

(19)



(11)

EP 3 896 359 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
20.10.2021 Patentblatt 2021/42

(51) Int Cl.:
F24H 9/20 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21164076.8**

(22) Anmeldetag: **22.03.2021**

(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

(71) Anmelder: **Viessmann Werke GmbH & Co. KG**
35108 Allendorf (DE)

(72) Erfinder: **SCHULZE, Gerold**
34121 Kassel (DE)

(74) Vertreter: **MERH-IP Matias Erny Reichl Hoffmann**
Patentanwälte PartG mbB
Paul-Heyse-Strasse 29
80336 München (DE)

(30) Priorität: **17.04.2020 DE 102020204914**

(54) **HEIZSTAB UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES HEIZSTABS ZUR
WARMWASSERBEREITUNG ODER ALS WÄRMEERZEUGER EINER HEIZUNG IN EINEM
GEBÄUDE MITTELS ELEKTRISCHER ENERGIE**

(57) Heizstab und Verfahren zum Betreiben eines Heizstabs zur Warmwasserbereitung oder als Wärmeerzeuger einer Heizung in einem Gebäude mittels elektrischer Energie. Der Heizstab umfasst einen oder mehrere Heizwiderstände, einen Leistungssollwertgeber zum Bereitstellen eines Leistungssollwerts und eine Steuerung zum Steuern einer Energieversorgung des einen oder

der mehreren Heizwiderstände in Abhängigkeit des Leistungssollwerts, wobei die Steuerung dazu eingerichtet ist, eine Energieversorgung eines Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände in Abhängigkeit des Leistungssollwerts mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenanschnittsteuerung oder Phasenabschnittsteuerung zu steuern.

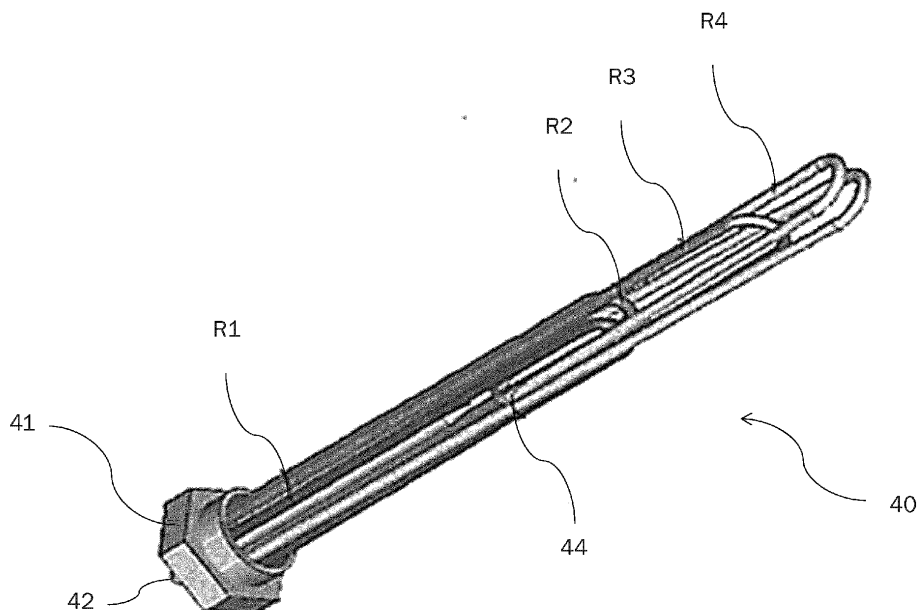


Fig. 4

EP 3 896 359 A1

Beschreibung

Technischer Hintergrund

[0001] Während des Betriebs wandeln Heizstäbe (Heizpatronen) elektrische Energie mittels Heizwiderstände in thermische Energie um. Heizstäbe werden häufig als kurzfristige und flexible Übergangslösung, beispielsweise als Zusatzheizung, bei einem Ausfall oder Wechsel einer Hauptheizung, etc., verwendet. Weitere Beispiele für Anwendungsgebiete sind örtlich flexible Heizkörper, Boiler und Durchlauferhitzer.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind Heizstäbe bekannt, bei denen die Heizleistung schrittweise mittels Wellenpaketsteuerung variiert werden kann. Wellenpaketsteuerungen haben jedoch den Nachteil, dass bei einer Heizleistung von etwa 350 Watt ein Flickergrenzwert überschritten wird. Entsprechend kann eine maximale Heizleistung bei einem Drehstromanschluss von 350 Watt $\cdot 3 = 1150$ Watt erreicht werden, ohne normative Vorgabe zu überschreiten.

[0003] Aus dem Stand der Technik sind alternativ Steuerungen für Heizstäbe mittels Pulsweitenmodulation bekannt. Diese haben unter anderem den Nachteil, dass auf Grund der Pulse mit Frequenzen von einigen kHz, die taktfrequenten Oberschwingungen zu größeren Störaussendungen beitragen.

[0004] Des Weiteren sind aus dem Stand der Technik Phasenanschnittsteuerungen bekannt. Diese haben jedoch den Nachteil, dass bei Wärmeleistungen insbesondere über 750 Watt Oberschwingungen über einem Grenzwert erzeugt werden, die zu Überschreitungen von zulässigen Grenzwerten des Stromversorgungsnetzes führen können.

[0005] Stromversorgungsnetze sind bereits massiven Schwankungen auf Grund einer Vielzahl an unvorhersehbaren Stromverbrauchern unterworfen. In Folge dessen ist eine möglichst konstante Energieentnahme wünschenswert, um sich überlagernde Entnahmemaxima, bzw. Entnahmeminima zu vermeiden.

[0006] Die DE 3304322 A1 zeigt dazu einen elektrischen Durchlauferhitzer, mit mehreren elektrischen Heizkörpern und einer Steuereinrichtung. Ein Steuersignal wird dabei in Abhängigkeit eines analogen Signals in ein binäres, digitales Signal umgewandelt. Auf Grundlage einzelner Bits des binären, digitalen Signals wird dabei die Energieversorgung der mehreren elektrischen Heizkörper in Abhängigkeit von einer Durchflussmenge des Durchlauferhitzers gesteuert. Die Leistungen der Heizkörperstufen von der ersten bis zur vorletzten Heizkörperstufe sind jeweils doppelt so groß wie die Leistung der jeweils vorhergehenden Heizkörperstufe.

[0007] Des Weiteren sind Heizstäbe mit einer besonders flexiblen Heizleistung wünschenswert, um den möglichen Einsatzbereich zu vergrößern und um unnötiges Überhitzen von Warmwasser oder Heizungswasser auf Grund von fehlenden Steuerungsmöglichkeiten zu vermeiden.

Beschreibung der Erfindung

[0008] Ausgehend von den oben genannten Problemen ist es Aufgabe der Erfindung einen über einen verhältnismäßig großen Leistungsbereich gegenüber herkömmlichen Heizstäben durchgehend steuerbaren Heizstab beziehungsweise ein Verfahren zur Steuerung eines entsprechenden Heizstabs zur Verfügung zu stellen.

[0009] Die Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Die abhängigen Patentansprüche beziehen sich auf besondere Ausführungsformen der Erfindung.

[0010] Ein erfindungsgemäßer Heizstab zur Warmwasserbereitung und/oder als Wärmeerzeuger einer Heizung in einem Gebäude mittels elektrischer Energie umfasst einen oder mehrere Heizwiderstände, einen Leistungssollwertgeber zum Bereitstellen eines Leistungssollwerts, und eine Steuerung zum Steuern einer Energieversorgung des einen oder der mehreren Heizwiderstände in Abhängigkeit des Leistungssollwerts.

[0011] Das Gebäude kann beispielsweise einen oder mehrere Räume umfassen. Der Heizstab kann beispielsweise eine Heizpatrone sein. Der Heizstab kann beispielsweise dazu eingerichtet sein, zumindest mit einem Teil des Heizstabs in einem Boiler oder Pufferspeicher angeordnet, bzw. in einen Boiler oder Pufferspeicher eingeführt zu werden.

[0012] Ein Heizwiderstand kann beispielsweise mittels eines Isolators von einem zu erheizenden Medium, vorzugsweise eines flüssigen Mediums, getrennt sein. Ein zu erheizendes, bzw. zu erwärmendes Medium kann beispielsweise Wasser, ein Frostschutzmittel, (aufbereitetes) Heizungswasser, Brauchwasser, Grauwasser, etc. sein.

[0013] Vorzugsweise weist der Isolator eine gute bis sehr gute Wärmeleitfähigkeit auf. In manchen Ausführungsformen kann ein Heizwiderstand U-förmig ausgebildet sein. In manchen Ausführungsformen kann ein Heizwiderstand einen spiralförmigen Abschnitt umfassen.

[0014] Eine Energieversorgung kann beispielsweise eine Netzspannung, insbesondere mit einer Effektivspannung von ca. 220V oder 230V, bzw. innerhalb einer gesetzlich vorgeschriebenen Abweichung davon, sein. Die Energieversorgung kann beispielsweise in Form einer Wechselspannung, insbesondere mit einer Frequenz von 50Hz oder 60Hz, bzw. innerhalb einer gesetzlich vorgeschriebenen Abweichung davon, vorliegen.

[0015] Der Leistungssollwertgeber kann beispielsweise eine Steuereinheit zum Regeln einer Temperatur einer oder mehrerer Räume des Gebäudes, insbesondere eines Hauses, sein. In manchen Ausführungsformen kann der Leistungssollwertgeber eine Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) beispielsweise in Form eines durch Drehung einstellbaren Bedienelements, einer Displayeingabe oder eines Schiebereglers umfassen. Der Leistungssollwert kann beispielsweise in Abhängigkeit einer vom Heizstab zur Verfügung zu stellenden Heiz-

leistung vorgegeben sein. In manchen Ausführungsformen kann der Leistungssollwert eine Steuergröße eines Regelkreises sein.

[0016] In manchen Ausführungsformen kann der Leistungssollwertgeber einen Analog-Digital-Wandler umfassen. In manchen Ausführungsformen kann der Leistungssollwertgeber einen Digital-Analog-Wandler umfassen.

[0017] Der Leistungssollwert kann einen Wert für eine von den einen oder mehreren Heizwiderständen abzugebende Wärmeleistung wiedergeben.

[0018] Vorteilhafterweise kann die Energieversorgung in Form einer Wechselspannung vorliegen. In manchen Ausführungsformen kann die Energieversorgung in Form eines Wechselstroms vorliegen. In manchen Ausführungsformen kann der Heizstab dazu eingerichtet sein, eine Gleichspannung/einen Gleichstrom in eine Wechselspannung/einen Wechselstrom umzuwandeln.

[0019] Die Steuerung ist erfindungsgemäß dazu eingerichtet, eine Energieversorgung eines Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände in Abhängigkeit des Leistungssollwerts mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenanschnittsteuerung oder Phasenabschnittsteuerung zu steuern.

[0020] Bei der Phasenanschnittsteuerung kann nach einem Nulldurchgang der Wechselspannung (des Wechselstroms) der Energieversorgung solange ein Stromfluss vom/zum Heizwiderstand unterbunden werden, bis eine Phase der Wechselspannung (des Wechselstroms) einen vorgegebenen Phasenwert übersteigt, wobei der vorgegebene Phasenwert in Abhängigkeit des Leistungssollwerts festgelegt ist. Die Phase (Phasenwinkel) gibt die aktuelle Position im Ablauf eines periodischen Vorgangs an.

[0021] Bei der Phasenabschnittsteuerung kann nach einem Übersteigen einer Phase der Wechselspannung eines weiteren vorgegebenen Phasenwerts bis zu einem Erreichen eines Nulldurchgangs der Wechselspannung ein Stromfluss vom/zum Heizwiderstand unterbunden werden, wobei der weitere vorgegebene Phasenwert in Abhängigkeit des Leistungssollwerts festgelegt ist.

[0022] Eine Phasenanschnittsteuerung, bzw. eine Phasenabschnittsteuerung hat den Vorteil, dass Spannungsschwankungen (Flicker) vermieden, insbesondere nicht erzeugt werden.

[0023] Bei der Wellenpaketsteuerung kann ein Stromfluss vom/zum Heizwiderstand für eine vorgegebene Anzahl an ganzen oder halben Perioden der Wechselspannung nach einem Nulldurchgang der Wechselspannung innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums unterbrochen sein, wobei der vorgegebene Zeitraum und die vorgegebene Anzahl an ganzen oder halben Perioden innerhalb des vorgegeben Zeitraums in Abhängigkeit des Leistungssollwerts festgelegt sind, insbesondere kann ein Verhältnis zwischen der vorgegebenen Anzahl an ganzen oder halben Perioden innerhalb des vorgegebenen Zeitraums zu dem vorgegebenen Zeitraum in Abhängigkeit des Leistungssollwerts festgelegt sein.

[0024] Eine Wellenpaketsteuerung hat den Vorteil, dass Oberschwingungen, die in eine Netzversorgung (Stromversorgungsnetz) gelangen können, vermieden, beziehungsweise nicht erzeugt werden.

[0025] Eine Kombination einer Wellenpaketsteuerung und einer Phasenanschnittsteuerung, bzw. Phasenabschnittsteuerung hat den Vorteil, dass eine Heizleistung über einen großen Heizleistungsbereich besonders präzise geregelt werden kann. Des Weiteren kann dadurch die Heizleistung auf einfache Art und Weise über einen herkömmlich regelbaren Heizleistungsbereich hinaus gesteuert werden.

[0026] In besonders eleganten Ausführungsformen kann die Steuerung zusätzlich dazu eingerichtet sein, die Energieversorgung des Heizwiderstands mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenanschnittsteuerung und Phasenabschnittsteuerung in Abhängigkeit des Leistungssollwerts zu steuern.

[0027] Dies kann den Vorteil haben, dass Oberschwingungen auf Grund der Phasenanschnittsteuerung, bzw. der Phasenabschnittsteuerung bei einer eleganten Festlegung des vorgegebenen Phasenwerts und des weiteren vorgegebenen Phasenwerts in Abhängigkeit des Leistungssollwerts reduziert werden können. Des Weiteren können dadurch Spannungsschwankungen (Flicker) vermieden werden.

[0028] In besonders leistungsstarken Ausführungsformen kann die Steuerung dazu eingerichtet sein, eine Energieversorgung eines weiteren Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände mit elektrischer Energie durch Verbinden des weiteren Heizwiderstands mit einer Energieversorgung (Energiequelle) zu steuern. Beispielsweise kann die Steuerung dazu eingerichtet sein, mittels Versorgens eines weiteren Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände mit elektrischer Energie stufenlos über einen Wärmeleistungsbereich des Heizwiderstands hinaus mittels des weiteren Heizwiderstands Wärme zu erzeugen. Dies kann den Vorteil haben, dass eine Wärmeleistung des Heizstabs über einen großen Wärmeleistungsbereich eingestellt werden kann, ohne übermäßige Spannungsschwankungen (Flicker) und ohne übermäßige Oberschwingungen zu erzeugen.

[0029] Dies führt dazu, dass der Heizstab besonders flexibel über einen großen Wärmeleistungsbereich verwendet werden kann. Des Weiteren kann die Wärmeleistung des Heizstabs sehr genau und dadurch besonders effizient eingestellt werden, da ein unnötiges Überheizen vermieden werden kann. Auch kann dadurch die Lebenszeit des Heizstabs verbessert werden, da dadurch eine Ablagerung von Schmutz und Kalk am Heizstab negativ beeinflusst wird. Dies führt langfristig zu einer effizienteren Wärmeübertragung zwischen Heizstab und zu erhitzendem (zu erwärmenden) Medium.

[0030] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform kann die Steuerung dazu eingerichtet sein, Änderungen in der Energieversorgung eines Heizwiderstands, insbesondere auf Grund einer Änderung eines

Leistungssollwerts, in einem Nulldurchgang eines Strom- und/oder Spannungsverlaufs der Energieversorgung vorzunehmen. Dadurch, kann ein Erzeugen von Oberschwingungen vermieden werden. Als Folge können normative Anforderungen an den Heizstab, um den Heizstab an ein Versorgungsnetz anschließen zu dürfen, leichter, insbesondere hinsichtlich Oberschwingungen, eingehalten werden.

[0031] In besonders effizienten Ausführungsformen kann eine maximale Heizleistung $P_{n,max}$ eines n-ten Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände folgendermaßen dimensioniert sein:

$$P_{n,max} \leq \sum_{j=1}^{n-1} P_{j,max}$$
 Dies kann den Vorteil haben, dass die Heizleistung des Heizstabs wertkontinuierlich eingestellt werden kann.

[0032] In besonders effizienten Ausführungsformen kann die Steuereinheit dazu eingerichtet sein, die Heizleistung P_1 des Heizwiderstands wertkontinuierlich mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenabschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung einzustellen und die Heizleistung P_j eines weiteren Heizwiderstands durch ein einfaches Betätigen eines Schalters zu steuern.

[0033] Bei einer Dimensionierung der Heizleistung der Heizwiderstände des Heizstabs als

$$P_{n,max} = \sum_{j=1}^{n-1} P_{j,max}$$
 kann ein vorgegebener Heizleistungsbereich wertkontinuierlich mittels einer minimalen Anzahl an Heizwiderständen eingestellt werden. Dies kann den Vorteil haben, dass die Anzahl der Heizwiderstände reduziert und somit Kosten und Platz gespart werden kann.

[0034] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform können ein oder mehrere Heizwiderstände mittels Isolatoren von einem zu erhitzenden Medium getrennt sein. Dadurch kann ein Stromschlag auf Menschen beispielsweise verhindert werden.

[0035] Vorteilhafterweise kann der Isolator im Vergleich zu anderen Isolatoren eine besonders gute Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Vorteilhafterweise kann der Isolator eine elektrische Isolationseigenschaft aufweisen, sodass ein Stromfluss (elektrische Übertragung) zwischen Heizwiderstand und zu erhitzenden (zu erwärmenden) Medium unterbunden wird. In besonders abgeschirmten Ausführungsformen kann die elektrische Isolationseigenschaft im Vergleich zu anderen Isolatoren besonders hoch sein.

[0036] In besonders effizienten Ausführungsformen kann die Steuerung dazu eingerichtet sein, eine Energieversorgung eines ersten Heizwiderstands stufenlos mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenabschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung so zu regeln, dass eine Heizleistung P_1 des Heizwiderstands in einem Bereich zwischen einer minimalen Heizleistung $P_{1,min}$ und einer maximalen Heizleistung $P_{1,max}$ einem Wert in Abhängigkeit des Leistungssollwertes des

Leistungssollwertgebers entspricht.

[0037] Vorzugsweise beträgt die minimale Heizleistung $P_{1,min}$ des Heizwiderstands 0 Watt. Stufenlos kann in diesem Zusammenhang wertkontinuierlich bedeuten. In bevorzugten Ausführungsformen wird die minimale Heizleistung $P_{1,min}$ und/oder die maximale Heizleistung $P_{1,max}$ des Heizwiderstands in Abhängigkeit von Oberschwingungs- und Flickeranforderungen gewählt.

[0038] Dies kann den Vorteil haben, dass die Heizleistung des Heizstabs sehr genau auf eine benötigte Heizleistung eingestellt werden kann. Dadurch kann ein Erzeugen einer Wärme über einen angeforderten Wärmebedarf hinaus vermieden werden. Als Folge können Kalk- und Schmutzablagerungen minimiert werden. Dies führt zu einer langfristigen Verbesserung der Wärmeübertragung von den Heizwiderständen zu einem zu beheizenden Medium.

[0039] In besonders überschwingungsarmen und flickerarmen Ausführungsformen kann die Steuerung dazu eingerichtet sein, durch Verbinden einer Energieversorgung mit einem weiteren Heizwiderstand Wärme mit einer Heizleistung P_2 mittels des zweiten Heizwiderstands zu erzeugen. Die Heizleistung P_2 kann vorzugsweise konstant sein, das heißt sie weist eine Abweichung kleiner als eine vorgegebene Abweichung auf.

[0040] Das Verbinden des weiteren Heizwiderstands mit einer Energieversorgung kann in manchen Ausführungsformen eine Steuerung mittels Wellenpaketsteuerung und/oder mittels Phasenabschnittsteuerung und/oder mittels Phasenabschnittsteuerung ausschließen. Durch das einfache Hinzuschalten des weiteren Heizwiderstands kann auf einfache Art und Weise ohne Flicker oder Oberschwingungen zu erzeugen die Heizleistung des Heizstabs erhöht werden.

[0041] In besonders einfachen Ausführungsformen kann die Steuerung dazu eingerichtet sein, in Abhängigkeit des Leistungssollwerts des Leistungssollwertgebers eine Heizleistung P_1 des Heizwiderstands stufenlos (wertkontinuierlich) mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenabschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung zu regeln, und in Abhängigkeit des Leistungssollwerts des Leistungssollwertgebers weitere Heizwiderstände der einen oder mehreren Heizwiderstände mit einer Energieversorgung zu verbinden. Dadurch kann mit einem minimalen Steuerungsaufwand die Heizleistung des Heizstabs über einen weiten Heizleistungsbereich kontinuierlich gesteuert werden.

[0042] Eine kontinuierliche Steuerungsmöglichkeit hat gegenüber einer diskreten Steuerungsmöglichkeit die Vorteile, dass die Heizleistung genauer auf den Leistungssollwert geregelt werden kann. Dadurch kann ein unnötiges Überhitzen eines zu erwärmenden Mediums vermieden werden. Als Ergebnis können Schmutz- und Kalkablagerungen am Heizstab reduziert werden, was zu einer langfristigen Verbesserung des Wirkungsgrads des Heizstabs führt.

[0043] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Betreiben eines Heizstabs zur Warmwasserbereitung

und/oder als Wärmeerzeuger einer Heizung in einem Gebäude mittels elektrischer Energie umfasst die Schritte Bereitstellen eines Heizstabs, wobei der Heizstab einen oder mehrere Heizwiderstände umfasst; Bereitstellen eines Leistungssollwerts; und Steuern einer Energieversorgung eines Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände in Abhängigkeit des Leistungssollwerts mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenabschnittsteuerung oder Phasenabschnittsteuerung.

[0044] Das Verfahren hat den Vorteil, dass auf Grund der Kombination von Wellenpaketsteuerung und Phasenabschnittsteuerung, bzw. Phasenabschnittsteuerung eine Heizleistung des Heizstabs besonders präzise eingestellt werden kann. Des Weiteren kann dadurch die Heizleistung über einen größeren Heizleistungsbereich im Vergleich zu herkömmlichen Steuerungsverfahren wertkontinuierlich eingestellt werden, insbesondere ohne Flickergrenzwerte und Oberschwingungsgrenzwerte zu überschreiten. Flicker (Spannungsschwankungen) kann beispielsweise auf Grund einer Wellenpaketsteuerung und Oberschwingungen können insbesondere als Folge einer Phasenabschnittsteuerung, bzw. Phasenabschnittsteuerung auftreten.

[0045] In besonders vorteilhaften Ausführungsformen kann das Steuern der Energieversorgung (Energiezufuhr/Energiequelle) des Heizwiderstands in Abhängigkeit des Leistungssollwerts mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenabschnittsteuerung und Phasenabschnittsteuerung erfolgen.

[0046] In Ausführungsformen mit einem besonders weiten Anwendungsbereich kann das Verfahren einen Schritt Steuern einer Energieversorgung eines weiteren Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände durch Verbinden des weiteren Heizwiderstands mit einer Energieversorgung umfassen. Dadurch kann die Heizleistung des Heizstabs auf einfache Art und Weise innerhalb eines großen Heizleistungsbereichs vorzugsweise wertkontinuierlich eingestellt werden.

[0047] In besonders vorteilhaften Ausführungsformen kann das Verfahren einen Schritt Detektieren eines Nulldurchgangs eines Strom- und/oder Spannungsverlaufs der Energieversorgung umfassen. Das Steuern einer Energieversorgung eines Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände kann dann in Abhängigkeit des Leistungssollwerts mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenabschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung in Abhängigkeit eines detektierten Nulldurchgangs eines Strom- und/oder Spannungsverlaufs der Energieversorgung erfolgen. Dies hat den Vorteil, dass dadurch Oberschwingungen vermieden werden können.

[0048] In Ausführungsformen mit einer besonders präzisen Steuerung kann bei der Steuerung des Heizwiderstands die Energieversorgung des Heizwiderstands stufenlos geregelt werden, sodass eine Heizleistung P_1 des Heizwiderstands in einem Bereich zwischen einer minimalen Heizleistung $P_{1,min}$ und einer maximalen Heizleistung $P_{1,max}$ einem Wert in Abhängigkeit des Leistungs-

sollwertes entspricht.

[0049] In besonders vorteilhaften Ausführungsformen kann das Verfahren einen Schritt Verbinden eines weiteren Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände mit einer Energieversorgung in Abhängigkeit des Leistungssollwerts umfassen.

[0050] In besonders flexiblen Ausführungsformen kann das Verfahren die Schritte stufenloses Regeln einer Heizleistung P_1 des Heizwiderstands mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenabschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung in Abhängigkeit des Leistungssollwerts, und Verbinden weiterer Heizwiderstände der einen oder mehreren Heizwiderstände mit einer Energieversorgung in Abhängigkeit des Leistungssollwerts umfassen.

[0051] Das Regeln der Heizleistung P_1 des Heizwiderstands mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenabschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung in Abhängigkeit des Leistungssollwerts und das Verbinden weiterer Heizwiderstände mit Heizleistungen P_j mit $j \neq 1$ der einen oder mehreren Heizwiderstände mit einer Energieversorgung in Abhängigkeit des Leistungssollwerts kann beispielsweise mittels einer Nachschlagtabelle, in der beispielsweise obere und/oder untere Grenzwerte eingetragen sind, erfolgen. In manchen Ausführungsformen kann beispielsweise ein Zusammenhang zwischen einem Leistungssollwert und einer Steuerung oder einem Verbinden eines Heizwiderstands mit einer Heizleistung P_j der einen oder mehreren Heizwiderstände mittels einer oder mehrerer mathematischer Funktionen hergestellt werden.

Beschreibung der Figuren

[0052]

Fig. 1 zeigt schematisch einen Heizstab gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 2 zeigt schematisch einen Prozessfluss eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 3 zeigt schematisch einen Prozessflussplan eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 4 zeigt schematisch einen Heizstab gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 5 zeigt schematisch eine Übersicht über die Einhaltung von Flickergrenzwerten verschiedener Steuerungsverfahren in Abhängigkeit von Maximalleistungen.

Fig. 6 zeigt schematisch eine Übersicht über die Einhaltung von Flickergrenzwerten verschiedener Steuerungsverfahren in Abhängigkeit der Aussteu-

erung.

Fig. 7 zeigt eine Tabelle mit Oberschwingungsmessungen in Abhängigkeit einer prozentualen Aussteuerung und in Abhängigkeit einer Maximalleistung eines Heizwiderstands.

Fig. 8a zeigt beispielhaft eine Kombination der Wellenpaketsteuerung mit der Phasenanschnittsteuerung und/oder der Phasenabschnittsteuerung gemäß Ausführungsformen der Erfindung.

Fig. 8b zeigt beispielhaft eine Kombination der Wellenpaketsteuerung mit der Phasenanschnittsteuerung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

[0053] Fig. 1 zeigt schematisch einen Heizstab 10 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Der Heizstab 10 umfasst eine Steuerung 11 und einen Leistungssollwertgeber 12. Der Leistungssollwertgeber 12 stellt einen Leistungssollwert, der eine mittels des Heizstabs 10 zu erzeugende Heizleistung darstellt, der Steuerung 11 zur Verfügung. In manchen Ausführungsformen kann der Leistungssollwertgeber 12 dazu mit Sensoren und/oder Aktuatoren eines Heizungssystems verbunden sein. In manchen Ausführungsformen kann der Leistungssollwertgeber 12 eine Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) umfassen.

[0054] In manchen Ausführungsformen kann der Leistungssollwertgeber 12 Teil der Steuerung 11 sein. Die Steuerung ist mit einer Energieversorgung 16 verbunden. In manchen Ausführungsformen kann die Energieversorgung eine Stromquelle oder eine Spannungsquelle sein. Vorzugsweise ist die Energieversorgung eine Wechselspannungsquelle oder eine Wechselstromquelle. In bevorzugten Ausführungsformen ist die Energieversorgung 16 Teil eines (Strom-)Versorgungsnetzes. Die Energieversorgung 16 kann beispielsweise dazu eingerichtet sein eine Wechselspannung von etwa 220 bzw. 230 Volt zur Verfügung zu stellen. Die Wechselspannung kann vorzugsweise eine Frequenz von etwa 60 Hz bzw. 50 Hz haben.

[0055] Heizwiderstände können beispielsweise zusätzlich über Masse mit der Energieversorgung (Energiequelle) 16 zu einem Stromkreis verbunden sein.

[0056] Die Steuerung 11 ist mit einem ersten Heizwiderstand 13 und optional mit weiteren Heizwiderständen 14, 15 verbunden. Die Steuerung 11 ist dazu eingerichtet, den ersten Heizwiderstand 13 mit Energie der Energieversorgung 16 mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenanschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung in Abhängigkeit des Leistungssollwerts des Leistungssollwertgebers 12 zu versorgen. Ein Heizwiderstand der Heizwiderstände 13, 14, 15 kann beispielsweise U-förmig, insbesondere U-förmig mit einer Spirale am Verbindungsstück der Schenkel des U-förmigen Heizwiderstands, ausgebildet sein.

[0057] In manchen Ausführungsformen kann die Steu-

erung dazu eingerichtet sein, die Energieversorgung des Heizwiderstands 12 mittels Wellenpaketsteuerung, Phasenanschnittsteuerung und Phasenabschnittsteuerung in Abhängigkeit des Leistungssollwerts zu steuern.

[0058] In manchen Ausführungsformen kann die Steuerung dazu eingerichtet sein, einen weiteren Heizwiderstand des Heizstabs 10 mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenanschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung in Abhängigkeit des Leistungssollwerts des Leistungssollwertgebers 12 mit Energie der Energieversorgung 16 zu versorgen.

[0059] In manchen Ausführungsformen ist die Steuerung 11 dazu eingerichtet, beispielsweise einen weiteren Heizwiderstand 15 in Abhängigkeit des Leistungssollwerts des Leistungssollwertgebers 12 durch Verbinden des Heizwiderstands 15 mit der Energieversorgung 16 mit Energie zu versorgen.

[0060] In manchen Ausführungsformen kann die Steuerung dazu eingerichtet sein, Heizwiderstände 13, 14, 15 des Heizstabs 10 mittels verschiedener Leiter einer Energieversorgung, beispielsweise eines Drehstroms, mit elektrischer Energie zu versorgen.

[0061] In manchen Ausführungsformen kann die Steuerung dazu eingerichtet sein, Heizwiderstände des Heizstabs mittels eines Leiters der Energieversorgung 16 mit elektrischer Energie zu versorgen.

[0062] Bei der Phasenanschnittsteuerung kann nach einem Nulldurchgang einer Wechselspannung (eines Wechselstroms) der Energieversorgung solange ein Stromfluss vom/zum Heizwiderstand unterbunden werden, bis eine Phase der Wechselspannung (des Wechselstroms) einen vorgegebenen Phasenwert übersteigt, wobei der vorgegebene Phasenwert in Abhängigkeit des Leistungssollwerts festgelegt ist. Die Phase (Phasenwinkel) gibt die aktuelle Position im Ablauf eines periodischen Vorgangs an.

[0063] Bei der Phasenabschnittsteuerung kann nach einem Übersteigen einer Phase der Wechselspannung eines weiteren vorgegebenen Phasenwerts bis zu einem Erreichen eines Nulldurchgangs der Wechselspannung ein Stromfluss vom/zum Heizwiderstand unterbunden werden, wobei der weitere vorgegebene Phasenwert in Abhängigkeit des Leistungssollwerts festgelegt ist.

[0064] Bei der Wellenpaketsteuerung kann ein Stromfluss vom/zum Heizwiderstand für eine vorgegebene Anzahl an ganzen oder halben Perioden der Wechselspannung nach einem Nulldurchgang einer Wechselspannung (eines Wechselstroms) innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums unterbrochen sein, wobei der vorgegebene Zeitraum und die vorgegebene Anzahl an ganzen oder halben Perioden innerhalb des vorgegeben Zeitraums in Abhängigkeit des Leistungssollwerts festgelegt sind. Insbesondere kann ein Verhältnis zwischen der vorgegebenen Anzahl an ganzen oder halben Perioden innerhalb des vorgegebenen Zeitraums zu dem vorgegebenen Zeitraum in Abhängigkeit des Leistungssollwerts festgelegt sein.

[0065] Halbe und ganze Perioden, bei denen eine En-

ergieversorgung zu einem Heizwiderstand unterbrochen ist, können dabei innerhalb des Zeitintervalls von halben und ganzen Perioden, an denen eine Energieversorgung zu dem Heizwiderstand vorhanden ist, auf Grundlage von Algorithmen abgewechselt werden.

[0066] Fig. 2 zeigt schematisch einen Prozessfluss eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. In manchen Ausführungsformen können Schritte des Verfahrens vertauscht, modifiziert, parallel ausgeführt sowie in ihrer Reihenfolge verändert werden, ohne dass der Kern der Erfindung verloren geht. In manchen Ausführungsformen können Schritte geteilt oder zusammengefasst werden.

[0067] In einem ersten Schritt S21 wird ein Heizstab umfassend einen oder mehrere Heizwiderstände bereitgestellt. Ein Heizwiderstand kann beispielsweise U-förmig, insbesondere U-förmig mit einer Spirale am Verbindungsstück der Schenkel des U-förmigen Heizwiderstands, ausgebildet sein.

[0068] In einem weiteren Schritt S22 wird ein Leistungssollwert bereitgestellt. Dies kann beispielsweise basierend auf einer Wärmeanforderung einer Heizungsregelung, basierend auf einer Warmwasseranforderung einer Warmwassersteuerung, basierend auf einer Benutzereinstellung, etc. erfolgen.

[0069] In einem weiteren Schritt S23 wird eine Energieversorgung eines oder mehrerer Heizwiderstände der einen oder mehreren Heizwiderstände in Abhängigkeit des Leistungssollwerts mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenanschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung geregelt.

[0070] Die Schritte S24 und S25 sind jeweils optional und nicht voneinander abhängig. In einem Schritt S24 kann der Heizwiderstand in Abhängigkeit des Leistungssollwerts zusätzlich mittels Phasenabschnittsteuerung, bzw. mittels Phasenanschnittsteuerung geregelt werden. Dadurch können Oberschwingungen verringert werden.

[0071] In einem Schritt S25 können ein oder mehrere weitere Heizwiderstände in Abhängigkeit des Leistungssollwerts mit einer Energieversorgung verbunden werden.

[0072] Fig. 3 zeigt schematisch einen Prozessflussplan eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Das in Fig. 3 gezeigte Verfahren unterscheidet sich von dem in Fig. 2 gezeigten Verfahren dahingehend, dass nach dem Schritt S22 ein Schritt S31 Detektieren eines Nulldurchgangs eines Strom- oder Spannungsverlaufs der Energieversorgung eingefügt ist. Des Weiteren wird der Schritt S23 zum Schritt S23a geändert, nämlich dass das Steuern einer Energieversorgung eines Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände in Abhängigkeit des Leistungssollwerts mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenanschnittsteuerung oder Phasenabschnittsteuerung in Abhängigkeit des detektierten Nulldurchgangs eines Strom- und/oder Spannungsverlaufs der Energieversorgung (Energiequelle) erfolgt.

[0073] Analog kann der optionale Schritt S24 zu einem optionalen Schritt S24a geändert werden, nämlich dass das Steuern des Heizwiderstands in Abhängigkeit des Leistungssollwerts zusätzlich mittels Phasenabschnittsteuerung, bzw. mittels Phasenanschnittsteuerung in Abhängigkeit des detektierten Nulldurchgangs des Strom- und/oder Spannungsverlaufs der Energieversorgung erfolgen kann.

[0074] Des Weiteren kann der optionale Schritt S25 zu einem optionalen Schritt S25a geändert werden, nämlich dass das Verbinden eines weiteren Heizwiderstands in Abhängigkeit des Leistungssollwerts in Abhängigkeit des detektierten Nulldurchgangs des Strom- und/oder Spannungsverlaufs der Energieversorgung (Energiequelle) erfolgen kann.

[0075] Vorzugsweise kann das Steuern eines Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände in Abhängigkeit eines Nulldurchgangs eines Strom- und/oder Spannungsverlaufs einer Energiequelle erfolgen, mit der der Heizwiderstand verbunden ist/wird, bzw. von der der Heizwiderstand getrennt wird.

[0076] Fig. 4 zeigt schematisch einen Heizstab 40 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Der Heizstab 40 umfasst Heizwiderstände R1, R2, R3, R4, eine Steuerung 41 und einen Leistungssollwertgeber 42. In dieser Ausführungsform kann beispielsweise der Leistungssollwert des Leistungssollwertgebers 42 durch einen Benutzer über einen Drehregler festgelegt werden. In manchen Ausführungsformen kann der Leistungssollwert beispielsweise durch eine Heizungssteuerung, eine externe Einheit, durch eine Fernsteuerung, etc. festgelegt werden.

[0077] Der Heizwiderstand R1 kann beispielsweise eine maximale Heizleistung $P_{1,max}$ von 375 Watt haben. Der Heizwiderstand R2 kann beispielsweise ebenfalls eine maximale Heizleistung $P_{2,max}$ von 375 Watt haben. Die maximale Heizleistung $P_{3,max}$ des Heizwiderstands R3 kann beispielsweise 750 Watt und die maximale Heizleistung $P_{4,max}$ des Heizwiderstands R4 kann beispielsweise 1500 Watt betragen. Bei einer Dimensionierung der Heizwiderstände, wie eben beispielhaft gezeigt, wird

die Gleichung $P_{n,max} = \sum_{j=1}^{n-1} P_{j,max}$ erfüllt.

[0078] In manchen Ausführungsformen kann die Steuerung nur die Heizleistung P1 des Heizwiderstands R1 mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenanschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung steuern. In manchen Ausführungsformen kann die Steereinheit dazu eingerichtet sein, auch die Heizleistung weiterer Heizwiderstände, insbesondere durch ein Steuern der Energieversorgung, mittels Wellenpaketsteuerung, Phasenanschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung zu regeln.

[0079] Wie in Fig. 4 ersichtlich, kann eine Form eines Heizwiderstands eine oder mehrere Windungen bzw. Wicklungen 44 umfassen, siehe Form des Heizwider-

stands R4. Vorzugsweise sind einzelne Windungen bzw. Wicklungen 44 voneinander beabstandet, sodass eine Wärmeübertragung zu einem zu erhaltenden (zu erwärmenden) Medium besonders effizient erfolgen kann. Beispiele für ein zu erhaltendes (zu erwärmendes) Medium sind Wasser, Frostschutzmittel, (aufbereitetes) Heizungswasser, Brauchwasser, Grauwasser, eine Kombination davon, etc.

[0080] In Ausführungsformen, bei denen die Energieversorgung (Energiequelle) in Form eines Dreiphasenwechselstroms (Drehstroms) vorliegt, können die Heizwiderstände mit den Leitern des Dreiphasenwechselstroms so verschalten werden, dass eine möglichst gleichmäßige Lastverteilung auf die Leiter erfolgt.

[0081] Liegt eine Energieversorgung (Energiequelle) in Form eines Dreiphasenwechselstroms (Drehstroms) vor, so kann beispielsweise bei einem Leistungssollwert von unter 1500 Watt der erste Heizwiderstand R1 mit einem ersten Leiter des Dreiphasenwechselstroms, der zweite Heizwiderstand mit einem zweiten Leiter des Dreiphasenwechselstroms und der dritte Heizwiderstand R3 mit einem dritten Leiter des Dreiphasenwechselstroms verbunden sein.

[0082] Übersteigt der Leistungssollwert P_{soll} 1500 Watt, so kann beispielsweise der erste und der zweite Heizwiderstand R1, R2 mit einem ersten Leiter, der dritte Heizwiderstand R3 mit einem zweiten Leiter und der dritte Heizwiderstand R4 mit einem dritten Leiter des Dreiphasenwechselstroms verbunden sein. Dadurch kann eine einigermaßen gleichmäßige Lastverteilung auf die drei Leiter des Dreiphasenwechselstroms erreicht werden. Als Ergebnis werden Schiefelasten vermieden.

[0083] In manchen Ausführungsformen können die Heizwiderstände R1, R2, R3, R4 in einer Sternschaltung, wie beispielsweise in Figur 1 gezeigt, geschaltet sein. Vorteilhafterweise kann der Sternmittelpunkt mit einem Nullleiter verbunden sein. In manchen Ausführungsformen können die Heizwiderstände R1, R2, R3, R4 in einer Dreiecksschaltung verschalten sein. Dadurch kann eine höhere Spannung an den Heizwiderständen R1, R2, R3, R4 angelegt werden.

[0084] In manchen Ausführungsformen können alle Heizwiderstände des Heizstabs mit einem Leiter einer Energieversorgung, insbesondere in Form eines Dreiphasenwechselstroms, verbunden sein. Dies kann beispielsweise bei einem Einsatz von mehreren Heizstäben vorteilhaft sein.

[0085] Fig. 5 zeigt schematisch eine Übersicht über die Einhaltung von Flickergrenzwerten verschiedener Steuerungsverfahren in Abhängigkeit von Maximalleistungen. Linker Hand sind dabei die Maximalleistungen eines Heizwiderstands, d. h. der Heizwiderstand verbraucht bei einer direkten Verbindung zu einer Energieversorgung (ohne einer Steuerung mittels Phasenanschnittsteuerung und Wellenpaketsteuerung) die Energie von 2000 W, 1500 W, bzw. 750 W, gezeigt.

[0086] Die zweite Spalte bezieht sich auf eine Vollwellensteuerung, die dritte Spalte auf eine Halbwellensteuerung und die vierte Spalte auf eine Phasenanschnittsteuerung bezüglich dadurch im Versorgungsnetz erzeugter Spannungsschwankungen (Flicker)

erzeugung und die vierte Spalte auf eine Phasenanschnittsteuerung bezüglich dadurch im Versorgungsnetz erzeugter Spannungsschwankungen (Flicker)

[0087] Wie in Fig. 5 gezeigt ist eine Vollwellensteuerung bei einem Maximalwert eines Heizwiderstands von 750 Watt sowie bei 1500 Watt und 2000 Watt als sehr kritisch 51 anzusehen. Ebenso ist eine Halbwellensteuerung bei einer maximalen Heizleistung des Heizwiderstands von 2000 Watt und 1500 Watt als sehr kritisch 51 anzusehen. Hingegen bei einer maximalen Heizleistung von 750 Watt kann bei einer geeigneten Algorithmuswahl eine Halbwellensteuerung gegebenenfalls möglich sein 52.

[0088] Eine Phasenanschnittsteuerung ist hingegen unabhängig der maximalen Heizleistung des Heizwiderstands als unkritisch 53 anzusehen, insbesondere für die maximalen Heizleistungen des Heizwiderstands von 2000 Watt, 1500 Watt und 750 Watt.

[0089] Im Allgemeinen werden die Flickergrenzwerte bei einem Schwellwert von etwa 400W und kleineren Maximalleistungen eingehalten.

[0090] Fig. 6 zeigt schematisch eine Übersicht über die Einhaltung von Flickergrenzwerten verschiedener Steuerungsverfahren in Abhängigkeit der Aussteuerung. Die Ergebnisse basieren auf Simulationen mit Heizwiderständen mit einer maximalen Heizleistung von 500 Watt.

[0091] In Fig. 6 ist ersichtlich, dass bis zu einer 25%-igen Vollwellensteuerung nur unter besonderen Maßnahmen die normativen Grenzwerte eingehalten werden können. Bei einer Reduzierung der Heizleistung eines Heizwiderstands in einem Bereich zwischen 30 und 100% mittels Vollwellensteuerung überschreiten die Spannungsschwankungen die gesetzlichen Vorgaben.

[0092] Bei der Halbwellensteuerung können die normativen Vorgaben bis zu einer Heizleistung von 40% der maximalen Heizleistung eines Heizwiderstands eingehalten werden, siehe Bereich 53. In einem Bereich zwischen 45 bis 55% der maximalen Heizleistung können mittels der Halbwellensteuerung mit besonderen Maßnahmen, wie beispielsweise besonderen Algorithmen, die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten werden, siehe Bereich 52. In einem Bereich zwischen 60% und 100% der maximalen Heizleistung eines Heizwiderstands können die gesetzlichen Vorgaben nicht mehr eingehalten werden, siehe Bereich 51.

[0093] Wie bereits bekannt, wird durch eine Phasenanschnittsteuerung kein, bzw. kein wesentlicher, Flicker erzeugt, siehe Bereich 53.

[0094] Fig. 7 zeigt eine Tabelle mit Oberschwingungsmessungen in Abhängigkeit einer prozentualen Aussteuerung und in Abhängigkeit einer Maximalleistung eines Heizwiderstands. Aus Fig. 7 geht hervor, dass bei einem Heizwiderstand mit einer maximalen Leistung von 750 Watt sowohl bei einer Aussteuerung von 20% als auch bei einer Aussteuerung von 50% sowohl der Grenzwert der 13. Oberschwingung von 0,21 A als auch der Grenzwert der 15. Oberschwingung von 0,17 A eingehalten

wird.

[0095] Ebenso geht aus der Fig. 7 hervor, dass bei maximalen Leistungen von 1500 Watt oder 2000 Watt eines Heizwiderstands für verschiedene prozentuale Aussteuerungen (50%, 90%, 10%) sowohl der Grenzwert der 13. Oberschwingung von 0,21 A als auch der Grenzwert der 15. Oberschwingung von 0,17 A nicht eingehalten werden kann.

[0096] Fig. 8a zeigt beispielhaft eine Kombination der Wellenpaketsteuerung mit der Phasenanschnittsteuerung und/oder der Phasenabschnittsteuerung gemäß Ausführungsformen der Erfindung. In Fig. 8a ist ein Koordinatensystem 80 gezeigt. Auf der x-Achse ist ein Heizleistungssollwert P_{soll} eines Heizstabs aufgetragen. Auf der y-Achse ist ein Heizleistungswert P_{ist} aufgetragen. In dem Koordinatensystem ist eine Kurve einer Phasenanschnittsteuerung 81 und eine Kurve einer Wellenpaketsteuerung 82 ersichtlich. Des Weiteren ist eine Kurve 83 gezeigt, die eine mögliche Kombination der Phasenanschnittsteuerung 81 mit der Wellenpaketsteuerung 82 darstellen soll.

[0097] In Fig. 8a wird veranschaulicht, dass eine Wellenpaketsteuerung 82 nur diskrete Leistungswerte ansteuern kann. Auf Grund dessen weist die Kurve der Wellenpaketsteuerung 82 ein stufenförmiges Profil mit diskreten Werten auf. Aus Fig. 8a geht ebenfalls hervor, dass eine Wellenpaketsteuerung um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen, in einem Bereich 85 die Heizleistung über eine gewünschte Heizleistung P_{soll} regelt, um das Regelziel bestmöglich zu erreichen (minimaler Regelfehler). Die Kurve der Phasenanschnittsteuerung 81 hingegen bildet einen Leistungssollwert P_{soll} exakt auf einen Leistungswert P_{ist} wertidentisch ab.

[0098] Anhand der Kurve 83 lässt sich erkennen, dass bei der in der Fig. 8a gezeigten Ausführungsform eine Heizleistung eines Heizwiderstands mittels der Wellenpaketsteuerung so geregelt wird, dass ein Leistungssollwert P_{soll} als Regelziel festgelegt wird, ohne den Leistungssollwert P_{soll} zu überschreiten. Eine Differenz zwischen einem mittels der Wellenpaketsteuerung erzielten Leistungswert und dem Leistungssollwert P_{soll} wird mittels der Phasenanschnittsteuerung ausgeglichen, d.h. die Differenzleistung wird mittels der Phasenanschnittsteuerung im Heizwiderstand erzeugt.

[0099] Analog zur Kurve der Phasenanschnittsteuerung 81 verhält sich eine Phasenabschnittsteuerung. Folglich kann die Kurve 83 mittels einer Kombination der Wellenpaketsteuerung und der Phasenabschnittsteuerung und/oder der Phasenanschnittsteuerung erreicht werden.

[0100] In manchen Ausführungsformen kann die in Figur 8b gezeigte beispielhafte Steuerung umfassend eine Kombination der Wellenpaketsteuerung mit der Phasenanschnittsteuerung auf die in Figur 8a gezeigte beispielhafte Steuerung umfassend eine Kombination der Phasenanschnittsteuerung und der Wellenpaketsteuerung bezugnehmen.

[0101] Fig. 8b zeigt beispielhaft eine Kombination der

Wellenpaketsteuerung mit der Phasenanschnittsteuerung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Fig. 8b zeigt schematisch ein Koordinatensystem. Auf der x-Achse ist ein Phasenwert einer Wechselspannung einer Energieversorgung (Energiequelle) aufgetragen. Wenn eine Frequenz der Wechselspannung der Energieversorgung bekannt ist, kann die x-Achse entsprechend als Zeitachse skaliert werden. Auf der y-Achse ist ein Stromfluss I_{ist} durch einen Heizwiderstand gezeigt, der mittels Phasenanschnittsteuerung und Wellenpaketsteuerung in Abhängigkeit eines Leistungssollwerts gesteuert ist.

[0102] Die Wellenpaketsteuerung in diesem Ausführungsbeispiel ist eine Halbwellensteuerung, wobei die Periodendauer für das Steuerverfahren 5π (fünf Halbwellen) beträgt. Während der Halbwellen 82 ist der mittels Wellenpaketsteuerung und Phasenanschnittsteuerung gesteuerte Heizwiderstand mit der Energieversorgung auf Grund der Halbwellensteuerung verbunden, sodass ein Strom I_{ist} durch den Heizwiderstand fließt. Die angeschnittenen Halbwellen 81 sind auf die Phasenanschnittsteuerung zurückzuführen.

[0103] Dabei ist vor allem ersichtlich, dass in dieser Ausführungsform mittels der Wellenpaketsteuerung 82 eine Ist-Leistung unterhalb eines des Leistungssollwerts erzeugt wird und die Leistungsdifferenz zum Leistungssollwert mittels der Phasenanschnittsteuerung 81 im Heizwiderstand umgesetzt wird.

[0104] Besonders hervor zu heben ist, dass in diesem Ausführungsbeispiel nur eine Halbwellen 81 während der Periodendauer von fünf Halbwellen durch die Phasenanschnittsteuerung angeschnitten ist, wodurch ein Erzeugen von Oberwellen reduziert wird.

[0105] In manchen Ausführungsformen kann eine Halbwellen mittels Phasenanschnittsteuerung angeschnitten sein und eine weitere Halbwellen mittels Phasenabschnittsteuerung angeschnitten sein, insbesondere in Abhängigkeit des Leistungssollwerts P_{soll} . In manchen Ausführungsformen kann eine Halbwellen sowohl mittels Phasenanschnittsteuerung als auch mittels Phasenabschnittsteuerung angeschnitten sein, insbesondere in Abhängigkeit des Leistungssollwerts P_{soll} . In manchen Ausführungsformen kann das Anschneiden einer Halbwellen 81 in Abhängigkeit eines Algorithmus erfolgen. In besonders vorteilhaften Ausführungsformen können Halbwellen/Vollwellen keinen Anschnitt durch eine Phasenanschnittsteuerung und/oder durch eine Phasenabschnittsteuerung aufweisen. Dies hat den Vorteil, dass dadurch keine Oberwellen erzeugt werden.

[0106] Vorteilhafterweise werden positive (positiver Stromfluss I_{ist}) und negative (negativer Stromfluss I_{ist}) Halbwellen (möglichst ausgleichend) kombiniert. Dadurch kann ein Gleichstrom auf Grund eines Sättigungsverhältnisses von Transformatoren vermieden werden.

[0107] Als Ergebnis können mittels der Kombination der Wellenpaketsteuerung und der Phasenanschnittsteuerung die Heizleistung eines Heizwiderstands präzise auf einen Leistungssollwert P_{soll} geregelt werden. Die Steuerung des Heizwiderstands ist dabei dergestalt

ausgeführt, dass Flicker und Oberschwingungsgrenzwerte auf einfache Art und Weise eingehalten werden können, jedoch die Wärmeleistung eines Heizwiderstands über einen größtmöglichen Heizleistungsbereich kontinuierlich (wertkontinuierlich) eingestellt werden kann.

[0108] In manchen Ausführungsformen kann alternativ oder zusätzlich zur Phasenanschnittsteuerung eine Phasenabschnittsteuerung, um eine Wärmeleistung eines Heizwiderstands auf einen Leistungssollwert zu regeln, statt der Phasenanschnittsteuerung verwendet, bzw. mit der Phasenanschnittsteuerung kombiniert werden.

[0109] Vorzugsweise kann der Heizstab, bzw. das Verfahren zur Steuerung eines Heizstabs zur Warmwassererzeugung in einem Haus oder zur Heizung eines oder mehrerer Räume in einem Haus, insbesondere mit einem Anschluss zu einem (gesetzlich regulierten/normativ geregelten) elektrischen Energieversorgungsnetz (Stromversorgungsnetz / Netzversorgung) verwendet werden.

Patentansprüche

1. Heizstab zur Warmwasserbereitung und/oder als Wärmeerzeuger einer Heizung in einem Gebäude mittels elektrischer Energie umfassend:

- einen oder mehrere Heizwiderstände,
- einen Leistungssollwertgeber zum Bereitstellen eines Leistungssollwerts,
- eine Steuerung zum Steuern einer Energieversorgung des einen oder der mehreren Heizwiderstände in Abhängigkeit des Leistungssollwerts,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Steuerung dazu eingerichtet ist, eine Energieversorgung eines Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände in Abhängigkeit des Leistungssollwerts mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenanschnittsteuerung oder Phasenabschnittsteuerung zu steuern.

2. Heizstab gemäß Anspruch 1, wobei die Steuerung dazu eingerichtet ist, die Energieversorgung des Heizwiderstands mittels Wellenpaketsteuerung, Phasenanschnittsteuerung und Phasenabschnittsteuerung in Abhängigkeit des Leistungssollwerts zu steuern.
3. Heizstab gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die Steuerung dazu eingerichtet ist, eine Energieversorgung eines weiteren Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände mit elektrischer Energie durch Verbinden des weiteren Heizwiderstands mit einer Energieversorgung zu steuern.

4. Heizstab gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Steuerung dazu eingerichtet ist, Änderungen in der Energieversorgung eines Heizwiderstands in einem Nulldurchgang eines Strom- und/oder Spannungsverlaufs der Energieversorgung vorzunehmen.

5. Heizstab gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei eine maximale Heizleistung $P_{n,max}$ eines n-ten Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände folgendermaßen dimensioniert ist:

$$P_{n,max} \leq \sum_{j=1}^{n-1} P_{j,max}.$$

6. Heizstab gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei ein oder mehrere Heizwiderstände mittels Isolatoren von einem zu erheizenden Medium getrennt sind.

7. Heizstab gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Steuerung dazu eingerichtet ist, eine Energieversorgung eines ersten Heizwiderstands stufenlos so zu regeln, dass eine Heizleistung P_1 des Heizwiderstands in einem Bereich zwischen einer minimalen Heizleistung $P_{1,min}$ und einer maximalen Heizleistung $P_{1,max}$ einem Wert in Abhängigkeit des Leistungssollwertes des Leistungssollwertgebers entspricht.

8. Heizstab gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Steuerung dazu eingerichtet ist, durch Verbinden einer Energieversorgung mit einem weiteren Heizwiderstand eine konstante Heizleistung P_2 des zweiten Heizwiderstands einzustellen.

9. Heizstab gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Steuerung dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit des Leistungssollwerts des Leistungssollwertgebers eine Heizleistung P_1 des Heizwiderstands stufenlos mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenanschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung zu regeln, und in Abhängigkeit des Leistungssollwerts des Leistungssollwertgebers weitere Heizwiderstände der einen oder mehreren Heizwiderstände mit einer Energieversorgung zu verbinden.

10. Verfahren zum Betreiben eines Heizstabs zur Warmwasserbereitung und/oder als Wärmeerzeuger einer Heizung in einem Gebäude mittels elektrischer Energie umfassend die Schritte:

Bereitstellen eines Heizstabs, wobei der Heizstab einen oder mehrere Heizwiderstände umfasst;
Bereitstellen eines Leistungssollwerts;
Steuern einer Energieversorgung eines Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwider-

stände in Abhängigkeit des Leistungssollwerts mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenanschnittsteuerung oder Phasenabschnittsteuerung.

5

Verbinden weiterer Heizwiderstände der einen oder mehreren Heizwiderstände mit einer Energieversorgung in Abhängigkeit des Leistungssollwerts.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei das Steuern der Energieversorgung des Heizwiderstands in Abhängigkeit des Leistungssollwerts mittels Wellenpaketsteuerung, Phasenanschnittsteuerung und Phasenabschnittsteuerung erfolgt. 10

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11 umfassend einen Schritt:

Steuern einer Energieversorgung eines weiteren Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände durch Verbinden des weiteren Heizwiderstands mit einer Energieversorgung und/oder umfassend einen Schritt 15

Verbinden eines weiteren Heizwiderstand der einen oder mehreren Heizwiderstände mit einer Energieversorgung in Abhängigkeit des Leistungssollwerts. 20

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12 umfassend einen Schritt: 25

Detektieren eines Nulldurchgangs eines Strom- und/oder Spannungsverlaufs der Energieversorgung, wobei 30

das Steuern einer Energieversorgung eines Heizwiderstands der einen oder mehreren Heizwiderstände in Abhängigkeit des Leistungssollwerts mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenanschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung in Abhängigkeit eines detektierten Nulldurchgangs eines Strom- und/oder Spannungsverlaufs der Energieversorgung erfolgt. 35

40

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei bei der Steuerung des Heizwiderstands die Energieversorgung des Heizwiderstands stufenlos geregelt wird, sodass eine Heizleistung P_1 des Heizwiderstands in einem Bereich zwischen einer minimalen Heizleistung $P_{1,\min}$ und einer maximalen Heizleistung $P_{1,\max}$ einem Wert in Abhängigkeit des Leistungssollwertes entspricht. 45

50

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14 die Schritte:

Stufenloses Regeln einer Heizleistung P_1 des Heizwiderstands mittels Wellenpaketsteuerung und mittels Phasenanschnittsteuerung und/oder Phasenabschnittsteuerung in Abhängigkeit des Leistungssollwerts, und 55

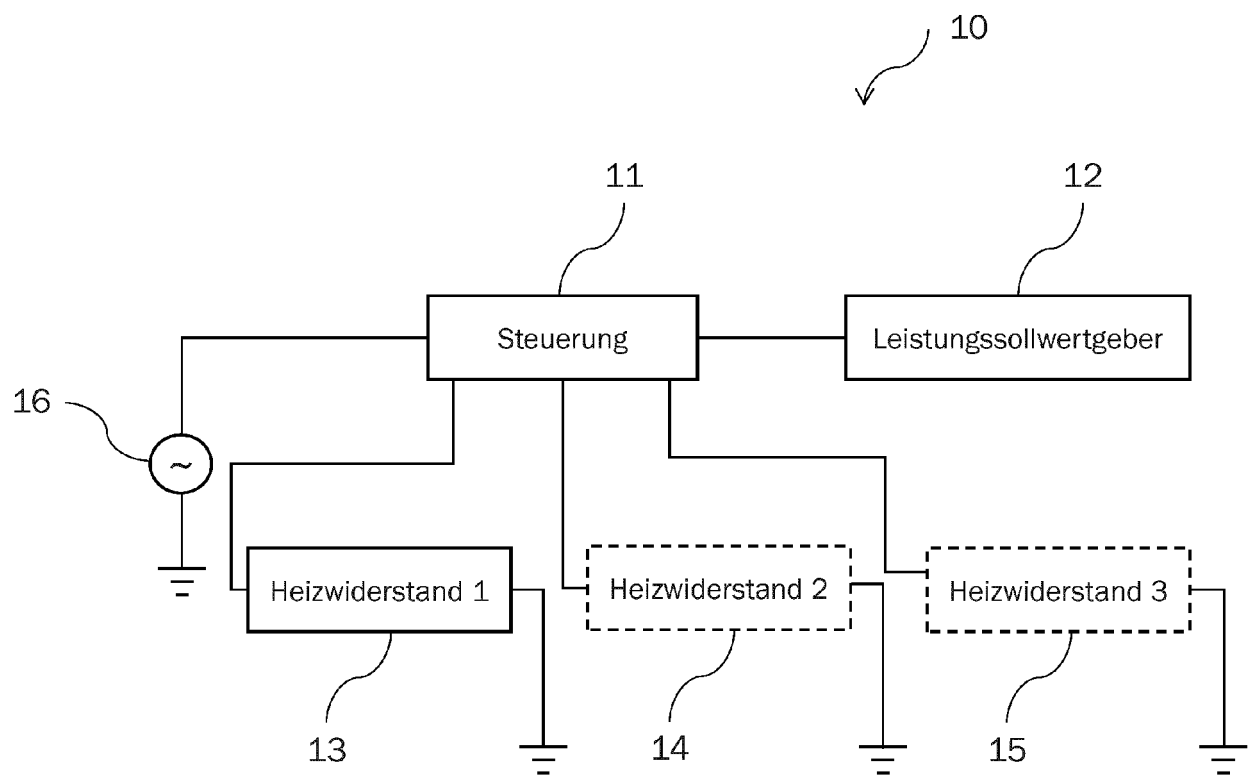


Fig. 1

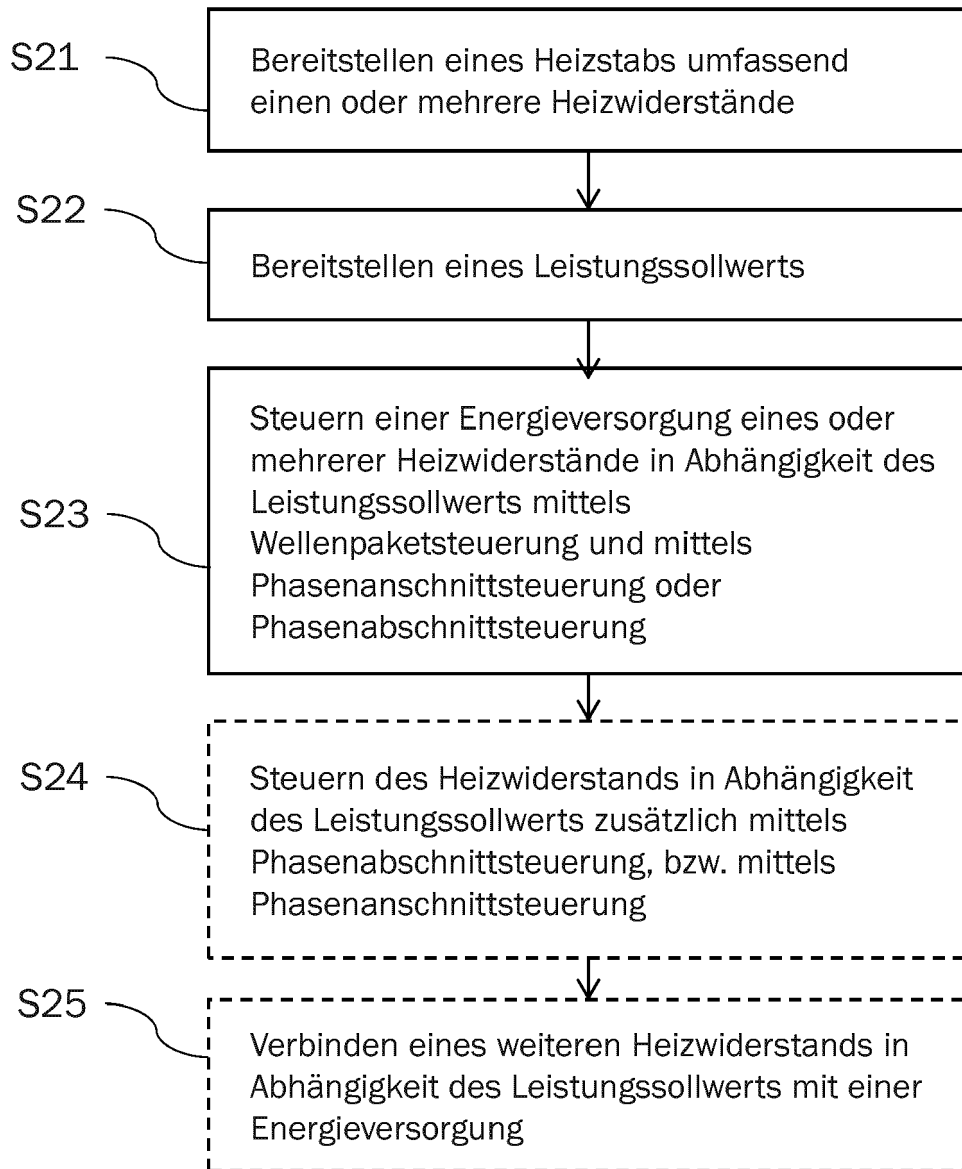


Fig. 2

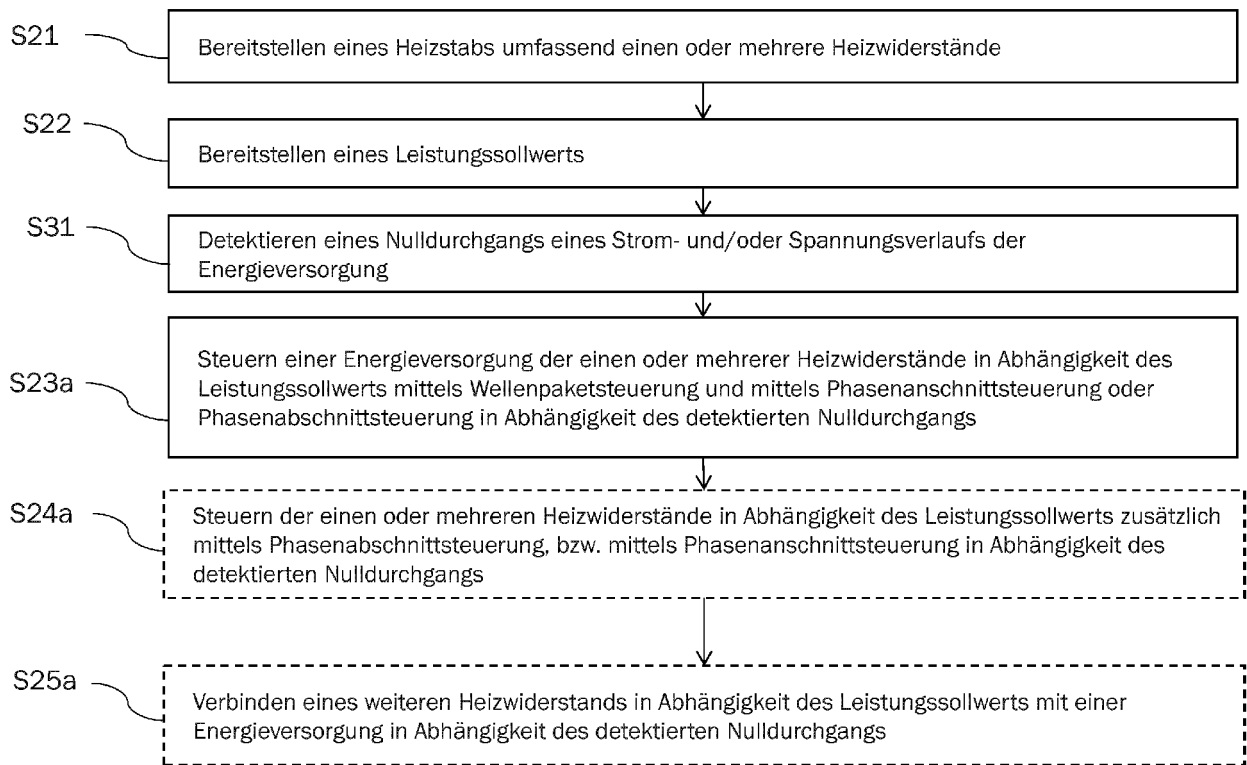


Fig. 3

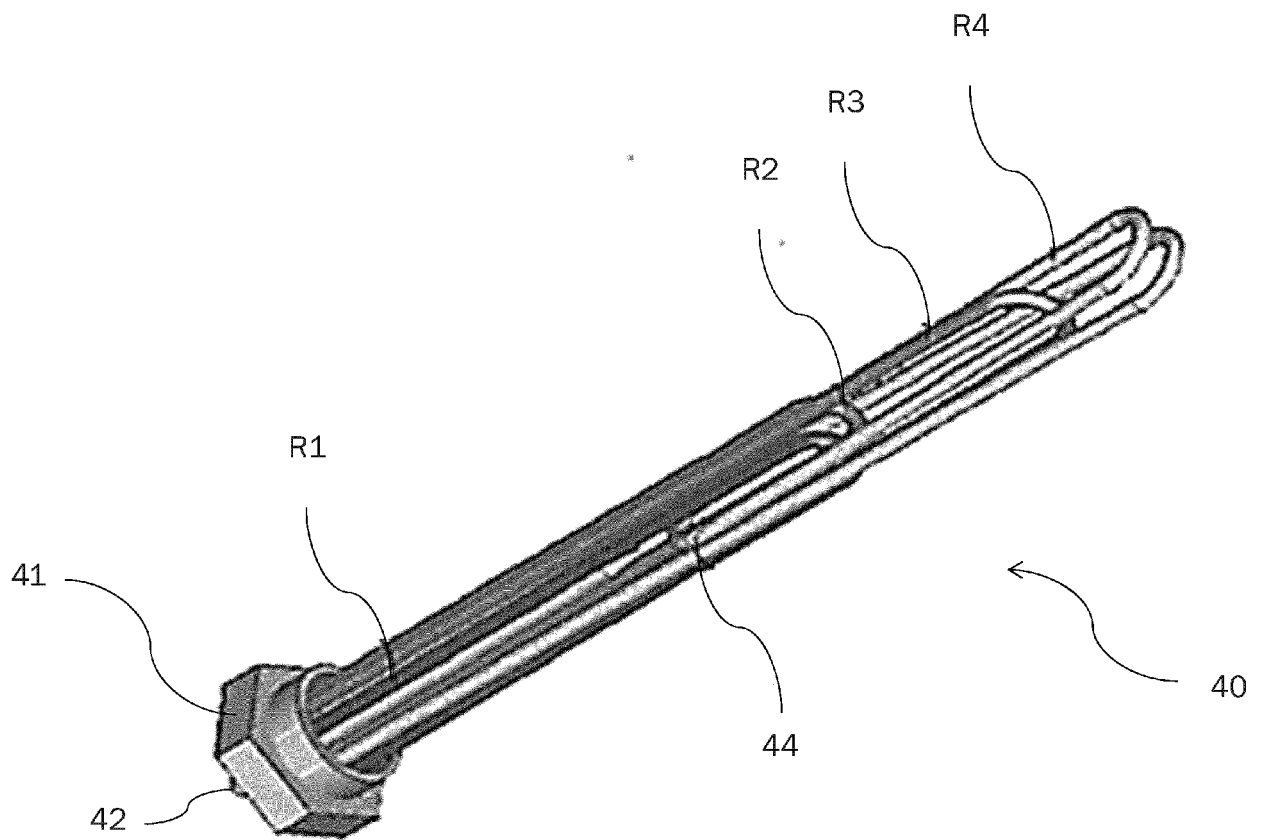


Fig. 4

	Wellenpaketsteuerung		Phasenanschnittsteuerung
	Vollwelle	Halbwelle	
2000 W			
1500 W			
750 W			

 51
 52
 53

Fig. 5

%	Vollwelle	Halbwelle	Phasenanschnitt
5			
10			
25			
30			
35			
40			
45			
50			
55			
60			
65			
70			
80			
90			
100			

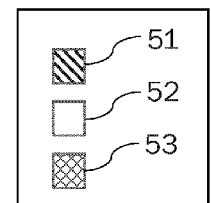


Fig. 6

prozentuale Aussteuerung [%]	Leistung Einzelwiderstand [W]	Pist [W]	13. OS [A]	13. OS Grenzwert [A]	15. OS [A]	15. Grenzwert [A]	L [μH]
20	750	215	0,125	0,21	0,11	0,17	350
50	750	430	0,145	0,21	0,14	0,17	350
50	1500	840	0,287	0,21	0,28	0,17	350
90	1500	1400	0,245	0,21	0,20	0,17	350
10	1500	260	0,234	0,21	0,20	0,17	350
50	2000	1117	0,401	0,21	0,40	0,17	350
50	2000	1150	0,398	0,21	0,39	0,17	700
50	2000	1150	0,392	0,21	0,38	0,17	1030
50	2000	1150	0,388	0,21	0,38	0,17	1360
50	1500	845	0,283	0,21	0,28	0,17	1360

Fig. 7

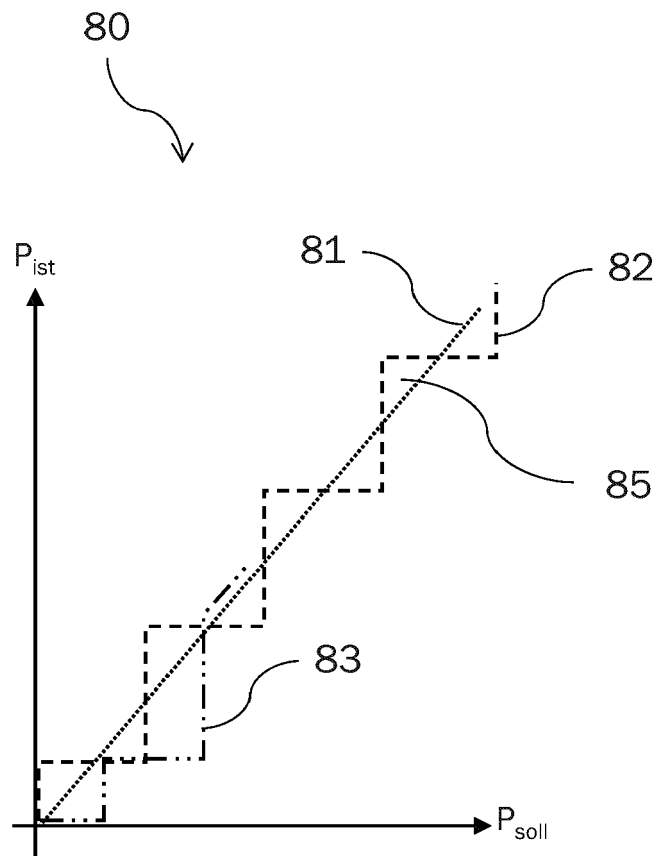


Fig. 8a

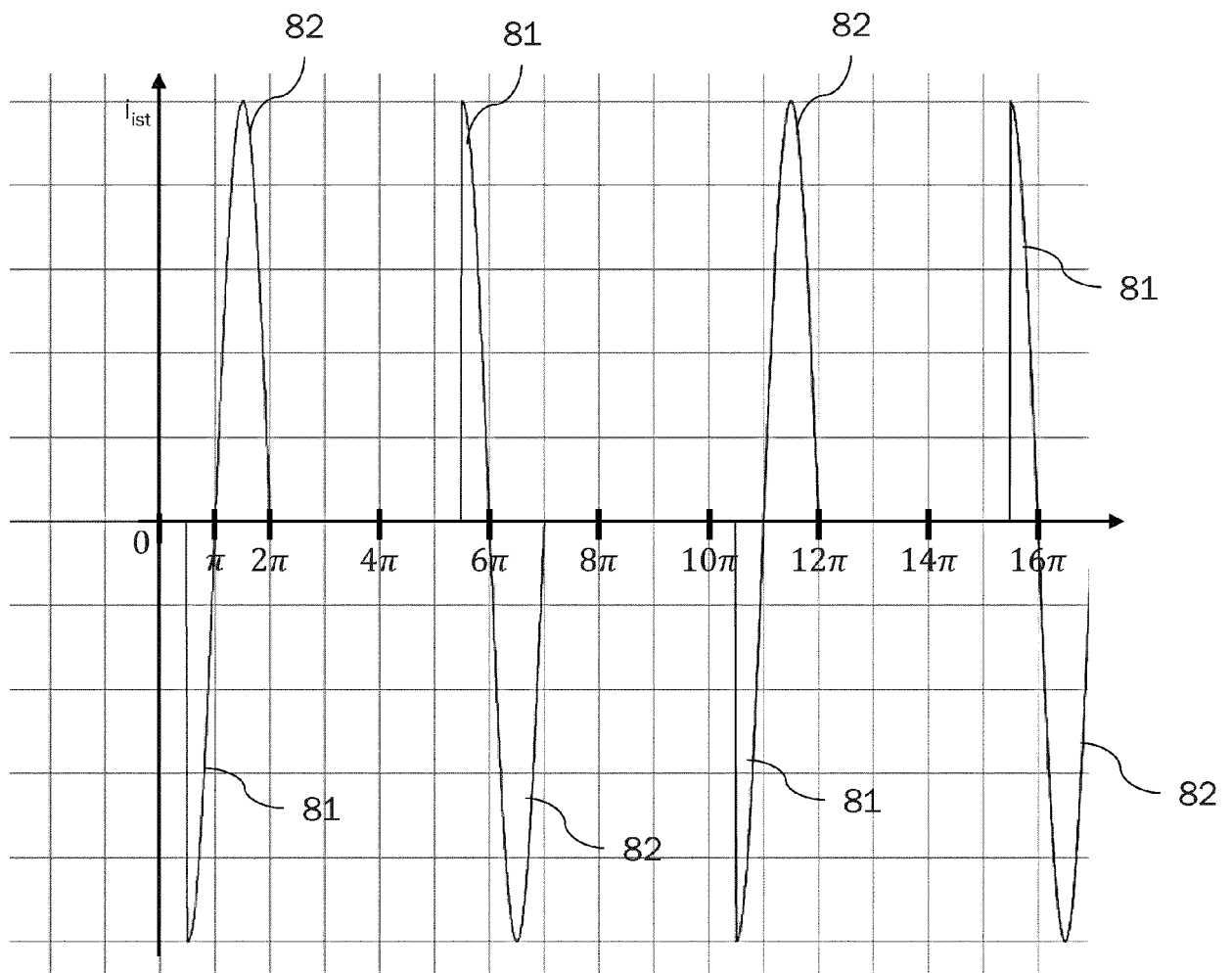


Fig. 8b



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 21 16 4076

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 197 45 317 A1 (FORBACH GMBH [DE]) 15. April 1999 (1999-04-15)	1,2,4, 10,11, 13,14	INV. F24H9/20
Y	* Seite 2, Zeile 26 - Seite 7, Zeile 48; Abbildungen 1-4 *	1-15	
Y	DE 10 2017 002193 A1 (BAUMKOETTER MANFRED [DE]) 13. September 2018 (2018-09-13) * Absatz [0008] - Absatz [0059]; Abbildungen 1-4 *	1-15	
A	WO 86/03036 A1 (VAILLANT JOH GMBH & CO [DE]) 22. Mai 1986 (1986-05-22) * das ganze Dokument *	1,2	
A	CH 668 878 A5 (VAILLANT GMBH) 31. Januar 1989 (1989-01-31) * das ganze Dokument *	1,2	
Y	DE 10 2016 108232 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 10. November 2016 (2016-11-10) * Absatz [0012] - Absatz [0075]; Abbildungen 1-8 *	8,9	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F24H
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 10. September 2021	Prüfer Ast, Gabor
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 21 16 4076

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.

10-09-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19745317 A1	15-04-1999	KEINE	
DE 102017002193 A1	13-09-2018	KEINE	
WO 8603036 A1	22-05-1986	EP 0201573 A1 WO 8603036 A1	20-11-1986 22-05-1986
CH 668878 A5	31-01-1989	AT 402990 B CH 668878 A5	27-10-1997 31-01-1989
DE 102016108232 A1	10-11-2016	CN 106131978 A DE 102016108232 A1 US 2016325602 A1	16-11-2016 10-11-2016 10-11-2016

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 3304322 A1 [0006]