



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
27.10.2021 Patentblatt 2021/43

(51) Int Cl.:
B65H 54/38 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21169647.1**

(22) Anmeldetag: **21.04.2021**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Prof. Dr. Rüter, Markus**
45657 Recklinghausen (DE)
• **Dr. Baader, Uwe**
42111 Wuppertal (DE)

(74) Vertreter: **karo IP**
karo IP Patentanwälte
Kahlhöfer Rößler Kreuels PartG mbB
Platz der Ideen 2
40476 Düsseldorf (DE)

(30) Priorität: **22.04.2020 DE 102020110999**

(71) Anmelder: **HANZA GmbH**
42897 Remscheid (DE)

(54) **VERFAHREN ZUR HOCHPRÄZISEN FADENABLAGE EINES FADENS BEIM WICKELN EINER SPULE**

(57) Verfahren zur hochpräzisen Fadenablage eines Fadens (1) beim Wickeln einer Spule (2) aufweisend die folgenden Schritte:

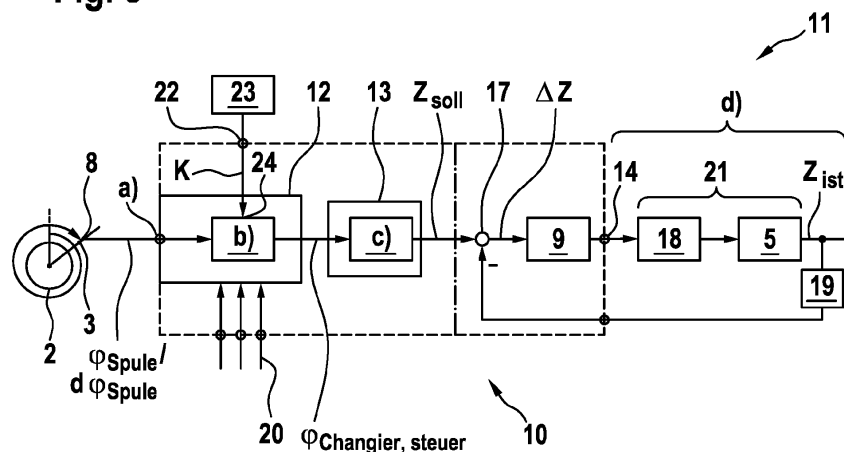
- a) Permanentes Erfassen eines Wickelwinkels φ_{Spule} oder eines Vorläuferwerts aus welchem der Wickelwinkel φ_{Spule} berechnet werden kann, wobei der Wickelwinkel φ_{Spule} eine Koordinate (3) des Fadens (1) in einer Umfangsrichtung (4) auf der Spule (2) beschreibt;
- b) Berechnen einer Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier, Steuer}}$ in Abhängigkeit des Wickelwinkels φ_{Spule} und/oder des Vorläuferwerts wobei der Changier-Fadenführer-Steuerwinkel $\varphi_{\text{Changier, Steuer}}$ aus dem

Wickelwinkel φ_{Spule} und/oder dem Vorläuferwert unter Berücksichtigung mindestens eines K-Wertes berechnet wird;

c) Verwenden des Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier, Steuer}}$ zum Berechnen einer axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} auf der Spule (2);

d) Steuern eines Changier-Fadenführers (5) gemäß der axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} zur hochpräzisen Fadenablage an der mit dem Wickelwinkels φ_{Spule} beschriebenen Koordinate auf der axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} .

Fig. 5



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft die Fadenablage beim Wickeln von Spulen, insbesondere beim Wickeln von synthetischen Fäden zu sogenannten Kreuzspulen, bei denen sich der auf der Spule aufgewickelte Faden regelmäßig kreuzt. Um solche Spulen zu wickeln wird üblicherweise ein Changier-Fadenführer (auch Changier-Einrichtung genannt) verwendet, der in einer Z-Richtung (Achsrichtung der Spule) nach einem bestimmten Schema hin- und her fährt, um die Ablage des Fadens auf der Spule zu steuern.

[0002] Beim Wickeln von Spulen ist grundsätzlich darauf zu achten, dass eine stabile gleichmäßige Spule aufgebaut wird. Bei den genannten Kreuzspulen besteht in diesem Zusammenhang insbesondere das Problem der sogenannten "Spiegelbildung". Ein Spiegel entsteht bei wachsendem Spulendurchmesser immer dann, wenn pro Doppelhub der Changier-Einrichtung eine oder mehrere vollständige Spulenumdrehungen stattfinden, d.h. wenn das Verhältnis aus Drehzahl der Spule zu Doppelhubfrequenz der Changier-Einrichtung gleich 1, ein Vielfaches oder ein Bruch ist. Als Doppelhub wird dabei eine vollständige Hin- und Herbewegung des Changier-Fadenführers bezeichnet. Die Frequenz mit der Doppelhübe ausgeführt werden, wird als Doppelhubfrequenz oder als Changier-Frequenz bezeichnet. Die Drehzahl der Spule kann auch als Frequenz der Spule oder als Drehfrequenz der Spule bezeichnet werden. Das Verhältnis aus Drehzahl der Spule zu Doppelhubfrequenz der Changier-Einrichtung wird im Allgemeinen mit dem Begriff "Kreuzungsverhältnis" oder "Kreuzungswert" K bezeichnet. Die Spiegel, die häufig auch als Bildwicklungen bezeichnet werden, führen beim Abwickeln der Spule zu bestimmten Störungen. Ferner führen Spiegel während des Aufwickelns zu Schwingungen der Spulmaschine und damit zu einer unruhigen Anlage der Andruckwalze an der Spule und schließlich auch zur Schädigung der Spule. Spiegel müssen daher insbesondere bei glatten Fäden wie z. B. Chemiefasern vermieden werden.

[0003] Bei einer sogenannten Präzisionswicklung erfolgt der Spulenaufbau mit einer Changier-Geschwindigkeit, die zu der Drehzahl der Spule direkt proportional ist. Dies bedeutet, dass bei einer Präzisionswicklung das Kreuzungsverhältnis fest vorgegeben ist und im Verlaufe der Spulreise konstant bleibt, während die Doppelhubfrequenz bzw. die Changier-Frequenz proportional zur Spul Drehzahl mit dem Spulendurchmesser als Proportionalitätsfaktor abnimmt. Bei einer solchen Präzisionswicklung wird durch Vorgabe des Spulverhältnisses mit dem K-Wert die Spiegelbildung vermieden bzw. zumindest weitestgehend reduziert. Eine Weiterentwicklung der Präzisionswicklung ist die sogenannte gestufte Präzisionswicklung oder auch Stufen-Präzisionswicklung (SPW). Sie unterscheidet sich von der Präzisionswicklung lediglich dadurch, dass das Kreuzungsverhältnis nur während vorgegebener Phasen der Spulherstellung (auch Spulreise genannt) konstant bleibt. Von Pha-

se zu Phase wird das Kreuzungsverhältnis in Sprüngen durch sprunghafte Erhöhung der Changier-Geschwindigkeit verringert. Das bedeutet, dass bei der Stufen-Präzisionswicklung innerhalb jeder Phase bzw. Stufe eine Präzisionswicklung erfolgt, bei der die Doppelhubfrequenz bzw. die Changier-Frequenz proportional mit der Spindeldrehzahl abnimmt. Nach jeder Phase wird die Doppelhubfrequenz wieder sprunghaft erhöht, so dass sich ein erniedrigendes Kreuzungsverhältnis ergibt. Dabei werden die Kreuzungsverhältnisse, die während der einzelnen Phasen eingehalten werden sollen, vorausberechnet und einprogrammiert. Üblicherweise existiert eine vorher festgelegte Tabelle von Kreuzungswerten, die auch K-Wert-Tabelle genannt wird und die als eine Art Vorschrift zum Aufbau der Spule oder als eine Art Bauplan für den Aufbau der Spule betrachtet werden kann.

[0004] Derartige Präzisionswicklungen und Stufenpräzisionswicklungen sind beispielsweise aus den Schriften DE 198 17 111 A1 und DE 198 35 888 A1 bekannt. Auch die US 2018/0162681 A1 und die betrifft Stufenpräzisionswicklungen mit dem Ziel einer besonders dichten Packung des Fadens. Die DE 11 2004 000 484 B4 betrifft Stufenpräzisionswicklungen mit einem Fokus auf die Garnführung an den Seitenteilen des Wickelkörpers. Die DE 100 21 963 A1 betrifft ebenfalls Stufenpräzisionswicklungen mit einem Fokus aus der Fadenablage an den Fadenumkehrpunkten am äußeren Rand der Spule.

[0005] Mathematisch betrachtet ist der Grundgedanke bei der Präzisionswicklung und der Stufenpräzisionswicklung, dass die Drehzahl der Spule n_{Spule} , oder auch die Frequenz der Spulendrehbewegung (f_{Spule}) in einem festen Verhältnis zur benötigten Querbewegung des Fadenführers steht. Der Kehrwert der Zeit bis der Fadenführer einmal eine komplette Bewegung vom linken zum rechten Rand der Spule und wieder zurück absolviert, wird als Changier-Frequenz bzw. Doppelhubfrequenz $f_{changier}$ bezeichnet. Das feste Verhältnis der Frequenz der Spule f_{Spule} zur Doppelhubfrequenz bzw. Changier-Frequenz $f_{changier}$ wird in Abhängigkeit vom momentanen Spulenumfang bzw. vom Momentanwert der Dicke der Spule D_{Spule} festgelegt. Hieraus folgt der sogenannte K-Faktor, welcher wie folgt das Verhältnis der Spulenfrequenz zur Doppelhubfrequenz bzw. Changier-Frequenz definiert:

$$K(D_{Spule}) = \frac{f_{Spule}}{f_{changier}}$$

[0006] Veränderung in der Frequenz der Spule f_{Spule} bzw. der Drehzahl der Spule n_{Spule} sind üblicherweise durch eine Konstanz der Fadengeschwindigkeit v_{Faden} bedingt. Die Fadengeschwindigkeit ist bei Vorrichtungen zur Wicklung von Spulen normalerweise vorgegeben, beispielsweise dadurch, dass eine vorgelagerte Maschine zur Herstellung, Verarbeitung oder Bearbeitung des Fadens für eine konstante Fadengeschwindigkeit v_{Faden}

eingerichtet ist. Vor diesem Hintergrund ist es ersichtlich, dass mit zunehmender Dicke der Spule D_{Spule} die Drehzahl n_{Spulgr} , bzw. die Frequenz f_{Spule} abnehmen muss um auch bei Spulen mit größerem Durchmesser an der Spulenoberfläche die gewünschte gleichbleibende Umfangsgeschwindigkeit und damit die gewünschte Fadengeschwindigkeit v_{Faden} zu erreichen. Da der K-Faktor nur in Abhängigkeit der Dicke der Spule D_{Spule} bestimmt wird kann bei einer als konstant angenommenen Fadengeschwindigkeit bzw. Umfangsgeschwindigkeit

$$v_{Faden} = \pi \cdot D_{Spule} \cdot f_{Spule} = konst.$$

die Dicke der Spule D_{Spule} direkt aus der Drehzahl der Spule n_{Spule} , f_{Spule} abgeleitet werden, so dass in diesem Fall der K-Faktor nur durch f_{Spule} festgelegt wird und sich die Doppelhubfrequenz bzw. Changier-Frequenz $f_{changier}$ zu

$$f_{changier} = \frac{f_{Spule}}{K(f_{Spule})}$$

berechnet. Die K-Werte, welche die Spiegelbildung vermeiden, werden bei der Stufenpräzisionswicklung üblicherweise aus einer weiter oben schon beschriebenen K-Wert-Tabelle ermittelt. Die K-Wert-Tabelle ist bevorzugt als eine Art Look-UP-Tabelle ausgebildet und dazu eingerichtet stufenweise in Abhängigkeit der Dicke der Spule D_{Spule} bzw. der Drehzahl der Spule n_{Spule} , f_{Spule} den jeweils gültigen K-Wert zurück zu geben, so dass durch die eingestellten Verhältnisse von f_{Spule} zu $f_{changier}$ die kritische Spiegelbildung verhindert wird.

[0007] Eine große technische Herausforderung bei der Herstellung von Präzisionswicklungen und Stufenpräzisionswicklungen ist, dass das stufenweise eingestellte Verhältnis der beiden Frequenzen

$$K(f_{Spule}) = \frac{f_{Spule}}{f_{changier}}$$

exakt eingehalten werden muss, um dauerhaft die Spiegelbildung zu vermeiden. Die aus der Drehzahl der Spule n_{Spulgr} , f_{Spule} im System einzustellende Changier-Frequenz $f_{changier}$ sollte regelmäßig keinen Fehler aufweisen. Toleranzen für dieses Verhältnis liegen üblicherweise in der Größenordnung von $10^{-5} \text{ Hz} = 0,00001 \text{ Hz}$ und kleiner. Um solche Toleranzen einhalten zu können ist ein hoher Aufwand bei der Drehzahlgenauigkeit erforderlich, welcher mit immensem Aufwand bei der Erfassung von f_{Spule} und der Einstellung von $f_{changier}$ verbunden ist.

[0008] Es ist die Aufgabe der hier beschriebenen Erfindung für dieses Problem eine neue Lösung bereitzu-

stellen, die insbesondere eine erheblich vergrößerte Toleranz gegenüber Ungenauigkeit in der messtechnischen Erfassung von Größen und in der Einhaltung von Zielparametern bei der Steuerung (insbesondere bei der Steuerung des Changier-Fadenführers) aufweist und gleichzeitig die hohe oder gar eine höhere Qualität der Spulen hervorbringt.

[0009] Diese Aufgaben werden gelöst mit einem Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1, einem Steuergerät gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 8 und einer Spule gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 11. Die abhängigen Ansprüche und die Beschreibung erläutern besonders bevorzugte Ausführungsbeispiele, auf die die Erfindung jedoch nicht begrenzt ist.

[0010] Hier beschrieben wird ein Verfahren zur hochpräzisen Fadenablage eines Fadens beim Wickeln einer Spule aufweisend die folgenden Schritte:

- a) Permanentes Erfassen eines Wickelwinkels φ_{Spule} oder eines Vorläuferwerts aus welchem der Wickelwinkel φ_{Spule} bestimmt werden kann, wobei der Wickelwinkel φ_{Spule} eine Koordinate des Fadens in einer Umfangsrichtung auf der Spule beschreibt;
- b) Berechnen einer Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{Changier,steuer}$ in Abhängigkeit des Wickelwinkels φ_{Spule} und/oder des Vorläuferwerts, wobei der Changier-Fadenführer-Steuerwinkel $\varphi_{Changier,steuer}$ aus dem Wickelwinkel φ_{Spule} unter Berücksichtigung mindestens eines K-Wertes berechnet wird;
- c) Verwenden des Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{Changier,steuer}$ zum Berechnen einer axiale Fadenablage-Sollposition Z_{soll} auf der Spule;
- d) Steuern eines Changier-Fadenführers gemäß der axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} zur hochpräzisen Fadenablage an der mit dem Wickelwinkels φ_{Spule} beschriebenen Koordinate auf der axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} .

[0011] Kern des hier beschriebenen neuartigen Verfahrens ist der neu eingeführte Parameter des Wickelwinkels φ_{Spule} in Schritt a). Bei diesem Parameter handelt es sich letztlich um einen Winkelwert in Umfangsrichtung der Spule, der dem Verlauf des auf der Spule aufgewickelten Fadens über den gesamten Aufbau der Spule hinweg folgt und mit dem letztlich jede beliebige Koordinate des Fadens auf der Spule exakt beschrieben werden kann. Dieser Parameter φ_{Spule} kann in unterschiedlichen Einheiten angegeben sein, beispielsweise in Winkelgrad, wobei eine Umdrehung der Spule 360° (Winkelgrad) entspricht und beispielsweise 3 Umdrehungen 1080° (Winkelgrad) oder im Bogenmaß, wobei eine Umdrehung der Spule dem Wert 2π entspricht und beispielsweise 3 Umdrehungen 6π . Der Parameter φ_{Spule} kann allerdings auch so definiert sein, dass eine Umdrehung der Spule genau der Erhöhung des Parameters um den Wert 1 entspricht, wobei dann eine halbe Umdre-

hung beispielsweise dem Wert 0,5 entsprechen würde.

[0012] Die Koordinate entspricht nicht der Länge des Fadens an der Ablageposition, weil sich die Länge des Fadens pro Umschlingung in Abhängigkeit der Dicke der Spule D_{Spule} und in Abhängigkeit der K-Wertes ändert. Vielmehr beschreibt die Koordinate eine Position des Fadens, die mit dem Wickelwinkel φ_{Spule} eindeutig beschrieben werden kann. Die Dicke der Spule und der K-Wert können für jede mit dem Wickelwinkel φ_{Spule} beschreibbare Koordinate des Fadens angegeben werden.

[0013] Im Zusammenhang mit dem Parameter des Wickelwinkels φ_{Spule} ist es entscheidend, dass dieser Parameter während des Wickelvorgang der Spule nicht zurückgesetzt wird, sondern während des gesamten Wickelprozesses fortwährend hochläuft.

[0014] Die Erfassung des Wickelwinkels φ_{Spule} kann auf unterschiedlichste Art und Weisen erfolgen, beispielsweise mit einem Zähler zum Zählen der Umdrehungen oder Teilumdrehungen der Spule oder mit ähnlichen Einrichtungen. Hierzu werden nachfolgend Ausführungsvarianten detaillierter ausgeführt.

[0015] Im Rahmen des Verfahrens ist es nicht erforderlich, dass der Wickelwinkel φ_{Spule} tatsächlich explizit bestimmt wird, sondern es ist auch möglich, dass nur ein Vorläuferwert bestimmt wird, der zur Berechnung des Wickelwinkels φ_{Spule} verwendet werden kann. Dieser kann dann in dem nachfolgend erläuterten Verfahrensschritt b) zur Berechnung von Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ verwendet werden. Wichtig ist, dass zumindest der Vorläuferwert dem Grundgedanken entspricht, dass hier eine absolute Koordinate des Fadens beschreibbar wird und nicht nur eine Geschwindigkeit der Spule und/oder des Fadens beim Wickeln.

[0016] In Schritt b) wird nun ein sogenannter Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ auf Basis von dem Wickelwinkels φ_{Spule} berechnet. Dieser neue Parameter dient zur Ansteuerung eines Changier-Fadenführers und dieser Parameter läuft ebenfalls während des gesamten Wickelvorgangs der Spule mit dem Wickelwinkels φ_{Spule} hoch. Bei der Berechnung des Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ können auch die einleitend schon erläuterten bekannten K-Werte sowie ggf. auch weitere Eingangsgrößen berücksichtigt werden. Auf welche Art- und Weisen dies geschehen kann, wird nachfolgend noch detaillierter ausgeführt. Insbesondere durch die veränderten K-Werte beim Herstellen einer Stufenpräzisionswicklung läuft $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ nicht durchgehend proportional zum Wickelwinkels φ_{Spule} hoch, sondern es können hier Veränderung der Vorschrift zur Berechnung des Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ aus dem Wickelwinkel φ_{Spule} unter Berücksichtigung des K-Wertes und ggf. weiterer Eingangsgrößen auftreten.

[0017] Darin, dass das Verfahren mit dem Wickelwinkel φ_{Spule} und mit dem Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ jeweils nicht die Geschwindigkeiten des Spulvorgangs und des Changier-Vorgangs berücksichtigt, sondern jeweils endlose Parameter berücksich-

sichtigt werden, wird jede beliebige Koordinate des aufgewickelten Fadens auf der Spule beschreibbar. Anhand des Wickelwinkels φ_{Spule} kann jede beliebige Koordinate des aufgewickelten Fadens exakt beschrieben werden und es ist somit sogar möglich eine Art Modell der gesamten Spule aufzubauen mit welchem jeder Kreuzungspunkt an welchem sich Fäden verschiedener Wicklungen der Spule kreuzen, exakt vorhersagbar und beschreibbar wäre.

[0018] In Schritt c) wird nun der Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ verwendet, um eine axiale Fadenablage-Sollposition Z_{soll} auf der Spule zu berechnen. Die axiale Fadenablage-Sollposition Z_{soll} sowie auch eine weiter unten noch definierte tatsächliche axiale Fadenablage-Istposition Z_{ist} müssen nicht zwangsläufig 1:1 der Position des Fadens auf der Spule entsprechen. Durch die beim Wickeln des Fadens wirkende Mechanik kann es hier nochmal zu Unterschieden kommen, die beispielsweise dadurch bedingt sein können, dass der Faden dem Changier-Fadenführer hinterher läuft oder dadurch, dass der Faden bei einem Richtungswechsel der Bewegung des Changier-Fadenführers etwas überschwingt. Solche Effekte werden hier bevorzugt vernachlässigt. Es wird davon ausgegangen, dass die axiale Fadenablage-Istposition Z_{ist} durch den Changier-Fadenführer eingestellt wird. Schritt c) umfasst auch die Variante, dass die axiale Fadenablage-Position Z_{soll} in Form eines Changier-Fadenführer-Sollwinkels $\varphi_{\text{Changier,soll}}$ berechnet wird, der eine gewünschte axiale Fadenablage-Sollposition Z_{soll} definiert. Ein Changier-Fadenführer-Sollwinkel $\varphi_{\text{Changier,soll}}$ ist also ein Spezialfall von Z_{soll} . Changier-Fadenführer-Sollwinkel $\varphi_{\text{Changier,soll}}$ als Z_{soll} kommen beispielsweise in Betracht, wenn Changier-Fadenführer als um einen Drehpunkt mit einem Winkel schwenkbare Changier-Fadenführerarme ausgeführt sind oder wenn Changier-Fadenführer als sogenannter Bi-Rotor ausgeführt sind, bei welchen die Changier-Bewegung durch einen Rotationsantrieb ausgeführt wird, welcher von einem Getriebe in eine lineare Changier-Bewegung in Z-Richtung umgesetzt wird.

[0019] Bei der Berechnung der axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} sind grundsätzlich zwei verschiedene Varianten möglich. Tatsächlich ist die Länge der Spule in der axialen Z-Richtung begrenzt und in diesem begrenzten Bereich bewegt sich auch ein Changier-Fadenführer für die Ablage des Fadens hin- und her. Aus diesem Grund kann die axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} als eine absolute Position des Fadens an der mit dem Wickelwinkels φ_{Spule} beschriebenen Koordinate des Fadens in Z-Richtung verstanden werden. Bei jeder Hin- und Herbewegung des Changier-Fadenführers wird die axiale Fadenablage-Sollposition Z_{soll} dann wieder zurückgesetzt und diese läuft nicht mit dem Wickelwinkels φ_{Spule} und dem Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ hoch. Es ist aber auch möglich die Bewegung des Changier-Fadenführers ebenfalls als während des Wickelvorgangs (unendlich) fortgesetzte Bewegung zu betrachten. Bei dieser Betrachtungsweise werden

beispielsweise die regelmäßigen Umkehrungen der Bewegung des Changier-Fadenführers zur Ablage des Fadens gedanklich ausgeblendet und die linearen Bewegungen des Fadenführers werden als unendlich fortgesetzt betrachtet. In anderen Worten: Bei diesem Ansatz wird der insgesamt von Fadenführer zurückgelegte Weg betrachtet bzw. aufsummiert oder aufintegriert. Einer solchen Betrachtung der axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} entspricht es beispielsweise, wenn der Changier-Fadenführer von einem Exzenter angetrieben wird, der eine Rotationsbewegung ausführt und diese zur Steuerung des Changier-Fadenführers von einem Exzenterelement des Exzenter in eine axiale Changier-Bewegung umgesetzt wird. Die axiale Fadenablage-Sollposition Z_{soll} kann dann zur Beschreibung der (unendlich) fortgesetzten Rotationsbewegung des Exzenter-Antriebs verwendet werden. Solche Ausführungsvarianten sind insbesondere mit dem weiter oben schon beschriebenen Bi-Rotor realisierbar, bei welchem (wie oben erwähnt) beispielsweise Z_{soll} als $\varphi_{\text{Changier, soll}}$ definiert sein kann.

[0020] Eine Umrechnung des (unendlich) fortgesetzten bzw. ansteigenden Parameters $\varphi_{\text{Changier, steuer}}$ in Z_{soll} als Parameter, der die Changier-Bewegung beschreibt (bspw. $\varphi_{\text{Changier, soll}}$) kann beispielsweise mit einer Modulo-Operation durchgeführt werden, bei welcher der Eingangswert $\varphi_{\text{Changier, steuer}}$ durch einen Parameterwert geteilt wird und ein Rest verbleibt, welcher den Ausgangswert Z_{soll} bzw. $\varphi_{\text{Changier, soll}}$ oder eine Zwischengröße zur Berechnung dieser Werte bezeichnet. Gemäß Schritt d) wird nun ein Changier-Fadenführer angesteuert, um die Fadenablage entsprechend der axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} durchzuführen.

[0021] Besonders vorteilhaft ist das Verfahren, wenn der Wickelwinkel φ_{Spule} die Koordinate des Fadens in der Umfangsrichtung auf der Spule ausgehend von einem Wickelanfang des Fadens auf der Spule fortgesetzt über alle Wicklungen der Spule beschreibt.

[0022] Der Wickelwinkel φ_{Spule} startet also bevorzugt mit einem Startwert (beispielsweise mit "0" am Anfang des Wickelvorgangs und läuft hiervon ausgehend immer weiter hoch. Als Beispiel: Wenn der Wickelwinkel φ_{Spule} im Bogenmaß angegeben ist, hätte der Wickelwinkel φ_{Spule} nach 100.000 Umdrehungen der Spule beim Wickeln beispielsweise einen Wert von $2 \cdot \pi \cdot 100.000$.

[0023] Außerdem vorteilhaft ist es wenn eine Ablage des Fadens an der Sollposition Z_{soll} über einen Changier-Fadenführer-Sollwinkel $\varphi_{\text{Changier, soll}}$ definiert ist, der einen Stellwinkel eines Changier-Fadenführers beschreibt, welcher eine Fadenablage an der axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} bewirkt.

[0024] Wie schon weiter oben beschrieben wurde, sind verschiedene Ausführungsvarianten eines Changier-Fadenführers möglich. Weit verbreitete Changier-Fadenführer sind in einem Winkelbereich drehbar aufgehängte Arme, die die den Faden führen, die oben schon erwähnt wurden. Eine andere Variante kann ein rein linear entlang der Z-Richtung verschieblicher Schieber sein, der ggf. auch mit einem linearantrieb angetrieben werden kann.

Ebenfalls möglich sind Antriebe von Changier-Fadenführern mit sogenannten Bi-Rotoren, die weiter oben ebenfalls schon erwähnt wurden.

[0025] Auch vorteilhaft ist es, wenn für die Bestimmung des Wickelwinkel φ_{Spule} oder des Vorläuferwerts in Schritt a) Eingangsgrößen verwendet werden, die auch zur Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit der Spule beim Wickeln Ω_{Spule} verwertbar sind. Solche Eingangsgrößen sind insbesondere Messwerte, die zur Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit Ω_{Spule} ebenfalls verwendet werden können, wie beispielsweise gemessene Zeiten, für definierte Anzahlen von Umdrehungen/Wicklungen der Spule bzw. gemessene Veränderungen des Wickelwinkel φ_{Spule} (bspw. $d\varphi_{\text{Spule}}$ oder $\Delta\varphi_{\text{Spule}}$ als mögliche Vorläuferwerte) etc. Im mathematischen Sinne kann die Bestimmung des Wickelwinkel φ_{Spule} als Integration der Winkelgeschwindigkeit der Spule beim Wickeln Ω_{Spule} verstanden werden.

[0026] Wie weiter oben bereits ausgeführt, ist es üblich in Spulvorrichtungen für das beschriebene Verfahren die Geschwindigkeit des Spulvorgangs insbesondere Winkelgeschwindigkeit der Spule beim Wickeln Ω_{Spule} zu überwachen, wobei dieser Parameter klassischerweise dazu genutzt wurde die Doppelhubfrequenz bzw. Changier-Frequenz bzw. die Geschwindigkeit des Changier-Fadenführers entsprechend den oben beschriebenen Vorschriften einzustellen. Hier wird nun vorgeschlagen, die Winkelgeschwindigkeit der Spule beim Wickeln Ω_{Spule} bzw. die für die Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit üblicherweise verwendeten Eingangsgrößen zu nutzen, um hierauf basierend durch Integration den Wickelwinkel φ_{Spule} bzw. den Changier-Fadenführer-Steuerwinkel $\varphi_{\text{Changier, steuer}}$ zu ermitteln. Hierdurch wird ermöglicht die übliche Sensorik zu nutzen um das beschriebene Verfahren (insbesondere Schritt a) des beschriebenen Verfahrens) durchzuführen.

[0027] Eine Integration erfolgt bevorzugt über die Zeit, die beim Wickeln der Spule verstreicht. In Ausführungsvarianten ist es auch möglich, dass die Integration über einen anderen Parameter stattfindet, beispielsweise über die raufzählende Anzahl von Wicklungen, die mit einem Wicklungszähler oder mit einem Impulszähler bestimmt werden kann, mit welchen die Anzahl der Umdrehungen der Spule und/oder die Anzahl an hergestellten Wicklungen auf der Spule gezählt werden können.

[0028] Weiter oben wurde schon ausgeführt, dass anstatt des Wickelwinkel φ_{Spule} in Schritt a) auch eine Vorläufergröße dieses Wickelwinkels bestimmt werden kann, die dann anschließend auch in Schritt b) zur Bestimmung von dem Changier-Fadenführer-Steuerwinkel $\varphi_{\text{Changier, steuer}}$ verwendet werden kann. In Verfahrensvarianten ist es möglich, dass diese Vorläufergröße eine Größe ist, die noch über die Zeit oder einen anderen fortlaufenden Parameter (wie dem Wicklungszähler n_{Spule}) aufintegriert werden muss, um zum Wickelwinkel φ_{Spule} zu gelangen. Eine solche Vorläufergröße kann beispielsweise mit einem Impulszähler oder mit einem

Inkrementalgeber ermittelt werden. Ein solcher Inkrementalgeber ist dazu eingerichtet ein Inkrement des Wickelwinkels (eine Veränderung des Wickelwinkels) zu messen und als Größe bereitzustellen. Bevorzugt ist dann, dass im Rahmen der Bestimmung des Changier-Fadenführer-Steuerwinkel $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ in Schritt b) eine Integration stattfindet.

[0029] Darüber hinaus vorteilhaft ist es, wenn für die Bestimmung des Wickelwinkel φ_{Spule} in Schritt a) eine Wicklungszähler verwendet wird, welcher die Anzahl von Wicklungen auf der Spule angibt.

[0030] Ein solcher Wicklungszähler kann beispielsweise durch einen Schalter ausgeführt sein, der bei jeder Umdrehung der Spule einmal aktiviert wird. Ein solcher Schalter kann elektronisch mit einem Zähler verbunden sein, der mit der Anzahl der Wicklungen kontinuierlich hochzählt. Besonders bevorzugt ist, wenn ein solcher Wicklungszähler n_{Spule} kombiniert mit einer erfassten und integrierten Winkelgeschwindigkeit Ω_{Spule} der Spule beim Wickeln beim Wickeln eingesetzt wird, um den Wickelwinkel φ_{Spule} zu bestimmen.

[0031] Auch vorteilhaft ist es, wenn die Winkelgeschwindigkeit Ω_{Spule} der Spule beim Wickeln während des Wickelns der Spule in Abhängigkeit der steigenden Dicke der Spule D_{Spule} derart angepasst wird, dass eine konstanten Fadengeschwindigkeit in vorgelagerten Verarbeitungsschritten des Fadens erreicht wird.

[0032] Weiter oben wurde bereits angedeutet, dass eine konstante Fadengeschwindigkeit insbesondere aufgrund von anderen Randbedingungen beim Wickelvorgang wünschenswert ist. Anpassungen der Winkelgeschwindigkeit Ω_{Spule} zum Erreichen einer konstanten Fadengeschwindigkeit trotz einer steigenden Dicke der Spule D_{Spule} bereiten in dem klassischen Verfahren zur Steuerung des Changier-Fadenführers Schwierigkeiten, die in dem hier beschriebenen Verfahren besser gelöst werden, weil durch den Wechsel von Geschwindigkeiten zu absoluten Winkelwerten mit dem hier beschriebenen Verfahren Ungenauigkeiten bzw. Toleranzen bei der Geschwindigkeitserfassung eine geringere Bedeutung für die Genauigkeit der Fadenablage haben.

[0033] Wie schon ausgeführt, wird bei der Berechnung des Changier-Fadenführer-Steuerwinkel $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ aus dem Wickelwinkel φ_{Spule} mindestens eines K-Wertes berücksichtigt. Der K-Wert ist zumindest für ein Zeitintervall während des Wickelns der Spule konstant dieser gibt eine Struktur von Kreuzungspunkten von Wicklungen des Fadens vor.

[0034] Weiter oben wurde schon darauf eingegangen, das bei der Berechnung von Changier-Fadenführer-Steuerwinkel $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ in Schritt b) Parameter berücksichtigt werden. Damit sich eine sogenannte Präzisionswicklung einstellt ist es wichtig, dass ein solcher Parameter (K-Wert) zumindest für ein Zeitintervall während des Wickelns der Spule konstant ist. Bevorzugt dauert ein solches Zeitintervall über den gesamten Zeitraum des Wickelns der Spule an.

[0035] Besonders vorteilhaft ist es, wenn beim Wickeln

der Spule eine Mehrzahl von K-Werten verwendet werden, die nach einem vorgegebenen Schema in Abhängigkeit von zumindest einem der folgenden Parameter festgelegt werden:

- 5
 - Wickelwinkel φ_{Spule} ;
 - Winkelgeschwindigkeit Ω_{Spule} ;
 - Drehzahl der Spule n_{Spule} oder Frequenz der Spule f_{Spule} ; oder
 - 10 - Dicke der Spule D_{Spule} .

[0036] Jeder K-Wert führt zu einer bestimmten Stufe der Spule, in welcher durch den K-Wert eine bestimmte Form der Wicklungen der Spule erreicht wird. Durch die Verwendung einer Mehrzahl von K-Werten und den stufenweisen Wechsel zwischen diesen K-Werten, entsteht eine Struktur der Spule, die als Stufenpräzisionswicklung bezeichnet wird. Die sogenannte Stufenpräzisionswicklung wurde weiter oben schon näher erläutert.

- 15
 - [0037]** Bevorzugt werden K-Werte zur Bestimmung des Changier-Fadenführer-Steuerwinkel $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ in Schritt b) verfahrensextern (das heißt außerhalb des hier beschriebenen Verfahrens) festgelegt. Das hier beschriebene Verfahren bekomme eine K-Wert-Tabelle mit
 - 20 K-Werten bevorzugt als Vorschrift zum Aufbau einer Spule übergeben. Dann wird durch das hier beschriebene Verfahren erreicht, dass diese Vorschrift zum Aufbau einer Spule beim Wickeln eingehalten wird. Die Auswahl des richtigen K-Werts für die jeweilige Stufe der Wicklung kann über einen geeigneten Parameter erfolgen. Regelmäßig ist es vorteilhaft, wenn die Auswahl des K-Werts über den (vorliegenden) Durchmesser der Spule D_{Spule} bzw. die Drehzahl der Spule n_{Spule} erfolgt.

- 25
 - [0038]** Auch vorteilhaft ist, wenn in Schritt c) der Changier-Fadenführer von einem Regler gesteuert wird und wobei eine vorliegende Fadenablage-Position Z_{ist} überwacht wird und als Eingangsgröße für den Regler die Regeldifferenz $\Delta Z = Z_{\text{soll}} - Z_{\text{ist}}$ berechnet wird.

- 30
 - [0039]** Eine vorliegende Fadenablage-Position Z_{ist} kann auch als "tatsächliche" Fadenablage-Position bezeichnet werden. Die vorliegende Fadenablage-Position Z_{ist} wird bevorzugt zu mit einem Sensor erfasst. Wie weiter oben schon angedeutet, können zwischen der vorliegende Fadenablage-Position Z_{ist} , die für das hier beschriebene Verfahren verwendet wird und der Fadenablage-Situation auf der Spule tatsächlich auch noch Abweichungen auftreten, die durch Mechanik der Ablage des Fadens mit den Changier-Fadenführer bedingt sind. Solche Abweichungen können beispielsweise dadurch
 - 35 auftreten, dass der Faden der Changier-Bewegung nachläuft und/oder bei Richtungswechseln der Changier-Bewegung überschwingt. Die Regeldifferenz ΔZ beschreibt einen Fehler in der Fadenablage-Position. Durch das beschriebene Verfahren kann der Fehler in der Fadenablageposition, tatsächlich auf ΔZ begrenzt werden. Ungenauigkeiten in der Fadenablage werden somit vollständig erfasst und können mit dem Regler korrigiert werden. Dies gelingt, weil Z_{soll} eine vollständig be-
 - 40
 - 45
 - 50
 - 55

rechnete Größe ist, die zunächst keinen systematischen Fehler aufweist. Dies ist ein grundsätzlicher Unterschied zu den Verfahren des Standes der Technik zur Steuerung einer Changierung bei denen durch nicht oder nur mit sehr großem Aufwand vermeidbare und/oder reduzierbare Ungenauigkeiten auftreten können, die in der Erfassung von Geschwindigkeiten der Wickelbewegung und der Changier-Bewegung begründet sind. Solche Ungenauigkeiten können zu unbekannten Abweichungen zwischen Z_{soll} und Z_{ist} führen, die nur durch die sehr exakte Einhaltung von Geschwindigkeiten vermieden werden können.

[0040] Der Einsatz eines Reglers zum Steuern der Changier-Fadenführerposition basierend auf der berechneten Größe Z_{soll} ist somit ein neuer Ansatz, der zu einer erheblich verbesserten Qualität der Fadenablage beim Spulen führen kann und/oder der genutzt werden kann messtechnischen Aufwand bei der Genauigkeit der Überwachung von Geschwindigkeiten zu reduzieren.

[0041] Hier auch beschrieben werden soll ein Steuergerät zur Steuerung eines Changier-Fadenführers einer Vorrichtung zum Wickeln von Spulen eingerichtet zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens aufweisen zumindest ein erstes Steuermodul zur Berechnung des Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ basierend auf einem erfassten Wickelwinkels φ_{Spule} und ein zweites Steuermodul zur Berechnung einer axiale Fadenablage-Sollposition Z_{soll} unter Verwendung des Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$.

[0042] Das Steuergerät ist bevorzugt ein Modul, welches in einer Spulvorrichtung eingesetzt werden kann, um den Changier-Fadenführer zu steuern. Bevorzugt ist das Steuergerät dazu eingerichtet K-Werte (insbesondere eine K-Wert-Tabelle) zu empfangen und bei der Steuerung des Changier-Fadenführers zu berücksichtigen. Bevorzugt weist das Steuergerät zu diesem Zweck einen Eingang auf, an welchen die K-Wert-Tabelle übermittelt werden kann. In anderen Ausführungsvarianten ist es auch möglich, dass das Steuergerät einen Eingang aufweist, über welchen dem Steuergerät jeweils der "aktuell" zu verwendende K-Wert vorgegeben wird. Gegebenenfalls kann das Steuergerät einen Ausgang haben, an welchem ein Auswahl-Parameter bereitgestellt wird, mit welchem der "aktuelle" K-Wert extern von dem Steuergerät von einem anderen Steuergerät oder einem übergeordneten Steuergerät ausgewählt werden kann.

[0043] Besonders vorteilhaft ist, wenn das Steuergerät zusätzlich einen Regler aufweist, welcher dazu eingerichtet ist eine vorliegende Fadenablage-Position Z_{ist} zu empfangen und basierend auf der vorliegenden Fadenablage-Position Z_{ist} und der Fadenablage-Sollposition Z_{soll} ein Ausgangssignal zur geregelten Steuerung der Fadenablage zu erzeugen.

[0044] Außerdem vorteilhaft ist, wenn das Steuergerät einen gemeinsamen Zeitgeber aufweist, der für die Erfassung des Wickelwinkels φ_{Spule} verwendet wird, wobei kein weiterer Zeitgeber zur Steuerung des Changier-Fadenführers existiert.

[0045] Außerdem soll hier eine Spule beschrieben werden, die gemäß dem Verfahren hergestellt ist.

[0046] Mit dem beschriebenen Verfahren gewickelte Spulen zeichnen sich insbesondere durch eine besonders exakte Einhaltung der Fadenablage-Sollposition Z_{soll} mit Z_{ist} aus. Die Genauigkeit der Faden-Ablageposition Z_{ist} bewirkt insbesondere glatte Stirnflächen der gewickelten Spule und eine gleichmäßige Oberfläche der Spule.

[0047] Besonders vorteilhaft ist die Spule, wenn Toleranzabweichungen zwischen einer axiale Fadenablage-Istposition Z_{ist} und einer axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} entlang des Fadens und des Wickelwinkels φ_{Spule} gleich verteilt sind und insbesondere keine Proportionalität zwischen dem Wickelwinkel Ω_{Spule} und derartigen Toleranzabweichungen auftritt.

[0048] Durch das beschriebene Verfahren kann insbesondere erreicht werden, dass der Fehler bei der axiale Fadenablage-Istposition Z_{ist} vollständig in Form von ΔZ berücksichtigt werden kann und anhand dieses Fehlers eine geregelte Ablage des Fadens erfolgen kann. Bei bisher üblichen Verfahren zur Steuerung der Changier-Geschwindigkeit konnten aufgrund von kleinen Abweichungen in der Zeiterfassung und auch Geschwindigkeitserfassung systematische Fehler entstehen, die während des Wickelvorgangs (insbesondere während der Einhaltung eines K-Wertes) hochlaufen konnten. Solche Fehler können nunmehr nicht mehr entstehen. Ein grundsätzliches Auseinanderlaufen der Changier-Position und des Winkel-Position beim Wickeln kann nicht mehr auftreten, wenn die hier beschriebene Regelung mit ΔZ als Eingangsgröße des Reglers erfolgt. Daher kann ein verhältnismäßig schmales Toleranzband für Fehler in der axialen Fadenablage vorgegeben werden, welches über den gesamten Wickelwinkel φ_{Spule} für alle Koordinaten des Fadens recht gleichmäßig ausgenutzt wird.

[0049] Die Erfindung sowie das technische Umfeld werden nachfolgend anhand der Figuren näher erläutert. Die Figuren zeigen bevorzugte Ausführungsbeispiele, auf die die Erfindung jedoch nicht begrenzt ist. Insbesondere ist darauf hinzuweisen, dass die in den Figuren dargestellten Größenverhältnisse nur schematisch sind. Es zeigen:

Fig. 1: eine Prinzipskizze zur Fadenablage mit einem Fadenführer bei einer Spule;

Fig. 2: eine Prinzipskizze zur Spiegelbildung beim Wickeln von Spulen;

Fig. 3: eine qualitative Darstellung des stufenweise veränderbaren K-Wertes in Abhängigkeit der Spulendrehzahl;

Fig. 4: den Winkel φ_{Spule} und Z in Abhängigkeit der Zeit t gemäß Stand der Technik;

Fig. 5: ein System aus einem Regler für das hier beschriebene Verfahren und der zu regelnden Strecke;

Fig. 6: die Winkel φ_{Spule} und $Z_{\text{soll}} \approx Z_{\text{ist}}$ in Abhängigkeit der Zeit t gemäß einer Variante des beschriebenen Verfahrens;

[0050] Fig. 1 und Fig. 2 zeigen jeweils Prinzipskizzen zur Fadenablage mit einem Changier-Fadenführer 5 beim Wickeln einer Spule 2. Beim Wickeln der Spulen 2 sind verschiedene Dinge zu beachten. Eine Besonderheit kommt der sogenannten Spiegelbildung zu, bei welcher zwei Fadenabschnitte des Fadens zeitlich versetzt am identischen Ort übereinander abgelegt werden. Die Fadenablage kann mit einer Fadenkoordinate 3 beschrieben werden, die den Ablagepunkt des Fadens in Umfangsrichtung 4 der Spule mit der dem Wickelwinkel φ_{Spule} ausgehend von einem Wickelanfang 6 beschreibt. Der Wickelanfang 6 kann als Beginn des aufgewickelte Fadens 1 auf der Spule 2 verstanden werden. Der Wickelwinkel φ_{Spule} bzw. ein Inkremental des Wickelwinkel $d\varphi_{\text{Spule}}$ können mit Drehsensor 8 ermittelt werden, der einen Wicklungszähler und/oder einen Inkrementalgeber und/oder eine Kombination hiervon umfassen kann. In axialer Richtung der Spule 2 kann die Fadenkoordinate 3 mit Z beschrieben werden, wobei Z (je nach Betrachtungsweise) direkt an der Spule 2 oder an dem Changier-Fadenführer 5 bestimmt werden kann. In Fig. 1 und Fig. 2 ist jeweils durch einen schrägen Verlauf des Fadens 1 von dem Changier-Fadenführer 5 zu der Spule 2 angedeutet, dass der Faden 1 hier der Changier-Bewegung des Changier-Fadenführers 5 nachläuft. Hierdurch kann es zu Abweichungen kommen, je nachdem ob Z an der Spule 2 oder an dem Changier-Fadenführer bestimmt wird. Je näher der Changier-Fadenführer 5 an der Spule 2 angeordnet ist, um so geringer ist dieser Effekt.

[0051] Die Fig. 1 zeigt eine Spule, bei welcher gerade eine erste Wicklungslage 15 von Wicklungen 7 unter Verwendung des Fadens 1 entsteht. Fig. 2 zeigt, eine Situation, in welcher eine zweite Wicklungslage 16 von Wicklungen 7 des Fadens 1 auf der ersten Wicklungslage 15 entsteht. Mit dem Changier-Fadenführer 5 wird jeweils Z_{ist} der Fadenablage gemäß Z_{soll} eingestellt.

[0052] Die Fig. 2 zeigt die Spiegelbildung sehr vereinfacht an einem Beispiel auf. In der mit Punkten gekennzeichneten zweiten Wicklungslage 16 kommt der Faden 1 exakt auf dem Wicklungen 7 der ersten Wicklungslage 15 zur Ablage. In der Fig. 2 ist somit eine Situation der Spiegelbildung angedeutet. Aus der in der Fig. 2 angedeuteten Spiegelbildung ergeben sich technische Probleme, da direkt auf- bzw. nebeneinander liegende Fäden dazu neigen aneinander zu haften, was wiederum beim Abwickeln, dem sogenannten Abziehen der Spule, zu Problemen führt und damit unbedingt zu vermeiden ist. Fig. 2 ist eine stark vereinfachte schematische Darstellung des Problems der Spiegelbildung. In tatsächlichen Ausführungsvarianten verläuft der Faden in allen

Wicklungen 7 schräg. Kreuzungspunkte von Fäden verschiedener Wicklungen treten regelmäßig auf.

[0053] Wie weiter oben schon angedeutet, kann die anhand der Fig. 2 beschriebene Spiegelbildung durch die exakte Einhaltung von K -Werten vermieden werden. Eine K -Werte-Tabelle, wie sie zur Ausbildung einer Stufenpräzisionswicklung verwendet werden kann, ist in Fig. 3 schematisch dargestellt. Auf der senkrechten -Achse sind K -Werte aufgetragen, die sich in Abhängigkeit von bestimmten Parametern (hier Drehzahl n_{Spule} oder Frequenz f_{Spule} der Spule stufenweise ändern.

[0054] Fig. 4 zeigt den Wickelwinkel $\varphi_{\text{Spule}}(t)$, der sich in Abhängigkeit der Zeit beim Wickeln der Spule sich kontinuierlich vergrößert. Der Wickelwinkel $\varphi_{\text{Spule}}(t)$ ist hier als kontinuierlich ansteigender Wert dargestellt, welcher zudem eine konstante Drehzahl bzw. Winkelgeschwindigkeit Ω_{Spule} aufweist. Die tatsächliche Situation ist etwas komplexer, insbesondere dann, wenn sich die Dicke der Spule D_{Spule} in Folge von der Ausbildung von weiteren Wicklungen beim Wickeln ändert. Insofern ist diese Darstellung in Fig. 4 nur schematisch, Tatsächlich wird der Wickelwinkel $\varphi_{\text{Spule}}(t)$ mit steigender Zeit in Folge des Zuwachses der Dicke der Spule D_{Spule} immer langsamer steigen.

[0055] Fig. 4 zeigt außerdem die Fadenablage-Position $Z(t)$ beim Wickeln der Spule - ebenfalls schematisch als unendlich fortgesetzten Parameter, der mit dem Wickelwinkel kontinuierlich und proportional ansteigt. Eine solche Beschreibung der Fadenablage-Position ist beispielsweise vorstellbar, wenn die tatsächlich als Hin- und Her-Bewegung des Changier-Fadenführers auftretende Bewegung gewissermaßen aufgeklappt wird und als unendlich fortgesetzte Bewegung in nur eine Richtung betrachtet wird. Dies entspricht technisch beispielsweise Varianten bei denen die Changier-Bewegung des Changier-Fadenführers über einen mit einem Exzenter erzeugt wird, der eine kontinuierlich fortgesetzte Drehbewegung ausführt, die dann zur Changier-Bewegung umgesetzt wird. Insbesondere die sich bei der Herstellung von Stufenpräzisionswicklungen einstellenden Verhältnisse sind komplexer, insbesondere dann, wenn aufgrund der Drehzahländerung der Spule sich ein anderer Proportionalitätsfaktor zwischen beiden Winkeländerungen (Spule zu Fadenablage) ergibt (Änderung des K -Wertes). Vereinfacht wurde in Fig. 4 $\varphi_{\text{Spule}}(t)$ als Gerade gezeichnet. Da Ω_{Spule} mit fortschreitendem Spulendurchmesser immer geringer wird ist diese Darstellung vereinfacht und sie gilt so nur für kurze Zeitintervalle des Wickelvorgangs in welchen die Dicke der Spule D_{Spule} nicht in relevantem Maße zunimmt.

[0056] Gemäß der Fig. 4 soll angedeutet werden, dass $Z(t)$ nur durch die genaue Einhaltung der Geschwindigkeit beim Spulen Drehzahl Ω_{Spule} bzw. der Geschwindigkeit V eingehalten wird. Es existiert keine direkte berechnete Beziehung zwischen $\varphi_{\text{Spule}}(t)$ und $Z(t)$, sondern nur eine mittelbare Beziehung durch die die jeweilige Einhaltung der Winkelgeschwindigkeit der Spule Ω_{Spule} und der sich aus dem K -Wert ergebenden Changier-Geschwindig-

keit V , die hier konstant gehalten.

[0057] Fig. 5 zeigt ein Steuergerät 10 zur Durchführung des hier beschriebenen Verfahrens. Das Steuergerät 10 ist mit der Regelstrecke 21 (gebildet durch den Changier-Fadenführer 5 sowie einen Steller 18 zum Bewegen des Changier-Fadenführers 5 sowie gegebenenfalls einem Sensor 19 zur Überwachung der Position des Changier-Fadenführers 5 gezeigt. Das Steuergerät 10 und die Regelstrecke 21 bilden zusammen schematische eine Vorrichtung 11 zur Durchführung des hier beschriebenen Verfahrens. Wie weiter oben schon angedeutet wurde können bei der Ablage des Fadens zusätzliche mechanische Effekte auftreten wie das Nachlaufen des Fadens und das Überspringen des Fadens. Diese Effekte sind in der Darstellung in Fig. 5 vernachlässigt worden und sie sind für die Funktionsweise des hier beschriebenen Verfahrens und des hier beschriebenen Steuergeräts von untergeordneter Bedeutung.

[0058] Das Steuergerät 10 weist verschiedene Module auf, die gegebenenfalls auch mit getrennter Hardware realisiert sein können, die aber bevorzugt lediglich in Software nachgebildet sind und gegebenenfalls auch ganz oder teilweise ineinander integriert sein können. Es existiert ein erstes Steuermodul 12 zur Bestimmung von $\varphi_{\text{Changier steuer}}$ und ein zweites Steuermodul 13 zur Bestimmung von Z_{Soll} basierend auf $\varphi_{\text{Changier steuer}}$.

[0059] In bevorzugten Ausführungsvarianten kann das Steuergerät 10 zusätzlich eine Regelwertbildung 17 zur Bildung der Regeldifferenz $\Delta Z = Z_{\text{Soll}} - Z_{\text{Ist}}$ sowie einen Regler 9 umfassen. Der Regler 9 erzeugt basierend auf ΔZ bzw. basierend auf Z_{Soll} und Z_{Ist} ein Ausgangssignal 14, welches als Eingangssignal für den Steller 18 zum Antrieb des Changier-Fadenführers 5 dient. Alle zum Steuergerät 10 zählenden Komponenten sind hier durch eine gestrichelte Linie angedeutet. Die optional mit in das Steuergerät 10 integrierten Komponenten der Regelwertbildung 17 und des Reglers 9 sind hier noch mit einer Strich-Punkt-Linie abgetrennt dargestellt.

[0060] Hier ist beispielhaft Verfahrensschritt a) dargestellt, mit welchem der Wickelwinkel φ_{Spule} oder eine Änderung des Wickelwinkels $d\varphi_{\text{Spule}}$ erfasst werden. Dies kann mit dem schematisch angedeuteten Drehsensor 8 geschehen. Anschließend werden $d\varphi_{\text{Spule}}$ bzw. der Wickelwinkel φ_{Spule} verwendet, um in Schritt b) den Changier-Fadenführer-Steuerwinkel $\varphi_{\text{Changier steuer}}$ zu berechnen. Hierbei werden auch K-Werte berücksichtigt, die aus einer K-Wert-Tabelle 23 stammen und welche bevorzugt außerhalb des Steuergeräts 10 festgelegt wurden und dem Steuergerät über einen Signaleingang 22 zur Verfügung gestellt werden. Optional kann das erste Steuermodul 12 insbesondere für die Durchführung des Verfahrensschritte b) weitere Eingangsgrößen 20 erfassen bzw. entgegennehmen. Möglich ist beispielsweise die Erfassung folgender weiterer Eingangsgrößen:

- Wickelwinkel φ_{Spule} ;
- Winkelgeschwindigkeit Ω_{Spule} ;
- Drehzahl der Spule n_{Spule} oder Frequenz der Spule

f_{Spule} ; oder

- Dicke der Spule D_{Spule} .

[0061] Der im rechten Teil der Fig. 5 dargestellte Regelkreis bestehend aus dem Regler 9, der Regelstrecke 21 und der Regelwertbildung 17 wird stets dazu beitragen, dass die Regeldifferenz $\Delta Z = Z_{\text{Soll}} - Z_{\text{Ist}}$ zum Verschwinden gebracht wird und sich keine fehlerhafter Winkelfehler aufaddieren.

[0062] Im Gegensatz zur bisherigen Lösung, bei welche durch einer sehr exakte Einhaltung der vorgegebenen Drehzahlsollwerte lediglich dadurch erreicht wird, dass der Winkelfehler (welcher der Regeldifferenz $\varphi_{\text{Changier soll}} - \varphi_{\text{Changier ist}}$ bzw. $Z_{\text{Soll}} - Z_{\text{Ist}}$ gleichzusetzen ist) nur sehr langsam wegläuft kann mit dem hier beschriebenen Verfahren in Bezug auf mögliche Winkelfehler eine (theoretisch) exakte Steuerung erreicht werden. Bei jeder technischen Umsetzung eines Regelkreises schwankt stets der momentane Istwert um den Sollwert. Sollte eine merkliche Regeldifferenz auftauchen, würde über den Regler und Steller die Changierung stets dahingehend beeinflusst werden, dass diese Regeldifferenz reduziert wird bzw. verschwindet.

[0063] Unter Beibehaltung des bewährten K-Wertes zielt die neue Lösung darauf ab die Präzision der Fadenablage zu erhöhen und gleichzeitig den immensen Aufwand bei der Erfassung und Einstellung der Drehzahlen bzw. Frequenzen f_{Spule} und f_{Changier} zu reduzieren. Gleichzeitig wird der Spulvorgang detailliert beschrieben, was wiederum eine einfache Qualitätskontrolle ermöglicht. Der neue Kerngedanke ist hierbei, sich nicht auf zeitweilige Geschwindigkeitswerte ($\Omega = \Delta\varphi_{\text{Spule}}/\Delta t$) zu fokussieren, sondern vielmehr den absolut fortlaufende Winkelwerte φ_{Spule} zu erfassen und damit die axiale Fadenablage-Sollposition Z_{Soll} zu regeln.

[0064] Die Winkelwege der Spule φ_{Spule} und des Changiersystems Z können beispielsweise gemäß der derzeitigen technischen Umsetzung mit einem Initiator oder einem Inkrementalgeber gemessen werden. Bei diesen Messverfahren wird mit jedem neuen Impuls signalisiert, dass sich der Winkel um $d\varphi_{\text{Spule}}$ bzw. $\Delta\varphi_{\text{Spule Inkrement}}$ weitergedreht hat. Der Inkrementalgeber kann beispielsweise ein Wicklungszähler sein, der jede einzelne Umdrehung der Spule oder Teilumdrehungen der Spule zählt.

[0065] Die einzelnen vom Initiator oder Inkrementalgeber eingehenden Impulse werden anschließend im Prozessor von z.B. einer QEP-Einheit aufsummiert, womit sichergestellt ist, dass keine Winkelinformationen verloren wird und stets der korrekte Winkelweg φ_{Spule} vorhanden ist.

[0066] Der z.B. über einen Steller/Wechselrichter betriebene Antrieb der Changiereinheit kann hinsichtlich des Drehmomentes bzw. der Drehzahl beeinflusst werden, so dass hiermit auf Z_{Ist} Einfluss genommen werden kann und die gewünschte Fadenablage-Position Z_{Soll} nachgeführt und eingehalten wird.

[0067] In der Fig. 5 ist zusätzlich zum ersten Steuer-

modul 12 zur Durchführung der Verfahrensschritte a) und b) und zur Bestimmung des Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ das zweite Steuermodul 13 dargestellt in welchem die Umwandlung des Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ in die Sollgröße zur Steuerung der Fadenablageposition Z_{soll} darstellt. Dieses Modul kann beispielsweise eine proportionale Umrechnung von $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ zu Z_{soll} (in Ausführungsvarianten Z_{soll} als der Winkel $\varphi_{\text{Changier,soll}}$) sein. In Ausführungsvarianten kann dieses Modul auch eine Umrechnung des (unendlich) permanent ansteigenden Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ in eine begrenzte Größe durchführen, die beispielsweise die Koordinate Z im Ablagebereich des Fadens auf der Spule beschreibt. Diese Umrechnung kann beispielsweise mit einer Modulo-Operation erfolgen.

[0068] Fig. 6 zeigt den fortgesetzt ansteigenden Winkel φ_{Spule} und die Faden-Ablageposition $Z_{\text{soll}} \approx Z_{\text{ist}}$ in Abhängigkeit der Zeit t wie sie mit dem hier beschriebenen Verfahren geregelt werden kann.

[0069] Dabei zeigt Fig. 6 die Situation, die sich bei einem konstanten K-Wert einstellt. Fig. 6 zeigt also die Situation bei einer Spule, die als Präzisionswicklung ausgeführt wird. Z_{soll} hängt unmittelbar und mathematisch exakt von φ_{Spule} ab. Zwischen φ_{Spule} und Z_{soll} kann also kein Fehler auftreten. Z_{ist} wird gemäß der in Fig. 5 dargestellten Systemstruktur mit einem Sensor überwacht und kann damit mit einem Regler geregelt gemäß Z_{soll} eingestellt werden. Ein Auseinanderlaufen von φ_{Spule} bzw. Z_{soll} und Z_{ist} ist damit technisch nicht möglich, so dass es hier zu der angestrebten Präzision kommt.

- Das neue Verfahren regelt auf die Differenz zwischen dem Soll- und Istwert und verhindert durch diese Regelung dauerhaft ein "Weglaufen" des Winkelwertes. Eine höhere Präzision bei der Fadenablage ist die Folge, welche zudem effektiv die Spiegelbildung verhindert.
(Bei dem bisherigen Verfahren wurde mit hohem Aufwand eine hohe Präzision bei der Drehzahlregelung erreicht, so dass der Winkelwert zwischen Soll- und Istwert nur langsam wegläuft. Eine Messung der Winkeldifferenz oder gar eine Regelung auf die Winkeldifferenz ist bisher nicht vorhanden, vielmehr handelt es sich bei der bisherigen Lösung bezüglich des Winkelwertes um Steuerung und nicht um eine Regelung!)
- Der technische Aufwand und damit die Kosten werden deutlich reduziert, da die bisherigen hohen Anforderungen an die Drehzahlregelung (Umrichter, Messwerterfassung, Regler) durch die Regelung des Winkelwertes deutlich reduziert werden.
- Die Erfassung der absoluten fortlaufenden Winkelwerte der Spule und Changier-Fadenführer-Steuerwinkel bei der gleichzeitigen Berücksichtigung einer Absolutzeit (jeweils beginnend mit dem Wickelvorgang) erlauben eine sehr detaillierte Beschreibung des realisierten Spulenaufbaus und ermöglichen da-

mit einfache Qualitätskontrollen. Beispielsweise könnte jeder gewickelte Spule mit einem zugehörigen Datenfile vom Wickelvorgang ausgestattet sein.

5 Bezugszeichenliste

[0070]

1	Faden
2	Spule
3	Koordinate
4	Umfangsrichtung
5	Changier-Fadenführer
6	Wickelanfang
7	Wicklung
8	Drehensor
9	Regler
10	Steuergerät
11	Vorrichtung
12	erstes Steuermodul
13	zweites Steuermodul
14	Ausgangssignal
15	erste Wicklungslage
16	zweite Wicklungslage
17	Regelwertbildung
18	Steller
19	Sensor
20	Eingangsgrößen
21	Regelstrecke
22	Signaleingang
23	K-Wert-Tabelle

φ_{Spule}	Wickelwinkel
$\varphi_{\text{Changier,steuer}}$	Changier-Fadenführer- Steuerwinkel
Z_{soll}	axiale Fadenablage-Sollposition
$\varphi_{\text{Changier,soll}}$	Changier-Fadenführer-Sollwinkel
Ω_{Spule}	Winkelgeschwindigkeit der Spule
n_{Spule}	Drehzahl der Spule
D_{Spule}	Dicke der Spule
K	K-Wert
f_{Spule}	Frequenz der Spule
Z_{ist}	vorliegende axiale Fadenablage-Istposition
V	Changiergeschwindigkeit

Patentansprüche

- Verfahren zur hochpräzisen Fadenablage eines Fadens (1) beim Wickeln einer Spule (2) aufweisend die folgenden Schritte:
 - Permanentes Erfassen eines Wickelwinkels φ_{Spule} oder eines Vorläuferwerts aus welchem der Wickelwinkel φ_{Spule} berechnet werden kann, wobei der Wickelwinkel φ_{Spule} eine Koordinate (3) des Fadens (1) in einer Umfangsrichtung (4) auf der Spule (2) beschreibt;

- b) Berechnen einer Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ in Abhängigkeit des Wickelwinkels φ_{Spule} und/oder des Vorläuferwerts, wobei der Changier-Fadenführer-Steuerwinkel $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ aus dem Wickelwinkel φ_{Spule} und/oder dem Vorläuferwert unter Berücksichtigung mindestens eines K-Wertes berechnet wird;
- c) Verwenden des Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ zum Berechnen einer axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} auf der Spule (2);
- d) Steuern eines Changier-Fadenführers (5) gemäß der axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} zur hochpräzisen Fadenablage an der mit dem Wickelwinkels φ_{Spule} beschriebenen Koordinate auf der axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} .
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Wickelwinkel φ_{Spule} die Koordinate (3) des Fadens (2) in der Umfangsrichtung (4) auf der Spule (2) ausgehend von einem Wickelanfang (6) des Fadens (1) auf der Spule (2) fortgesetzt über alle Wicklungen (7) der Spule (2) beschreibt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei eine Ablage des Fadens (1) an der Sollposition Z_{soll} über einen Changier-Fadenführer-Sollwinkel $\varphi_{\text{Changier,soll}}$ definiert ist, der einen Stellwinkel des Changier-Fadenführers (5) beschreibt, welcher eine Fadenablage an der axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} bewirkt.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für die Bestimmung des Wickelwinkels φ_{Spule} in Schritt a) ein Drehsensor (8) verwendet wird, welcher die Anzahl von erfolgten Umdrehungen und/oder Teilumdrehungen der Spule (2) angibt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Winkelgeschwindigkeit Ω_{Spule} der Spule (2) beim Wickeln während des Wickelns der Spule (2) in Abhängigkeit der steigenden Dicke der Spule D_{Spule} ; derart angepasst wird, dass eine konstanten Fadengeschwindigkeit in vorgelagerten Verarbeitungsschritten des Fadens (1) erreicht wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei beim Wickeln der Spule (2) eine Mehrzahl von K-Werten verwendet werden, die nach einem vorgegebenen Schema in Abhängigkeit von zumindest einem der folgenden Parameter festgelegt werden:
- Wickelwinkel φ_{Spule} ;
 - Winkelgeschwindigkeit Ω_{Spule} ;
 - Drehzahl der Spule n_{Spule} oder Frequenz der Spule f_{Spule} ; oder
- Dicke der Spule D_{Spule} .
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in Schritt d) der Changier-Fadenführer (5) von einem Regler (9) gesteuert wird und wobei eine vorliegende Fadenablage-Position Z_{ist} und/oder ein vorliegender Changier-Fadenführer-Winkel $\varphi_{\text{Changier,ist}}$ überwacht wird und als Eingangsgröße für den Regler (9) die Regeldifferenz $\Delta Z = Z_{\text{soll}} - Z_{\text{ist}}$ und/oder $\Delta\varphi_{\text{Changier}} = \varphi_{\text{Changier,soll}} - \varphi_{\text{Changier,ist}}$ berechnet wird.
8. Steuergerät (10) zur Steuerung eines Changier-Fadenführers (5) einer Vorrichtung (11) zum Wickeln von Spulen eingerichtet zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7 aufweisend zumindest ein erstes Steuermodul (12) zur Berechnung des Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$ basierend auf einem erfassten Wickelwinkels φ_{Spule} und ein zweites Steuermodul (13) zur Berechnung einer axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} unter Verwendung des Changier-Fadenführer-Steuerwinkels $\varphi_{\text{Changier,steuer}}$.
9. Steuergerät (10) nach Anspruch 8, aufweisend zusätzlich einen Regler (9), welcher dazu eingerichtet ist eine vorliegende Fadenablage-Sollposition Z_{soll} und Fadenablage-Istposition Z_{ist} zu empfangen und basierend auf der vorliegenden Fadenablage-Sollposition Z_{soll} und der Fadenablage-Istposition Z_{ist} ein Ausgangssignal (14) zur geregelten Steuerung der Fadenablage zu erzeugen.
10. Steuergerät (10) nach Anspruch 8 oder 9 aufweisend einen gemeinsamen Zeitgeber der für die Erfassung des Wickelwinkels φ_{Spule} und Z_{ist} verwendet wird, wobei kein weiterer Zeitgeber zur Steuerung des Changier-Fadenführers (5) existiert.
11. Spule (2) mit einem Faden (1), gewickelt gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7.
12. Spule (2) nach Anspruch 11, wobei Toleranzabweichungen zwischen einer axialen Fadenablage-Istposition Z_{ist} und einer axialen Fadenablage-Sollposition Z_{soll} entlang des Fadens (1) und des Wickelwinkels φ_{Spule} gleich verteilt sind.

Fig. 1

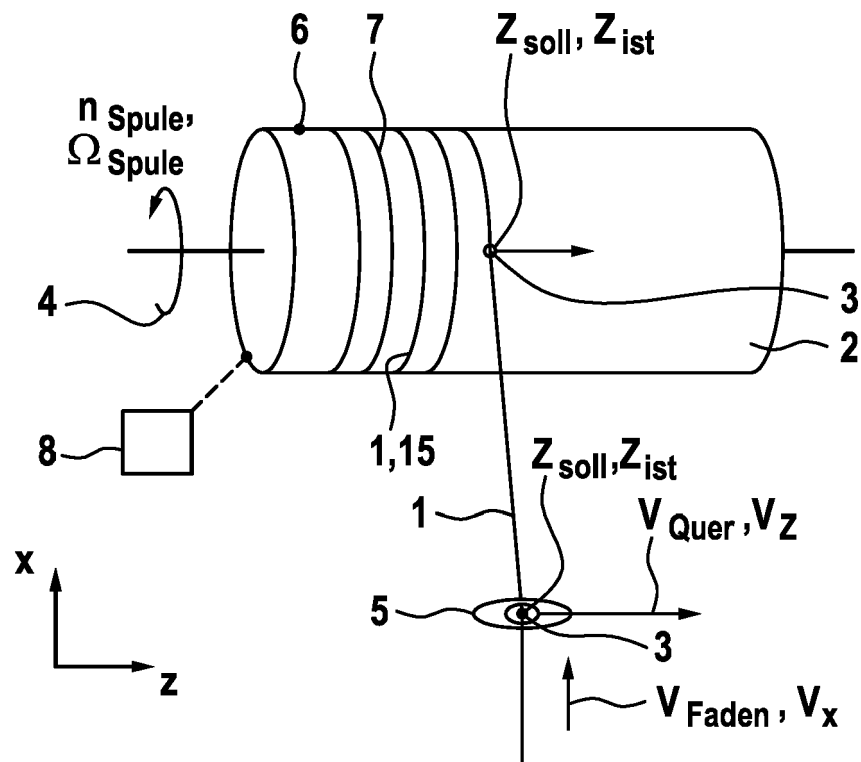


Fig. 2

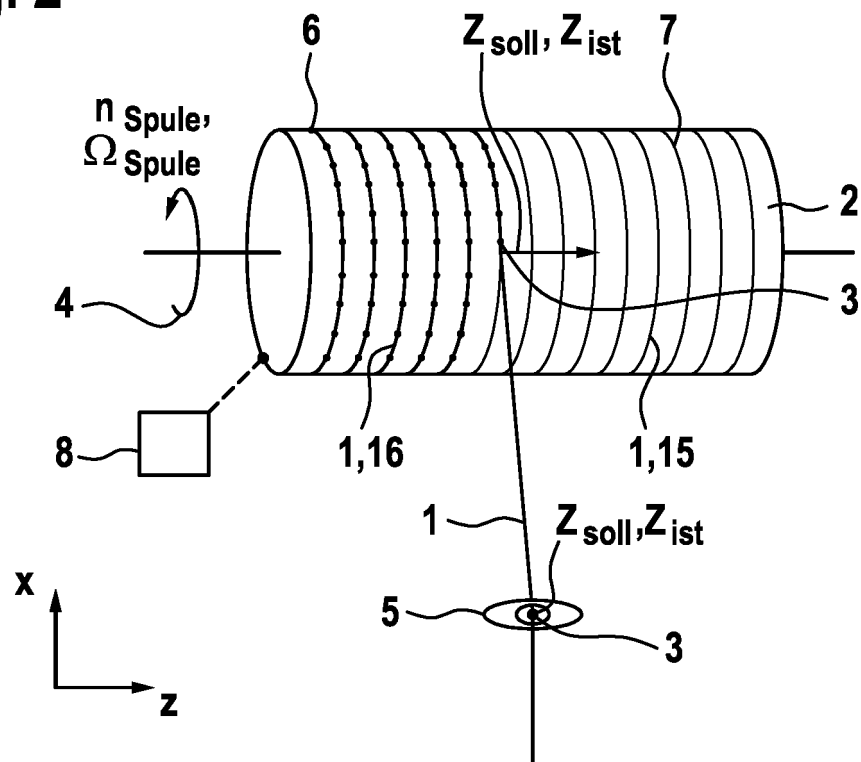


Fig. 3

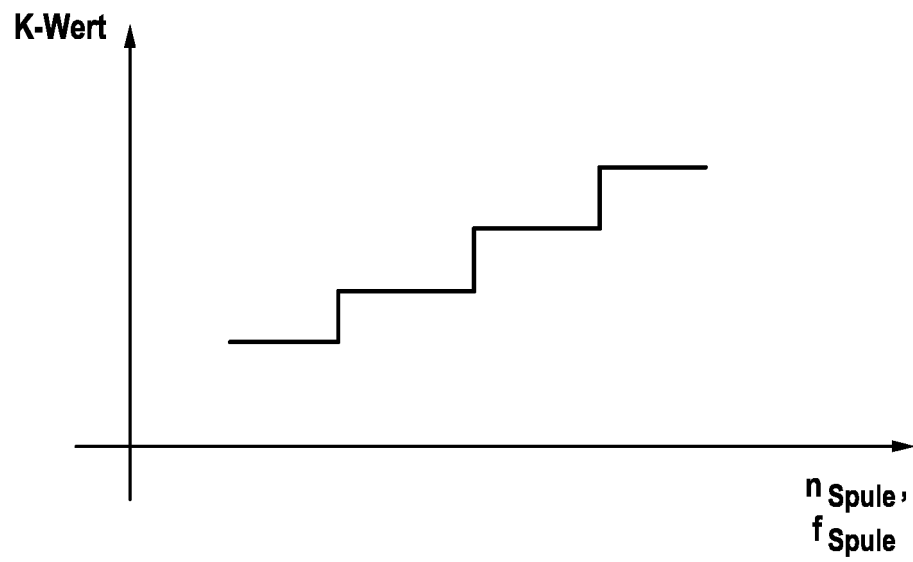


Fig. 4

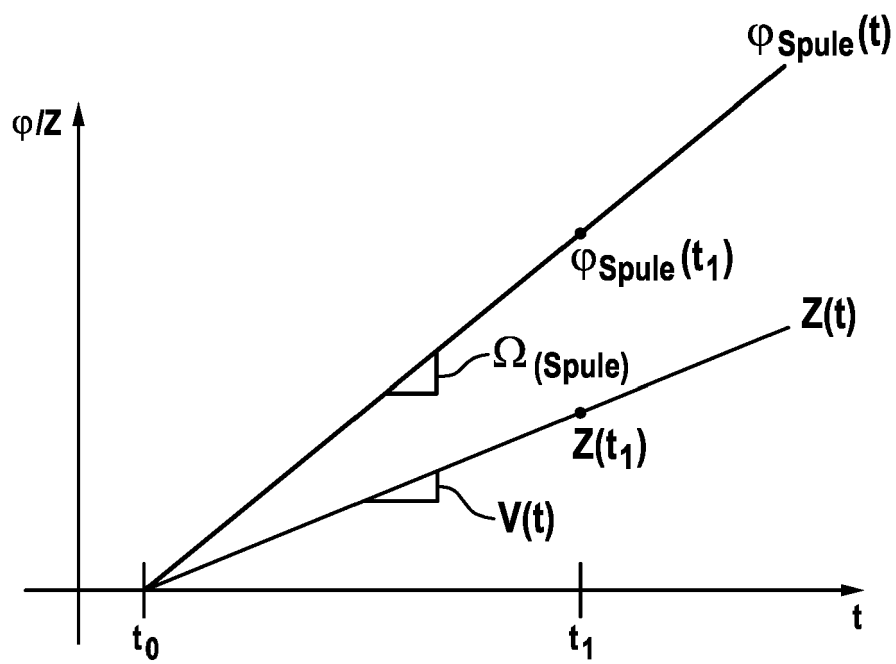


Fig. 5

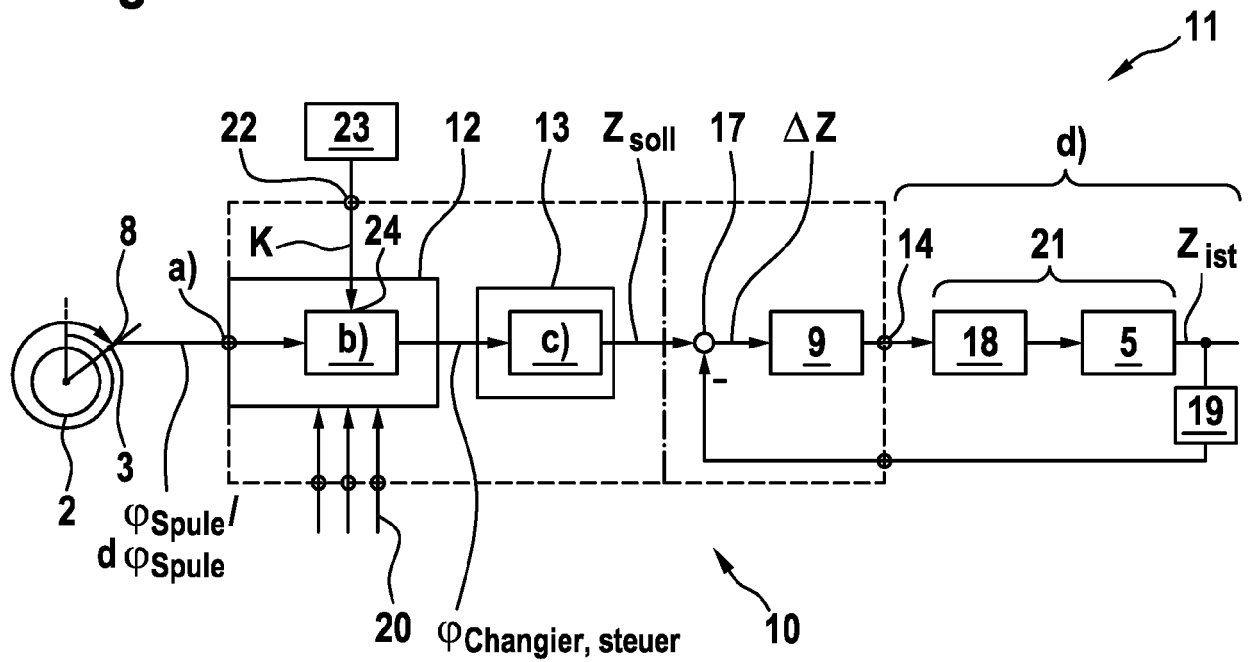
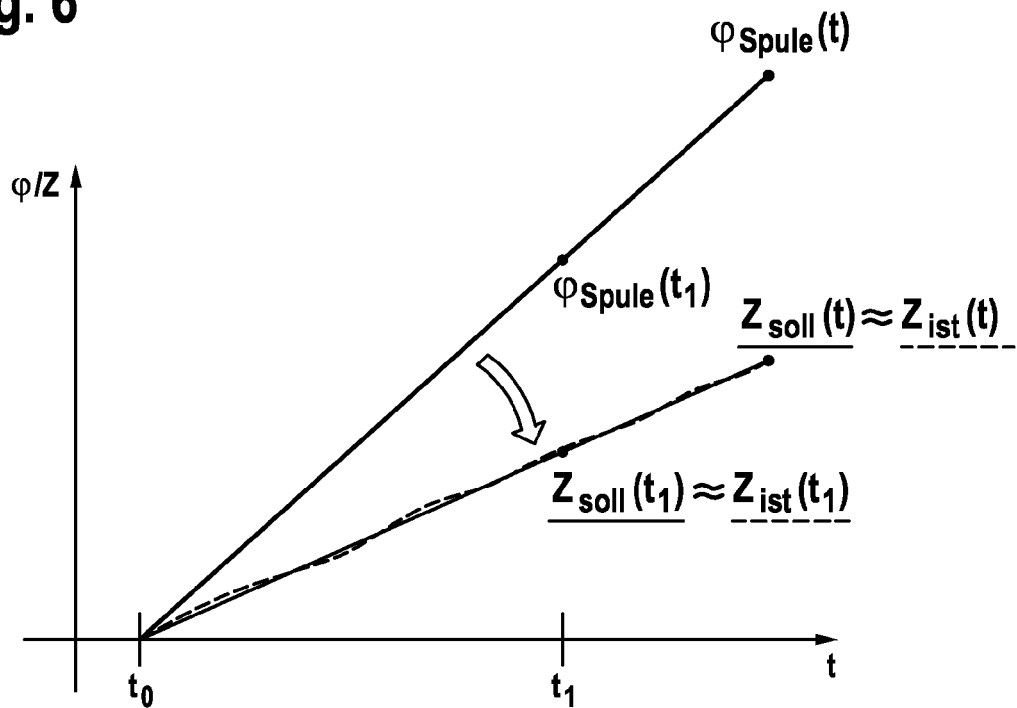


Fig. 6





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 21 16 9647

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A,D	DE 11 2004 000484 B4 (MURATA MACHINERY LTD [JP]) 12. Juni 2008 (2008-06-12) * Absätze [0010] - [0042] * -----	1-10	INV. B65H54/38
A,D	DE 198 17 111 A1 (BARMAG BARMER MASCHF [DE]) 5. November 1998 (1998-11-05) * Anspruch 1 * -----	1-10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B65H
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 27. August 2021	Prüfer Pussemier, Bart
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 21 16 9647

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-08-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	DE 112004000484 B4	12-06-2008	CN 1767993 A	03-05-2006
			CN 101508393 A	19-08-2009
			DE 112004000484 T5	16-02-2006
			JP 4711103 B2	29-06-2011
			JP 2004299791 A	28-10-2004
			WO 2004087550 A1	14-10-2004
20	DE 19817111 A1	05-11-1998	CN 1198396 A	11-11-1998
			DE 19817111 A1	05-11-1998
			KR 19980081696 A	25-11-1998
			TW 359661 B	01-06-1999
			US 6027060 A	22-02-2000
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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

- DE 19817111 A1 [0004]
- DE 19835888 A1 [0004]
- US 20180162681 A1 [0004]
- DE 112004000484 B4 [0004]
- DE 10021963 A1 [0004]