

(19)



(11)

EP 3 171 998 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
18.04.2018 Patentblatt 2018/16

(51) Int Cl.:
B22D 11/22 ^(2006.01) **B22D 11/124** ^(2006.01)
B05B 12/04 ^(2006.01) **B05B 13/02** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15744524.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2015/066700

(22) Anmeldetag: **22.07.2015**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2016/012471 (28.01.2016 Gazette 2016/04)

(54) KÜHLUNG EINES METALLISCHEN STRANGABSCHNITTS

COOLING OF A METAL STRAND PORTION

REFROIDISSEMENT D'UN SEGMENT DE CHÂÎNE MÉTALLIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **25.07.2014 AT 505232014**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
31.05.2017 Patentblatt 2017/22

(73) Patentinhaber: **Primetals Technologies Austria GmbH**
4031 Linz (AT)

(72) Erfinder:
• **FUERNHAMMER, Thomas**
4400 Steyr (AT)
• **LADNER, Peter**
4202 Hellmonsödt (AT)
• **MAIRHOFER, Markus**
4120 Neufelden (AT)

- **SCHEIDL, Rudolf**
3254 Bergland (AT)
- **STELLNBERGER, René**
4273 Unterweißenbach (AT)
- **WAHL, Helmut**
4222 Luftenberg/Donau (AT)
- **WIESER, Philipp**
4521 Schiedlberg (AT)
- **WOESS, Stefan**
4170 Haslach (AT)

(74) Vertreter: **Metals@Linz**
Primetals Technologies Austria GmbH
Intellectual Property Upstream IP UP
Turmstraße 44
4031 Linz (AT)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 527 061

EP 3 171 998 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kühlung eines Strangabschnitts eines metallischen Strangs gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine Kühleinrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 14.

[0002] Beim Stranggießen von Metallen wird eine metallische Schmelze einer üblicherweise oszillierenden, wasser-gekühlten Kokille zugeführt, in dieser zumindest in der Randzone zur Erstarrung gebracht und üblicherweise kontinuierlich - bereits in Form eines Strangs - aus der Kokille einer der Kokille nachgelagerten Strangführungseinrichtung der Stranggießmaschine zugeführt und durch diese hindurchgefördert.

[0003] Hierbei ist es notwendig, den Strang in der Strangführungseinrichtung mit einer Kühleinrichtung, üblicherweise mittels Aufbringen eines Kühlmittels auf den Strang, weiter abzukühlen.

[0004] Aus der WO 2012/163878 ist ein Verfahren zur Kühlung eines metallischen Strangs bekannt, bei dem ein Kühlmittel aus einer Vielzahl von längs einer Förderrichtung des Strangs angeordneten Kühldüsen auf den Strang aufgebracht wird. Zur verfahrensgemäßen Kühlung des Strangs schlägt die WO 2012/163878 eine Kühlvorrichtung mit Schaltventilen und Kühldüsen vor.

[0005] Da ein Strang beim Stranggießen üblicherweise kontinuierlich gegossen wird und der zwischen dem Gießstart und dem Gießende endlos erzeugte Strang typischerweise erst nach dem Stranggießen auf Brammenlänge abgeschnitten wird, soll unter dem Begriff "Strangabschnitt" auch ein Bereich des endlos erzeugten Strangs fallen, der mit der Gießgeschwindigkeit durch die Kühleinrichtung (auch Kühlzone genannt) der Stranggießmaschine transportiert wird. Keinesfalls ist es für die Erfindung wesentlich, dass der Strang bereits vor dem Kühlen in der Kühleinrichtung abgeschnitten wird. Typischerweise ist ein Strangabschnitt lediglich ein "virtueller Abschnitt" des metallischen Strangs, der mit der Gießgeschwindigkeit durch die Kühleinrichtung der Stranggießmaschine bewegt wird.

[0006] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine zuverlässige und effiziente Kühlung eines Strangabschnitts eines metallischen Strangs zu erreichen. Eine weitere Aufgabe besteht darin, unerwünschte Druckstöße in den Leitungen des Kühlbereichs bzw. den Zuleitungen des Kühlmittels in den Kühlbereich zu reduzieren.

[0007] Diese Aufgabe wird gelöst mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und einer Kühleinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 14.

[0008] Zweckmäßige Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen und der Beschreibung und beziehen sich auf die Verfahren und die Kühleinrichtung.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Kühlung eines Strangabschnitts eines metallischen Strangs in einem Kühlbereich einer Stranggießmaschine mit einer Kühleinrichtung, aufweisend jeweils mehrere Schaltventile und Kühldüsen, bei dem der Strangabschnitt zur Kühlung durch den Kühlbereich gefördert wird und die Schaltventile durch binäre pulsweitenmodulierte Steuersignale angesteuert werden, wodurch Kühlmittelflüsse durch die Kühldüsen abwechselnd freigegeben oder unterbrochen werden, wodurch ein Kühlmittel zur Kühlung intermittierend auf den Strangabschnitt in dem Kühlbereich aufgebracht wird, sieht vor, dass die binären pulsweitenmodulierten Steuersignale derart festgelegt werden, dass zumindest eines der Steuersignale eine Phasenverschiebung zu einem weiteren der Steuersignale aufweist.

[0010] Bei den Kühlverfahren mit Schaltventilen nach dem Stand der Technik kann die Kühlmittelbeaufschlagungsdichte insbesondere durch unerwünschte Schwankungen einer Kühlmitteldurchflussmenge in Leitungen bzw. Zuleitungen der Kühleinrichtung ungewollt beeinflusst werden. Solche Schwankungen können durch Druckstöße im Kühlmittel verursacht werden, die wiederum durch die intermittierende Schaltung - d.h. das Öffnen und Schließen - der Schaltventile verursacht werden können. Die Höhe der Druckstöße und damit die Höhe der Schwankungen kann durch die erfindungsgemäße Festlegung der Steuersignale vermindert werden.

[0011] Untersuchungen der Anmelderin haben ergeben, dass durch die Phasenverschiebung einerseits ein zeitversetztes Schalten der durch die phasenverschobenen Steuersignale angesteuerten Schaltventile bewirkt wird und andererseits, durch den Zeitversatz eine Verminderung der Druckstöße und folglich eine Vergleichmäßigung der Kühlmitteldurchflussmenge durch die geöffneten Kühldüsen bewirkt wird. Derart kann mit einfachen Mitteln einer ungewollten Beeinflussung der Kühlmittelbeaufschlagungsdichte entgegengewirkt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren, insbesondere die oben genannte Art der Festlegung der Steuersignale, ermöglicht es, dass der durch den Kühlbereich geförderte Strangabschnitt am Ende des Kühlbereichs mit einer im Wesentlichen über den Strangabschnitt gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte beaufschlagt wird.

[0012] Eine zuverlässige und effiziente Kühlung des Strangabschnitts wird also insbesondere dadurch erreicht, dass unerwünschte Druckstöße in den Leitungen des Kühlbereichs bzw. den Zuleitungen des Kühlmittels in den Kühlbereich reduziert werden.

[0013] Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass sich bei der Förderung des Strangs durch den Kühlbereich vorrangig längs des Strangs eine unterschiedlich starke Wiedererwärmung der Strangoberfläche - infolge einer Wärmeleitung aus dem Stranginneren - einstellt. Es ist deshalb wünschenswert, die Kühlleistung längs des Strangs bzw. der Kühleinrichtung verändern zu können. Ansonsten kann es zu einer mit metallurgischen Qualitätseinbußen einhergehenden Über- oder Unterkühlung des Strangs kommen. Hierfür ist es einerseits vorteilhaft, das Kühlmittel intermit-

tierend - also mit zeitlichen Unterbrechungen - auf den Strang aufzubringen. Auf diese Weise kann eine Kühlmittelmenge und damit die Kühlleistung auf einfache, robuste und energieeffiziente Weise über einen weiten Wertebereich eingestellt werden. Andererseits kann bei der intermittierenden Kühlmittelaufbringung - die an sich unstetig ist - eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagung nicht ohne Weiteres sichergestellt werden, da es zu einer ungewollten Wechselwirkung zwischen den zeitlichen Unterbrechungen der Kühlmittelaufbringung und weiteren Verfahrensgrößen des Stranggießprozesses kommen kann. Wird beispielsweise ein Strangabschnitt teilweise oder vollständig während einer zeitlichen Unterbrechung der Kühlmittelaufbringung - oder beispielsweise auch bei einem Defekt einer Kühldüse oder dergleichen - durch einen Kühlbereich gefördert, so erfährt der Strangabschnitt dabei eine ungewollte Verminderung der Kühlung bzw. gar keine Kühlung. Dies kann wiederum mit einer unerwünschten Verminderung der Strangqualität einhergehen. Eine derartige, ungewollte Verminderung der Kühlung bzw. eine Qualitätseinbuße kann vermieden werden, wenn eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte - im Sinne von Kühlmittelmenge pro Flächeneinheit - auf dem Strangabschnitt bewirkt wird. Wesentlich ist hierbei die Erkenntnis, dass die gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte spätestens bis zum Zeitpunkt der Förderung des Strangabschnitts durch den Kühlbereich - also am Ende des Kühlbereichs - bewirkbar ist. Durch die Erfindung werden die Steuersignale derart festgelegt - vereinfacht ausgedrückt, werden die zeitlichen Unterbrechungen der Kühlmittelaufbringung auf den Strang derart gezielt angepasst -, dass der genannte Nachteil der intermittierenden Kühlmittelaufbringung überwunden wird.

[0014] Ein Strangabschnitt kann ein Abschnitt des Strangs in einer Stranglängs- bzw. in einer Förderrichtung des Strangs durch den Kühlbereich sein. Insbesondere kann ein Strang in seiner Gesamtlänge zumindest überwiegend aus einer Mehrzahl von Strangabschnitten gebildet sein. Die Aufteilung des Strangs in eine Mehrzahl von Strangabschnitten kann eine lediglich gedachte Aufteilung eines quasikontinuierlichen - d.h. einstückig zusammenhängend durch zumindest die Hälfte der Länge der Strangführungseinrichtung verlaufenden - Strangs sein.

[0015] Der metallische Strang kann zumindest überwiegend Stahl beinhalten bzw. ein Stahlstrang sein.

[0016] Ein Kühlbereich im Sinne der vorliegenden Erfindung kann ein Bereich sein, durch den der Strangabschnitt bzw. der Strang zur Aufbringung von Kühlmittel gefördert wird. Zweckmäßigerweise ist der Kühlbereich längs der Strangführungseinrichtung der Stranggießmaschine, bevorzugt innerhalb des Bereichs der Strangführungseinrichtung, angeordnet. Die Stranggießmaschine kann mehrere, insbesondere in der Förderrichtung des Strangs hintereinander angeordnete, Kühlbereiche umfassen. Beispielsweise kann der Kühlbereich ein Bereich sein, der durch aus der Kühldüse ausgebrachtes Kühlmittel benetzbar ist.

[0017] Die intermittierende Kühlmittelaufbringung kann durch ein wiederholtes Hin- und Herwechseln zwischen einem geöffneten und einem geschlossenen Zustand der Schaltventile erreicht werden. Zweckmäßigerweise sind die Schaltventile den Kühldüsen in Kühlmittelflussrichtung vorgeschaltet.

[0018] Zweckmäßigerweise werden die Schaltventile mit binären Steuersignalen angesteuert. Binär kann bedeuten, dass das Steuersignal zwei Zustände, insbesondere 0 oder 1 bzw. HI oder LOW, annehmen kann.

[0019] Vorteilhafterweise wird jeweils ein Schaltventil durch ein Steuersignal angesteuert. Anders ausgedrückt, es wird vorzugsweise jedes der Schaltventile durch ein eigenes Steuersignal angesteuert. Es ist aber auch denkbar, dass eine Gruppe mehrerer Schaltventile durch ein und dasselbe Steuersignal, insbesondere simultan, angesteuert wird.

[0020] Ein Schaltventil kann wiederum einen Kühlmittelfluss durch eine einzige Kühldüse freigeben oder absperren. Denkbar ist aber auch, dass mehrere Kühlmittelflüsse durch eine Gruppe mehrerer Kühldüsen durch ein und dasselbe Schaltventil freigegeben oder abgesperrt werden.

[0021] Vorteilhafterweise ist das binäre Steuersignal ein pulsweitenmoduliertes Steuersignal, dessen signaltechnische Eigenschaften durch eine Trägerfrequenz, ein Pulsweitenverhältnis und eine Phasenverschiebung oder dergleichen festlegbar sind.

[0022] Festlegen im Sinne der vorliegenden Erfindung kann bedeuten, dass zumindest eine signaltechnische Eigenschaft eines Steuersignals, beispielsweise die Trägerfrequenz, moduliert bzw. angepasst bzw. verändert wird. Anders ausgedrückt, die Steuersignale können durch eine Modulation zumindest einer ihrer signaltechnischen Eigenschaften, insbesondere ihrer jeweiligen Trägerfrequenz, ihrem jeweiligen Pulsweitenverhältnis und/oder ihrer jeweiligen Phasenverschiebung zu einem der anderen Steuersignale, festgelegt werden. Die Festlegung erfolgt vorteilhafterweise in Abhängigkeit zumindest einer Zustandsgröße, die eine Zustandsgröße des Stranggießprozesses (z.B. die Gießgeschwindigkeit), des Strangs, der Kühleinrichtung oder dergleichen sein kann.

[0023] Unter der Kühlmittelbeaufschlagungsdichte im Sinne der vorliegenden Erfindung kann eine Mengeneinheit des Kühlmittels im Verhältnis zu einer Flächeneinheit des Strangabschnitts verstanden werden. Zweckmäßigerweise ist die Kühlmittelbeaufschlagungsdichte eine Kühlmittelmenge pro Flächeneinheit, die beispielsweise mit der Maßeinheit l/m^2 angegeben werden kann.

[0024] Vorteilhafterweise sieht die Erfindung vor, dass die zeitlichen Unterbrechungen der intermittierenden Kühlmittelaufbringung auf den Strangabschnitt im Kühlbereich durch eine Modulation - d.h. eine Veränderung der Signaleigenschaften - der Steuersignale derart angepasst wird, dass eine zu kühlende Oberfläche des Strangabschnitts nach Durchlaufen des Kühlbereichs an jeder Stelle die gleiche Kühlleistung durch Einwirkung des Kühlmittels erfahren hat.

[0025] Zur Festlegung der zeitlichen Unterbrechung ist es vorteilhaft, die Steuersignale - d.h. deren Eigenschaften -

unter Verwendung einer Fördergeschwindigkeit des Strangs und/oder eines Fehlerzustand der Kühleinrichtung und/oder einer geometrische Eigenschaft des Kühlbereichs und/oder eines Abstands zwischen zwei Kühldüsen oder zwei Kühldüsenreihen oder dergleichen festzulegen.

[0026] Auf diese Weise kann eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagung des Strangs und damit eine gleichmäßige metallurgische Strangqualität, insbesondere unter Beibehaltung der bekannten Vorteile der intermittierenden Kühlmittelausbringung, erzielt werden.

[0027] Zur Ermittlung eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung wird vorteilhafterweise eine den physikalischen Zustand des Kühlmittels beschreibende Zustandsgröße ermittelt, insbesondere im Bereich einer zumindest mehreren der Schaltventile und/oder mehreren der Kühldüsen gemeinsamen Kühlmittelzuleitung. Weiter ist es vorteilhaft, wenn ein Verlauf der Zustandsgröße mit einem Referenzverlauf verglichen wird. Bevorzugterweise wird in Abhängigkeit des Vergleichs ein Fehlerzustand zumindest eines der Schaltventile und/oder einer der Kühldüsen der Kühleinrichtung ermittelt.

[0028] Das Ermitteln eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung kann neben dem Feststellen, ob ein Fehler bzw. Defekt der Kühleinrichtung vorliegt, auch das Feststellen, welches Element der Kühleinrichtung defekt ist, - also ein Lokalisieren des defekten Elements der Kühleinrichtung - umfassen.

[0029] Zweckmäßigerweise werden die Steuersignale - insbesondere durch eine Modulation zumindest einer ihrer signaltechnischen Eigenschaften - derart festgelegt, dass der Fehlerzustand zumindest temporär kompensiert wird, vorzugsweise ohne dass es zu einer ungewollten Auswirkung auf die Strangqualität kommt.

[0030] Auf diese Weise kann z.B. ein Austausch eines defekten Schaltventils und/oder einer defekten Kühldüse zeitlich hinausgezögert und eine produktionsfreie Standzeit der Stranggießmaschine vermindert werden.

[0031] Kompensieren eines Fehlerzustands kann bedeuten, dass die Steuersignale derart festlegt bzw. angepasst werden, dass auch bei Vorliegen eines Fehlerzustands der Strangabschnitt am Ende des Kühlbereichs mit einer im Wesentlichen über den Strangabschnitt gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte beaufschlagt worden ist. Das heißt, beim Kompensieren eines Fehlerzustands werden die Steuersignale zweckmäßigerweise derart festlegt bzw. angepasst, dass der Strangabschnitt am Ende des Kühlbereichs mit der gleichen oder im Wesentlichen der gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte über den Strangabschnitt beaufschlagt worden ist, wie in dem Fall, dass kein Fehlerzustand der Kühleinrichtung vorliegt. Es werden also zweckmäßigerweise die Auswirkungen des Fehlerzustands kompensiert.

[0032] Der Ermittlung des Fehlerzustands liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die Kühleinrichtung zur Aufbringung des Kühlmittels in ihrer Funktion zumindest teilweise fehlerbedingt beeinträchtigt sein kann. Um einer ungewollten Auswirkung eines solchen Fehlerzustands auf die gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagung des Strangabschnitts entgegenwirken zu können, ist es wünschenswert, einen Fehlerzustand der Kühleinrichtung zuverlässig erkennen zu können. Ein Fehlerzustand der Kühleinrichtung kann u.a. auf einen Defekt eines oder mehrerer der Schaltventile und/oder einer oder mehrerer der Kühldüsen zurückzuführen sein. Beispielsweise kann bzw. können ein Schaltventil und/oder mehrere Schaltventile infolge Blockierens nicht mehr von einem geöffneten in einem geschlossenen Zustand und/oder vice versa schaltbar - d.h. blockiert - sein. Ferner kann ein Schaltventil und/oder eine Kühldüse zumindest teilweise verstopft sein oder dergleichen. Außerdem können mehrere Schaltventile und/oder mehrere Kühldüsen jeweils zumindest teilweise verstopft sein oder dergleichen. Wesentlich ist dabei die Erkenntnis, dass ein defektes Schaltventil und/oder eine defekte Kühldüse eindeutig lokalisiert werden muss, um die Festlegung der Steuersignale verfahrensgemäß anzupassen, so dass auch bei Vorliegen eines solchen Fehlerzustands eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte erreicht werden kann. Dabei kann die Ermittlung eines Fehlerzustands durch einen Sensor pro Schaltventil und/oder pro Kühldüse aufwändig und fehleranfällig sein, da eine Vielzahl von Sensoren benötigt wird. Indem eine den Zustand des Kühlmittels beschreibenden Zustandsgröße im Bereich einer zumindest mehreren der Schaltventile und/oder mehreren der Kühldüsen gemeinsamen Kühlmittelzuleitung ermittelt wird, ist es möglich, den messtechnischen Aufwand zur Ermittlung eines Fehlerzustands zu verringern. D.h. vereinfacht ausgedrückt wird ein Sensor an der Kühleinrichtung platziert und ein Messwert ermittelt, anstatt mehrere Sensoren an mehreren Stellen der Kühleinrichtung zu platzieren, um mehrere Messwerte zu ermitteln.

[0033] Die Zustandsgröße kann insbesondere eine Zustandsgröße des Kühlmittels, beispielsweise ein Druck, eine Beschleunigung, eine Schalldruck, ein Durchfluss oder dergleichen, sein.

[0034] Zweckmäßigerweise wird die Zustandsgröße an einer Kühlmittelzuleitung ermittelt, die mehrere Schaltventile und/oder Kühldüsen mit Kühlmittel speist.

[0035] Die Zustandsgröße kann in einem regulären Betrieb der Kühleinrichtung - d.h. während einer Strangproduktion - und/oder während eines Wartungsbetriebs der Kühleinrichtung ermittelt werden.

[0036] Der Referenzverlauf kann ein Verlauf der ermittelten Zustandsgröße über der Zeit, über einer Frequenz oder dergleichen sein, der bei einer fehlerfreien Funktion der Kühleinrichtung ermittelt wird bzw. wurde.

[0037] Der Vergleich kann durch eine mathematische Operation unter Berücksichtigung des Referenzverlaufs und des Verlaufs der Zustandsgröße erfolgen. Der Vergleich kann durch eine Differenzbildung zwischen dem Verlauf der Zustandsgröße und dem Referenzverlauf erfolgen.

[0038] Die erfindungsgemäße Kühleinrichtung, aufweisend Schaltventile, Kühldüsen, ein Kühlmittel und eine Steuer-

einrichtung, welche Steuereinrichtung zur Festlegung von binären pulsweitenmodulierten Steuersignalen und zur Ansteuerung der Schaltventile mit den Steuersignalen vorbereitet ist, zur Kühlung eines metallischen Strangabschnitts in einem Kühlbereich einer Stranggießmaschine, sieht vor, dass die Steuereinrichtung zur Festlegung einer Phasenverschiebung eines der Steuersignale vorbereitet ist.

[0039] Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass zur zuverlässigen und effizienten Kühlung des Strangabschnitts mess- und/oder steuerungstechnische Maßnahmen erforderlich sind. Die Erfindung ermöglicht die verfahrensgemäße Umsetzung dieser Maßnahmen, indem die Kühleinrichtung die derart eingerichtete Steuereinrichtung aufweist.

[0040] Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich auch aus den abhängigen Ansprüchen. Die Weiterbildungen beziehen sich sowohl auf das erfindungsgemäße Verfahren wie auch auf die erfindungsgemäße Kühleinrichtung.

[0041] In bevorzugter Weise ist die erfindungsgemäße Kühleinrichtung dazu eingerichtet, das erfindungsgemäße Verfahren, insbesondere mindestens eine der nachfolgend beschriebenen Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens, auszuführen.

[0042] Weiter kann die Kühleinrichtung eine Messeinrichtung und/oder eine Ermittlungseinrichtung aufweisen.

[0043] Die Messeinrichtung weist vorteilhafterweise einen Sensor auf, der zur Ermittlung einer den Zustand des Kühlmittels beschreibenden Zustandsgröße im Bereich einer zumindest mehreren Schaltventilen und/oder Kühldüsen gemeinsamen Kühlmittelzuleitung vorbereitet ist.

[0044] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Kühleinrichtung ist die Ermittlungseinrichtung zum Vergleich eines Verlaufs der Zustandsgröße mit einem Referenzverlauf und zur Ermittlung eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung in Abhängigkeit des Vergleichs vorbereitet.

[0045] Vorzugsweise ist die Steuereinrichtung dazu eingerichtet, die binären pulsweitenmodulierten Steuersignale derart festzulegen, dass ein durch den Kühlbereich geförderter Strangabschnitt am Ende des Kühlbereichs mit einer im Wesentlichen über den Strangabschnitt gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte beaufschlagt worden ist.

[0046] Die Erfindung und die beschriebenen Weiterbildungen können sowohl in Software als auch in Hardware, beispielsweise unter Verwendung einer speziellen elektrischen Schaltung, realisiert werden.

[0047] Ferner ist eine Realisierung der Erfindung oder einer beschriebenen Weiterbildung möglich durch ein computerlesbares Speichermedium, auf welchem ein Computerprogramm gespeichert ist, welches die Erfindung oder die Weiterbildung ausführt.

[0048] Auch können die Erfindung und/oder jede beschriebene Weiterbildung durch ein Computerprogrammerzeugnis realisiert sein, welches ein Speichermedium aufweist, auf welchem ein Computerprogramm gespeichert ist, welches die Erfindung und/oder die Weiterbildung ausführt.

[0049] Ausgehend von einer Ansteuerung einer Anzahl von n Schaltventilen mit jeweils einem Steuersignal - mit jeweils gleichen Eigenschaften, wie einer Trägerfrequenz F und einem Pulsweitenverhältnis κ - kann eine Phasenverschiebung ϕ über einen einfachen Berechnungsansatz, beispielsweise $\phi = t_p / n$ festgelegt werden, wobei t_p die Periodendauer des Steuersignals, also der Kehrwert der Trägerfrequenz F , ist.

[0050] Insbesondere, wenn die Steuersignale unterschiedliche Trägerfrequenzen und/oder Pulsweitenverhältnisse aufweisen kann es erforderlich sein, von einfachen arithmetischen Berechnungsansätzen zur Festlegung der Steuersignale abzuweichen.

[0051] In einer weiteren Ausgestaltung wird eine Phasenverschiebung eines der Steuersignale unter Verwendung eines numerischen Optimierungsverfahrens zur Minimierung einer Volumenstromschwankung des Kühlmittels festgelegt.

[0052] Die Volumenstromschwankung kann eine Schwankung eines Kühlmitteldurchflusses durch eine Leitung bzw. Zuleitung der Kühleinrichtung beschreiben.

[0053] Für das Optimierungsverfahren kann ein Frequenzspektrum des Volumenstroms ermittelt werden. Das Frequenzspektrum kann in einen konstanten und einen trigonometrischen Term aufgespalten werden. Der trigonometrische Term kann von den Pulsweitenverhältnissen und den Phasenverschiebungen der Schaltsignale abhängen. Bei gegebenen Pulsweitenverhältnissen der Steuersignale kann die Optimierung die Anpassung der Phasenverschiebungen zum Gegenstand haben.

[0054] Das Optimierungsverfahren kann mit einem sogenannten genetischen Algorithmus, einem gradientenbasierten Verfahren oder dergleichen erfolgen.

[0055] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung werden zumindest zwei der Steuersignale mit unterschiedlichen Trägerfrequenzen festgelegt.

[0056] Eine Trägerfrequenz kann der Kehrwert einer Zeitdauer zwischen zwei Zustandswechseln eines Steuersignals jeweils von LOW nach HI und/oder jeweils von HI nach LOW sein. Eine vergleichsweise hohe Trägerfrequenz kann eine vergleichsweise schnell intermittierende Kühlmittelausbringung bewirken. In anderen Worten ausgedrückt, kann die Trägerfrequenz der Kehrwert einer Periodendauer eines Steuersignalzyklus sein.

[0057] Die zumindest zwei Steuersignale können jeweils ein Schaltventil ansteuern, das jeweilige Schaltventil jeweils einen Kühlmittelfluss durch eine Kühldüse freigeben und/oder unterbrechen. Derart können unterschiedliche Kühlmitt-

telmengen durch die derart adressierten Kühldüsen auf den Strang aufgebracht werden. Das derartige Aufbringen unterschiedlicher Kühlmittelmengen - insbesondere in verschiedenen, bevorzugt in Förderrichtung des Strangs hintereinander liegenden, Bereichen der Kühleinrichtung - kann vorteilhaft für eine Erzielung einer gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte über den Strangabschnitt sein.

[0058] Sofern eine ungünstige Wechselwirkung zwischen der Trägerfrequenz - und damit zwischen der zeitlichen Unterbrechung der Kühlmittelaufbringung - und einer verfahrenstechnischen Größe des Stranggießprozesses und/oder einem Parameter der Stranggießmaschine vorliegt, kann es zu einer ungewollten Beeinflussung der Kühlmittelbeaufschlagungsdichte kommen.

[0059] Insbesondere deshalb wird in einer vorteilhaften Weiterbildung eine Trägerfrequenz eines der Steuersignale in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit des Strangabschnitts festgelegt.

[0060] Auf diese Weise kann auch bei einer Änderung der Strang- bzw. Gießgeschwindigkeit eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte erreicht werden.

[0061] Außerdem ist es vorteilhaft, wenn eine Trägerfrequenz eines der Steuersignale in Abhängigkeit einer Länge des Kühlbereichs festgelegt wird.

[0062] Die Länge des Kühlbereichs kann eine Erstreckung des Kühlbereichs im Wesentlichen längs der Strangförderrichtung sein. Die Länge des Kühlbereichs kann eine Länge eines durch eine Kühldüse mit Kühlmittel beaufschlagbaren Bereichs sein.

[0063] Da es möglich ist, dass die Kühleinrichtung Kühlbereiche mit unterschiedlichen Längen umfasst, kann auf diese Weise insbesondere unter solchen Umständen eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte erreicht werden.

[0064] Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn eine Trägerfrequenz eines der Steuersignale in Abhängigkeit einer Durchlaufzeit des Strangs durch einen durch eine Kühldüse mit Kühlmittel beaufschlagbaren Bereich, insbesondere einen Kühlbereich, festgelegt wird.

[0065] Die Durchlaufzeit kann der Quotient aus der Länge des Kühlbereichs und der Stranggeschwindigkeit sein.

[0066] Ferner ist es vorteilhaft, wenn eine Trägerfrequenz eines der Steuersignale in Abhängigkeit eines Sprühprofils der Kühldüsen festgelegt wird.

[0067] Das Sprühprofil kann ein Verlauf einer erzielbaren Kühlmittelbeaufschlagungsdichte längs einer mittels einer Kühldüse benetzten Fläche sein.

[0068] Denkbar ist ein rechteckförmiges Sprühprofil, bei dem ein jeder benetzter Punkt längs der Fläche mit der gleichen Kühlmittelmenge beaufschlagt wird.

[0069] Insbesondere bei Vorliegen eines rechteckförmigen Sprühprofils ist es vorteilhaft, wenn der Kehrwert der Trägerfrequenz F , d.h. die Periodendauer t_p eines Steuersignals, gemäß der Gleichung $t_p = x_n / (k \cdot v)$ festgelegt wird, wobei x_n die Länge des Kühlbereichs, k ein positiver ganzzahliger Wert (1, 2, 3, ...) und v die Geschwindigkeit des Strangs ist.

[0070] Ferner denkbar ist ein dreieckförmiges Sprühprofil, bei dem die Kühlmittelbeaufschlagungsdichte längs der beaufschlagten Fläche von einem Minimum linear bis auf ein Maximum ansteigt und hiernach wiederum linear bis auf das Minimum abfällt.

[0071] Insbesondere bei Vorliegen eines dreieckförmigen Sprühprofils ist es vorteilhaft, wenn der Kehrwert der Trägerfrequenz F , d.h. die Periodendauer t_p eines Steuersignals, gemäß der Gleichung $t_p = x_n / (g \cdot v)$ festgelegt wird, wobei x_n die Länge des Kühlbereichs, g ein positiver gerader Zahlenwert (2, 4, 6, ...) und v die Geschwindigkeit des Strangs ist.

[0072] Es ist vorteilhaft, wenn die Phasenverschiebung eines der Steuersignale in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit des Strangs und/oder einer Länge des Kühlbereichs und/oder eines Sprühprofils der Kühldüsen festgelegt wird.

[0073] Weiter ist es vorteilhaft, wenn ein Pulsweitenverhältnis eines der Steuersignale in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit des Strangs und/oder einer Länge des Kühlbereichs und/oder eines Sprühprofils der Kühldüsen festgelegt wird.

[0074] Durch die Festlegung eines oder mehrerer der Steuersignale auf die vorgenannte Art und Weise kann erreicht werden, dass die Beaufschlagung eines Strangabschnitts mit Kühlmittel nach Durchlaufen eines Kühlbereichs im Wesentlichen mit der gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte über den Strangabschnitt erfolgt ist.

[0075] In einer vorteilhaften Ausführungsform werden zumindest zwei der Steuersignale mit unterschiedlichen Pulsweitenverhältnissen festgelegt.

[0076] Das Pulsweitenverhältnis kann den relativen Anteil eines Steuersignalspulses - d.h. eines binären HI-Zustands - an der Periodendauer des Steuersignalverlaufs beschreiben. Beispielsweise beschreibt ein Pulsweitenverhältnis von 100 % ein Steuersignal mit permanentem Zustand 1 bzw. HI. Beispielsweise beschreibt ein Pulsweitenverhältnis von 50 % ein Steuersignal mit einem Rechteckprofil, dessen Rechteckpulse jeweils die Hälfte einer Periodendauer andauern.

[0077] Zum Ausgleich einer fehlerbedingt nicht aufgetragenen Kühlmittelmenge - beispielsweise infolge einer defekten Kühldüse - ist es vorteilhaft, wenn durch eine weitere Kühldüse eine erhöhte Kühlmittelmenge auf den Strang aufgebracht wird.

[0078] Insbesondere deshalb ist vorteilhaft, wenn ein Pulsweitenverhältnis eines der Steuersignale in Abhängigkeit eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung festgelegt wird.

[0079] Darüber hinaus ist es vorteilhaft, wenn eine Phasenverschiebung eines der Steuersignale zu einem anderen der Steuersignale in Abhängigkeit eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung festgelegt wird und/oder eine Trägerfre-

quenz eines der Steuersignale in Abhängigkeit eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung festgelegt wird.

[0080] Tritt beispielsweise ein Fehlerzustand in Form einer defekten Kühldüse auf, kann das Pulsweitenverhältnis eines Steuersignals zur Ansteuerung einer weiteren Kühldüse derart verändert werden, dass die fehlerbedingt nicht aufgebrachte Kühlmittelmenge mittels der weiteren Kühldüse zusätzlich auf den Strang aufgebracht wird. Auf diese Weise kann einer ungewollten, fehlerbedingt ungleichmäßigen Kühlmittelbeaufschlagung des Strangs entgegenwirkt werden.

[0081] Sofern das Kühlmittel innerhalb eines Kühlbereichs durch lediglich eine Kühldüse bzw. eine Kühldüsenreihe auf den Strang aufgebracht wird, kann insbesondere bei einer besonders hohen Gießgeschwindigkeit oder einer besonders geringen Länge eines Kühlbereichs, eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte nicht ohne Weiteres erreicht werden.

[0082] In einer vorteilhaften Weiterbildung wird das Verfahren eingesetzt zur Kühlung eines Strangabschnitts in einem Kühlbereich, in dem zumindest zwei der Kühldüsen in einer Förderrichtung des Strangabschnitts hintereinander angeordnet sind. Auf diese Weise kann ein Kühlmittelmengenausgleich über mehr als eine Kühldüse(nreihe) mit einfachen Mitteln erfolgen.

[0083] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung wird unter Verwendung eines Verlaufs der Zustandsgröße ein Frequenzspektrum der Zustandsgröße ermittelt und mit einem Referenzfrequenzspektrum verglichen.

[0084] Der Verlauf der Zustandsgröße kann ein Zeitverlauf, insbesondere eine Verlauf eines Drucks über der Zeit sein. Die Ermittlung des Frequenzspektrums kann mit einem sogenannten Fast-Fourier-Transformations-Verfahren oder dergleichen erfolgen. Das Referenzfrequenzspektrum ist ein Frequenzspektrum, das bei einer fehlerfreien Funktion der Kühleinrichtung ermittelt wird bzw. wurde.

[0085] Durch ein Ansteuern und Schalten eines Schaltventils zur intermittierenden Kühlmittelausbringung kann ein Zustandsgrößenstoß - also eine abrupte Änderung einer Zustandsgröße über der Zeit - des Kühlmittels in der Kühlmittelzuleitung bewirkt werden. Ein solcher Stoß kann ein Frequenzspektrum mit einer Frequenzüberhöhung - d.h. einem Peak oder dergleichen - aufweisen. Dabei kann das Schalten mehrerer Schaltventile mehrere jeweils charakteristische Frequenzüberhöhungen innerhalb des Frequenzspektrums bewirken, wobei einzelne Peaks einzelnen Schaltventilen und/oder Kühldüsen zugeordnet werden können. Mittels des Vergleichs mit dem Referenzspektrum kann ein defektes Schaltventil und/oder eine defekte Kühldüse derart auf einfache Weise ermittelt und lokalisiert werden.

[0086] Außerdem ist es vorteilhaft, wenn während der Ermittlung der Zustandsgröße zumindest eines der Schaltventile durch ein Steuersignal mit einer temporär erhöhten Schalttestfrequenz angesteuert wird.

[0087] Zweckmäßigerweise wird ein Frequenzspektrum der Zustandsgröße ermittelt. Ist die Schalttestfrequenz nicht als charakteristische Frequenzüberhöhung im Frequenzspektrum enthalten, kann auf einen Fehlerzustand an dem mit der Schalttestfrequenz angesteuerten Schaltventil und/oder einer diesem Schaltventil nachgeschalteten Kühldüse geschlossen werden.

[0088] Zweckmäßigerweise werden mehrere Schaltventile, die aus einer gemeinsamen Kühlmittelzuleitung gespeist werden, nacheinander, bevorzugt für jeweils 2 s bis 4 s, mit der Schalttestfrequenz angesteuert. Es ist vorteilhaft, wenn die Schalttestfrequenz eine übliche Schaltfrequenz bzw. Trägerfrequenz der Schaltventile zumindest um einen Faktor zwei übersteigt. Auf diese Weise kann ein Fehlerzustand während eines regulären Betriebs der Kühleinrichtung unter Vermeidung einer Beeinflussung der Kühlmittelbeaufschlagungsdichte ermittelt werden.

[0089] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung wird die Zustandsgröße mit einem Drucksensor ermittelt. Drucksensoren sind vielfach erprobt und in einer Vielzahl von an die jeweilige Anwendung angepassten Ausführungsformen erhältlich. Auf diese Weise kann die Zustandsgröße zuverlässig und kostengünstig ermittelt werden.

[0090] Bei einer vorteilhaften Ausführungsvariante wird die Zustandsgröße mit einem Durchflusssensor ermittelt. Vielfach ist ein Durchflussmesser zur Ermittlung eines Kühlmittelverbrauchs ohnehin Bestandteil der Kühleinrichtung, so dass die Zustandsgröße besonders kostengünstig ermittelt werden kann.

[0091] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante wird die Zustandsgröße mit einem Schallsensor ermittelt. Dabei kann der Schall beispielsweise unmittelbar an einer Kühlmittelzuleitung oder mittelbar an einer anderen Stelle der Kühleinrichtung ermittelt und eine Einbringung einer Sensorik in den Kühlmittelfluss vermieden werden. Derart ist eine örtlich besonders flexible Ermittlung der Zustandsgröße erzielbar.

[0092] Vorteilhafterweise wird die Zustandsgröße mit einem Beschleunigungssensor ermittelt. Beschleunigungssensoren sind vielfach erprobt und in einer Vielzahl von an die jeweilige Anwendung angepassten Ausführungsformen erhältlich. Auf diese Weise kann die Zustandsgröße zuverlässig und kostengünstig ermittelt werden.

[0093] In einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung wird das erfindungsgemäße Verfahren, insbesondere eine seiner oben beschriebenen Weiterbildungen, in einem von mehreren Kühlbereichen der Stranggießmaschine eingesetzt. In diesem Kontext kann die Formulierung "in einem von mehreren Kühlbereichen" als "in genau einem Kühlbereich von mehreren Kühlbereichen" bzw. als "in nur einem Kühlbereich von mehreren Kühlbereichen" aufgefasst werden. Weiterhin kann das erfindungsgemäße Verfahren, insbesondere eine seiner oben beschriebenen Weiterbildungen, jeweils in mehreren Kühlbereichen der Stranggießmaschine eingesetzt werden.

[0094] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Ermittlungseinrichtung zu einer Ermittlung eines Frequenz-

spektrums der Zustandsgröße, bevorzugt unter Verwendung eines Zeitverlaufs der Zustandsgröße, vorbereitet.

[0095] Außerdem ist es vorteilhaft, wenn die Ermittlungseinrichtung zum Vergleich des Frequenzspektrums der Zustandsgröße mit einem Referenzfrequenzspektrum vorbereitet ist.

[0096] Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn die Ermittlungseinrichtung zur Ermittlung defekter Schaltventile und/oder Kühldüsen unter Verwendung des Vergleichs vorbereitet ist.

[0097] Zudem ist es vorteilhaft, wenn die Steuereinrichtung zur Festlegung einer Trägerfrequenz eines der Steuersignale vorbereitet ist.

[0098] Ferner ist es vorteilhaft, wenn die Steuereinrichtung zur Festlegung eines Pulsweitenverhältnissen eines der Steuersignale vorbereitet ist.

[0099] Weiter ist es bevorzugt, wenn die Kühleinrichtung dazu eingerichtet ist, zumindest zwei der Steuersignale mit unterschiedlichen Trägerfrequenzen und/oder Pulsweitenverhältnissen festzulegen.

[0100] Besonders bevorzugt ist es, wenn die Kühleinrichtung dazu eingerichtet ist, zumindest eins der Steuersignale mit einer Phasenverschiebung zu einem weiteren der Steuersignale festzulegen.

[0101] Vorteilhafterweise ist die Steuereinrichtung zur Festlegung einer Phasenverschiebung eines der Steuersignale in einem von mehreren Kühlbereichen der Stranggießmaschine vorbereitet. In diesem Kontext kann die Formulierung "in einem von mehreren Kühlbereichen" als "in genau einem Kühlbereich von mehreren Kühlbereichen" bzw. als "in nur einem Kühlbereich von mehreren Kühlbereichen" aufgefasst werden. Weiterhin kann die Steuereinrichtung zur Festlegung einer Phasenverschiebung eines der Steuersignale jeweils in mehreren Kühlbereichen der Stranggießmaschine vorbereitet sein.

[0102] Die bisher gegebene Beschreibung vorteilhafter Ausgestaltungen enthält zahlreiche Merkmale, die in den einzelnen Unteransprüchen teilweise zu mehreren zusammengefasst wiedergegeben sind. Diese Merkmale können jedoch zweckmäßigerweise auch einzeln betrachtet und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammengefasst werden. Insbesondere sind diese Merkmale jeweils einzeln und in beliebiger geeigneter Kombination mit dem erfindungsgemäßen Verfahren sowie der erfindungsgemäßen Anordnung gemäß den unabhängigen Ansprüchen kombinierbar.

[0103] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung, sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Die Ausführungsbeispiele dienen der Erläuterung der Erfindung und beschränken die Erfindung nicht auf die darin angegebene Kombination von Merkmalen, auch nicht in Bezug auf funktionale Merkmale. Außerdem können dazu geeignete Merkmale eines jeden Ausführungsbeispiels auch explizit isoliert betrachtet, aus einem Ausführungsbeispiel entfernt, in ein anderes Ausführungsbeispiel zu dessen Ergänzung eingebracht und/oder mit einem beliebigen der Ansprüche kombiniert werden.

[0104] Es zeigen:

FIG 1 eine schematische Darstellung einer Kühleinrichtung, aufweisend Schaltventile und Kühldüsen, zur Kühlung eines metallischen Strangabschnitts,

FIG 2 eine schematische Darstellung von binären pulsweitenmodulierten Steuersignalen zur Ansteuerung der Schaltventile aus FIG 1,

FIG 3 ein Diagramm zur Verdeutlichung eines Zusammenhangs zwischen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte und Festlegung der Steuersignale aus FIG 2,

FIG 4 ein Diagramm in Analogie zu FIG 3 bei dreieckförmigem Sprühprofil der Kühldüsen in Förderrichtung eines Strangabschnitts,

FIG 5 ein Diagramm eines Frequenzspektrums des Kühlmitteldrucks bei Schaltung eines Schaltventils der Schaltventile aus FIG 1,

FIG 6 ein Diagramm eines Frequenzspektrums gemäß FIG 5 bei Schalten mehrerer Schaltventile,

FIG 7 ein Diagramm mit einem Vergleich zweier Frequenzverläufe bei Vorliegen eines Fehlerzustands an einem der Schaltventile und/oder Kühldüsen aus FIG 1,

FIG 8 ein Diagramm eines Druckverlauf über der Zeit bei Ansteuerung der Schaltventile aus FIG 1 mit einem Schalltestzyklus und

FIG 9 bis 11 schematische Darstellungen eines Optimierungsverfahrens zur Minimierung einer Volumenstromschwankung des Kühlmittels in der Kühlmittelzuleitung von FIG 1.

[0105] FIG 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Kühleinrichtung 2 zur Kühlung eines metallischen Strangabschnitts 4 in einem Kühlbereich 6 einer Stranggießmaschine. Letztere ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

[0106] Die Kühleinrichtung 2 weist Schaltventile 8, Kühldüsen 10, eine ein Kühlmittel 12 führende Kühlmittelzuleitung 14, eine Messeinrichtung 16, eine Ermittlungseinrichtung 18 und eine Steuereinrichtung 20 auf. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist jeweils eines der Schaltventile 8 einer der Kühldüsen 10 vorgeschaltet. Denkbar ist selbstverständlich auch, dass mehrere Kühldüsen, beispielsweise ein sogenannter Kühldüsenbalken, durch ein einzelnes Schaltventil adressiert werden.

[0107] Der Kühlbereich 6 weist die Länge L auf und umfasst sechs hintereinander angeordnete Kühldüsen 10. Es ist aber auch möglich, dass ein Kühlbereich lediglich eine der Kühldüsen 10 umfasst und eine Länge L_1 aufweist.

[0108] Die Messeinrichtung 16 weist einen an der Kühlmittelzuleitung 14 bzw. einer Messstelle 22 angeordneten Sensor 24 auf, der zur Ermittlung eines Verlaufs einer den Zustand des Kühlmittels 12 beschreibenden Zustandsgröße vorbereitet ist. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist diese Zustandsgröße der Druck 26 des Kühlmittels 12 an der Messstelle 22.

[0109] Die Ermittlungseinrichtung 18 ist zum Vergleich eines Verlaufs des Drucks 26 - eines Zeit und/oder eines Frequenzverlaufs oder dergleichen - mit einem Referenzverlauf und zur Ermittlung eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung 2 in Abhängigkeit des Vergleichs vorbereitet.

[0110] Die Steuereinrichtung 20 ist zur Festlegung von binären pulsweitenmodulierten Steuersignalen (siehe FIG 2: 38, 40, 42, 44) und zur Ansteuerung der Schaltventile 8 mit den Steuersignalen über Signalleitungen 28 vorbereitet.

[0111] Während eines Stranggießprozesses wird der Strangabschnitt 4 zwischen Strangführungsrollen 30 geführt und zur Kühlung in einer Förderrichtung 32 - auch Gießrichtung - mit einer Geschwindigkeit v durch den sich in einer Länge L - denkbar ist auch die Länge L_1 - erstreckenden Kühlbereich 6 gefördert, d.h. an den Kühldüsen 10 vorbeibewegt.

[0112] Hierbei werden die Schaltventile 8 durch die Steuereinrichtung 20 jeweils mit einem binären pulsweitenmodulierten Steuersignal (siehe FIG 2) angesteuert, wodurch Kühlmittelflüsse durch die Kühldüsen 10 abwechselnd freigegeben oder unterbrochen werden, wodurch das Kühlmittel 12 zur Kühlung intermittierend auf den Strangabschnitt 4 in dem Kühlbereich 6 aufgebracht wird. Die Kühldüsen 10 weisen jeweils ein in Förderrichtung 32 dreieckförmiges Sprühprofil 34 auf.

[0113] Die binären pulsweitenmodulierten Steuersignale werden durch die Steuereinrichtung 20 derart festgelegt, dass der durch den Kühlbereich 6 geförderte Strangabschnitt 4 am Ende 36 des Kühlbereichs 6 mit einer im Wesentlichen über den Strangabschnitt 4 gleichen Kühlmittelbeaufschlagungsdichte beaufschlagt worden ist.

[0114] Aus der Darstellung ist insbesondere auch ersichtlich, dass nach dem Stand der Technik eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagung des Strangabschnitts 4 infolge der intermittierenden Kühlmittelaufbringung nicht ohne Weiteres möglich ist. Bei einer unvorteilhaften Festlegung der Steuersignale kann es vorkommen, dass - je nach Geschwindigkeit v, Länge L bzw. L_1 , einem Ausfall eines der Schaltventile 8 und/oder einer der Kühldüsen 10 oder dergleichen - Teile des Strangabschnitts 4 während einer zeitlichen Unterbrechung der Kühlmittelausbringung unter einer Kühldüse 10 hindurchgefördert werden, ohne dass sie mit Kühlmittel 12 beaufschlagt werden. Infolgedessen kann nach dem Stand der Technik eine ungewollte über den Strangabschnitt 4 ungleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte am Ende 36 des Kühlbereichs 6 verursacht werden.

[0115] Das Verfahren ist in seinem Einsatz nicht beschränkt auf die in diesem Ausführungsbeispiel gezeigte Kühlordnung, die insbesondere zur Kühlung eines Strangabschnitts in Form eines Langprodukts insbesondere, in Form eines sogenannten Beam Blanks, Blooms, Billets, Rounds - auch: Träger, Vorblock bzw. Knüppel - oder dergleichen geeignet ist. Andere Kühlordnungen, beispielsweise zum Kühlen von Slabs - auch: Brammen - können ebenso nach dem Kühlverfahren betrieben werden.

[0116] FIG 2 zeigt eine schematische Darstellung von exemplarischen Verläufen von binären pulsweitenmodulierten Steuersignalen 38, 40, 42 und 44 über der Zeit t zur Ansteuerung der Schaltventile 8 aus FIG 1. Die Darstellung illustriert die zur Festlegung der Steuersignale anpass- bzw. modulierbaren Eigenschaften, nämlich Periodendauer, Pulsweitenverhältnis und Zeitversatz (Phasenverschiebung).

[0117] Aus FIG 2 ist ersichtlich, dass die Steuersignale 38 bis 44 in ihrem auf der Ordinate aufgetragenen Signalzustand u über der Zeit t jeweils zwischen 1 bzw. HI und einem 0 bzw. LOW wechseln, also im signaltechnischen Sinn binär sind.

[0118] Das Steuersignal 38 ist mit einer Periodendauer t_p und einem Pulsweitenverhältnis $\kappa = t_1/t_p$ festgelegt, wobei t_1 eine Pulsdauer ist. Der Kehrwert der Periodendauer $1/t_p$ ist die Trägerfrequenz F des Steuersignals 38.

[0119] Dabei gilt, je höher die Trägerfrequenz F, desto kürzer ist ein Schaltzyklus zwischen einem geöffneten und einem geschlossenen Zustand eines der derart angesteuerten Schaltventile 8 und desto kürzer sind die zeitlichen Unterbrechungen der Kühlmittelausbringung auf den Strangabschnitt 4 durch die diesem Schaltventil nachgeschaltete der Kühldüsen 10 und/oder nachgeschalteten Kühldüsen 10.

[0120] Das Steuersignal 40 ist im Vergleich zum Steuersignal 38 mit einer verdoppelten Periodendauer $2 \cdot t_p$ festgelegt, weist also eine Trägerfrequenz F/2 auf. Dabei ist die absolute Pulsweite der Steuersignale 38 und 40 zwar gleich, das Pulsweitenverhältnis des Steuersignals 40 beträgt allerdings $\kappa/2$. Infolgedessen wird bei einer Ansteuerung eines Schalt-

ventils mit dem Steuersignal 40 im Vergleich zur Ansteuerung mit dem Steuersignal 38 innerhalb eines Schaltzyklus lediglich die Hälfte einer Kühlmittelmenge aufgebracht.

[0121] Das Steuersignal 42 weist im Vergleich zum Steuersignal 40 die gleiche Periodendauer $2 \cdot t_p$ auf. Dabei ist die absolute Pulsweite $t_1/2$, so dass das Pulsweitenverhältnis von Steuersignal 42 $\kappa/4 = (t_1/2)/(2 \cdot t_p)$ beträgt.

[0122] Das Steuersignal 44 ist im Vergleich zu den Steuersignalen 38, 40 und 42 mit einer Zeitverzögerung t_z festgelegt und weist damit eine Phasenverschiebung auf.

[0123] FIG 3 zeigt ein Diagramm zur Verdeutlichung eines Zusammenhangs zwischen der Kühlmittelbeaufschlagungsdichte und der Festlegung der Steuersignale anhand der mittels FIG 2 illustrierten Signaleigenschaften. Insbesondere zeigt FIG 3 einen Zustand (Ordinate, u) eines Steuersignals 46 über der Zeit (Abszisse, t). Das Steuersignal 46 ist mit einer Pulsdauer t_1 und einer Periodendauer $t_p = 2 \cdot t_1$ festgelegt, weist also ein Pulsweitenverhältnis von $\kappa = 50\%$ auf.

[0124] Der Kurvenlauf des Steuersignals 46 korrespondiert dabei mit einem mittleren Kühlmittelfluss q - d.h. einer mittleren Kühlmittelmenge pro Zeiteinheit - der durch eine mittelbar mit dem Steuersignal 46 betätigte Kühldüse in einen Kühlbereich ausgebracht wird. Ferner entspricht die bis zu einer Zeit t durch den Kurvenverlauf 46 eingeschlossene Fläche einer bis zu dieser Zeit ausgegebenen Kühlmittelmenge.

[0125] Ein Teilabschnitt eines Strangabschnitts tritt zum Zeitpunkt t_{10} in den Kühlbereich ein und zum Zeitpunkt t_{20} aus diesem aus und wird zwischenzeitlich mit einer Kühlmittelmenge Q beaufschlagt. Dabei entspricht die auf den Teilabschnitt aufgebrauchte Kühlmittelmenge Q der durch einen strichliert dargestellten Bereich 48 eingeschlossenen schraffierten Fläche unter dem Kurvenverlauf 46.

[0126] Tritt ein weiterer Teilabschnitt des Strangabschnitts - verdeutlicht durch einen Bereich 50 - zum Zeitpunkt t_{30} in den Kühlbereich ein und zum Zeitpunkt t_{40} aus diesem aus, wird er mit der gleichen Kühlmittelmenge Q beaufschlagt.

[0127] Beide Teilabschnitte des Strangabschnitts durchlaufen den Kühlbereich in einer gleichen Durchlaufzeit t_n - besitzen also bei anzunehmender gleicher Geschwindigkeit v die gleiche Länge bzw. Fläche - und werden mit derselben Kühlmittelmenge Q beaufschlagt. Demnach weist der durch den Kühlbereich geförderte, durch die beiden Bereiche 48 und 50 gebildete Strangabschnitt am Ende des Kühlbereichs eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte auf.

[0128] Die jeweilige Durchlaufzeit t_n der Bereiche 48 und 50 durch den mit dem mittleren Kühlmittelfluss q beaufschlagten Kühlbereich beträgt die zweifache Periodendauer t_p .

[0129] Dabei wird die Durchlaufzeit t_n durch die Länge des Kühlbereichs L_1 und die Stranggeschwindigkeit v bestimmt.

[0130] Verschiebt man gedanklich einen der strichliert eingezeichneten Bereiche 48, 50 längs der Zeitachse t , was einer Förderung des Strangabschnitts durch den Kühlbereich gleichkommt, wird stets die gleiche schraffierte Fläche eingeschlossen und folglich eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte erreicht.

[0131] Dies wird erreicht, da die Periodendauer t_p des Steuersignals 46 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit v des Strangabschnitts 4 und/oder der Länge des Kühlbereichs L_1 und/oder des Sprühprofils 34 der Kühldüsen 10 festgelegt wird.

[0132] FIG 4 zeigt in Analogie zu FIG 3 die Zusammenhänge bei einem dreieckförmigen Sprühprofil der Kühldüsen in Förderrichtung eines Strangabschnitts. Die nachfolgende Beschreibung beschränkt sich im Wesentlichen auf die Unterschiede zum Ausführungsbeispiel in der FIG 3, auf das bezüglich gleich bleibender Merkmale und Funktionen verwiesen wird. Im Wesentlichen gleich bleibende Bauteile sind grundsätzlich mit den gleichen Bezugszeichen beziffert und nicht erwähnte Merkmale sind in den folgenden Ausführungsbeispielen übernommen, ohne dass sie erneut beschrieben sind.

[0133] Insbesondere zeigt FIG 4 einen Steuersignalverlauf 52 und zwei Bereiche 54 und 56 eines Strangabschnitts. Die Bereiche 54, 56 des Strangabschnitts treten zu den Zeitpunkten t_{50} bzw. t_{60} in den Kühlbereich ein und zu den Zeitpunkten t_{70} bzw. t_{80} aus dem Kühlbereich aus und werden mit derselben Kühlmittelmenge Q beaufschlagt. Demnach weist der durch den Kühlbereich geförderte, durch die beiden Bereiche 54, 56 gebildete Strangabschnitt am Ende des Kühlbereichs eine gleichmäßige Kühlmittelbeaufschlagungsdichte auf. Maßgeblich hierfür ist, dass die Periodendauer t_p ein geradzahliges Vielfaches der Durchlaufzeit t_n beträgt.

[0134] FIG 5 zeigt ein Diagramm eines Frequenzspektrums des Drucks (Ordinate: p (bar), Abszisse: f (Hz)) des Kühlmittels 12 in der Zuleitung 14 der Kühleinrichtung 2 aus FIG 1 bei Betätigung eines der Schaltventile 10. Der Druck p (bzw. 26, vgl. FIG 1) kann mit dem Sensor 24 der Messeinrichtung 16 ermittelt werden. Das Frequenzspektrum wird durch die Ermittlungseinrichtung 18 (siehe FIG 1) aus einem Zeitverlauf des Drucks ermittelt, hier mittels einer sogenannten FFT-Analyse (Fast-Fourier-Transformation). Es ist auch möglich eine sogenannte Teil-FFT-Analyse durchzuführen, d.h. eine Fast-FourierTransformation für einen bestimmten Frequenzbereich.

[0135] Das Frequenzspektrum weist eine Resonanzüberhöhung 58 bei einer Frequenz f von etwa 75 Hz auf. Die Resonanzüberhöhung 58 kommt durch einen Druckstoß in der Kühlmittelzuleitung 14 zustande, der durch das Schalten eines der Schaltventile 10 verursacht wird.

[0136] FIG 6 zeigt ein Diagramm eines Frequenzspektrums des Kühlmitteldruckes (Ordinate: p (bar), linke Abszisse: f (Hz)) bei Betätigung mehrerer der Schaltventile 10 (rechte Abszisse: Ventilnummer n (-)). Der Kühlmitteldruck p wird wiederum an der Messstelle 22 ermittelt.

[0137] Das Frequenzspektrum weist eine Resonanzüberhöhung 60 bei einer Frequenz f von etwa 75 Hz auf. Dabei

steigt die Amplitude der Resonanzüberhöhung 60 über der Ventilnummer n an.

[0138] Dieser Anstieg kann durch einen im vorliegenden Ausführungsbeispiel vorhandenen größeren Abstand mit aufsteigender Ventilnummer n zur Messstelle erklärt werden, wodurch eine hydraulische Induktivität steigt und höhere Druckspitzen im Kühlmittel 12 induziert werden.

[0139] Zur Ermittlung eines Fehlerzustands an der Kühleinrichtung 2, insbesondere an den Schaltventilen 8 und/oder den Kühldüsen 10, wird das Frequenzspektrum - insbesondere der Verlauf der Resonanzüberhöhung 60 - durch die Ermittlungseinrichtung 18 mit einem Referenzverlauf verglichen.

[0140] Aus der mittels des Vergleichs festgestellten Abweichung zwischen dem Referenzverlauf und dem Verlauf der Resonanzüberhöhung kann beispielsweise auf einen Verstopfungsgrad einer der oder mehrerer der Schaltventile 8 und/oder Kühldüsen 10 geschlossen werden.

[0141] Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in der kontinuierlichen und damit online - also während eines regulären Stranggießprozesses - möglichen Fehlerdetektion.

[0142] FIG 7 zeigt ein Diagramm mit einem Vergleich zweier Frequenzverläufe 62 und 64 des Kühlmitteldrucks p (Ordinate: p (bar), Abszisse: f (Hz)) bei Vorliegen eines Fehlerzustands an einem der Schaltventile 8 und/oder Kühldüsen 10 aus FIG 1. Dabei beziehen sich die Verläufe 62 und 64 auf die Ansteuerung eines einzelnen der Schaltventile 10.

[0143] Der Frequenzverlauf 62 gibt einen fehlerfreien Zustand wieder, stellt also einen Referenzfrequenzverlauf dar. Der Frequenzverlauf 64 stellt sich beispielsweise bei einem verstopften, nicht schaltbaren oder auf sonstige Weise nicht schaltbaren Schaltventil und/oder einer beeinträchtigten Kühldüse ein. Durch den Vergleich zwischen den beiden Frequenzverläufen 62 und 64 kann eindeutig ein Fehlerzustand ermittelt werden.

[0144] FIG 8 zeigt ein Diagramm mit einem Druckverlauf 66 über der Zeit (Abszisse: t (s)) bei Ansteuerung der Schaltventile 8 aus FIG 1 mit einem Schalttestzyklus 68, der durch den zeitlichen Verlauf der Steuersignale festgelegt ist. Die Ermittlung eines Fehlerzustands kann dabei wiederum durch einen Vergleich mit einem Referenzverlauf oder alternativ durch einen Abgleich der Druckspitzen 70 untereinander erfolgen.

[0145] Es ist möglich, den Druckverlauf 66, bzw. ein den Druckverlauf 66 beschreibendes Signal, mit einem geeigneten Faltungssignal zu falten. Das Faltungssignal kann dabei so gewählt werden, dass eine Verstärkung und/oder eine Rauschunterdrückung möglichst vorteilhaft sind. Beispielsweise kann eine Funktion $\sin^2(t)$ als Faltungssignal bzw. -funktion gewählt werden. Ferner ist es möglich, das Schaltventilverhalten und die daraus resultierenden zeitlichen Ableitungen zu betrachten.

[0146] Es ist vorteilhaft, wenn der Schalttestzyklus mit über der Schalttestzyklusdauer gleichmäßig verteilten Schaltungen festgelegt wird.

[0147] Die FIGen 9 bis 11 zeigen eine schematische Darstellung eines Optimierungsverfahrens zur Minimierung einer Volumenstromschwankung des Kühlmittels 12 in der Kühlmittelzuleitung 14 von FIG 1. Durch die Minimierung der Volumenstromschwankung kann einer ungewollte Beeinflussung der Kühlmittelbeaufschlagungsdichte entgegenwirkt werden.

[0148] Werden die Steuersignale zur Ansteuerung der Schaltventile mit gleichen Pulsweitenverhältnissen festgelegt, so kann ein einfacher Ansatz verwendet werden:

Beispielsweise kann durch eine variable Verzögerungszeiten t_z (siehe FIG 2) zwischen den Pulsfolgen der Steuersignale, die Rückwirkungen auf das übergeordnete Versorgungssystem - also die Volumenstromschwankung - minimiert werden: Für diesen einfachen Ansatz zur Festlegung der Steuersignale wird beispielhaft eine Gruppe von 6 Schaltventilen (vgl. FIG 1, 8) mit 6 nachgeschalteten Kühldüsen 10 betrachtet, welche mit einer Trägerfrequenz F von 1 Hz und gleichem Pulsweitenverhältnis κ von 50 % angesteuert werden. Bei gleichzeitigem Schalten der Schaltventile werden unerwünscht starke Druckstöße in der gemeinsamen Kühlmittelzuleitung 14 induziert, die zu Volumenstromschwankungen und damit zu einer ungewollten Beeinflussung der Kühlmittelbeaufschlagungsdichte führen können.

[0149] Werden die Schaltventile zeitversetzt angesteuert, mit z.B. jeweils 0,1 s Verzögerung, so lässt sich die unerwünschte Systemrückwirkung reduzieren.

[0150] Werden die Steuersignale zur Ansteuerung der Schaltventile allerdings mit unterschiedlichen Pulsweitenverhältnissen κ festgelegt, so kann dieser einfache Ansatz nicht mehr verwendet werden und es ist vorteilhaft, das in den FIGen 9 bis 11 illustrierte Optimierungsverfahren zur Festlegung der Steuersignale zu verwenden.

[0151] Dazu wird ein Frequenzspektrum des Durchflusses bzw. des Volumenstroms des Kühlmittels 12 durch die Kühlmittelzuleitung 14 ermittelt. Die Ermittlung dieses Frequenzspektrums kann beispielsweise aus dem mit dem Sensor 24 der Messeinrichtung 16 ermittelten Druck p - zur mittelbaren Ermittlung des Volumenstroms - des Kühlmittels 12 oder durch eine unmittelbare Ermittlung des Volumenstroms und einer darauffolgenden FFT mittels der Ermittlungseinrichtung 18 erfolgen.

[0152] Es ist möglich, dass Frequenzspektrum mittels einer Simulationsmethode, beispielsweise im Rahmen einer sogenannten Vorabsimulation, zu ermitteln. Es vorteilhaft, hierfür gängige Simulationswerkzeuge zu nutzen.

[0153] Das Frequenzspektrum des Durchflusses A wird in einen konstanten und einen trigonometrischen Term aufgespalten, wobei der trigonometrische Term sowohl vom Pulsweitenverhältnis κ als auch den Schaltverzögerungszeiten t_z abhängig ist.

[0154] FIG 9 zeigt das Ergebnis dieser Zerlegung bei einer Schaltung von zwei Schaltventilen in Zeigerschreibweise in der komplexen Zahlenebene 72 (Abszisse: Realteil Re, Ordinate: Imaginärteil, Im). Dabei hängen die Beträge der Durchflüsse A_1 und A_2 vom jeweiligen Pulsweitenverhältnis κ des das jeweilige Schaltventil ansteuernden Steuersignals ab. Die Phasenverschiebungen ϕ_1 bzw. ϕ_2 sind von der jeweiligen Verzögerungszeit t_z abhängig.

[0155] Der resultierende Zeiger 74 mit dem betragsmäßigen Gesamtdurchfluss A_v muss hierbei minimiert werden.

[0156] FIG 10 zeigt das Ergebnis der Optimierung für den exemplarischen Fall, dass zehn Schaltventile durch zehn Steuersignale mit gleichen Pulsweitenverhältnissen κ angesteuert werden. Als Ergebnis liefert die Optimierung zehn in der komplexen Zahlenebene um die gleiche optimierte Phasenverschiebung 76 ($\Delta\phi$) gedrehte Durchflüsse A_1 bis A_{10} . Die Optimierung kann mit einem genetischen Algorithmus, einem gradientenbasierten Optimierungsverfahren oder dergleichen erfolgen. Optimiert wird eine Kostenfunktion, die durch die Summe der Betragsquadrate der komplexen Zeiger A_v , aufsummiert über alle betrachteten Fourierterme, beschrieben werden kann.

[0157] FIG 11 zeigt eine alternative grafische Darstellung des Optimierungsergebnisses.

Bezugszeichenliste

[0158]

2	Kühleinrichtung
4	Strangabschnitt
6	Kühlbereich
8	Schaltventile
10	Kühldüsen
12	Kühlmittel
14	Kühlmittelzuleitung
16	Messeinrichtung
18	Ermittlungseinrichtung
20	Steuereinrichtung
22	Messstelle
24	Sensor
26	Druck
28	Signalleitungen
30	Strangführungsrollen
32	Förderrichtung
34	Sprühprofil
36	Ende Kühlbereich
38, 40, 42, 44	Steuersignal
46	Steuersignal
48, 50	Bereich
52	Steuersignal
54, 56	Bereich
58, 60	Resonanzüberhöhung
62	Referenzfrequenzverlauf
64	Frequenzverlauf
66	Druckzeitverlauf
68	Schalttestzyklus
70	Druckspitzen
72	komplexe Zahlenebene
74	resultierender Zeiger
76	optimierte Phasenverschiebung
t	Zeit
t ₄₀	Zeitpunkt
t ₁₀ , t ₂₀ , t ₃₀ , t ₅₀ , t ₈₀	Zeitpunkt
t ₆₀ , t ₇₀ , t _n	Durchlaufzeit
t _p	Periodendauer
t _i	Pulsdauer

t_z	Zeitverzögerung
u	Signalzustand
v	Geschwindigkeit
κ	Pulsweitenverhältnis
5 ϕ, ϕ_1, ϕ_2	Phasenverschiebung
$\Delta\phi$	optimierte Phasenverschiebung
A_1 bis A_{10}	Kühlmitteldurchfluss
A_v	resultierender Kühlmitteldurchfluss
F	Trägerfrequenz
10 L, L_1	Länge Kühlbereich
T	Trägerfrequenz
q	Kühlmittelfluss
Q	Kühlmittelmenge

15

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kühlung eines Strangabschnitts (4) eines metallischen Strangs in einem Kühlbereich (6) einer Stranggießmaschine mit einer Kühleinrichtung (2), aufweisend jeweils mehrere Schaltventile (8) und Kühldüsen (10), bei dem

- der Strangabschnitt (4) zur Kühlung durch den Kühlbereich (6) gefördert wird und
 - die Schaltventile (8) durch binäre pulswertenmodulierte Steuersignale (38-46, 52) angesteuert werden, wodurch Kühlmittelflüsse (q) durch die Kühldüsen (10) abwechselnd freigegeben oder unterbrochen werden, wodurch ein Kühlmittel (12) zur Kühlung intermittierend auf den Strangabschnitt (4) in dem Kühlbereich (6) aufgebracht wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die binären pulswertenmodulierten Steuersignale (38-46, 52) derart festgelegt werden, dass zumindest eines der Steuersignale (38-46, 52) eine Phasenverschiebung ($\phi, \phi_1, \phi_2, \Delta\phi$) zu einem weiteren der Steuersignale (38-46, 52) aufweist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Phasenverschiebung ($\Delta\phi$) eines der Steuersignale (38-46, 52) unter Verwendung eines numerischen Optimierungsverfahrens zur Minimierung einer Volumenstromschwankung des Kühlmittels (12) festgelegt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest zwei der Steuersignale (38-46, 52) mit unterschiedlichen Trägerfrequenzen (T) festgelegt werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Trägerfrequenz (T) eines der Steuersignale (38-46, 52) in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit (v) des Strangabschnitts (4) und/oder einer Länge des Kühlbereichs (L, L_1) und/oder eines Sprühprofils (34) der Kühldüsen (10) festgelegt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest zwei der Steuersignale (38-46, 52) mit unterschiedlichen Pulsweitenverhältnissen (κ) festgelegt werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Pulsweitenverhältnis (κ) eines der Steuersignale (38-46, 52) in Abhängigkeit eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung (2) festgelegt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, eingesetzt zur Kühlung eines Strangabschnitts (4) in einem Kühlbereich (6), in dem zumindest zwei der Kühldüsen (10) in einer Förderrichtung (32) des Strangabschnitts (4) hintereinander angeordnet sind.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ermittlung eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung (2)

- eine den physikalischen Zustand des Kühlmittels (12) beschreibende Zustandsgröße (p, 26) im Bereich einer zumindest mehreren der Schaltventile (8) und/oder mehreren der Kühldüsen (10) gemeinsamen Kühlmittelzuleitung (14) ermittelt wird,
 - ein Verlauf (58, 60, 64, 66) der Zustandsgröße (p, 26) mit einem Referenzverlauf (62) verglichen wird und
 - in Abhängigkeit des Vergleichs ein Fehlerzustand zumindest eines der Schaltventile (8) und/oder einer der Kühldüsen (10) der Kühleinrichtung (2) ermittelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** unter Verwendung eines Verlaufs der Zustandsgröße (p, 26) ein Frequenzspektrum (58, 60, 64) der Zustandsgröße (p, 26) ermittelt und mit einem Referenzfrequenzspektrum (62) verglichen wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** während der Ermittlung der Zustandsgröße (p, 26) zumindest eines der Schaltventile (8) durch ein Steuersignal (38-46, 52) mit einer temporär erhöhten Schalttestfrequenz angesteuert wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zustandsgröße (p, 26) mit einem Drucksensor (24) und/oder einem Durchflusssensor und/oder einem Schallsensor und/oder einem Beschleunigungssensor ermittelt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, eingesetzt in einem von mehreren Kühlbereichen (6) der Stranggießmaschine.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, eingesetzt jeweils in mehreren Kühlbereichen (6) der Stranggießmaschine.

14. Kühleinrichtung (2), aufweisend Schaltventile (8), Kühldüsen (10), ein Kühlmittel (12) und eine Steuereinrichtung (20), welche Steuereinrichtung (20) zur Festlegung von binären pulswertenmodulierten Steuersignalen (38-46, 52) und zur Ansteuerung der Schaltventile (8) mit den Steuersignalen (38-46, 52) vorbereitet ist, zur Kühlung eines metallischen Strangabschnitts (4) in einem Kühlbereich (6) einer Stranggießmaschine, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (20) zur Festlegung einer Phasenverschiebung (ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 , $\Delta\phi$) eines der Steuersignale (38-46, 52) vorbereitet ist.

15. Kühleinrichtung (2) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (20) zur Festlegung einer Trägerfrequenz (F) und/oder eines Pulsweitenverhältnissen (κ) eines der Steuersignale (38-46, 52) vorbereitet ist.

16. Kühleinrichtung (2) nach Anspruch 14 oder 15, **gekennzeichnet durch**

- eine Messeinrichtung (16), aufweisend einen Sensor (24), der zur Ermittlung einer den Zustand des Kühlmittels (12) beschreibenden Zustandsgröße (p, 26) im Bereich einer zumindest mehreren Schaltventilen (8) und/oder Kühldüsen (10) gemeinsamen Kühlmittelzuleitung (14) vorbereitet ist, und
 - eine Ermittlungseinrichtung (18), vorbereitet zum Vergleich eines Verlaufs (58, 60, 64, 66) der Zustandsgröße (p, 26) mit einem Referenzverlauf (62) und zur Ermittlung eines Fehlerzustands der Kühleinrichtung (2) in Abhängigkeit des Vergleichs.

17. Kühleinrichtung (2) nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ermittlungseinrichtung (18) zu einer Ermittlung eines Frequenzspektrums (58, 60, 64) der Zustandsgröße (p, 26), zum Vergleich des Frequenzspektrums (58, 60, 64) der Zustandsgröße (p, 26) mit einem Referenzfrequenzspektrum (62) und zur Ermittlung defekter Schaltventile (8) und/oder Kühldüsen (10) unter Verwendung des Vergleichs vorbereitet ist.

18. Kühleinrichtung (2) nach einem der Ansprüche 14 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (20) zur Festlegung einer Phasenverschiebung (ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 , $\Delta\phi$) eines der Steuersignale (38-46, 52) in einem von mehreren Kühlbereichen (6) der Stranggießmaschine vorbereitet ist.

19. Kühleinrichtung (2) nach einem der Ansprüche 14 bis 17,
dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (20) zur Festlegung einer Phasenverschiebung (ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 , $\Delta\phi$) eines der Steuersignale (38-46, 52) jeweils in mehreren Kühlbereichen (6) der Stranggießmaschine vorbereitet ist.

Claims

1. Method for cooling a strand portion (4) of a metal strand in a cooling zone (6) of a continuous casting machine by means of a cooling device (2), comprising in each case a number of switching valves (8) and cooling nozzles (10), in which

- for cooling, the strand portion (4) is conveyed through the cooling zone (6) and
- the switching valves (8) are activated by binary pulse width modulated control signals (38-46, 52), whereby coolant flows (q) through the cooling nozzles (10) are alternately allowed to pass or interrupted, whereby, for cooling, a coolant (12) is intermittently applied to the strand portion (4) in the cooling zone (6),

characterized in that

- the binary pulse width modulated control signals (38-46, 52) are defined in such a way that at least one of the control signals (38-46, 52) has a phase shift (ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 , $\Delta\phi$) in relation to another of the control signals (38-46, 52) .

2. Method according to Claim 1,

characterized in that a phase shift ($\Delta\phi$) of one of the control signals (38-46, 52) is defined by using a numerical optimization method for minimizing the fluctuation of the volumetric flow of the coolant (12).

3. Method according to one of the preceding claims,

characterized in that at least two of the control signals (38-46, 52) are defined with different carrier frequencies (T).

4. Method according to one of the preceding claims,

characterized in that a carrier frequency (T) of one of the control signals (38-46, 52) is defined in dependence on a speed (v) of the strand portion (4) and/or a length of the cooling zone (L, L_1) and/or a spraying profile (34) of the cooling nozzles (10).

5. Method according to one of the preceding claims,

characterized in that at least two of the control signals (38-46, 52) are defined with different pulse width ratios (κ).

6. Method according to one of the preceding claims,

characterized in that a pulse width ratio (κ) of one of the control signals (38-46, 52) is defined in dependence on a fault condition of the cooling device (2).

7. Method according to one of the preceding claims,

used for cooling a strand portion (4) in a cooling zone (6), in which at least two of the cooling nozzles (10) are arranged one behind the other in a conveying direction (32) of the strand portion (4).

8. Method according to one of the preceding claims,

characterized in that, for determining a fault condition of the cooling device (2),

- a state variable (p, 26) describing the physical condition of the coolant (12) is determined in the region of a coolant feed line (14) shared by at least a number of the switching valves (8) and/or a number of the cooling nozzles (10),
- a variation (58, 60, 64, 66) of the state variable (p, 26) is compared with a reference variation (62) and
- depending on the comparison, a fault condition of at least one of the switching valves (8) and/or one of the cooling nozzles (10) of the cooling device (2) is determined.

9. Method according to Claim 8,

characterized in that, using a variation of the state variable (p, 26), a frequency spectrum (58, 60, 64) of the state variable (p, 26) is determined and compared with a reference frequency spectrum (62).

10. Method according to either of Claims 8 and 9,
characterized in that, during the determination of the state variable (p, 26), at least one of the switching valves (8) is activated by a control signal (38-46, 52) with a temporarily increased switching test frequency.

11. Method according to one of Claims 8 to 10,
characterized in that the state variable (p, 26) is determined with a pressure sensor (24) and/or a flow sensor and/or a sound sensor and/or an acceleration sensor.

12. Method according to one of the preceding claims,
 used in one of a number of cooling zones (6) of the continuous casting machine.

13. Method according to one of Claims 1 to 11,
 used in each case in a number of cooling zones (6) of the continuous casting machine.

14. Cooling device (2), comprising switching valves (8), cooling nozzles (10), a coolant (12) and a control device (20), which control device (20) is prepared for defining binary pulse width modulated control signals (38-46, 52) and for activating the switching valves (8) with the control signals (38-46, 52), for cooling a metal strand portion (4) in a cooling zone (6) of a continuous casting machine,
characterized in that the control device (20) is prepared for defining a phase shift (ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 , $\Delta\phi$) of one of the control signals (38-46, 52).

15. Cooling device (2) according to Claim 14,
characterized in that the control device (20) is prepared for defining a carrier frequency (F) and/or a pulse width ratio (κ) of one of the control signals (38-46, 52).

16. Cooling device (2) according to Claim 14 or 15, **characterized by**

- a measuring device (16), comprising a sensor (24), which is prepared for determining a state variable (p, 26) describing the condition of the coolant (12) in the region of a coolant feed line (14) shared by at least a number of switching valves (8) and/or cooling nozzles (10), and
- a determining device (18), prepared for comparing a variation (58, 60, 64, 66) of the state variable (p, 26) with a reference variation (62) and for determining depending on the comparison a fault condition of the cooling device (2).

17. Cooling device (2) according to Claim 16,
characterized in that the determining device (18) is prepared for determining a frequency spectrum (58, 60, 64) of the state variable (p, 26), for comparing the frequency spectrum (58, 60, 64) of the state variable (p, 26) with a reference frequency spectrum (62) and for determining defective switching valves (8) and/or cooling nozzles (10) by using the comparison.

18. Cooling device (2) according to one of Claims 14 to 17,
characterized in that the control device (20) is prepared for defining a phase shift (ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 , $\Delta\phi$) of one of the control signals (38-46, 52) in one of a number of cooling zones (6) of the continuous casting machine.

19. Cooling device (2) according to one of Claims 14 to 17,
characterized in that the control device (20) is prepared for defining a phase shift (ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 , $\Delta\phi$) of one of the control signals (38-46, 52) in each case in a number of cooling zones (6) of the continuous casting machine.

Revendications

1. Procédé de refroidissement d'un segment de barre (4) d'une barre métallique dans une zone de refroidissement (6) d'une machine de coulée continue à l'aide d'un dispositif de refroidissement (2) comprenant à chaque fois plusieurs soupapes de commutation (8) et buses de refroidissement (10), dans lequel

- le segment de barre (4) est transporté à travers la zone de refroidissement (6) en vue du refroidissement et
- les soupapes de commutation (8) sont excitées par des signaux de commande binaires à modulation d'impulsions en largeur (38-46, 52), grâce à quoi des flux de fluide de refroidissement (q) s'écoulant à travers les

buses de refroidissement (10) sont alternativement lâchés ou interrompus, ce qui permet d'appliquer un fluide de refroidissement (12) de manière intermittente sur le segment de barre (4) dans la zone de refroidissement (6), en vue d'un refroidissement,

caractérisé en ce que

- les signaux de commande binaires à modulation d'impulsions en largeur (38-46, 52) sont spécifiés de manière à ce qu'au moins un des signaux de commande (38-46, 52) présente un déplacement de phase (ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 , $\Delta\phi$) par rapport à un autre des signaux de commande (38-46, 52) .

2. Procédé selon la revendication 1,

caractérisé en ce qu'un déplacement de phase ($\Delta\phi$) de l'un des signaux de commande (38-46, 52) est spécifié, au moyen d'un procédé d'optimisation numérique, en vue de réduire à un minimum une fluctuation de débit du fluide de refroidissement (12).

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce qu'au moins deux des signaux de commande (38-46, 52) sont spécifiés par des fréquences porteuses (T) différentes.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce qu'une fréquence porteuse (T) de l'un des signaux de commande (38-46, 52) est spécifiée en fonction d'une vitesse (v) du segment de barre (4) et/ou d'une longueur de la zone de refroidissement (L, L_1) et/ou d'un profil de pulvérisation (34) des buses de refroidissement (10).

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce qu'au moins deux des signaux de commande (38-46, 52) sont spécifiés par des rapports de largeurs d'impulsions (κ) différents.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce qu'un rapport de largeurs d'impulsions (κ) de l'un des signaux de commande (38-46, 52) est spécifié en fonction d'un état de panne du dispositif de refroidissement (2).

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes,

utilisé pour le refroidissement d'un segment de barre (4) dans une zone de refroidissement (6) dans laquelle au moins deux des buses de refroidissement (10) sont situées l'une derrière l'autre dans une direction de transport (32) du segment de barre (4).

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce que, pour déterminer un état de panne du dispositif de refroidissement (2),

- on détermine une grandeur d'état (p, 26) décrivant l'état physique du fluide de refroidissement (12) dans la région d'une conduite d'amenée de fluide de refroidissement (14) commune au moins à plusieurs des soupapes de commutation (8) et/ou plusieurs des buses de refroidissement (10),

- on compare une courbe (58, 60, 64, 66) de la grandeur d'état (p, 26) à une courbe de référence (62), et

- on détermine, en fonction de la comparaison, un état de panne d'au moins une des soupapes de commutation (8) et/ou une des buses de refroidissement (10) du dispositif de refroidissement (2).

9. Procédé selon la revendication 8,

caractérisé en ce qu'un spectre de fréquences (58, 60, 64) de la grandeur d'état (p, 26) est déterminé, en utilisant une courbe de la grandeur d'état (p, 26), et est comparé à un spectre de fréquences de référence (62).

10. Procédé selon l'une des revendications 8 ou 9,

caractérisé en ce que, pendant la détermination de la grandeur d'état (p, 26), au moins une des soupapes de commutation (8) est excitée, grâce à un signal de commande (38-46, 52), à une fréquence test de commutation temporairement augmentée.

11. Procédé selon l'une des revendications 8 à 10,

caractérisé en ce que la grandeur d'état (p, 26) est déterminée à l'aide d'un capteur de pression (24) et/ou d'un

capteur de débit et/ou d'un capteur acoustique et/ou d'un capteur d'accélération.

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes,
utilisé dans une parmi plusieurs zones de refroidissement (6) de la machine de coulée continue.

13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11,
utilisé à chaque fois dans plusieurs zones de refroidissement (6) de la machine de coulée continue.

14. Dispositif de refroidissement (2), comprenant des soupapes de commutation (8), des buses de refroidissement (10),
un fluide de refroidissement (12) et un dispositif de commande (20), lequel dispositif de commande (20) est conçu
pour spécifier des signaux de commande binaires à modulation d'impulsions en largeur (38-46, 52) et pour exciter
les soupapes de commutation (8) avec les signaux de commande (38-46, 52), afin de refroidir un segment de barre
métallique (4) dans une zone de refroidissement (6) d'une machine de coulée continue,

caractérisé en ce que le dispositif de commande (20) est conçu pour spécifier un déplacement de phase (ϕ , ϕ_1 ,
 ϕ_2 , $\Delta\phi$) de l'un des signaux de commande (38-46, 52).

15. Dispositif de refroidissement (2) selon la revendication 14,
caractérisé en ce que le dispositif de commande (20) est conçu pour spécifier une fréquence porteuse (F) et/ou
un rapport de largeurs d'impulsions (κ) de l'un des signaux de commande (38-46, 52).

16. Dispositif de refroidissement (2) selon la revendication 14 ou 15,
caractérisé par

- un dispositif de mesure (16) comprenant un capteur (24) qui est conçu pour déterminer une grandeur d'état
(p, 26) décrivant l'état du fluide de refroidissement (12) dans la région d'une conduite d'amenée de fluide de
refroidissement (14) commune au moins à plusieurs soupapes de commutation (8) et/ou buses de refroidisse-
ment (10), et

- un dispositif de détermination (18), conçu pour comparer une courbe (58, 60, 64, 66) de la grandeur d'état (p,
26) à une courbe de référence (62) et pour déterminer un état de panne du dispositif de refroidissement (2) en
fonction de la comparaison.

17. Dispositif de refroidissement (2) selon la revendication 16,
caractérisé en ce que le dispositif de détermination (18) est conçu pour déterminer un spectre de fréquences (58,
60, 64) de la grandeur d'état (p, 26), pour comparer le spectre de fréquences (58, 60, 64) de la grandeur d'état (p,
26) à un spectre de référence (62) et pour déterminer des soupapes de commutation (8) et/ou buses de refroidisse-
ment (10) défectueuses grâce à la comparaison.

18. Dispositif de refroidissement (2) selon l'une des revendications 14 à 17,
caractérisé en ce que le dispositif de commande (20) est conçu pour spécifier un déplacement de phase (ϕ , ϕ_1 ,
 ϕ_2 , $\Delta\phi$) de l'un des signaux de commande (38-46, 52) dans une parmi plusieurs zones de refroidissement (6) de la
machine de coulée continue.

19. Dispositif de refroidissement (2) selon l'une des revendications 14 à 17,
caractérisé en ce que le dispositif de commande (20) est conçu pour spécifier un déplacement de phase (ϕ , ϕ_1 ,
 ϕ_2 , $\Delta\phi$) de l'un des signaux de commande (38-46, 52) à chaque fois dans plusieurs zones de refroidissement (6)
de la machine de coulée continue.

FIG 1

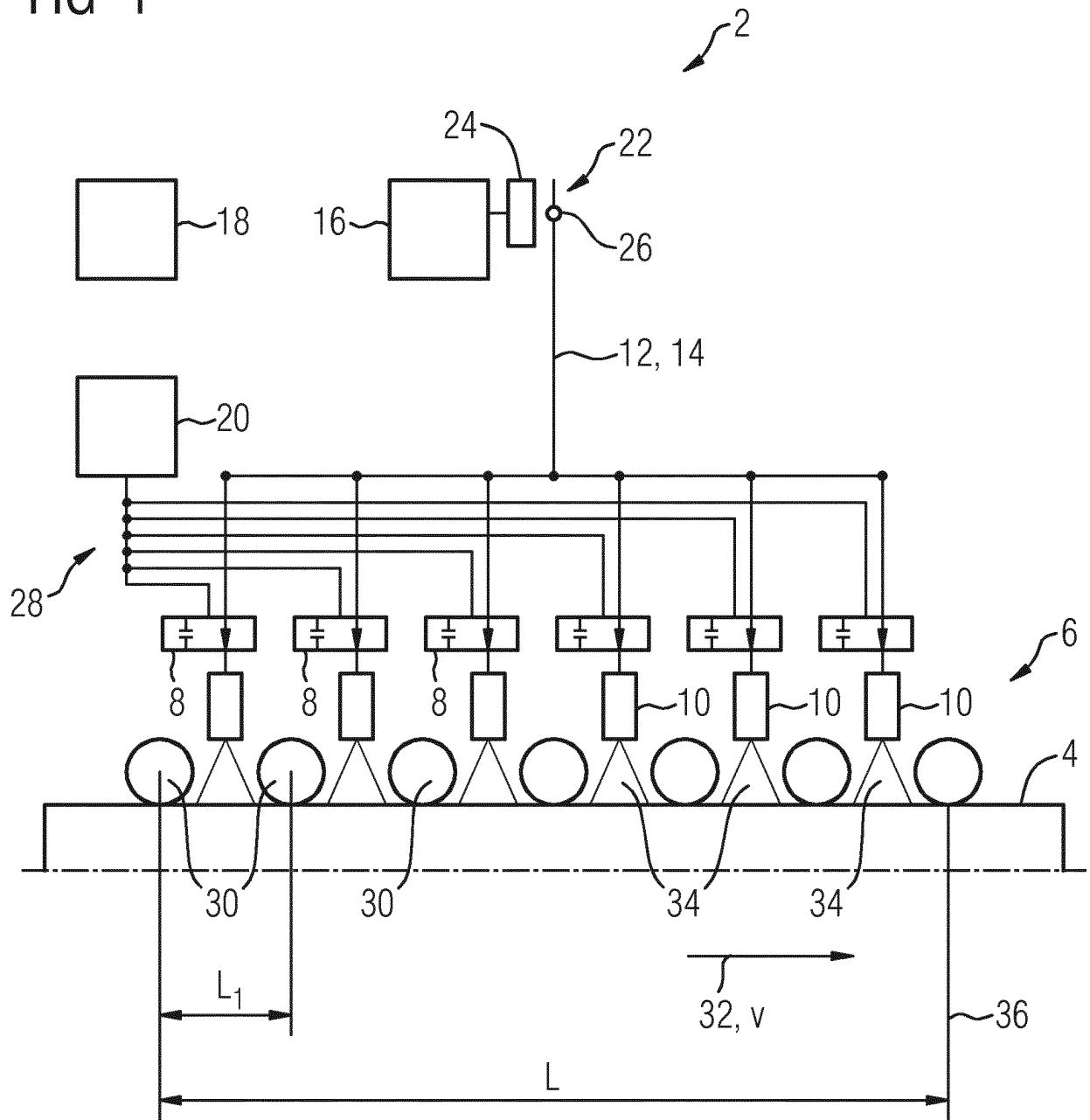


FIG 2

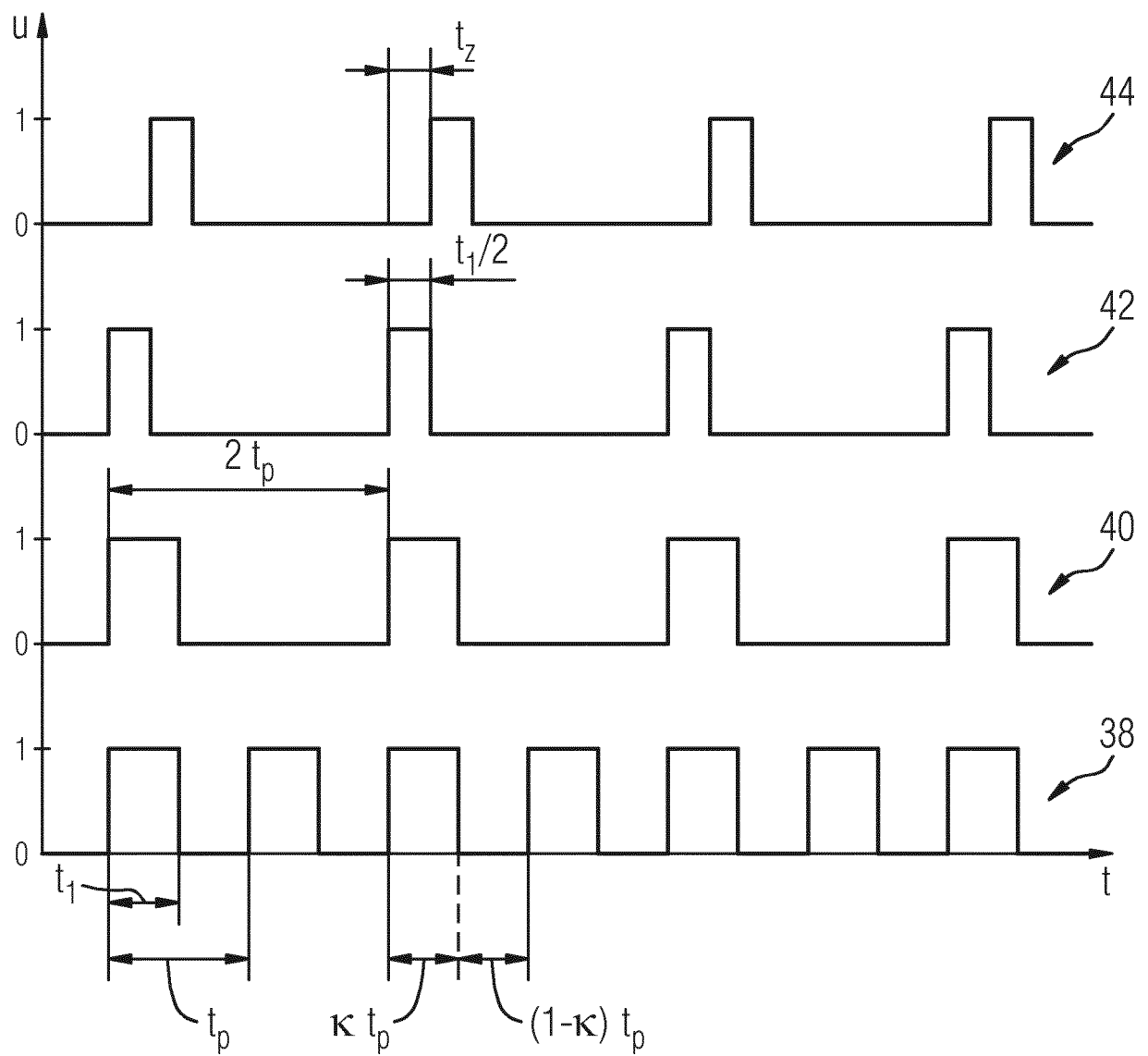


FIG 3

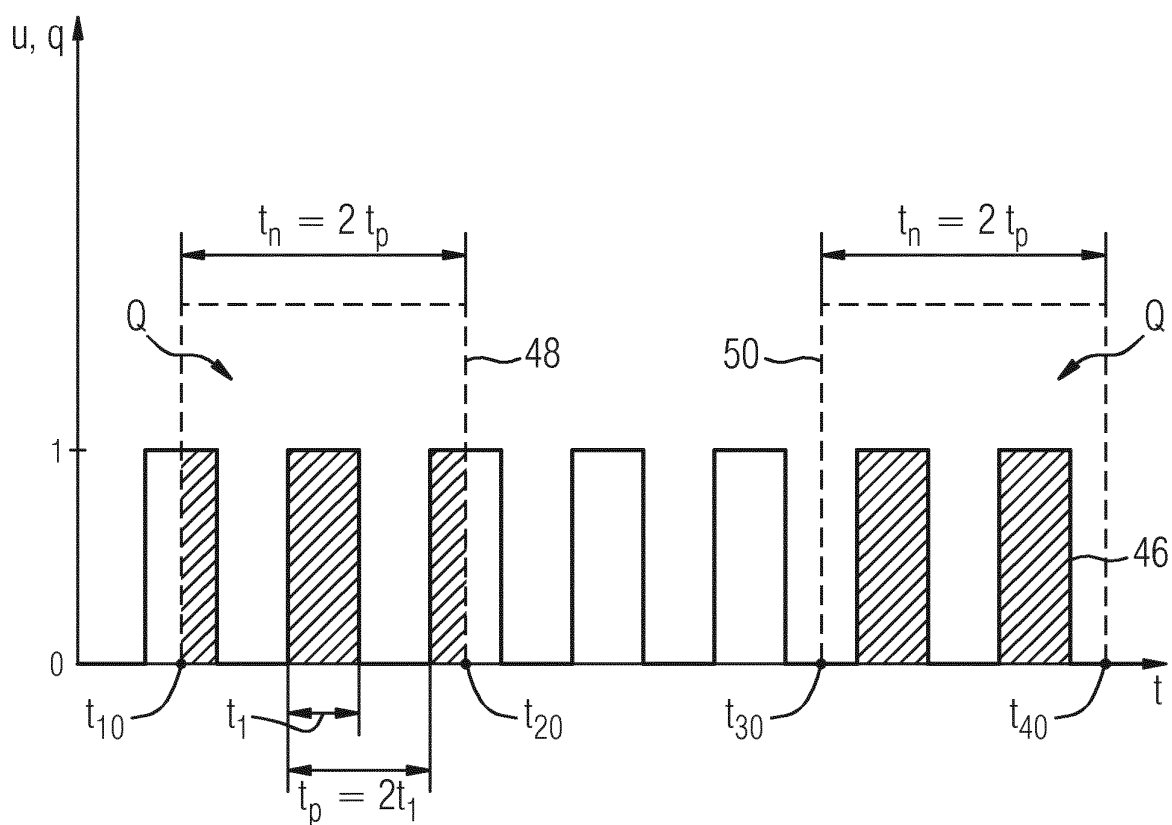


FIG 4

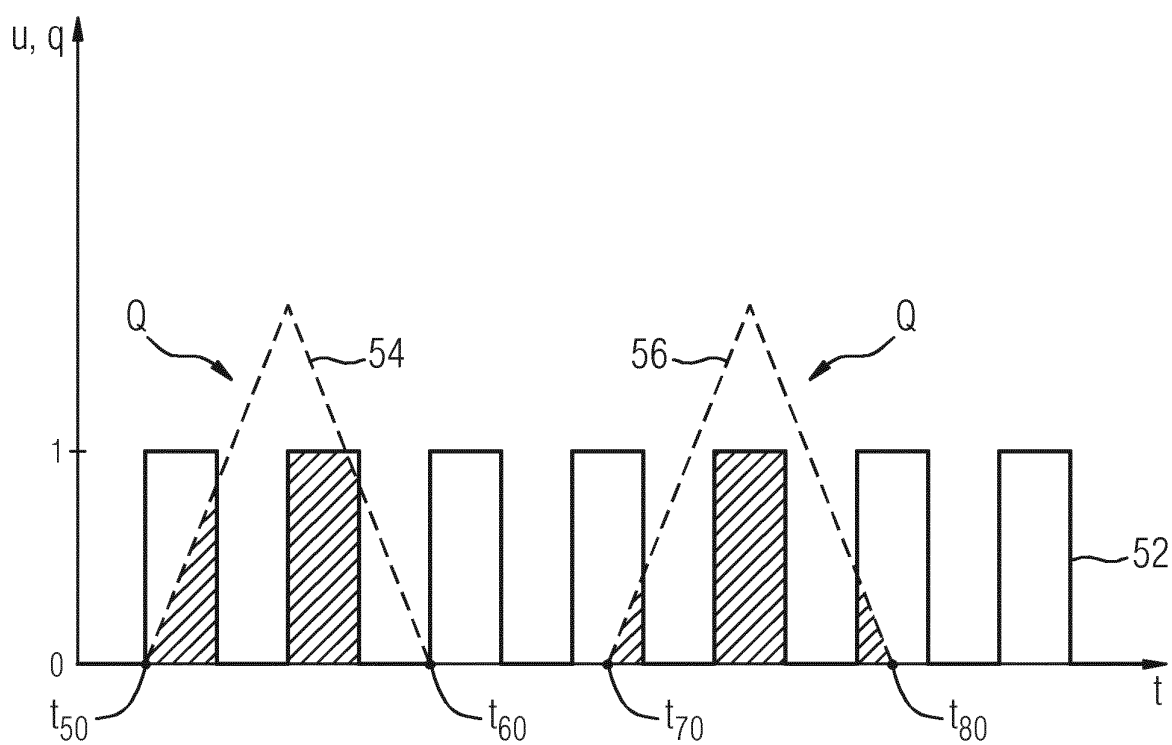


FIG 5

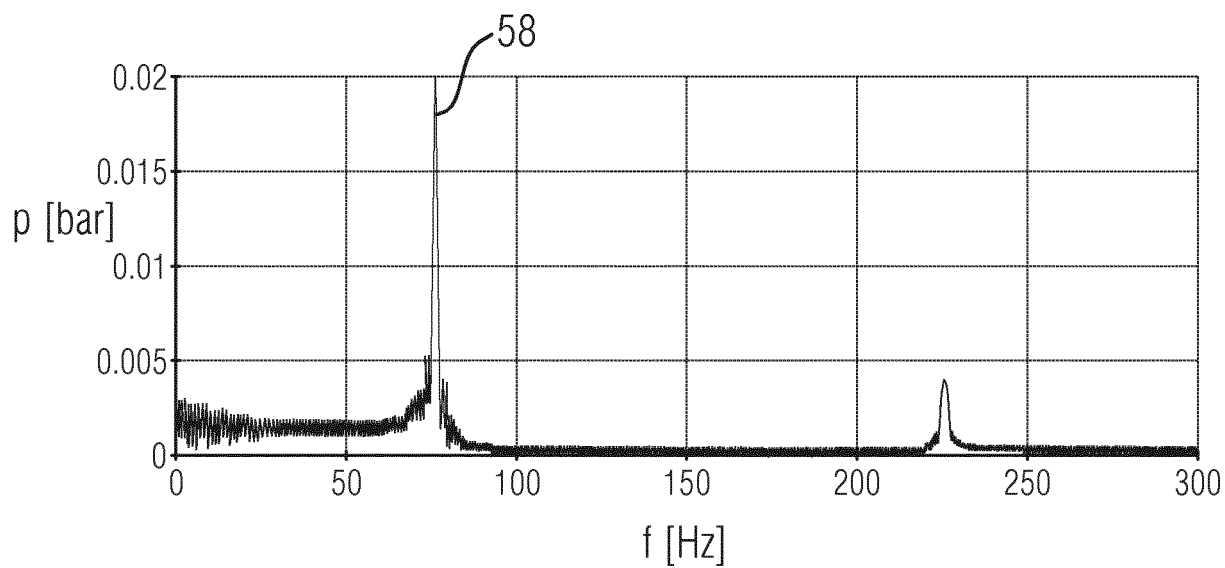


FIG 6

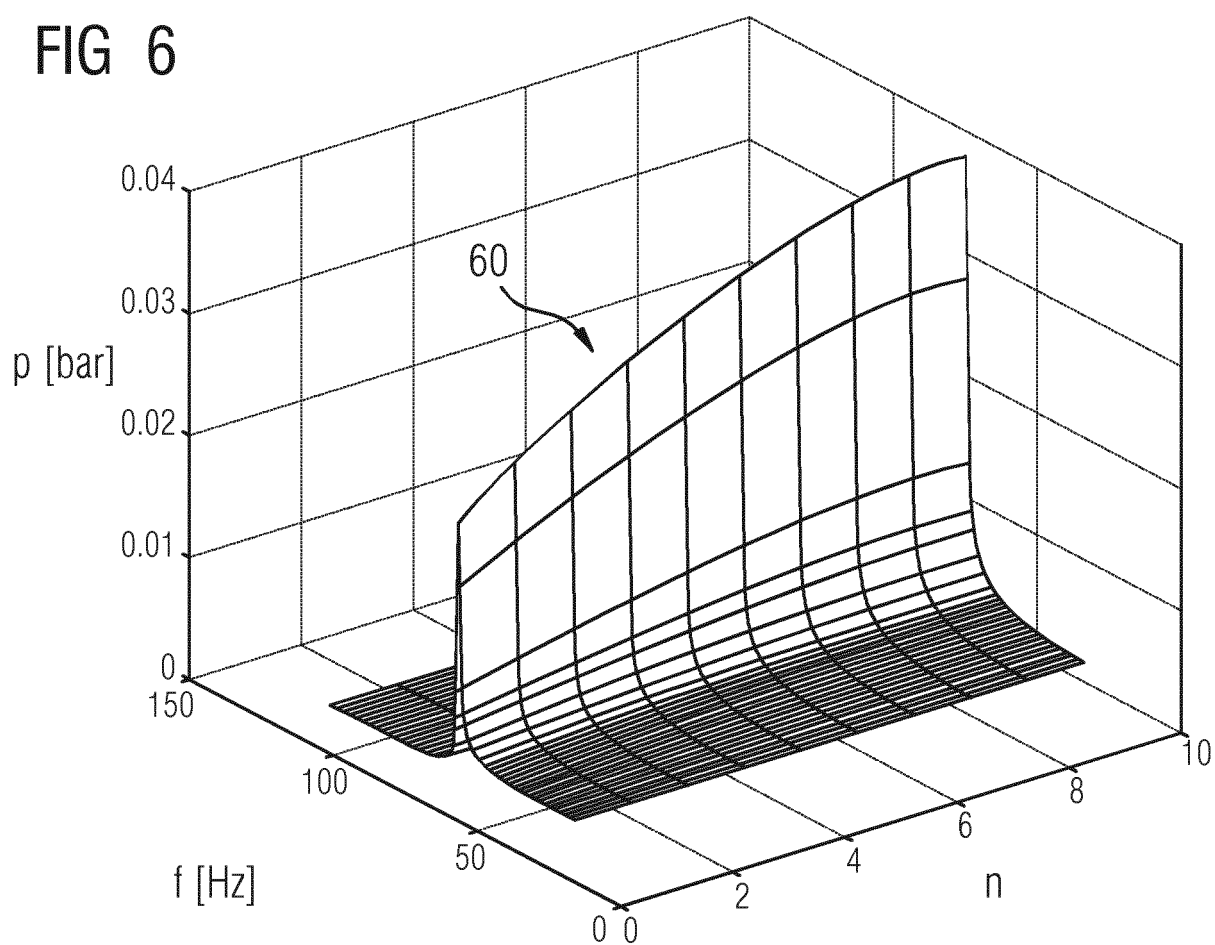


FIG 7

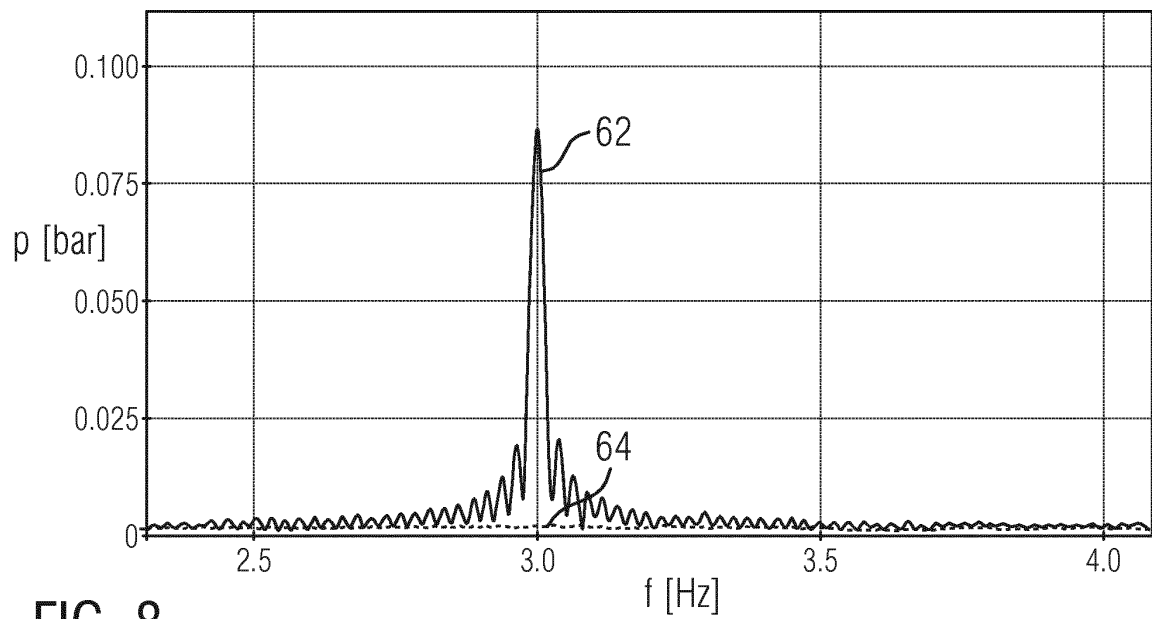


FIG 8

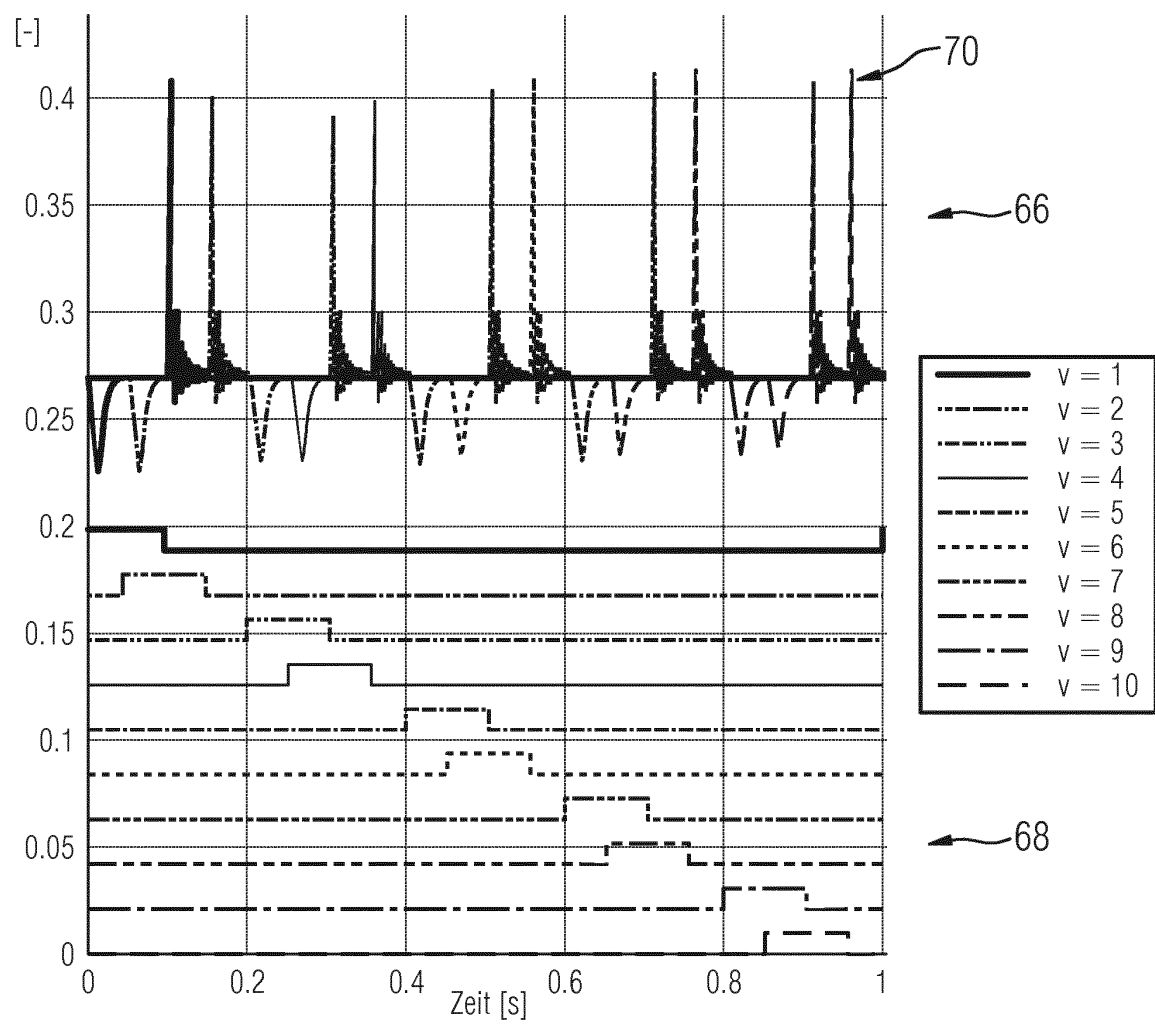


FIG 9

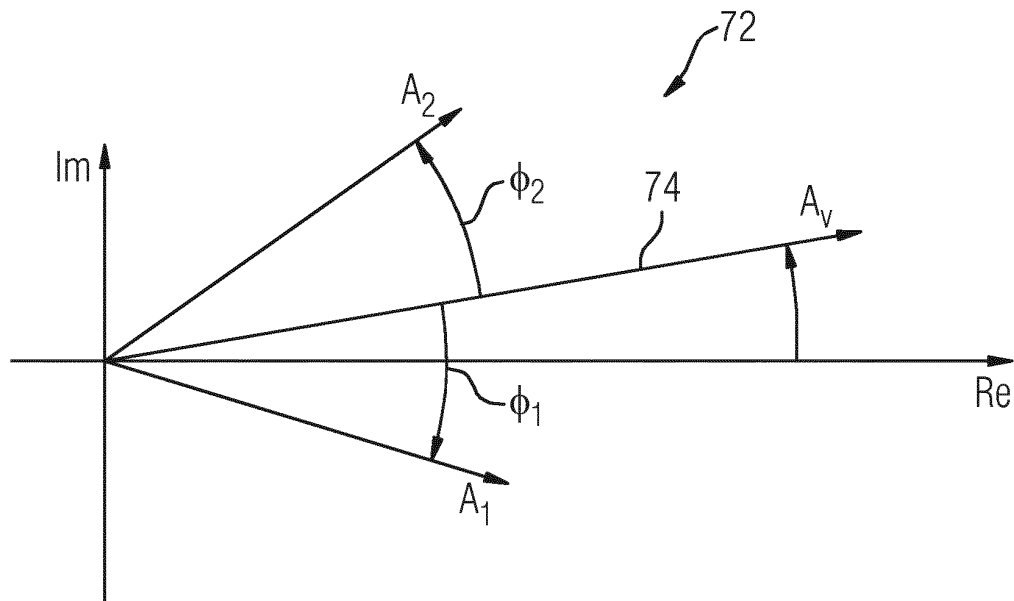


FIG 10

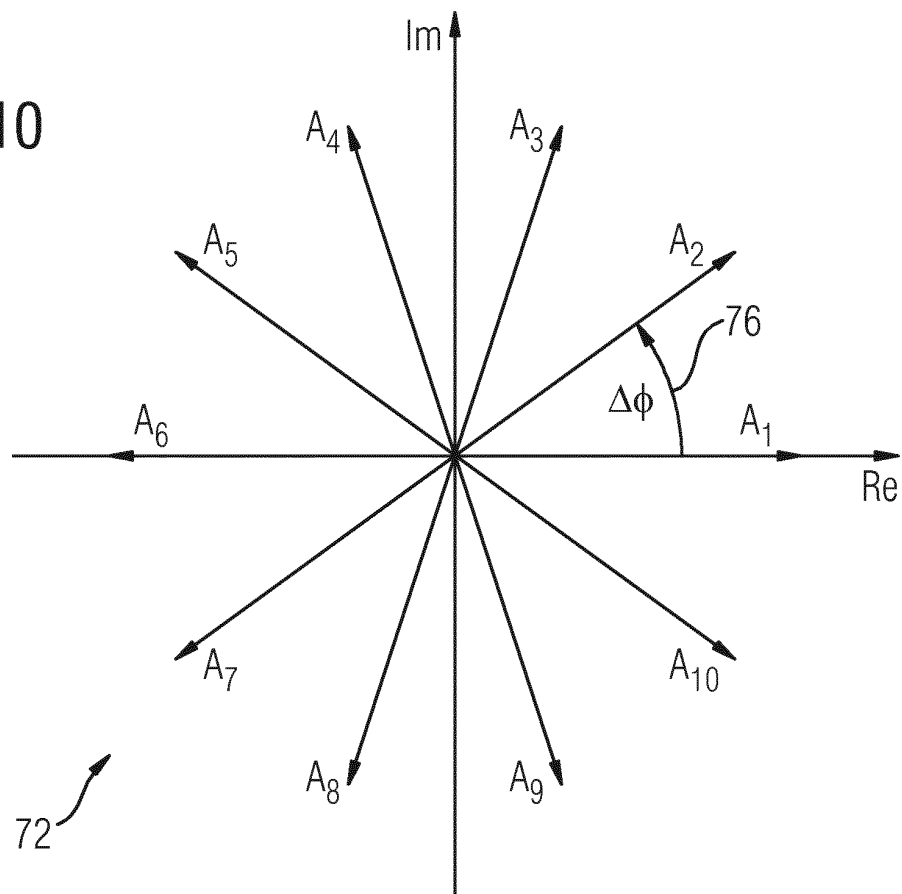
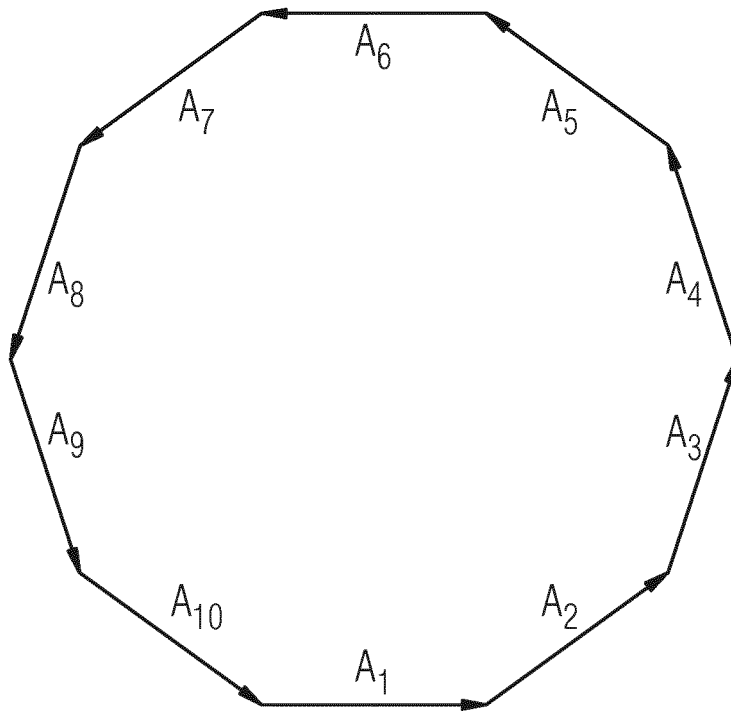


FIG 11



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2012163878 A [0004]