulsfrequenz auf Basis des Messsignals (MS) zu ermitteln, ob ein Tropfen (TR) von dem Dosierventil (DV) abgegeben wurde.

2. Tropfendetektionseinrichtung nach Anspruch 1, welche so ausgebildet ist, dass eine Abgabe eines Tropfens (TR) in einem definierten Zeitfenster überprüft wird, welches mit einer Tropfenabgabesteuerung des Dosierventils (DV) synchronisiert ist.

3. Tropfendetektionseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, mit einer Demodulationseinheit (**40**), die dazu eingerichtet ist, eine Amplitudendemodulation des Messsignals (MS) durchzuführen.

4. Tropfendetektionseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, mit einer Demodulationseinheit (**40**), die dazu eingerichtet ist, eine Quadraturdemodulation des Messsignals (MS) durchzuführen, um eine In-Phase-Komponente (I) und eine Quadratur-Komponente (Q) zu ermitteln.

5. Tropfendetektionseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Auswertungseinheit (**50**) eine Modulationswertermittlungseinheit (**51**) umfasst, welche dazu eingerichtet ist, vorzugsweise auf Basis der In-Phase-Komponente (I) und der Quadratur-Komponente (Q), den Betrag der Amplitude und/oder die Phase eines auf dem modulierten Messsignal (MS) basierenden Modulationssignals (MOD) zu ermitteln.

6. Tropfendetektionseinrichtung nach Anspruch 5, wobei die Modulationswertermittlungseinheit (**51**) dazu eingerichtet ist, Amplituden-Ableitungswerte (dA/dt), umfassend die zeitliche Ableitung des Betrags der Amplitude, und/oder Phasen-Ableitungswerte ($d\phi/dt$), umfassend die zeitliche Ableitung der Phase des Modulationssignals (MOD), zu ermitteln.

7. Tropfendetektionseinrichtung nach Anspruch 6, wobei in einem festen Zeit-Intervall (I_T) eine vorbestimmte Anzahl der Amplituden-Ableitungswerte (dA/dt) zu Amplituden-Vergleichswerten (A_M) und/ oder eine vorbestimmte Anzahl der Phasen-Ableitungswerte ($d\phi/dt$) zu Phasen-Vergleichswerten (ϕ_M) kombiniert werden.

8. Tropfendetektionseinrichtung nach Anspruch 6, wobei in einem festen Zeit-Intervall (I_T) eine vorbestimmte Anzahl von Maximalwerten der Amplituden-Ableitungswerte (dA/dt) zu Amplituden-Vergleichswerten (A_M) und/ oder eine vorbestimmte Anzahl der Maximalwerte der Phasen-Ableitungswerte ($d\phi/dt$) zu Phasen-Vergleichswerten (ϕ_M) kombiniert werden.

9. Tropfendetektionseinrichtung nach Anspruch 7 oder 8, wobei die Auswertungseinrichtung (**50**) eine Detektionsfiltereinheit (**52**) umfasst, die dazu eingerichtet ist, auf Basis der Amplituden-Vergleichswerte (A_M) und/ oder der Phasen-Vergleichswerte (ϕ_M) zu ermitteln, ob das Modulationssignal (MOD) einen Tropfen (TR) indiziert.

10. Tropfendetektionseinrichtung nach Anspruch 9, wobei die Detektionsfiltereinheit (**52**) dazu eingerichtet ist, eine relative Abweichung eines von der Modulationswertermittlungseinheit (**51**) ermittelten Amplituden-Vergleichswerts (A_M) von einem Amplituden-Referenzwert (RW_A) zu ermitteln und/oder eine relative Abweichung eines von der Modulationswertermittlungseinheit (**51**) ermittelten Phasen-Vergleichswerts (ϕ_M) von einem Phasen-Referenzwert (RW_ϕ) zu ermitteln.

11. Tropfendetektionseinrichtung nach Anspruch 10, aufweisend eine Referenzwert-Speichereinrichtung, in der ein Amplituden-Referenzwert (RW_A), welcher aus einer Mehrzahl von Amplituden-Vergleichswerten (A_M) von vorher erfassten Modulationssignalen (MOD) gebildet ist und/oder ein Phasen-Referenzwert (RW_ϕ), welcher aus einer Mehrzahl von Phasen-Vergleichswerten (ϕ_M) von vorher erfassten Modulationssignalen (MOD) gebildet ist, als variable Referenzwerte gespeichert sind.

12. Tropfendetektionseinrichtung nach Anspruch 10 oder 11, wobei die Detektionsfiltereinheit (**52**) dazu eingerichtet ist, zu ermitteln, ob die ermittelte relative Abweichung des Amplituden-Vergleichswerts (A_M) vom Amplituden-Referenzwert (RW_A) und/oder die ermittelte relative Abweichung des Phasen-Vergleichswerts (ϕ_M) vom Phasen-Referenzwert (RW_ϕ) einen relativen unteren und oberen Grenzwert nicht überschreiten.

13. Tropfendetektionseinrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei die Detektionsfiltereinheit (**52**) dazu eingerichtet ist, zu ermitteln, ob der für die Ermittlung der Abweichung des Amplituden-Vergleichswerts (A_M) verwendete absolute Amplituden-Referenzwert (RW_A) in einem vorbestimmten absoluten Amplituden-Referenzwertintervall (ARI) liegt und/oder ob der für die Ermittlung der Abweichung des Phasen-Vergleichswerts (ϕ_M) verwendete absolute Phasen-Referenzwert (RW_ϕ) in einem vorbestimmten absoluten Phasen-Referenzwertintervall (PRI) liegt.

14. Tropfendetektionseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Modulationseinheit (**30**) – eine Lichtemissionseinheit (**31**) und eine Lichtsensoreinheit (**32**) – und/oder eine kapazitive Sensoreinheit umfasst.

15. Tropfendetektionseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die Signalerzeugungseinheit (**20**) dazu eingerichtet ist, als Trägersignal (TS) ein Rechtecksignal zu erzeugen.

16. Verfahren (**600**) zum Detektieren eines Tropfens (TR) eines Dosierventils (DV), aufweisend die Schritte:
– Erzeugen eines Trägersignals (TS) mit einer definierten Pulsfrequenz,
– Beaufschlagen einer Trajektorie (T), auf der sich ein möglicher Tropfen (TR) bewegt, welcher von dem Dosierventil (DV) abgegeben wird, mit dem Trägersignal (TS), so dass ein moduliertes Messsignals (MS) durch eine physikalische Wechselwirkung des Trägersignals (TS) mit dem Tropfen (TR) erzeugt wird,
– Ermitteln auf Basis des Messsignals (MS) unter Berücksichtigung der definierten Pulsfrequenz, ob ein Tropfen (TR) von dem Dosierventil (DV) abgegeben wurde.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

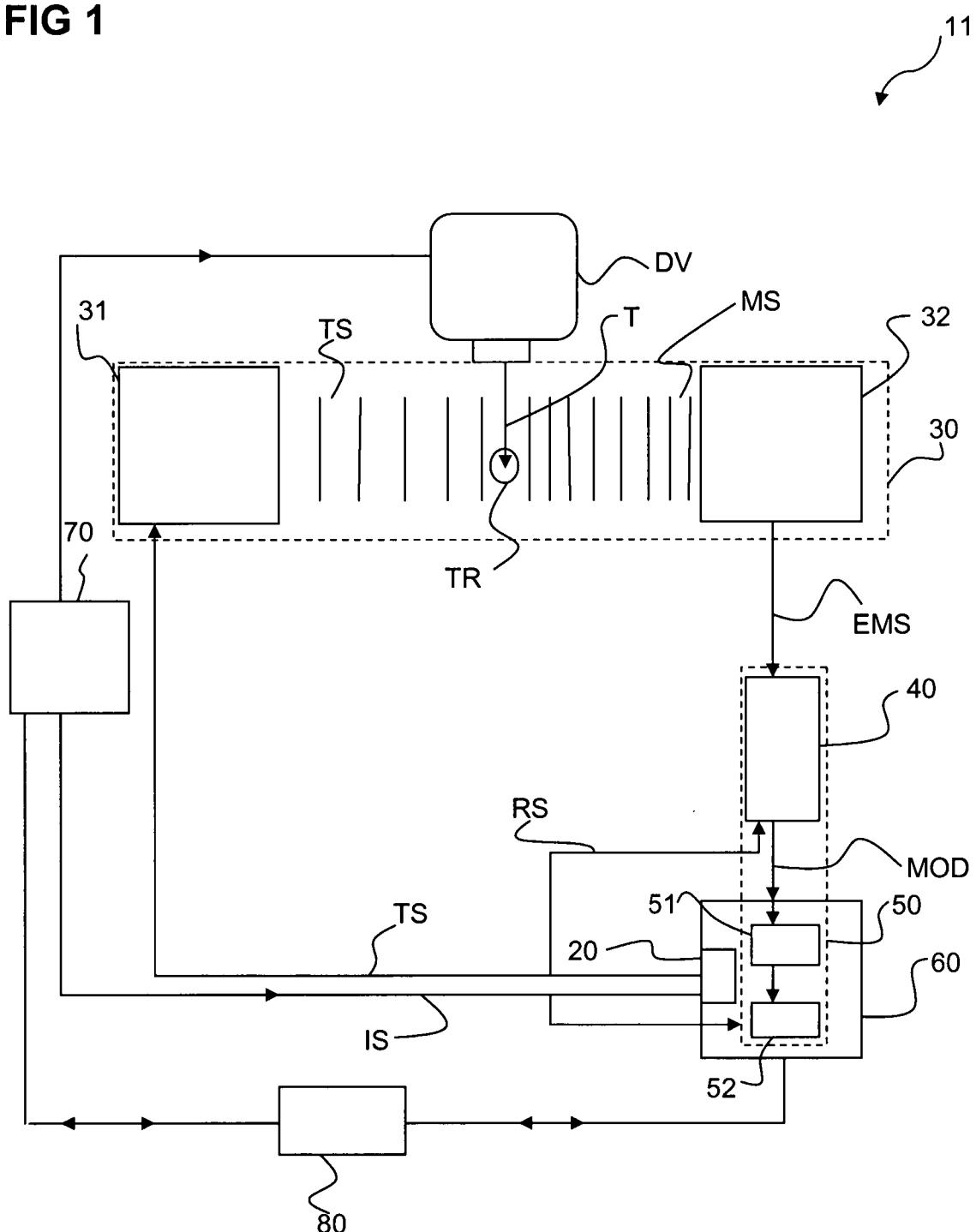
FIG 1

FIG 2

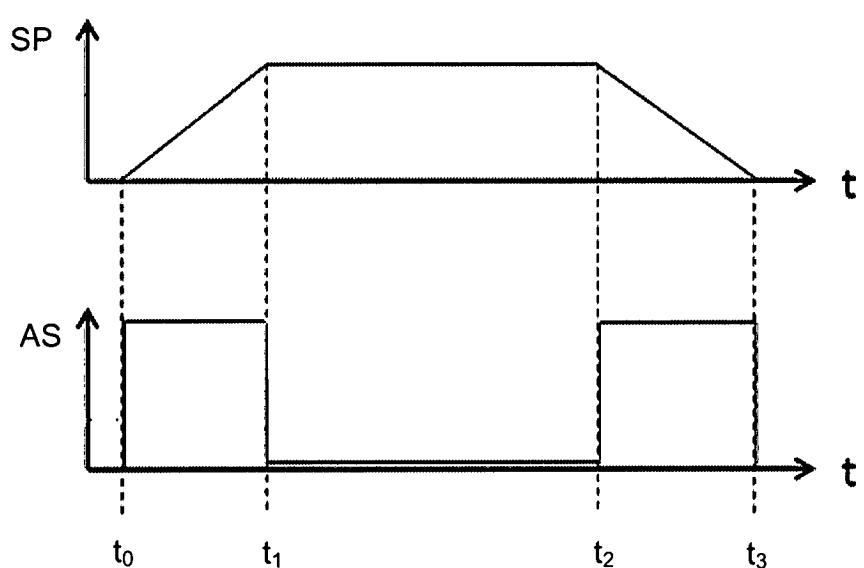


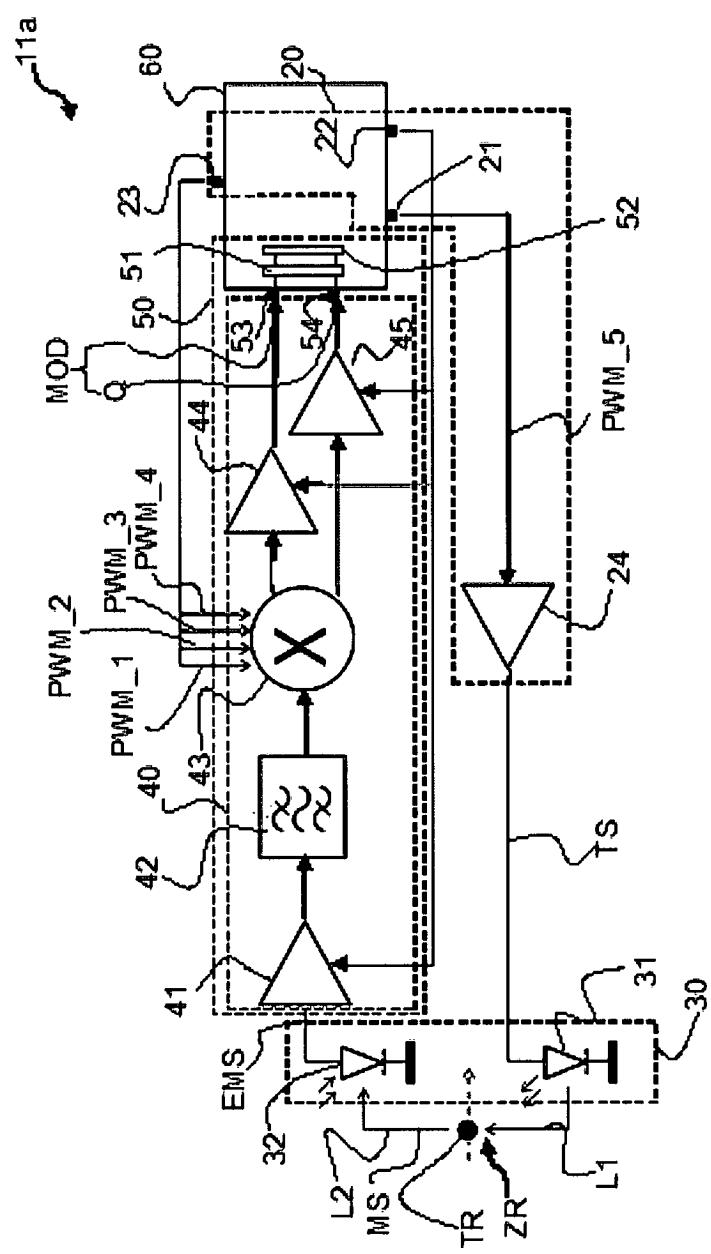
FIG 3

FIG 4

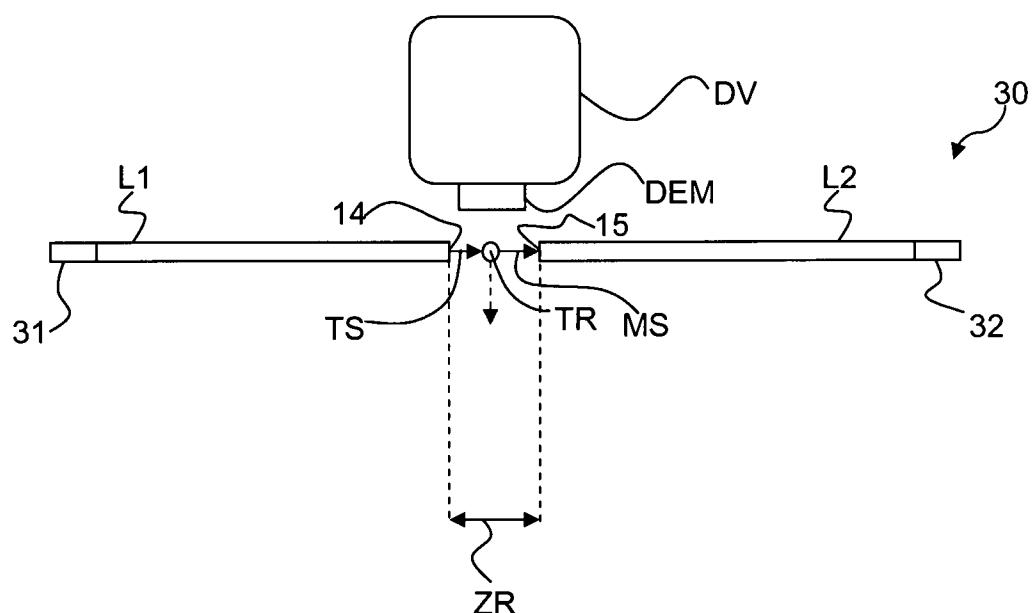


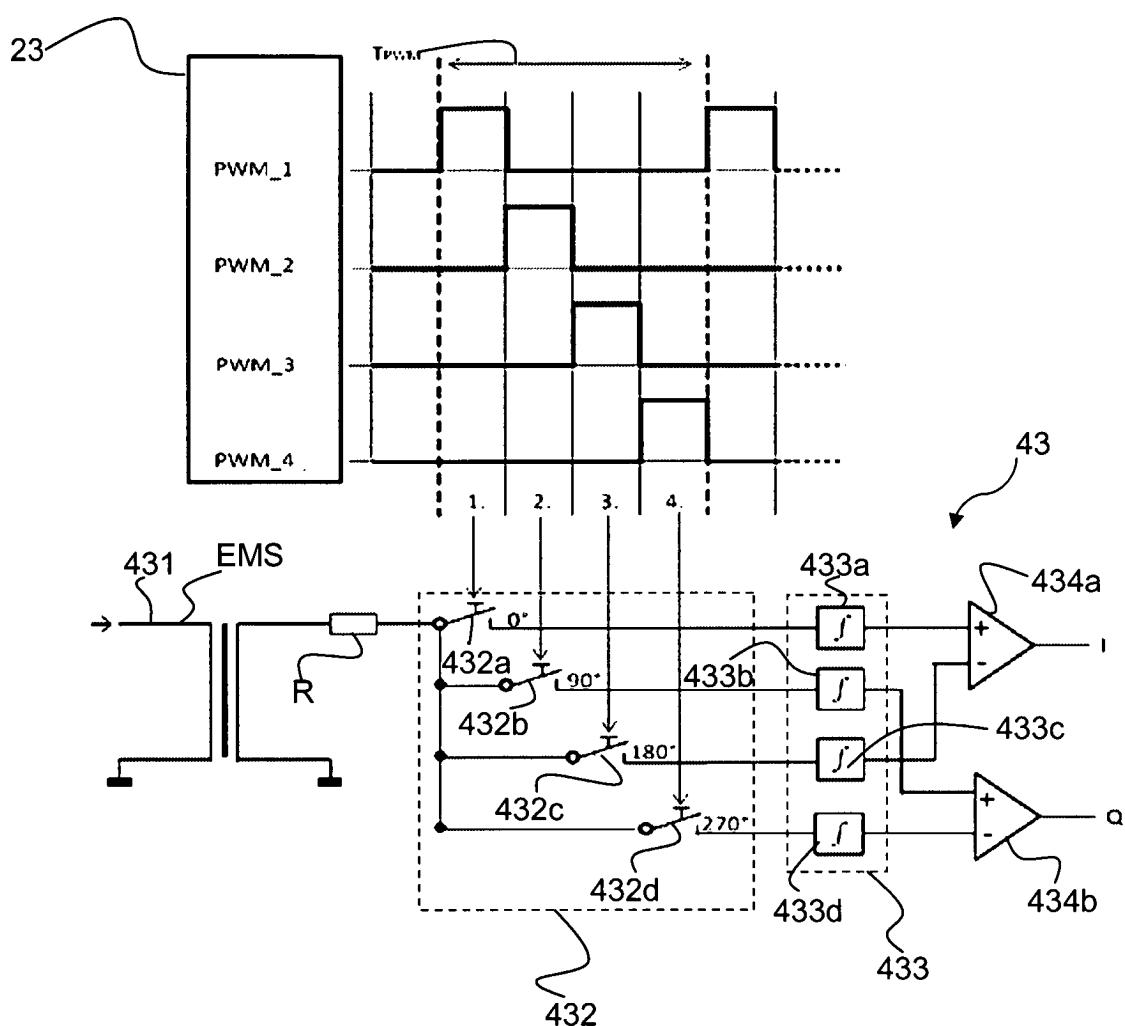
FIG 5

FIG 6

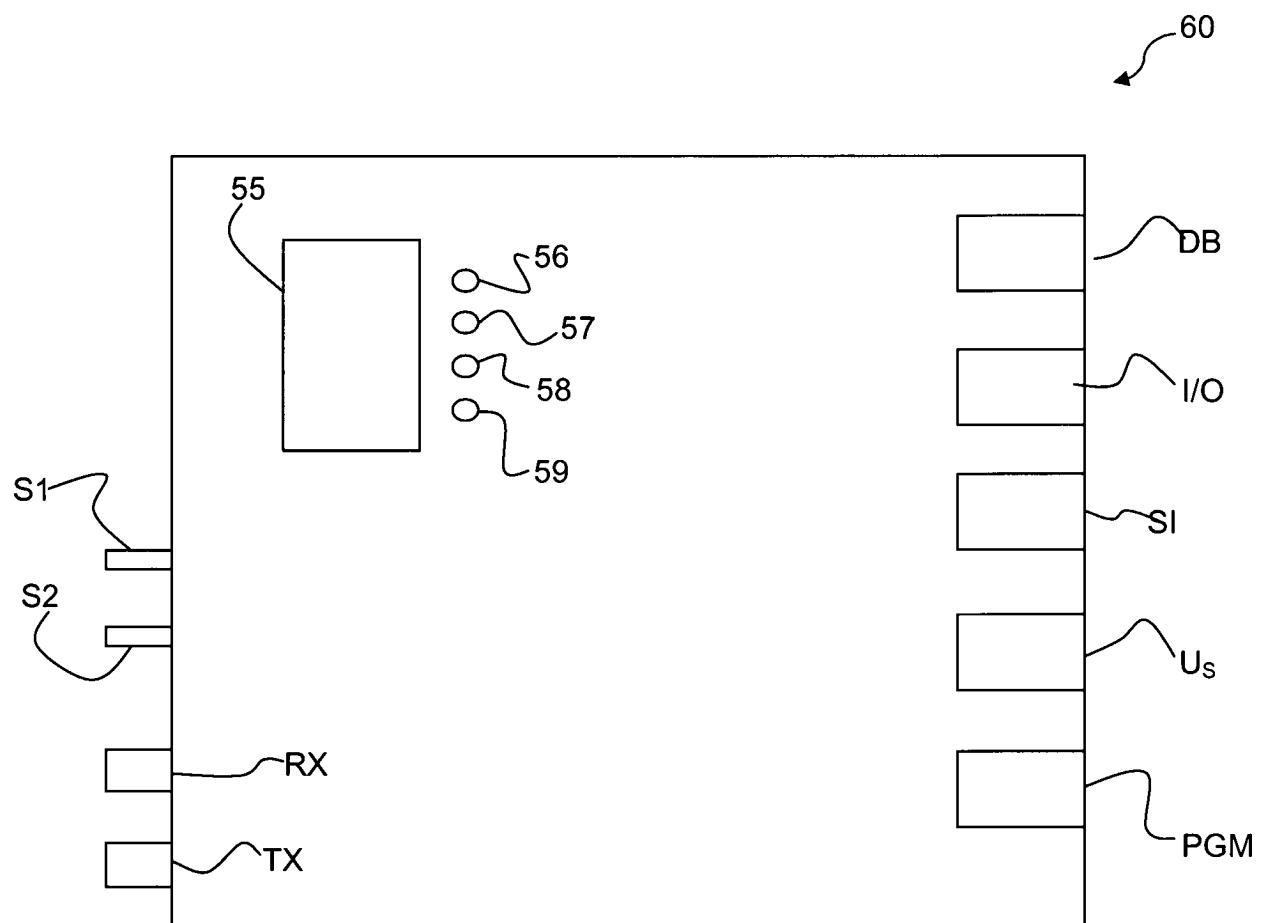


FIG 7

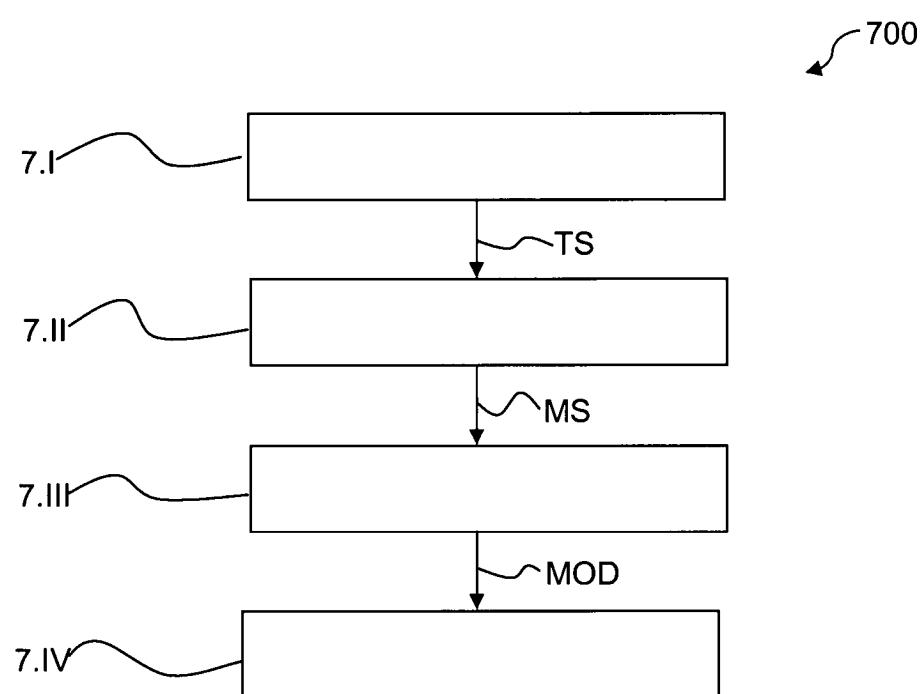


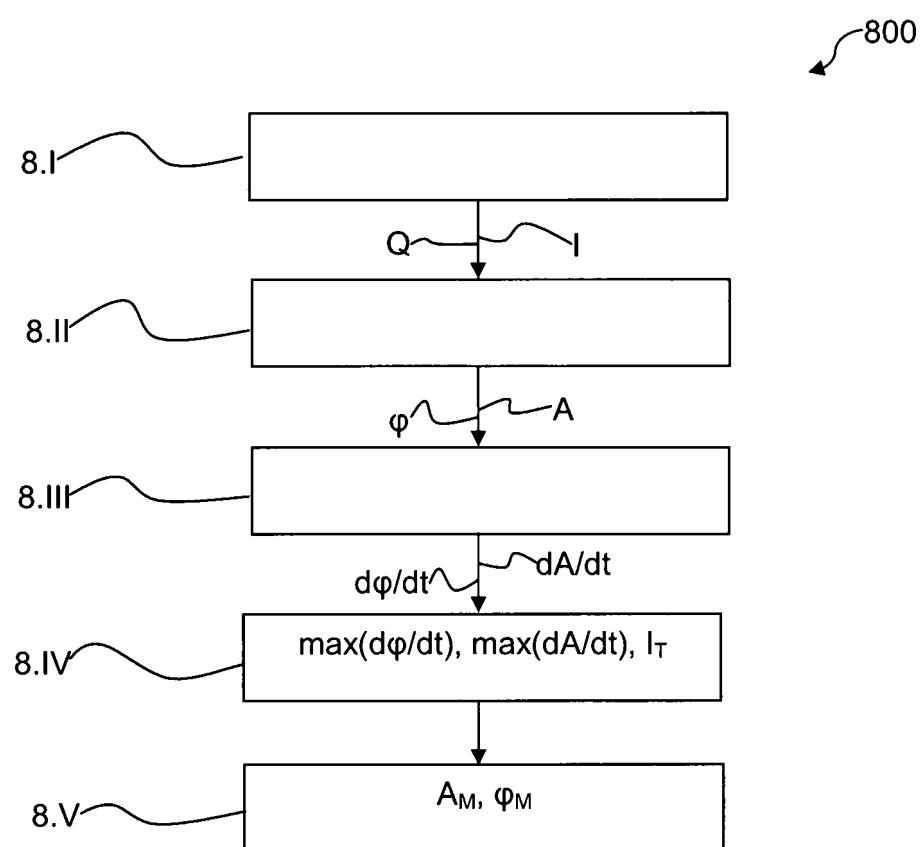
FIG 8

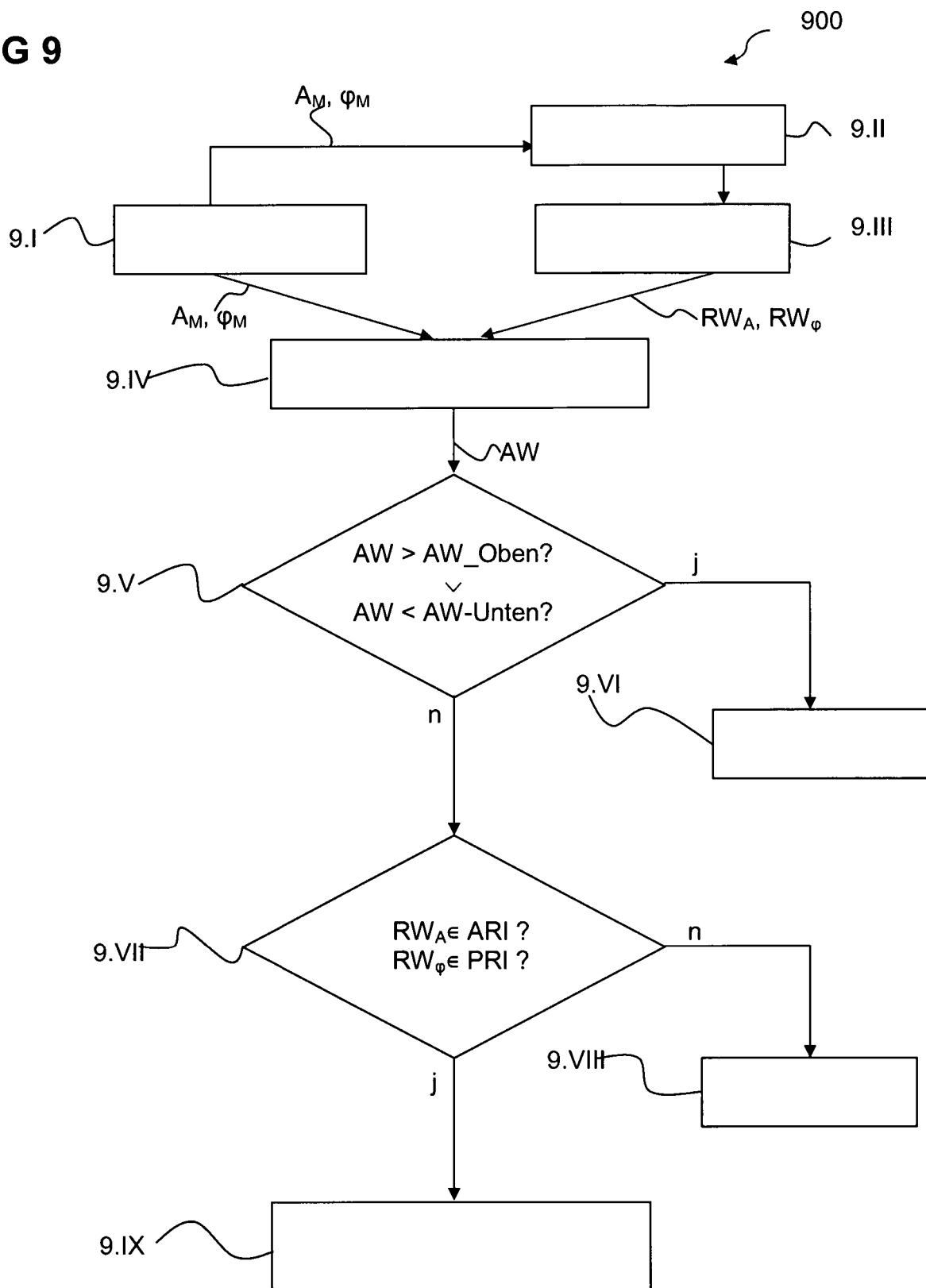
FIG 9

FIG 10