



(11)

**EP 3 169 138 A1**

(12)

# EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**17.05.2017 Patentblatt 2017/20**

(51) Int Cl.: **H05B 6/06** (2006.01) **H05B 6/10** (2006.01)  
**E01B 7/24** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15003251.4**

(22) Anmeldetag: **16.11.2015**

(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:  
**MA MD**

(71) Anmelder: **IFF GmbH**  
**85737 Ismaning (DE)**

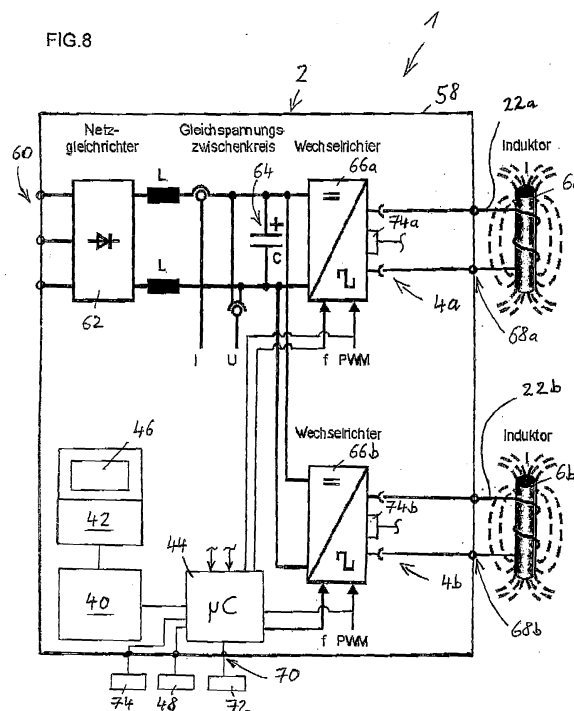
(72) Erfinder: **Mazac, Karel**  
**D-86316 Friedberg (DE)**

(74) Vertreter: **Wiedemann, Markus**  
**Patentanwalt**  
**Ludwigstrasse 1**  
**86150 Augsburg (DE)**

(54) **INDUKTIVE HEIZVORRICHTUNG MIT ADAPTIVER MEHR-PUNKT-TEMPERATURREGELUNG**

(57) Die Erfindung betrifft eine induktive Heizvorrichtung (1), welche einen von einer Spannungsquelle gespeisten Generator (2) sowie wenigstens einen Induktor (6) beinhaltet, wobei der Generator (2) als Baugruppen wenigstens einen Netzgleichrichter (62), wenigstens einen Mikroprozessor (44), wenigstens eine Ladeeinrichtung (64) sowie wenigstens einen Wechselrichter (66a, 66b) umfasst und die Baugruppen des Generators (2) in einem Generatorgehäuse (58) untergebracht sind, der durch die elektronische Steuerung (44) gesteuerte Generator (2) über eine Leitungsverbindung (22a, 22b) wenigstens einen wenigstens eine Induktionsspule enthaltenden, zur Befestigung an einem zu beheizenden, elektrisch leitfähigen Körper (8, 10) vorgesehenen Induktor (6) mit Wechselstrom versorgt, und aufgrund der mit dem Wechselstrom gespeisten Induktionsspule (56) des Induktors (6) in dem zu beheizenden, elektrisch leitfähigen Körper durch elektromagnetische Induktion ein Strom induziert wird, welcher den zu beheizenden Körper erwärmt, und in dem Mikroprozessor (44) Algorithmen für die Steuerung oder die Regelung der Leistung des Generators (2) abhängig von einer Führungsgröße ( $T_{\text{ext}}$ ) implementiert sind.

Gemäß der Erfindung ist eine Mehr-Punkt-Temperaturregelung mit Startmodus und Betriebsmodus vorgesehen, welche bewirkt, dass vorzugsweise eine Innentemperatur und/oder eine Induktortemperatur innerhalb eines vorbestimmten Temperaturbereichs gehalten werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine induktive Heizvorrichtung, welche einen von einer Spannungsquelle gespeisten Generator sowie wenigstens einen Induktor beinhaltet, gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

**[0002]** Eine solche induktive Heizvorrichtung ist aus EP 2 720 513 B1 beispielsweise als induktive Weichen-/oder Schienenheizvorrichtung bekannt. Weichen- und/oder Schienenheizvorrichtungen dienen dazu, wenigstens einen Abschnitt einer Schiene oder eines aus zwei parallelen Schienen bestehenden Schienenstrangs und/oder eine Weiche frei von Eis und Schnee zu halten, um eine Eisbildung auf Oberflächen von Schienen oder Weichen generell zu vermeiden oder ein Festfrieren von beweglichen Elementen einer Weiche zu verhindern.

**[0003]** Induktive Heizvorrichtungen nutzen Effekte der elektromagnetischen Induktion, wonach durch Wechselbestromung einer oder mehrerer Spulen eines Induktors in dem elektrisch leitfähigen Körper, z.B. einer Schiene oder Weiche elektrische Ströme induziert werden, durch welche sich die betreffende Schiene oder Weiche aufheizen und damit von Eis und Schnee befreien oder befreit halten. Der Induktor gibt seine relativ niedrige Verlustwärme nahezu im vollen Umfang an die Schiene oder Weiche ab, was zur Einsparung von elektrischer Energie beiträgt. Für die Wirkung ist daher kein direkter oder enger Kontakt des Induktors mit der Schiene oder Weiche notwendig.

**[0004]** In der gattungsgemäßen EP 2 720 513 B1 ist eine Zwei-Punktsteuerung verwirklicht. Der Ablauf erfolgt folgendermaßen; Nachdem der Generatoreingang mit dem Wechselstromnetz verbunden wurde, führt die Steuerung selbstständig den Generatorhochlauf im Rahmen eines Startmodus durch. Ist dieser beendet, so startet die Steuerung automatisch den Heizvorgang im Rahmen des Betriebsmodus. Da der Vorgang auch bei sehr niedrigen Außentemperaturen erfolgen kann, ist es für alle Halbleiter vom Vorteil, den Laststrom bzw. die Heizleistung langsam zu erhöhen. Dies passiert über eine einstellbare Zeit während der die Leistung von einem niedrigen Wert - praktisch von Null an - auf einen relativ hohen Wert erhöht wird. Hierbei kann es sich um einen Wert handeln, der oberhalb der Dauerleistungsfähigkeit des Generators liegt. Deshalb wird nach einer bestimmten Zeit die Leistung sprunghaft oder kontinuierlich auf die vorher abgestimmte Dauerleistung abgesenkt. Reicht diese Dauerleistung nicht aus - z.B. bei einem starken Schneefall - muss der Generator ausgeschaltet und wieder eingeschaltet werden um wieder in den Genuss der höheren Anfangsleistung zu kommen. Wird der Generator durch die übergeordnete Steuerung aus- und wieder eingeschaltet, so handelt es sich um einen normalen Ablauf und keinen Fehlermodus. Würde der Generator mit hoher Leistung über einen längeren Zeitraum betrieben, dann schaltet ein Temperaturschalter die Heizvorrichtung aus, welche sich dann im Fehlermodus befindet. In einem solchen Fall ist es notwendig, die Fehlerursache zu finden, zu beseitigen und (soweit möglich) die Fehlermeldung zurück zu setzen. Dies ist aber umständlich und wegen der entfernten Lage der Heizvorrichtung am Schienenstrang von einer Steuerzentrale nicht oder nicht sofort möglich.

lerursache zu finden, zu beseitigen und (soweit möglich) die Fehlermeldung zurück zu setzen. Dies ist aber umständlich und wegen der entfernten Lage der Heizvorrichtung am Schienenstrang von einer Steuerzentrale nicht oder nicht sofort möglich.

**[0005]** Eine weitere Ursache für Betriebsunterbrechungen der bekannten Heizvorrichtung stellt auch eine thermische Überlastung des Generators dar. Dabei erfolgt eine komplette Abschaltung des Generators. Solche Unterbrechungen sind unerwünscht, weil sie einen aktiven Eingriff von Bedienpersonal nach sich ziehen, was aber wegen der entfernten Lage der Heizvorrichtung am Schienenstrang von einer Steuerzentrale nicht oder nicht sofort möglich ist.

**[0006]** Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der Erfindung darin, eine Heizvorrichtung der eingangs erwähnten Art derart fortzubilden, dass sie eine höhere Verfügbarkeit aufweist.

**[0007]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale von Patentanspruch 1 gelöst.

## Offenbarung der Erfindung

**[0008]** Die Erfindung basiert auf dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion, wobei in der Umgebung eines mit Wechselstrom durchflossenen Leiters, hier insbesondere Leitungsdrahtwindungen eines Induktors, ein elektromagnetisches Feld entsteht, das in anderen elektrischen Leitern, hier der zu beheizende elektrisch leitfähige Körper wie z.B. eine Schiene oder Weiche bzw. Weichenbauteile eines Schienenstrangs für Schienenfahrzeuge, die sich innerhalb dieses elektromagnetischen Felds befinden bzw. von den magnetischen Feldlinien dieses elektromagnetischen Felds erfasst werden, elektrische Ströme hervorruft. Diese in dem elektrisch leitfähigen Körper z.B. der Schiene oder in den Weichenbauteilen induzierten Ströme verursachen eine Erwärmung des elektrisch leitfähigen Körpers. Es handelt sich dabei um das bekannte Induktionsprinzip.

**[0009]** Je enger die Kopplung zwischen dem Induktor und dem elektrisch leitfähigen Körper, desto kleiner sind die Streufelder und die Effizienz der Übertragung steigt und die induzierten Ströme haben klar definierte Bahnen. Der Wirkungsgrad ist dabei umso höher, desto enger die Kopplung zwischen dem Induktor und dem elektrisch leitfähigen Körper ist. Die induzierten Ströme heißen dabei Wirbelströme (eddy currents) unabhängig von Kopplungsgrad. Bei größerem Abstand ist die induzierte Stromdichte kleiner und damit die Erwärmung geringer und zusätzlich schließt sich hier ein Teil des Feldes über die Luftstrecken und geht damit für die Applikation verloren. Die Erwärmung des elektrisch leitfähigen Körpers erfolgt auf der Basis der Joule'schen Verluste.

**[0010]** Vor diesem Hintergrund ist gemäß der Erfindung vorgesehen, dass

e) eine mit dem Mikroprozessor signalleitend verbundene Sensoreinrichtung vorgesehen ist, welche

wenigstens eine im Inneren des Generatorgehäuses herrschende Innentemperatur und/oder die Induktortemperatur des wenigstens einen Induktors als Messtemperatur(en) misst und in den Mikroprozessor einsteuert, wobei

f) in dem Mikroprozessor implementierten Algorithmen ein Temperaturbereich zwischen einem unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  und einem oberen Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  für die Messtemperatur vorgegeben ist, wobei

g) der elektrische Generator derart von dem Mikroprozessor gesteuert ist, dass

g1) im Rahmen eines Startmodus nach einem Einschalten des Generators die Leistung PW des Generators ausgehend von einer Startleistung PW Start über eine vorgegebene erste Zeitspanne  $t_1$  rampenartig auf eine demgegenüber höhere erste Leistung PW1 erhöht wird, welche kleiner oder gleich einer maximalen Leistung PW max des Generators ist, und

g2) diese erste Leistung PW1 über eine vorgegebene zweite Zeitspanne  $t_2$  konstant gehalten wird, und dann

g3) die Leistung PW des Generators sprunghaft auf eine demgegenüber niedrigere zweite Leistung PW2, die aber größer als die Startleistung PW Start ist, abgesenkt wird, und dann

g4) der Generator solange unter der zweiten Leistung PW2 betrieben wird, bis die Messtemperatur den unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  erreicht hat, und dann

g5) im Rahmen eines Betriebsmodus

g5.1) die Leistung PW des Generators rampenartig erhöht wird, bis eine vorgegebene, gegenüber der zweiten Leistung PW2 größere dritte Leistung PW3 erreicht wird, welche kleiner oder gleich in Bezug zur ersten Leistung PW1 ist, und dann

g5.2) der Generator solange unter der dritten Leistung PW3 betrieben wird bis die Messtemperatur den oberen Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  erreicht hat, und dann

g5.3) die Leistung PW des Generators sprunghaft auf die zweite Leistung PW2 abgesenkt wird, und dann

g5.4) der Generator solange unter der niedrigeren zweiten Leistung PW2 betrieben

wird, bis die Messtemperatur den unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  erreicht hat, und dann

g5.5) die Schritte g5.1) bis g5.4) zyklisch wiederholt werden.

**[0011]** Bevorzugt ist der Mikroprozessor zur Steuerung oder Regelung der elektrischen Leistung des Generators durch Variieren der Frequenz  $f$  und/oder der Pulsweite PW des in den wenigstens einen Induktor eingespeisten Wechselstroms ausgebildet. Bevorzugt wird allerdings die Frequenz  $f$  konstant gehalten und lediglich die Pulsweite PW herangezogen. Aus diesem Grund wird als Abkürzung für die Leistung PW des Generators das gleiche Kürzel PW wie für die Pulsweite verwendet.

**[0012]** Mit anderen Worten überwachen die Sensoreinrichtung zusammen mit dem Mikroprozessor die im Inneren des Generatorgehäuses herrschende Innentemperatur und/oder die Induktortemperatur des wenigstens einen Induktors als Messtemperatur(en), wobei der Mikroprozessor überprüft, ob diese Messtemperatur(en) innerhalb eines Temperaturbereichs zwischen einem unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  und einem oberen Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  liegt.

**[0013]** Dabei unterscheidet die Erfindung zwischen einem Startmodus und einem Betriebsmodus, wobei der Startmodus und der zeitlich nachfolgende Betriebsmodus nach jedem Einschalten oder Bestromen des Generators automatisch ablaufen.

**[0014]** Der Startmodus bietet den Vorteil, dass durch ihn eine relativ schnelle Erwärmung des zu beheizenden Körpers innerhalb der ersten Zeitspanne  $t_1$  und der zweiten Zeitspanne  $t_2$  erzielt wird, da die dann erreichte erste Leistung PW1 relativ hoch ist. Bevorzugt entspricht die erste Leistung PW1 der maximalen Leistung PW max des Generators. Die Startleistung PW Start, von welcher aus beim Einschalten des Generators die Leistung PW erhöht wird, beträgt beispielsweise 25 % der maximalen Leistung PWmax.

**[0015]** Der Bereich zwischen der Startleistung PW Start und beispielsweise dem halben Wert der ersten Leistung PW1 für den (in diesem Bereich einstellbaren) Wert für die zweite Leistung PW2 stellt einen Erfahrungswert dar, mit welchem sichergestellt wird, dass die untere Grenztemperatur  $T_{low}$  von der Messtemperatur nach einiger Zeit erreicht werden kann.

**[0016]** Im Laufe des anschließenden Betriebsmodus wird dann die zunächst auf die zweite Leistung PW2 abgesenkte Leistung PW des Generators auf die demgegenüber größere dritte Leistung PW3 erhöht, welche kleiner oder gleich in Bezug zur ersten Leistung PW<sub>1</sub> ist, und dann der Generator solange unter der dritten Leistung PW3 betrieben, bis die Messtemperatur den oberen Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  erreicht hat. Mit diesem Schritt wird erreicht, dass die Heizleistung in Bezug auf die tolerierbare Wärmebelastung des Generators möglichst hoch ist. Der Wert für die dritte Leistung PW3 ist

insbesondere im Hinblick auf den Energieverbrauch und die Wärmebelastung des Induktors festzulegen. Vorzugsweise ist die dritte Leistung  $PW_3$  kleiner als die erste Leistung  $PW_1$ .

**[0017]** Wenn dann nach einiger Betriebszeit des Generators unter der dritten Leistung  $PW_3$  der obere Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  erreicht wird, sorgt die anschließende sprunghafte Absenkung auf die zweite Leistung  $PW_2$  dafür, dass Schädigungen des Generators durch zu hohe Temperaturen vermieden werden.

**[0018]** Betrieben wird der Generator dann solange unter der niedrigeren zweiten Leistung  $PW_2$  bis die Messtemperatur den unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  erreicht hat. Durch eine geeignete Wahl der zweiten Leistung  $PW_2$  innerhalb des genannten Bereichs kann dies sichergestellt werden.

**[0019]** Um eine möglichst hohe Heizleistung des Generators in Bezug auf die tolerierbare Wärmebelastung des Generators und/oder des wenigstens einen Induktors zu erreichen, wird in dem anschließenden Schritt die Leistung  $PW$  des Generators ausgehend von der zweiten Leistung  $PW_2$  rampenartig erhöht bis wiederum die dritte Leistung  $PW_3$  erreicht wird.

**[0020]** Wenn dann im Betrieb des Generators unter der dritten Leistung  $PW_3$  wiederum die Messtemperatur den oberen Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  erreicht hat, dann wird die Leistung  $PW$  des Generators wiederum sprunghaft auf die zweite Leistung  $PW_2$  abgesenkt.

**[0021]** Infolgedessen wird im Betriebsmodus des Generators wiederholt ein Zyklus durchlaufen, der einen Betrieb des Generators in einem Temperaturbereich zwischen dem unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  und dem oberen Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  gewährleistet, in welchem keine Temperaturschädigungen des Generators und/oder des wenigstens einen Induktors zu befürchten sind und/oder kein unerwünschtes Abschalten erfolgt. Dieser Zyklus bzw. der Betriebsmodus wird erst nach Abschalten des Generators beendet. Mithin wird eine adaptive Mehr-Punkt-Temperaturregelung verwirklicht, wobei die Regelpunkte durch Temperaturgrenzwerte gebildet werden.

**[0022]** Während des Startmodus kann daher die Messtemperatur stark erhöht werden, so dass es zu einem Effekt ähnlich wie bei Widerstandsstäben kommt, dem sogenannte "super boost". Je nach Ausführung der Induktoren kann die Messtemperatur auch  $100^\circ\text{C}$  überschreiten. Danach geht die Steuerung bzw. Regelung der Heizeinrichtung automatisch in den Betriebsmodus und damit in das "Temperatur-Grenzwertsystem". Dieser Übergang kann zeitabhängig und/oder abhängig von der Messtemperatur erfolgen.

**[0023]** Die Induktortemperatur als zusätzliche oder alternative Messtemperatur in Bezug auf die Innentemperatur des Generators ist vor allem im Startmodus "super boost" vorteilhaft, da die Induktoren dann eine Temperatur von mehr als  $100^\circ\text{C}$  erreichen können. Die Induktortemperatur und/oder die Innentemperatur des Generators wird (werden) dann von dem Algorithmus des Mi-

crocomputers verarbeitet. Insbesondere Letzteres ist von Vorteil, da im Startmodus die Induktortemperatur schneller steigt bzw. fällt als die Innentemperatur des Generators. Dies würde daher eine größere Entlastung des Generators zur Folge haben.

**[0024]** Aufgrund der erfindungsgemäßen Maßnahmen kann nun nicht mehr der eingangs beschriebene Fall eintreten, dass der Generator aufgrund eines einmaligen Überschreitens einer absoluten oberen Temperaturgrenze  $T_{abs}$  automatisch abgeschaltet wird, welche einen festen Wert darstellt und im Rahmen eines Überlastungsschutzes des Generators und/oder des Induktors vorgesehen ist. Da die erfindungsgemäße Temperaturüberwachung der induktiven Heizvorrichtung automatisch und selbstständig erfolgt und dabei der Generator auch ständig in Betrieb bleibt, kann das Wartungspersonal von einer Wiederinbetriebnahme aufgrund von thermischer Überlast befreit werden, was insbesondere im Hinblick auf induktive Weichen- und/oder Schienenheizvorrichtungen von Vorteil ist, bei welchen die Generatoren/Induktoren meist weit entfernt von der nächsten Wartungsstation angeordnet sind. Dadurch werden auch Fehlermeldungen, die zu einem Abschalten des Generators führen würden, weitgehend vermieden. Insgesamt ist daher der Wartungsaufwand für die erfindungsgemäße induktive Heizeinrichtung vorteilhaft niedrig.

**[0025]** Insbesondere arbeitet die Erfindung völlig unabhängig von der führungsgroßenbasierten Steuerung oder Regelung der Leistung des Generators, welche ein vollständiges Abschalten (Entstromen) oder Einschalten (Bestromen) des Generators beinhalten kann.

**[0026]** Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

**[0027]** Besonders bevorzugt ist mit dem Mikroprozessor kommunizierende Bedieneinrichtung vorgesehen, über welche wenigstens ein Wert für die erste Zeitspanne  $t_1$ , ein Wert für die zweite Zeitspanne  $t_2$ , ein Wert für die Startleistung  $PW_{Start}$ , ein Wert für die erste Leistung  $PW_1$ , ein Wert für die zweite Leistung  $PW_2$  und/oder ein Wert für die dritte Leistung  $PW_3$  in den Mikroprozessor einsteuerbar ist. Dadurch kann die Temperaturüberwachung der induktiven Heizeinrichtung flexibel an die jeweilige konstruktive Ausführung bzw. an die Umgebungsverhältnisse angepasst werden. Weiterhin sind dadurch auch der Energieverbrauch und die thermische Belastung der induktiven Heizvorrichtung steuerbar. Diese Bedieneinrichtung kann insbesondere mit dem Generator integral ausgeführt bzw. in das Generatorgehäuse integriert sein.

**[0028]** Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung umfasst die Sensoreinrichtung wenigstens einen Temperatursensor, welcher die Temperatur des wenigstens einen Wechselrichters des Generators als Messtemperatur erfasst und in den Mikroprozessor einsteuert. Dies kann beispielsweise dadurch realisiert sein, dass die Temperatur an einem Kühlkörper des Wechselrichters erfasst wird, welche dann eine (zu überwachende) Innentemperatur des Generators darstellt. Es hat sich nämlich her-

ausgestellt, dass insbesondere der Wechselrichter eine Baugruppe innerhalb des Generatorgehäuses darstellt, welche im Betrieb des Generators eine relativ hohe Temperatur erreichen kann und daher eine solche Überwachung rechtfertigt.

**[0029]** Weiterhin kann in dem Mikroprozessor implementierten Algorithmen eine absolute obere Grenztemperatur  $T_{abs}$  als Wert für eine Temperatur in dem Sinne vorgegeben sein, welche maximal von der/den Messtemperaturen erreicht werden darf. Diese absolute obere Grenztemperatur  $T_{abs}$  stellt im Gegensatz zur oberen Grenztemperatur  $T_{high}$ , welche zwar vorgegeben, aber durch Voreinstellung variierbar ist, einen unveränderbaren Wert dar und ist insbesondere größer als die obere Grenztemperatur  $T_{high}$ . Falls die Messtemperatur(en) diese absolute obere Grenztemperatur  $T_{abs}$  erreicht oder überschreitet, so ist der Mikroprozessor insbesondere ausgebildet, dass er den Generator generell abschaltet.

**[0030]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Maßnahme kann der Mikroprozessor zur Steuerung oder Regelung der elektrischen Leistung des Generators durch Variieren der Frequenz  $f$  und/oder der Pulsweite  $PW$  des in den wenigstens einen Induktor eingespeisten Wechselstroms ausgebildet sein. Bevorzugt wird allerdings die Frequenz  $f$  konstant gehalten und lediglich die Pulsweite  $PW$  als Führungsgröße der überlagerten Regelung herangezogen. Aus diesem Grund wird auch im Folgenden als Abkürzung für die Leistung  $PW$  des Generators das gleiche Kürzel  $PW$  wie für die Pulsweite verwendet. Dabei gilt, dass eine niedrigere Pulsweite, d.h. ein schmalerer Puls eine niedrigere Leistung und eine größere Pulsweite, d.h. ein breiterer Puls eine höhere Leistung nach sich zieht.

**[0031]** Bei der Steuerung oder Regelung der elektrischen Leistung des Generators abhängig von den oben beschriebenen Temperaturführungsgrößen kann als zusätzliche Führungsgröße bevorzugt die Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  und/oder die Temperatur des zu beheizen den Körpers und/oder die Induktortemperatur herangezogen werden. Mit anderen Worten wird ein Sollwert für eine oder mehrere der genannten Größen entweder im Rahmen eines Kennfeldes (Steuerung) oder für einen Ist-Sollwertabgleich vorgegeben. Es handelt sich hierbei um zusätzliche Führungsgrößen, insbesondere bei der Umgebungstemperatur  $T_{ext}$ . Der untere Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  und der obere Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  sind stets die Basisführungsgrößen und können, aber müssen nicht auch durch die Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  angepasst werden. Bevorzugt werden aber mit Hilfe der Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  die Leistungen angepasst, was zu einer großer Energieeinsparung führen kann. Bei optimaler Einstellung muss der Generator über die übergeordnete Steuerung gar nicht abgeschaltet werden, da bei steigenden Umgebungstemperaturen  $T_{ext}$  die Ausgangsleistung  $PW$  des Generators in Richtung Null gefahren werden kann.

**[0032]** Insbesondere kann der Generator mehrere in

Bezug zur Ladeeinrichtung parallel geschaltete Wechselrichter beinhalten, wobei jeder Wechselrichter jeweils einen Induktor steuert und dadurch jeweils ein Kreis verwirklicht wird. Diese dann parallele Versorgung der Induktoren in mehreren parallel geschalteten Kreisen hat den Vorteil, dass je Kreis dieselbe Spannung vorliegt. In diesem Fall kann an oder in jedem Wechselrichter mittelbar oder unmittelbar ein Temperatursensor angeordnet sein, welcher eine auf den jeweiligen Wechselrichter bezogene Temperatur als Messtemperatur in den Mikroprozessor einsteuert.

**[0033]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung dieser Maßnahme kann der Mikroprozessor derart programmiert oder ausgebildet sein, dass er eine Plausibilitätsprüfung anhand der Werte der Messtemperaturen durchführt und bei nicht plausiblen Werten der Messtemperaturen ein Warnsignal erzeugt. Mit anderen Worten werden im Mikroprozessor die von den Temperatursensoren der unterschiedlichen Wechselrichter erhaltenen Messtemperaturen miteinander verglichen und bei signifikanten Abweichungen voneinander das Warnsignal erzeugt. Dieses Warnsignal wird dann optisch auf einem Display des Generators angezeigt und/oder an eine Zentrale gemeldet.

**[0034]** Gemäß einer weiteren zu bevorzugenden Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die Sensoreinrichtung einen Umgebungstemperatursensor aufweist, welcher die Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  misst und in den Mikroprozessor einsteuert, wobei der Mikroprozessor programmiert oder ausgebildet ist, dass er wenigstens den unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  und/oder den oberen Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  und/oder die erste Leistung  $PW1$  und/oder die zweite Leistung  $PW2$  und/oder die dritte Leistung  $PW3$  abhängig von der Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  anpasst. Damit wird erreicht, dass die oben genannten Werte an die äußeren Temperaturbedingungen automatisch angepasst werden.

**[0035]** Um Energie zu sparen zu können, können daher die beiden Temperaturgrenzwerte  $T_{high}$  und  $T_{low}$  abhängig von der Außentemperatur  $T_{ext}$  mit Hilfe eines Korrekturfaktors korrigiert werden. Dies kann für beide Temperaturgrenzwerte  $T_{low}$  und  $T_{high}$  getrennt durch zwei Korrekturfaktoren oder gemeinsam über einen einzigen Korrekturfaktor geschehen. Beispielsweise bei einer Ausbildung der induktiven Heizvorrichtung als induktive Weichen- oder Schienenheizung ist es bei starkem Schneefall und einer Umgebungstemperatur  $T_{ext} > 0$  °C nicht notwendig, dass der Generator mit einer ebenso großen Heizleistung  $P$  betrieben wird wie etwa bei -5 °C.

**[0036]** Die vorgegebenen bzw. voreingestellten Leistungen Startleistung  $PW_{Start}$ , erste Leistung  $PW1$ , zweite  $PW2$  und dritte Leistung  $PW3$  sind daher bevorzugt auf einen bestimmten Wert von Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  bezogen, einer Bezugs-Umgebungstemperatur von z.B. -5 °C. Es ist dann insbesondere bei einer Ausbildung der induktiven Heizeinrichtung als induktive Weichen- oder Schienenheizung nicht erforderlich bei demgegen-

über niedrigeren Temperaturen die Heizleistung PW des Generators weiter zu erhöhen, da bei niedrigeren Umgebungstemperaturen nicht mit Schneefall zu rechnen ist. Der Mikroprozessor ist daher ausgebildet, dass die oben genannten vorgegebenen bzw. voreingestellten Leistungen daher bei in Bezug auf die Bezugs-Umgebungstemperatur steigenden Umgebungstemperaturen T<sub>ext</sub> reduziert. In der Praxis bedeutet dies, dass die maximale Leistung PW<sub>max</sub> für z.B. eine Umgebungstemperatur von - 5 °C und starken Schneefall voreingestellt wird. Wird aber dann anhand von Wetterdaten festgestellt, dass keine frierende Nässe oder Schneefall zu erwarten sind, ist die induktive Heizvorrichtung weiter eingeschaltet und befindet sich in stand by Modus mit Leistungsabgabe nahezu Null. Ändern sich indessen die äußeren Bedingungen erhöht sich die Heizleistung automatisch und kontinuierlich und die Heizvorrichtung wird wie oben beschrieben gesteuert. Ein rampenförmiger Anstieg ist hier nicht mehr notwendig, weil sich die Leistung mit fallender Temperatur stufenweise erhöht. Der Energieverbrauch ist dabei vor allem von den voreingestellten Leistungswerten abhängig, die wiederum abhängig von der Umgebungstemperatur T<sub>ext</sub> und/oder von der gemessenen Luftfeuchtigkeit angepasst werden. Die Luftfeuchtigkeit der Umgebung kann daher neben der Umgebungstemperatur T<sub>ext</sub> in den oder die Korrekturfaktoren eingehen.

**[0037]** Insbesondere sind die Korrekturfaktoren für die Grenztemperaturen T<sub>high</sub> und T<sub>low</sub> und die Korrekturfaktoren für die Leistungswerte für die Startleistung PW<sub>Start</sub>, die erste Leistung PW<sub>1</sub>, die zweite PW<sub>2</sub> und die dritte Leistung PW<sub>3</sub> bevorzugt nicht identisch. Eine Anpassung der Leistungswerte des Generators wird beispielsweise linear in Bezug auf die Umgebungstemperatur T<sub>ext</sub> vorgenommen.

**[0038]** Wie oben bereits beschrieben, bildet die erfindungsgemäße induktive Heizeinrichtung bevorzugt eine induktive Weichen- und/oder Schienenheizvorrichtung aus, wobei der zu beheizende Körper durch eine Schiene und/oder durch eine Weiche gebildet wird.

**[0039]** Die Erfindung betrifft daher auch ein Schienennetz für Schienenfahrzeuge, beinhaltend wenigstens eine Schiene und/oder eine Weiche, welches wenigstens eine solche induktive Weichen- und/oder Schienenheizvorrichtung umfasst.

**[0040]** Bei einem solchen Schienennetz kann wenigstens ein Induktor an einer oder an beiden Seitenflächen wenigstens einer Schiene angeordnet sein, insbesondere an einem im Bereich einer Weiche befindlichen Schienenabschnitt.

**[0041]** Wie oben bereits angedeutet ist neben der oben beschriebenen Steuerung oder Regelung der Heizeinrichtung abhängig von dem unteren Temperaturgrenzwert T<sub>low</sub> und dem oberen Temperaturgrenzwert T<sub>high</sub> auch eine Steuerung oder einer Regelung der elektrischen Leistung des Generators durch Variieren der Frequenz und/oder der Pulsweite des in den wenigstens einen Induktor eingespeisten Wechselstroms vor-

gesehen.

**[0042]** Diese Steuerung oder Regelung findet während des Betriebs der induktiven Heizeinrichtung statt, wahlweise auch bereits vor deren Inbetriebnahme durch Voreinstellung von Frequenz und/oder der Pulsweite durch entsprechende zur variablen Einstellung wenigstens einer dieser Größen vorgesehene Mittel.

**[0043]** Damit sind die Betriebsparameter Frequenz und/oder Pulsbreite des vom Generator ausgesteuerten und in den wenigstens einen Induktor eingespeisten Wechselstroms an den jeweiligen Induktor oder an die jeweiligen Induktoren hinsichtlich deren Einbaulage, Anzahl und Größe anpassbar.

**[0044]** Eine Steuerung durch eine Steuereinrichtung kann dabei beispielsweise durch eine rein manuelle Eingabe von Frequenz und/oder Pulsweite oder aber auch kennfeldabhängig erfolgen, d.h. einer bestimmten gemessenen Umgebungstemperatur oder Messtemperatur (z.B. gemessenen Schienen-/Weichentemperatur) wird ein bestimmter Wert für die Frequenz und/oder für die Pulsweite zugeordnet.

**[0045]** Beispielsweise wird die Frequenz durch die Steuerung oder Regelung bevorzugt umso niedriger eingestellt, desto größer die zu erwärmende Fläche (z.B. Länge der Schienen/Weichenbauteile) bzw. je größer die Länge der Induktionsspulen der eingesetzten Induktoren und gegebenenfalls auch der Verbindungsleitungen der Induktoren untereinander bzw. zum Generator sind. Denn je größer die Länge des Leiterdrahts der Induktionsspulen ist, desto niedriger ist die Frequenz des Erreger-Wechselstroms einzustellen, der notwendig ist, um ein zur Erzeugung einer gewünschten Temperatur in dem zu beheizenden Körper notwendiges Magnetfeld und damit den dafür notwendigen Induktionsstrom in dem zu beheizenden Körper zur Verfügung zu stellen.

**[0046]** Die Frequenz dient daher zur Anpassung der Leistung des Generators an die Gesamtinduktivität des elektrischen Kreises und damit an die Länge der Induktionsspulen. Umgekehrt gilt, dass je kleiner die zu erwärmende Fläche bzw. das zu erwärmende Volumen des zu beheizenden Körpers bzw. je kürzer die Länge der Induktionsspulen der Induktoren und gegebenenfalls der Verbindungsleitungen der Induktoren untereinander bzw. zum Generator sind, desto höher kann die Frequenz des Erreger-Wechselstroms eingestellt werden, um ein zur Erzeugung einer gewünschten Temperatur in dem zu beheizenden Körper notwendiges Magnetfeld und damit den dafür notwendigen Induktionsstrom in dem zu beheizenden Körper zur Verfügung zu haben.

**[0047]** Hintergrund dieser Überlegungen ist, dass mit größer werdender zu erwärmender Fläche bzw. Volumen damit mit größer werdender Länge der Induktionsspulen die Impedanz steigt.

**[0048]** Insbesondere sind bei der angestrebten elektromagnetischen Induktion unter Verwendung periodischer oder auch aperiodischer Steuer- oder Regelfunktionen Impulse erzeugbar.

**[0049]** Durch die Möglichkeit der Anpassung der elek-

trischen Leistung des Generators hinsichtlich Frequenz und/oder Pulsweite des Erreger-Wechselstroms für den wenigstens einen Induktor ist gegenüber dem Stand der Technik eine erhebliche Energieeinsparung möglich, weil bedingt durch eine mögliche individuelle Anpassung des Erreger-Wechselstroms an die jeweilige Ausführung des Induktors oder der Induktoren die Impedanz, d.h. der Widerstand anpassbar ist.

**[0050]** Bei induktiven Weichen- oder Schienenheizungen werden die Induktoren an den Schienen bzw. Weichenbauteile vorzugsweise so angebracht, dass die erzeugten elektromagnetischen Felder und damit auch die induzierten Ströme auf den zu erwärmenden Bereich konzentriert sind. Diese Konzentration kann durch wechselnde Polarität und/oder beidseitige Anbringung verstärkt werden.

**[0051]** Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen

Fig.1 eine schematische Draufsicht auf eine als induktive Weichen- und/oder Schienenheizvorrichtung ausgeführte induktive Heizvorrichtung gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig.2 eine schematische Querschnittsansicht einer Schiene mit seitlich angebrachten Induktoren der erfindungsgemäßen induktiven Heizvorrichtung;

Fig.3 eine schematische Seitenansicht von Windungen eines Induktors der erfindungsgemäßen induktiven Heizvorrichtung;

Fig.4 eine schematische Querschnittsansicht eines an einer Seitenfläche einer Schiene mittels einer abgeschirmten Befestigungsvorrichtung angebrachten Induktors der erfindungsgemäßen Heizvorrichtung;

Fig.5.1 ein Temperatur-Leistungs-Diagramm, welches sich anhand einer bevorzugten Ausführung einer Steuerung oder Regelung eines Generators der erfindungsgemäßen induktiven Heizvorrichtung ergibt;

Fig.5.2 ein Temperatur-Leistungs-Diagramm, welches sich anhand einer weiteren Ausführung einer Steuerung oder Regelung eines Generators der erfindungsgemäßen induktiven Heizvorrichtung ergibt;

Fig.5.3 ein Temperatur-Leistungs-Diagramm, welches sich anhand einer weiteren Aus-

5 Fig.6

10 Fig.7a bis d

15

Fig.8

20

Fig.9a bis c

25

Fig.10a

30

Fig. 10b

35 Fig.11a/b

40

Fig.12

45

50 Fig.13

Fig.14

55

Fig.15

führung einer Steuerung oder Regelung eines Generators der erfindungsgemäßen induktiven Heizvorrichtung ergibt;

eine graphische Veranschaulichung des magnetischen Flusses, welcher mittels eines Induktors der erfindungsgemäßen Heizvorrichtung in einer Schiene erzeugt wird;

Beispiele von Impulsfunktionen für eine beliebige zeitabhängige physikalische Größe g, die überwiegend als Hüllkurve mehrerer Pulse entstehen, worin T die Periode der jeweiligen Impulsfunktion darstellt;

eine schematische Gesamtdarstellung einer bevorzugten Ausführungsform des Generators der induktiven Heizeinrichtung;

Beispiele periodischer Schwingfunktionen in Form von symmetrischen oder asymmetrischen Sägezähnen als Einzelwelle mit einer Periode und einer Wiederholungsrate;

rechteckförmige Spannungspulse mit einer Pulsweite von 100%;

rechteckförmige Spannungspulse mit einer Pulsweite von 50%;

trapezförmige Funktionsverläufe ohne Pulsunterbrechung, die bei einer Begrenzung der maximal zulässigen Pulsweite in den Fig.10a und 10b nach oben bei sowohl den Größen Strom als auch magnetischem Fluss entstehen;

einen symmetrischen Spannungsverlauf, der ein periodisches bzw. aperiodisches Durchlaufen eines beliebigen Pulsweitenbereichs bei einer Pulsweitenmodulation mit gleichbleibender Frequenz in einer ersten Betriebsart des Generators darstellt;

ein Zeit-Leistungsdiagramm des Generators nach dem Einschalten;

eine schematische Ansicht von Induktoren, welche im elektrischen Kreis derart verschaltet sind, dass sie magnetische Felder gleicher Richtung erzeugen;

eine schematische Ansicht von Indukto-

ren, welche im elektrischen Kreis derart verschaltet sind, dass sie magnetische Felder von entgegengesetzter Richtung erzeugen.

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

**[0052]** Fig. 1 stellt eine schematische Draufsicht auf eine induktive Weichen- und/oder Schienenheizvorrichtung 1 als bevorzugte Ausführungsform einer induktiven Heizeinrichtung gemäß der Erfindung dar. Diese Heizvorrichtung 1 beinhaltet einen elektrischen Generator 2, der beispielsweise von einem üblichen Wechselstromnetz (50 Hz) mit Wechselstrom versorgt wird. Alternativ kann es sich um ein Wechselstromnetz mit 60 oder 16 2/3 Hz oder sogar um ein Gleichstromnetz (DC-Netz) handeln. Der Generator 2 ist Bestandteil mehrerer elektrischer Kreise 4, welche bevorzugt in Bezug zum Generator 2 parallel geschaltete Induktoren 6 beinhaltet. Dies bedeutet, dass ein jeder der elektrischen Kreise 4 jeweils einen Induktor 6 und den Generator 2 beinhaltet.

**[0053]** Die Induktoren 6 sind bevorzugt jeweils an einer äußeren Seitenfläche 12 von zwei parallel verlaufenden Schienen 8 im Bereich einer Weiche 10 angeordnet, wie insbesondere aus Fig. 1, Fig. 2 und Fig. 4 hervorgeht. Alternativ können die Induktoren 6 auch sowohl an der inneren Seitenfläche 14 der Schienen 8 als auch an den äußeren Seitenflächen 12 der Schienen 8 angeordnet sein, wie in Fig. 2 angedeutet ist. Im vorliegenden Fall wird die Gängigkeit der Weiche 10 durch eine Beheizung von zwei parallelen Schienen 8 eines Schienenstrangs im Bereich der Weiche 10 durch die induktive Weichen- und/oder Schienenheizvorrichtung 1 auch bei niedrigen Temperaturen bzw. Vereisungsgefahr erhalten. Alternativ oder zusätzlich könnten aber auch Weichenbauteile der Weiche 10 beheizt werden.

**[0054]** Zur Beheizung der Schienen 8 sind bevorzugt an deren Seitenflächen 12 und/oder 14 Induktoren 6 angebracht. Die Seitenflächen 12, 14 sind bevorzugt Seitenflächen eines Schienen-Mittelteils 16, welches sich in Vertikalrichtung oder im Querschnitt gesehen zwischen einem unteren Schienenfuß 18, der meist auf einem Schweller aufliegt und einem oberen Schienenkopf 20 befindet, auf dem die Lauf- und Spurkränze der Laufräder von Schienenfahrzeugen abrollen und auch seitlich geführt werden.

#### Induktoren

**[0055]** Die Induktoren 6 können beliebig ausgebildet sein, sie können flache oder runde Formen annehmen. Aus konstruktiven Gründen können runde Formen bevorzugt werden. Die Schaltung kann je nach Bedarf bzw. nach notwendiger Leistung kann seriell oder parallel erfolgen. Bevorzugt sind die Induktoren plattenförmig ausgebildet, d. h., dass sie gemessen an der Dimension oder Ausdehnung ihrer Seitenflächen eine relativ geringe Dicke aufweisen. Die Induktoren 6 sind bezogen auf die

Länge der Schiene oder der Schienen 8 beispielsweise äquidistant an deren Seitenflächen 12, 14 angeordnet. Untereinander sind die Induktoren 6 durch elektrische Verbindungsleitungen 22 des elektrischen Kreises 4 bevorzugt seriell miteinander verbunden.

**[0056]** Durch die plattenförmig flache Ausbildung der Induktoren 6 in Kombination mit ihrer Anbringung an den Seitenflächen 12, 14 der Schienen 8 ist gewährleistet, dass die Induktoren 6 nicht von den Spurkränzen der Räder der Schienenfahrzeuge erfasst werden können.

**[0057]** Wie aus Fig. 3 hervorgeht, beinhaltet ein solcher Induktor 8 eine Induktionsspule 56 mit Windungen 24 eines Leiterdrahts, die innerhalb einer einzigen Ebene, insbesondere in der Plattenebene angeordnet sind. Die Anzahl der hier beispielsweise spiralförmig ausgeführten Windungen 24 kann der Fachmann bei Bedarf anpassen. Die Windungen 24 sind bevorzugt in einen beispielsweise plattenförmigen Trägerkörper 26 beispielsweise eingegossen, wobei jeweils ein Ende des Leiterdrahts der Windungen 24 aus dem Formkörper 26 herausragt, um an den elektrischen Kreis 4 angeschlossen werden zu können und um den elektrischen Kreis 4 zu schließen.

**[0058]** Die Ebene der Windungen 24 des Leiterdrahts der Induktionsspule 56 ist dabei im Wesentlichen parallel zu der zugeordneten Seitenfläche 12 oder 14 der Schiene 8 angeordnet. Wie durch Fig. 6 veranschaulicht, bildet sich bei Wechselbestromung des Leiterdrahts der Windungen 24 eines Induktors 6 in einer bestimmten Richtung (Punkte im Kreis symbolisieren einen aus der Zeichenebene heraus fließenden Strom und ein Kreuz im Kreis einen in die Zeichenebene hinein fließenden Strom) ein Magnetfeld 28 aus, welches auch die betreffende, elektrisch leitende Schiene 8 erfasst und in diese bevorzugt im Wesentlichen senkrecht zur Seitenfläche 12 und/oder 14 eindringt, um dort durch Induktion einen Strom zu induzieren.

**[0059]** Der Induktor 6 ist bevorzugt derart angeordnet, dass der durch seine Induktionsspule 24 erzeugte magnetische Fluss bzw. die Magnetfeldlinien 28 vorzugsweise senkrecht zu einer Oberfläche 12 bzw. 14 einer Schiene 8 bzw. eines Weichenbauteils einer Weiche 10 verlaufen (Fig. 6).

**[0060]** Der in der Schiene 8 induzierte Strom verursacht eine Erwärmung der Schiene 8 im Bereich der Weiche 10. Die Erwärmung der Schiene oder der Schienen 8 im Bereich der Weiche 10 bewirkt, dass sich zwischen den Schienen und den Führungen der Weiche für die Schienen keine Eis- oder Schneesicht ausbilden kann, welche eine Bewegung der durch die Weiche 10 bewegten Schienen 8 blockieren könnte.

**[0061]** Alternativ oder zusätzlich zu den Schienen 8 könnten auch Weichenbauteile der Weiche 10 durch Induktoren 6 induktiv beheizt werden, welche hierzu entsprechend angeordnet werden, so dass die Magnetfeldlinien annähernd senkrecht in Flächen der Weichenbauteile eindringen können, an denen die Induktoren 6 angeordnet sind.



**[0062]** Der Magnetfelderzeuger setzt sich daher bevorzugt aus mehreren, in Bezug zum Generator 2 bevorzugt parallel geschalteten einzelnen Induktoren 6 zusammen, die eine jeweils identische oder unterschiedliche Länge ihres Leiterdrahts bzw. identische oder unterschiedliche physikalische Eigenschaften hinsichtlich ihres Leiterdrahts (Induktivität, Material, Durchmesser, Anzahl der Windungen 24 etc.) besitzen.

**[0063]** Da die physikalischen Eigenschaften der einzelnen Induktoren 6 bevorzugt teilweise oder insgesamt übereinstimmen können diese in mehreren elektrischen Kreisen 4 parallel (je nach Ausführung auch seriell oder kombiniert) in Bezug zum Generator 2 geschaltet werden. Die einzelnen Induktoren 6 können auch abwechselnd linksseitig und rechtsseitig an der betreffenden Schiene 8, dann insbesondere auch in Längsrichtung der Schiene 8 gesehen überlappend angebracht werden.

**[0064]** Die Induktoren 6 können so in die elektrischen Kreise 4 verschaltet werden, dass sie das magnetische Feld nicht nur in gleicher Richtung bevorzugt senkrecht zur Seitenfläche 12, 14 der Schiene 8 erzeugen, sondern beispielsweise auch in entgegen gesetzter Richtung, jedoch wiederum bevorzugt senkrecht zur Seitenfläche 12, 14 der Schiene 8.

**[0065]** In **Fig.14** ist ein Ausführungsbeispiel gezeigt, bei dem an einer Schiene 8 angeordnete Induktoren 6 bevorzugt derart in die parallelen elektrischen Kreise 4 geschaltet sind, dass ihre magnetischen Felder in gleicher Richtung verlaufen, dort symbolisiert jeweils durch das "+" im Kreis.

**[0066]** **Fig.15** zeigt indes eine Ausführung, bei welcher zwei benachbart angeordnete Induktoren 6 magnetische Felder in entgegen gesetzter Richtungen erzeugen, was dort durch das "+" im Kreis bzw. das "-" im Kreis symbolisiert wird. Insbesondere sind nach der Ausführungsform von **Fig.15** die Induktoren 6 derart in den elektrischen Kreisen 4 verschaltet, dass entlang einer Schiene 8 ihre magnetische Polarität abwechselt. Durch die gegenläufige Polarität der Induktoren 6 entstehen höhere Temperaturen in den Schienen 8, so dass diese Maßnahme eine weitere Energieersparnis mit sich bringt.

**[0067]** Die Induktoren 6 werden mit einer Außenfläche ihres Trägerkörpers 26 bevorzugt direkt oder mit einem minimalen Abstand bevorzugt seitlich an den Schienen 8 befestigt. Hierzu kann der die Windungen 24 des Leiterdrahts tragende Trägerkörper 26 so ausgeformt sein, dass sich seine zur Seitenfläche 12, bzw. 14 der betreffenden Schiene gewandte Seitenfläche an die Seitenfläche 12 bzw. 14 der Schiene 8 lückenlos anschmiegt.

**[0068]** Die Eigenwärme der Induktoren 6 wird auf diese Weise direkt auf die Schienen 8 durch kontaktierenden Wärmeübergang übertragen, wobei die Induktoren 6 auch durch Schienen 8 gekühlt werden. Die Befestigung der Induktoren 6 an den Schienen 8 erfolgt durch beliebige Befestigungsvorrichtungen, vorzugsweise durch Schrauben, Kleben, Permanentmagnete oder durch mechanische Klemmsysteme. Die Befestigung der Induktoren 6 an den Schienen 8 muss so ausgelegt sein, dass

sie gegen den Witterung und mechanische Belastung wie Vibrationen ausreichend widerstandsfähig ist.

**[0069]** Eine bevorzugte Befestigungsvorrichtung zur Befestigung eines plattenförmigen Induktors an einer Seitenfläche einer Schiene besteht beispielsweise in einer L-förmigen elastischen Klammer 30, mit einem den Schienenfuß wenigstens teilweise umgreifenden ersten Schenkel 32 und einen den Induktor 6 an der Seitenfläche 12 bzw. 14 der Schiene 8 haltenden zweiten Schenkel 34, wie in **Fig.4** gezeigt ist.

**[0070]** Der erste Schenkel 32 umgreift dabei den Schienenfuß 18 von unten. Der zweite Schenkel 34 übt dann eine seitliche Vorspannung auf den Induktor 6 aus, so dass dieser gegen die Seitenfläche 12 bzw. 14 der Schiene 8 gedrängt wird. Mithin basiert die Befestigung der Induktoren 6 an den Seitenflächen 12 bzw. 14 der Schienen 8 auf Reibschluss, der von der Vorspannung der Schenkel 32, 34 der Klammer 30 ausgeübt wird. Der zweite Schenkel 34 einer solchen Klammer 30 kann dabei derart ausgebildet sein, dass die Enden des zweiten Schenkels 34 jeweils abgebogen an den Stirnflächen der plattenförmigen Induktoren 6 angreifen und diese dadurch in vertikaler Richtung fixieren.

**[0071]** In einem Mittelteil kann der zweite Schenkel 34 zudem eine vom Induktor 6 aus gesehen konvexe Ausbauchung 36 aufweisen, um den Induktor 6 bzw. einen Abschirmkörper 38 zu kontaktieren, damit eine seitliche Anpresskraft auf den Induktor 6 bzw. den Abschirmkörper 38 ausgeübt wird, die vom ersten Schenkel 32 dann am Schienenfuß 18 abgestützt wird. Die Klammer 30 wird dann im Querschnitt von **Fig.4** gesehen auf Biegung belastet. Die Klammer 30 ist bevorzugt aus einem elektrisch leitfähigen Metall gefertigt.

**[0072]** Wie aus **Fig.4** auch hervorgeht, ist dem zweiten Schenkel 34 der Klammer 30 und dem Induktor 6 wenigstens ein bevorzugt plattenförmiger Abschirmkörper 38 aus elektrisch nicht leitendem, aber magnetisch leitendem Material wie Ferrit zwischengeordnet. Dieser Abschirmkörper 38 sorgt dafür, dass sich die Klammer 30 nicht erwärmt, wenn die Windungen 24 des Induktors 6 von Wechselstrom durchflossen werden. Um eine Erwärmung der Klammer 30 zu verhindern oder mindestens zu begrenzen, wird diese daher bevorzugt durch einen ferromagnetisch und nicht leitenden Abschirmkörper 38 von den elektromagnetischen Primärfeldern abgeschirmt.

#### Aufbau des Generators

**[0073]** Eine bevorzugte Ausführungsform des Generators 2 ist in **Fig.8** dargestellt. Der Generator 2 weist ein Generatorgehäuse 58 auf, an dessen Wandung Versorgungsanschlüsse 60 zum Anschluss einer Wechselspannungsquelle oder einer Gleichspannungsquelle DC, z.B. von einer Oberleitung eines Schienennetzes abgegriffen angeordnet sind. Bevorzugt liegt hier eine Wechselspannungsquelle vor.

**[0074]** Über diese Versorgungsanschlüsse 60 wird ein

Netzgleichrichter 62 spannungsversorgt. Die Netzspannung wird über den Netzgleichrichter 62 in einem Gleichstromzwischenkreis in eine Kondensatorbatterie 64 als Ladeeinrichtung gespeist. Durch in Bezug zur Kondensatorbatterie 64 parallel geschaltete Wechselrichter 66a, 66b, hier beispielsweise Transistor-Wechselrichter wird eine Rechteckspannung generiert, welche dann in den Induktor 6a, 6b des betreffenden elektrischen Kreises 4a, 4b eingesteuert wird, welche an Induktor-Anschlüssen des Generatorgehäuses 58 angeschlossen sind. Jeder Wechselrichter 66a, 66b steuert daher bevorzugt einen Induktor 6a, 6b innerhalb eines elektrischen Kreises 4a, 4b. Beispielsweise sind aus Übersichtlichkeitsgründen lediglich zwei elektrische Kreise 4a, 4b mit jeweils einem Induktor 6a, 6b gezeigt. Es versteht sich jedoch, dass mehr als nur zwei elektrische Kreise bzw. Induktoren vorhanden sein können.

**[0075]** Die Wechselrichter 66a, 66b werden von einem Mikroprozessor 44 gesteuert, welcher in einem Speicher gespeicherte Algorithmen umfasst, auf welche später noch eingegangen wird. Der Mikroprozessor 44 ist von einer Bedieneinrichtung 40 gesteuert, welche Einstellmittel 42 zum manuellen und separaten Einstellen der Frequenz und/oder der Pulsbreite PW des in die elektrischen Kreise 4a, 4b und damit in die Induktoren 6a, 6b eingespeisten Wechselstroms. Diese Einstellmittel 42 weisen bevorzugt ein Display 46 auf, auf welchem die eingestellten Werte für Frequenz f und/oder der Pulsbreite PW dargestellt werden. Die Einstellmittel 42 wie auch das Display 46 sind bevorzugt an dem Generatorgehäuse 58 angeordnet und daher von außen bedien- bzw. sichtbar.

**[0076]** An dem Generatorgehäuse 58 ist weiterhin ein Sensoranschluss 70 vorhanden, der mit dem Mikroprozessor über eine interne Signalleitung signalleitend verbunden ist. An den Sensoranschluss 70 ist hier ein Temperatursensor 72 angeschlossen, der beispielsweise an einer Außenfläche des Generatorgehäuses 58 so angeordnet ist, dass er die Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  unbeeinflusst von der Wärmeentwicklung des in Betrieb befindlichen Generators 2 messen und ein entsprechendes Signal in den Mikroprozessor 44 einsteuern kann.

**[0077]** Weiterhin sind an hier nicht explizit dargestellten Kühlkörpern der Wechselrichter 66a, 66b Temperatursensoren 74a, 74b angeordnet, welche die Temperatur der Wechselrichter 66a, 66b messen und entsprechende Temperatursignale über interne Signalleitungen in den Mikroprozessor 44 einsteuern.

**[0078]** In oder an dem Generatorgehäuse 59 sind daher bevorzugt die folgenden Baugruppen oder Bauteile angeordnet: Die Versorgungsanschlüsse 60, der Netzgleichrichter 62, die Kondensatorbatterie 64, die Wechselrichter 66a, 66b, die Induktoranschlüsse 68a, 68b, der Mikroprozessor 44, die Bedieneinrichtung 40 mit den Einstellmitteln 42 und dem Display 46, die Induktoranschlüsse 68a, 68b, der Sensoranschluss 70 sowie selbstverständlich alle internen Verkabelungen und Leitungen.

**[0079]** Die von den in Bezug auf das Generatorgehäu-

se 58 inneren Temperatursensoren 74a, 74b gemessenen Temperaturen  $T_{int1}$  und  $T_{int2}$  repräsentieren hier bevorzugt die Ist-Temperaturen der Wechselrichter 66a, 66b während deren Betriebs und daher Innentemperaturen in Bezug auf das Innere des Generatorgehäuses 58. Dabei soll im Folgenden die Temperatur  $T_{int1}$  der Temperatur des Wechselrichters 66a und die Temperatur  $T_{int2}$  der Temperatur des Wechselrichters 66b entsprechen. Alternativ könnte aber auch eine Temperatur von einem anderen Bauteil oder einer anderen Baugruppe des Generators 2 als Innentemperatur des Generatorgehäuses 58 gemessen werden.

**[0080]** Für eine optionale Messung der Luftfeuchtigkeit kann ein eigener Luftfeuchtigkeitssensor 48 vorgesehen sein, welcher ein der momentanen Luftfeuchtigkeit entsprechendes Signal in den Mikroprozessor 44 einsteuert. Daten über die Umgebungstemperatur Text und/oder über die Luftfeuchtigkeit können aber auch von externen Quellen stammen und in den Mikroprozessor 44 über eine in Bezug auf den Generator 2 integrale Empfangseinrichtung drahtlos eingesteuert werden.

**[0081]** Weiterhin ist an wenigstens einer Schiene 8 und/oder Weiche 10 ein Temperatursensor 76 verbaut, welcher die Temperatur der Schiene 8 und/oder von Weichenbauteilen im Bereich einer Weiche 10 misst, wobei Temperatursignale für die Ist-Schienen-/Weichentemperatur in den Mikroprozessor 44 eingesteuert werden.

#### Manuelle Leistungssteuerung

**[0082]** Gemäß einer Ausführungsform sind die Betriebsparameter Frequenz und/oder Pulsweite des Generators 2 über die Einstellmittel 42 bevorzugt manuell einstellbar. Bevorzugt können daher hier sowohl die Frequenz f als auch die Pulsweite PW des Erreger-Wechselstroms durch die Einstellmittel 42 variiert werden. Alternativ könnte auch lediglich einer dieser Betriebsgrößen oder Parameter variiert werden. Da die Leistung des Generators 2 sowohl von der Frequenz f als auch von der Pulsweite PW abhängt, kann daher die Leistung des Generators 2 über eine Einstellung der Werte für die Frequenz f und/oder die Pulsweite PW eingestellt bzw. gesteuert werden. Eine höhere Frequenz führt dabei zu einer höheren Leistung und eine niedrigere Frequenz f zu einer niedrigeren Leistung des Generators 2. Weiterhin sorgt im Rahmen einer Pulsweitenmodulation erfolgte Einstellung einer größeren Pulsweite PW (breiterer Puls) für eine größere Leistung und eine kleinere Pulsweite PW (schmälerer Puls) für eine demgegenüber kleinere Leistung des Generators 2.

**[0083]** Wie in Fig.8 schematisch darstellt, steuert die Bedieneinrichtung 40 mit den Einstellmitteln 42 daher die eingestellten Werte für die Frequenz f und/oder die Pulsweite PW in einen Mikroprozessor 44 ein, der wiederum den Generator 2 bzw. dessen die Wechselrichter 66a, 66b steuert, welche dann die genannten Größen in die elektrischen Kreise 4a, 4b einstellen. Dabei werden die eingestellten Werte für Frequenz f und/oder Pulsweite

PW auf dem Display 46 dargestellt.

**[0084]** Die manuelle Einstellung der Frequenz  $f$  und/oder der Pulsweite PW kann dann selbstverständlich vor dem Betrieb der Heizvorrichtung 1 erfolgen oder auch während des laufenden Betriebs.

Leistungssteuerung durch Kennfeld

**[0085]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die Leistung  $P$  des Generators 2 mittels des Mikroprozessors 44 durch Änderung der Pulsweite PW und/oder der Frequenz  $f$  des vom Generator 2 ausgesteuerten Erreger-Wechselstroms abhängig von der Umgebungstemperatur  $T_{\text{ext}}$  und/oder von der Schienen-/Weichentemperatur nach wenigstens einem vorgegebenen Kennfeld gesteuert. Dabei ist das Kennfeld in dem Mikroprozessor 44 gespeichert.

**[0086]** In einem frei bestimmbaren Umgebungstemperaturbereich, insbesondere in einem Temperaturbereich von  $+5\text{ °C}$  bis  $-15\text{ °C}$  wird die Abgabe von elektrischer Energie beispielsweise über die Pulsweite des Erreger-Wechselstroms nach einem bestimmten Algorithmus, beispielsweise linear wie in **Fig.5.1** gesteuert. Beispielsweise wird bei einer Umgebungstemperatur von  $+5\text{ °C}$  und darüber die durch den Generator 2 abgegebene elektrische Leistung  $P$  durch Steuerung der Pulsweite PW gegen Null gefahren, bei  $-15\text{ °C}$  und weniger wird hingegen die maximale elektrische Leistung am Generator 2 eingestellt, wie auch in **Fig.5.1** dargestellt.

**[0087]** Da der Generator 2 bevorzugt keinen Resonanz- oder Schwingkreis aufweist, ist weiterhin die Frequenz  $f$  des Erreger-Wechselstroms im Hinblick auf die physikalischen Eigenschaften der Induktoren 6 frei einstellbar. Die Höhe der induzierten Ströme ist frequenz-(linear) und feldstärkeabhängig (je nach Kopplungsgrad bis zu quadratisch). Die Feldstärke ist bei gegebenen Verhältnissen direkt proportional zu dem Erreger-Wechselstrom, der den Induktor 6 oder die Induktoren 6 durchfließt.

**[0088]** Das Optimum für die Energieübertragung, insbesondere für den Wert der Frequenz des Erreger-Wechselstroms wird deshalb durch die physikalischen Eigenschaften des Induktors 6 oder der Induktoren 6 bestimmt. Es wurde festgestellt, dass ein besonders hoher Wirkungsgrad in einem mittelfrequenten Bereich von 5 kHz bis 15 kHz erzielt wird. Der elektrische Energiebedarf der Heizvorrichtung 1 liegt dann durchschnittlich unter 250 W/m kann aber bis auf  $> 600\text{ W/m}$  gesteigert werden. Dies entspricht ungefähr einer magnetischen Feldstärke  $H$  von 200 A/m, wobei dieser Wert induktorabhängig ist, er kann auch unter 100 A/m liegen. Die Temperaturerhöhung  $dT$  in der Schiene 8/Weiche 10 bei einer konstanten Zufuhr elektrischer Energie liegt z.B. bei 20 K, insbesondere zwischen 5 K und 50 K.

Leistungsregelung

**[0089]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform könn-

te der Mikroprozessor 44 die Pulsweite PW und/oder die Frequenz  $f$  des vom Generator 2 ausgesteuerten Erreger-Wechselstroms auch abhängig von wenigstens einer Führungsgröße wie der Umgebungstemperatur  $T_{\text{ext}}$  und/oder der Schienen-/Weichentemperatur und/oder auch abhängig von einer dieser Temperaturen in Kombination mit der Luftfeuchtigkeit regeln.

**[0090]** Denkbar ist als zusätzliche Führungsgröße auch eine Detektion weiterer Umweltparameter wie Schneefall. Die Luftfeuchtigkeit oder Schneefall sind deshalb von Bedeutung, weil sie einen Einfluss auf die Ausbildung von Eis im Bereich von Weichen haben.

**[0091]** Geregelt wird die Ausgangsleistung des Generators 2, welche dem oder den Induktoren 6 zugeführt wird, daher abhängig von der Führungsgröße oder von den Führungsgrößen wiederum durch Änderung der Pulsweite PW und/oder der Frequenz  $f$  des Erreger-Wechselstroms, welcher den oder die Induktoren 6 durchfließt. In dem Mikroprozessor 44 sind entsprechende Regelalgorithmen implementiert.

**[0092]** Die Leistungsregelung des Generators 2 wird bevorzugt durch eine kontinuierliche Veränderung der Pulsweite PW bewerkstelligt. Es ist auch möglich, die Leistungsregelung durch Frequenzmodulation vorzunehmen. Allerdings fällt dann der Wirkungsgrad etwas schlechter aus.

**[0093]** Ein Beispiel für einen Leistungsregelvorgang kann ebenfalls durch **Fig.5.1** dargestellt werden, wo die elektrische Leistung des Generators 2 (in kW), welche proportional der Pulsweite PW ist, abhängig von der Umgebungstemperatur  $T_{\text{ext}}$  (in  $^{\circ}\text{C}$ ) dargestellt ist. Wie zu sehen ist, wird hier die Leistungsabgabe des Generators 2 in Abhängigkeit von einer Führungsgröße, hier beispielsweise der Umgebungstemperatur  $T_{\text{ext}}$  linear zwischen zwei frei einstellbaren Umgebungstemperaturgrenzwerten geregelt, nämlich zwischen einem unteren Temperaturgrenzwert (hier z.B.  $-15^{\circ}\text{C}$ ) und einem oberen Temperaturgrenzwert (hier z.B.  $+5^{\circ}\text{C}$ ) für die Umgebungstemperatur  $T_{\text{ext}}$ .

**[0094]** Ist daher bei dem Beispiel von **Fig.5.1** die Umgebungstemperatur  $T_{\text{ext}}$  kleiner gleich dem unteren Temperaturgrenzwert  $T_u$  (hier z.B.  $-15^{\circ}\text{C}$ ) oder größer gleich dem oberen Temperaturgrenzwert  $T_o$  (hier z.B.  $+5^{\circ}\text{C}$ ), so wird jeweils eine konstante, aber unterschiedliche elektrische Leistung  $P$  bzw. Pulsweite PW eingestellt. Zwischen den beiden Temperaturgrenzwerten  $T_o$  und  $T_u$  verläuft die Leistungsabgabe bzw. die Änderung der Pulsweite PW beispielsweise linear abhängig von der Führungsgröße ( $P$ -Regler).

**[0095]** Gemäß eines weiteren, in **Fig.5.2** und **Fig.5.3** veranschaulichten Modus kann eine mittlere Temperatur  $T_{\text{av}}$  (hier (hier z.B.  $-5^{\circ}\text{C}$ ), herangezogen werden, welche genau in der Mitte des Bereichs zwischen dem oberen Temperaturgrenzwert  $T_o$  (hier z.B.  $+5^{\circ}\text{C}$ ) und dem unteren Temperaturgrenzwert  $T_u$  (hier z.B.  $-15^{\circ}\text{C}$ ) liegt. Auf der Abszisse ist wiederum die Umgebungstemperatur  $T_{\text{ext}}$  und auf der Ordinate die elektrische Leistung  $P$  des Generators 2 (in kW) aufgetragen. Bei diesem Mo-

aus werden abhängig von der Änderung der Umgebungstemperatur  $T_{\text{ext}}$  ausgehend von der mittleren Temperatur  $T_{\text{av}}$  entweder in Richtung des oberen Temperaturgrenzwerts  $T_{\text{o}}$  oder des unteren Temperaturgrenzwerts  $T_{\text{u}}$  unterschiedliche Steuer- oder Regelalgorithmen für die Leistungsabgabe des Generators 2 festgelegt.

**[0096]** Über die Einstellmittel 42 der Bedieneinrichtung 40 können die unteren und oberen Temperaturgrenzwerte  $T_{\text{o}}$ ,  $T_{\text{u}}$  wie auch die mittlere Temperatur  $T_{\text{av}}$  eingegeben werden. Es handelt sich dabei um Erfahrungswerte, diese können aber bei Bedarf den Verhältnissen vor Ort angepasst werden.

**[0097]** Alle Regelvorgänge können linear verlaufen (P-Regelung). Es ist aber auch möglich die Regelvorgänge als PI- oder als PID-Regelung auszuführen oder untereinander zu kombinieren. Mithin sind beliebige Regelalgorithmen möglich.

**[0098]** Im Beispiel von **Fig.5.1** ist eine P-Regelung realisiert, bei der ein linearer Bereich zwischen dem oberen Temperaturgrenzwert  $T_{\text{o}}$  (hier:  $+5^{\circ}\text{C}$ ) und dem unteren Temperaturgrenzwert  $T_{\text{u}}$  (hier:  $-15^{\circ}\text{C}$ ) vorliegt. Bei Umgebungstemperaturen  $T_{\text{ext}}$  größer gleich dem oberen Temperaturgrenzwert (hier  $+5^{\circ}\text{C}$ ) arbeitet der Generator 2 hingegen mit konstanter minimaler Leistungsabgabe, die Pulsweite PW kann bis auf Null abgesenkt werden. Bei einer Umgebungstemperatur  $T_{\text{ext}}$  kleiner gleich dem unteren Temperaturgrenzwert (hier  $-15^{\circ}\text{C}$ ) arbeitet der Generator 2 dagegen mit maximaler Leistung.

**[0099]** Es ist aber auch möglich, über die Einstellmittel 42 der Bedieneinrichtung 40 einen frei wählbaren temperaturabhängigen Korrekturfaktor festzulegen. Beispielsweise gibt der Korrekturfaktor einen Prozentsatz der für die mittlere Temperatur  $T_{\text{av}}$  festgelegten Leistungsabgabe je  $^{\circ}\text{C}$  an. Die Regelung bezieht sich dann auf die mittlere Temperatur  $T_{\text{av}}$  und verändert die Leistungsabgabe z.B. zwischen Null und zulässiger maximaler Leistungsabgabe. Auch hier können vorteilhaft zwei unterschiedliche Korrekturfaktoren für beide Richtungen, ausgehend von der mittleren Temperatur  $T_{\text{av}}$  nach oben bis zum oberen Temperaturgrenzwert und nach unten bis zum unteren Temperaturgrenzwert festgelegt werden.

#### Betriebsarten der Heizvorrichtung

**[0100]** Gemäß einer Betriebsart wird die induktive Heizvorrichtung 1 beispielsweise von einer Bahnzentrale aus bei Bedarf aus der Ferne ein- oder ausgeschaltet (Bestromen, Entstromen des Generators), wobei dann ein Betrieb beispielsweise mit zuvor eingestellten konstanten Betriebsparametern (Frequenz  $f$ , Pulsweite PW), mit während des Betriebs kennfeldgesteuert oder manuell variierten Betriebsparametern (Frequenz  $f$ , Pulsweite PW) wie auch geregelt möglich ist.

**[0101]** Gemäß einer weiteren Betriebsart wird die induktive Weichen- und/oder Schienenheizvorrichtung 1 kontinuierlich über eine vorgegebene Heizperiode (z.B.

von Oktober bis März eines jeden Jahres auf der nördlichen Halbkugel) mit konstant eingestellter (elektrischer) Leistung P, mit variabel manuell oder kennfeldgesteuerter Leistung PW oder mit geregelter Leistung PW betrieben.

**[0102]** Da die Temperaturanstiegsgeschwindigkeit in der Schiene 8/Weiche 10 direkt von der abgegebenen (elektrischen) Leistung PW des Generators 2 abhängt, kann die Leistung des Generators 2 gemäß einer weiteren Betriebsart unmittelbar nach dem Einschalten des Generators 2 bzw. einer Aktivierung der Heizvorrichtung 1 für eine bestimmte Zeitspanne erhöht und danach auf einen Betriebswert zurück gefahren werden, wie später im Rahmen der Betriebsarten des Generators noch erläutert wird.

#### Betriebsarten des Generators

**[0103]** Für die Erzeugung des elektromagnetischen Felds durch die Induktoren 6 werden diese vorzugsweise ausschließlich durch periodische Schwingfunktionen des Erreger-Wechselstroms erregt. Mittels viereckigen Spannungspulsen werden automatisch symmetrische trapezformähnliche Strompulse mit frei einstellbarem Verhältnis zwischen einem dynamischen und einem statischen Anteil erzeugt. Für einen Prozessablauf kann mittels der Bedieneinrichtung 40, welche den Mikroprozessor 44 steuert, zwischen Betriebsarten eines Konstantmodus, eines Frequenzmodus und eines Pulsweitenmodus gewählt werden. Weiterhin existiert auch ein Basismodus, gemäß welchem die Eigenschaften des Erreger-Wechselstroms nicht verändert werden. Diese Betriebsarten bzw. Modi des Generators 2 sind als Steuerungssoftware im Mikroprozessor 44 gespeichert und können über die Bedieneinrichtung 40 eingestellt werden.

**[0104]** Die im Mikroprozessor 44 implementierte Steuerungssoftware für den Generator 2 zur Erzeugung von Magnet-Wechselfeldern beinhaltet bevorzugt eine Kombination höherer Frequenzen, bevorzugt Frequenzen im kHz-Bereich, mit einer überlagerten Modulation im niederfrequenten Bereich derart, dass bevorzugt ausschließlich Schwing- oder Wechselfunktionen (und damit keine Impuls- bzw. Pulsfunktionen) mit einem rechteckförmigen Spannungsverlauf und trapezförmigen Stromverlauf entstehen.

**[0105]** Damit lassen sich diese Verläufe aus einem Frequenzbereich von beispielsweise 5 kHz bis 60 kHz, bevorzugt 5 kHz bis 15 kHz durch frei wählbare Zeitabschnitte kontinuierlich übergeordnet modulieren, wobei die übergeordnete Modulation vorzugsweise in einem Bereich zwischen 0,1 bis 10 Hz liegt. Praktisch betrachtet ergibt sich dadurch bei einer Abschnittszeit von einer Sekunde eine übergeordnete Modulation von 0,5 Hz, bei einer Abschnittszeit von 100 ms eine übergeordnete Modulation von 5 Hz, und so weiter. Die Frequenzwerte werden entsprechend dem Takt des Mikroprozessors 44 geändert, beispielsweise tausendmal pro Sekunde. Diese Vorgehensweise ist auf alle oben genannten Betriebsar-

ten anwendbar. Der niederfrequente Bereich von vorzugsweise 0,1 Hz bis 10 Hz, indem die übergeordnete Modulation liegt, kann vorteilhaft die Wirkungen der resultierenden Änderungen des elektromagnetischen Felds auf die Schiene/Weiche verstärken.

**[0106]** Gemäß einer Basisbetriebsart des Generators 2 werden die Frequenz  $f$  wie auch die Pulsweite PW des Erreger-Wechselstroms konstant gehalten.

**[0107]** Gemäß einer ersten Betriebsart des Generators 2 wird die Pulsweite PW des Erreger-Wechselstroms kontinuierlich verändert, während die Frequenz  $f$  des Erreger-Wechselstroms konstant bleibt. Bei der Realisierung der kontinuierlichen Pulsweitenänderung beispielsweise mittels MOSFETs oder IGBTs können diese vorteilhaft im verlustarmen Schaltbetrieb arbeiten. Weiterhin vorteilhaft ist die darzustellende Information anstatt in binären Weise in einem kontinuierlichen Pulsbreitenverhältnis enthalten.

**[0108]** Gemäß einer zweiten Betriebsart des Generators 2 wird die Frequenz  $f$  des Erreger-Wechselstroms kontinuierlich verändert, während die Pulsweite konstant bleibt. Diese zweite Betriebsart ist zwar grundsätzlich möglich, kommt aber bevorzugt aber nicht zum Einsatz. Die Generatorsteuerung im Mikroprozessor 44 ist so aufgebaut, dass die genannten Betriebsarten frei programmier- und speicherbar sind. Auch vorteilhaft ist es, wenn Grenzwerte für alle Betriebsarten frei einstellbar sind. Dies stellt sicher, dass anwendungsbezogene gegebenenfalls vorhandene Grenzwerte sicher eingehalten werden können. Ferner vorteilhaft ist es, wenn für die einzelnen Betriebsarten benötigte Zeitkonstanten sämtlich frei einstellbar sind. Dies verbessert die Steuerbarkeit des Generators 2 und damit des zu erzeugenden elektromagnetischen Felds.

**[0109]** Wie oben ausführlich dargestellt, wird für die Leistungssteuerung oder Leistungsregelung des Generators 2 eine Frequenz- und/oder Pulsweitenmodulation durchgeführt.

**[0110]** Bei im Freien angeordneten Generatoren 2 kann es aus thermischen Gründen nicht ratsam sein, während einer sehr kalten Periode beispielsweise bei Umgebungstemperaturen  $T_{ext}$  von  $-20^{\circ}\text{C}$  und weniger die volle Generatorleistung schlagartig einzuschalten. Vorteilhafter ist es dann, die Leistung des Generators 2 rampenartig hochzufahren. Im Rahmen eines Startmodus des Generators 2 wird bevorzugt bei konstanter Frequenz  $f$  die Generatorleistung  $P$  durch Variieren der Pulsweite PW eingestellt, bzw. gesteuert oder geregelt. Dies trifft zu, wenn von einer übergeordneten Steuerung z.B. in einer Zentrale ein Einschaltsignal kommt.

**[0111]** Das Diagramm von **Fig.13** zeigt einen bevorzugten Verlauf der Leistung PW des Generators 2 in einem Startmodus und in einem diesem nachfolgenden Betriebsmodus nach dem Einschalten des Generators 2 bei konstanter Frequenz  $f$  und variabler Pulsbreite PW. Da die Leistung  $P$  des Generators dann direkt von der Pulsweite PW abhängt, ist an der Ordinate die Pulsweite PW stellvertretend für die Leistung  $P$  angegeben.

**[0112]** In den im Mikroprozessor 44 implementierten Algorithmen ist ein Temperaturbereich zwischen einem unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  und einem oberen Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  hier beispielsweise jeweils für die von den Temperatursensoren 74a, 74b gemessen und im Folgenden als Messtemperaturen bezeichneten Temperaturen der Wechselrichter 66a, 66b als Innentemperaturen vorgegeben, siehe hierzu **Fig.8**. Die Werte für den unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  und den oberen Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  werden beispielsweise über die Einstellmittel 42 der Bedieneinrichtung 40 in den Generator 2 eingegeben.

**[0113]** Der elektrische Generator 2 bzw. insbesondere dessen Wechselrichter 66a, 66b werden dann von dem Mikroprozessor 44 anhand implementierter Algorithmen bevorzugt wie folgt gesteuert:

Im Rahmen des Startmodus nach einem Einschalten des Generators 2 (Bestromen) wird die Leistung PW des Generators 2 ausgehend von einer vorgegebenen Startleistung PW Start am Punkt P1 über eine vorgegebene erste Zeitspanne  $t1$  rampenartig auf eine demgegenüber höhere erste Leistung PW1 erhöht, welche kleiner oder gleich in Bezug auf eine maximale Leistung PW<sub>max</sub> des Generators 2 ist. Unter der maximalen Leistung PW<sub>max</sub> des Generators 2 wird die maximale Leistung PW des Generators 2 verstanden, die dieser aufbringen kann. Die vorgegebene erste Zeitspanne  $t1$  wird ebenfalls zuvor über die Einstellmittel 42 der Bedieneinrichtung 40 in den Generator 2 eingegeben.

**[0114]** Diese erste Leistung PW1 wird dann über eine vorgegebene zweite Zeitspanne  $t2$  konstant gehalten. Die vorgegebene zweite Zeitspanne  $t2$  wird zuvor ebenfalls über die Einstellmittel 42 der Bedieneinrichtung 40 in den Generator 2 eingegeben.

**[0115]** Wenn dann nach Ablauf der zweiten Zeitspanne  $t2$  der Punkt P2 erreicht ist, dann wird die Leistung PW des Generators 2 sprunghaft auf eine demgegenüber niedrigere zweite Leistung PW2 abgesenkt, die in einem Bereich zwischen der Startleistung PW Start und beispielsweise dem halben Wert der ersten Leistung PW1 liegt.

**[0116]** Sodann wird der Generator 2 solange unter der zweiten Leistung PW2 betrieben (bis zum Punkt P4), bis die Messtemperaturen den unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  erreicht haben. Damit ist der Startmodus beendet und es schließt sich am Punkt P4 automatisch der (Dauer-)Betriebsmodus an.

**[0117]** Im Rahmen des Betriebsmodus wird dann die Leistung PW des Generators 2 rampenartig erhöht bis im Punkt P5 eine vorgegebene, gegenüber der zweiten Leistung PW2 größere oder höhere dritte Leistung PW3 erreicht wird, welche kleiner oder gleich in Bezug zur ersten Leistung PW1 ist.

**[0118]** Sodann wird der Generator 2 solange unter der dritten Leistung PW3 betrieben bis die Messtemperatur

ren den oberen Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  erreicht haben. Dieser Punkt ist in **Fig.13** mit P6 bezeichnet.

**[0119]** Sodann wird die Leistung PW des Generators 2 sprunghaft auf die zweite Leistung PW2 abgesenkt (Punkt P7) und dann der Generator 2 solange unter der niedrigeren zweiten Leistung PW2 betrieben bis die Messtemperaturen den unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  erreicht haben, was in **Fig.13** durch den Punkt P8 symbolisiert wird.

**[0120]** Nachfolgend wird dann werden im Rahmen des Betriebsmodus das rampenartige Erhöhen der Leistung von der zweiten Leistung PW2 auf die dritte Leistung PW3, das Halten der dritten Leistung PW3 bis  $T_{high}$  erreicht ist sowie das sprunghafte Absenken von der dritten Leistung PW3 auf die zweite Leistung PW2 zyklisch wiederholt, solange der Generator in Betrieb ist bzw. bestrahlt wird.

**[0121]** Infolgedessen wird im Betriebsmodus des Generators 2 wiederholt ein Zyklus durchlaufen, der einen Betrieb des Generators 2 in einem Temperaturbereich zwischen dem unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  und dem oberen Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  gewährleistet, in welchem keine Temperaturschädigungen des Generators 2 und/oder der Induktoren 6 zu befürchten sind. Dieser Zyklus bzw. der Betriebsmodus wird erst nach Abschalten des Generators 2 beendet.

**[0122]** Mithin wird eine adaptive Mehr-Punkt-Temperaturregelung verwirklicht, wobei die Regelpunkte durch den unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  und den oberen Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  gebildet werden.

**[0123]** Die an die Schiene abgegebene mittlere Leistung  $P_{av}$  ist davon abhängig, wie schnell nach dem Sprung von PW1 (bzw. PW3) die untere Grenztemperatur  $T_{low}$  erreicht werden kann. Durch zusätzliche Kühlmaßnahmen (wie z.B. "aktive Kühlung" durch den Einsatz von Ventilatoren) kann die mittlere Leistung  $P_{av}$  erheblich gesteigert werden, so dass der Einsatz im Hochgebirge ohne weiteres möglich wäre, sog. "supper boost".

**[0124]** Während des Startmodus werden daher die Temperaturen an den Induktoren 6 stark erhöht, so dass es zu einem Effekt ähnlich wie bei Widerstandsstäben kommt, dem sogenannten "super boost". Danach geht die Steuerung bzw. Regelung der Heizeinrichtung 1 automatisch in den Betriebsmodus und damit in das "Temperatur-Grenzwertsystem" über.

**[0125]** Insbesondere ergänzt die oben und in **Fig.13** beschriebene Mehr-Punkt-Temperaturregelung die führungsgrößenbasierte Steuerung oder Regelung der Leistung des Generators 2. Die führungsgrößenbasierte Steuerung oder Regelung der Leistung des Generators 2 ist daher der Mehr-Punkt-Temperaturregelung vorzugsweise nebengeordnet.

**[0126]** Beide Steuerungen/Regelungen haben daher ihre eigenen Führungsgrößen. Die eine Steuerung/Regelung hat als Führungsgröße(n) die Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  und/oder die Luftfeuchtigkeit und/oder ein Eintreten von Schneefall und/oder die Temperatur der

Schiene/Weiche und steuert den Generator 2 durch Ein- und Ausschalten des Generators 2. Diese Steuerung/Regelung kann aber ein Ausschalten des Generators 2 aufgrund einer zu hohen Innentemperatur des Generators 2 nicht verhindern, wodurch die eingangs beschriebenen Probleme auftreten. Die weitere Steuerung/Regelung (adaptive Mehr-Punkt-Temperaturregelung) hat die Aufgabe, durch geeignete Leistungsregelung den Generator 2 gegen Überhitzung zu schützen und ein unerwünschtes Ausschalten zu verhindern sowie die Leistungsabgabe zu verbessern. Die Führungsgrößen dieser weiteren Steuerung/Regelung (adaptive Mehr-Punkt-Temperaturregelung) sind hier ausschließlich die oben beschriebenen Temperaturen (unterer Temperaturgrenzwert  $T_{low}$ , oberer Temperaturgrenzwert  $T_{high}$ , bzw.  $T_{ext}$ ).

**[0127]** Durch die mit dem Mikroprozessor 44 kommunizierende Bedieneinrichtung 40, über welche beispielsweise zumindest ein Wert für die erste Zeitspanne  $t_1$ , ein Wert für die zweite Zeitspanne  $t_2$ , ein Wert für die Startleistung PW Start, ein Wert für die erste Leistung PW1, ein Wert für die zweite Leistung PW2 und/oder ein Wert für die dritte Leistung PW3 in den Mikroprozessor 44 eingesteuert wird, kann die Temperaturüberwachung der induktiven Heizvorrichtung 1 flexibel an die jeweilige konstruktive Ausführung bzw. an die Umgebungsverhältnisse angepasst werden. Weiterhin sind dadurch auch der Energieverbrauch und die thermische Belastung der induktiven Heizvorrichtung 1 steuerbar.

**[0128]** Weiterhin kann in dem Mikroprozessor 44 implementierten Algorithmen eine absolute obere Grenztemperatur  $T_{abs}$  als Wert für eine Temperatur in dem Sinne vorgegeben sein, welche maximal von der/den Messtemperaturen erreicht werden darf. Diese absolute obere Grenztemperatur  $T_{abs}$  stellt im Gegensatz zur oberen Grenztemperatur  $T_{high}$ , welche zwar vorgegeben, aber durch Voreinstellung variierbar ist, einen unveränderbaren Wert dar und ist insbesondere größer als die obere Grenztemperatur  $T_{high}$ . Falls die Messtemperatur(en) diese absolute obere Grenztemperatur  $T_{abs}$  erreicht (erreichen) oder überschreitet (überschreiten), so ist der Mikroprozessor 44 insbesondere ausgebildet, dass er den Generator 2 generell abschaltet (entstromt). Dieser Fall tritt nur dann ein, wenn die Regelung bei der oberen Grenztemperatur  $T_{high}$  nicht funktionieren sollte. Die Funktionstüchtigkeit der Regelung wird durch eine im nachfolgenden beschriebene Plausibilitätsprüfung überwacht.

**[0129]** Wie oben bereits regelt der Mikroprozessor 44 in dem oben beschriebenen Startmodus und Betriebsmodus die elektrische Leistung PW des Generators 2 durch Variieren der Pulsweite PW des in die Induktoren 6 eingespeisten Wechselstroms. Bevorzugt wird daher die Frequenz  $f$  konstant gehalten und lediglich die Pulsweite PW als Führungsgröße der überlagerten Regelung herangezogen.

**[0130]** Bevorzugt ist der Mikroprozessor 44 ausgebildet, dass er eine Plausibilitätsprüfung anhand der Werte

der Innentemperaturen  $T_{int1}$  und  $T_{int2}$  durchführt und bei nicht plausiblen Werten der Innentemperaturen  $T_{int1}$  und  $T_{int2}$  ein Warnsignal erzeugt, das beispielsweise auf dem Display 46 angezeigt wird. Mit anderen Worten werden im Mikroprozessor 44 die von den Temperatursensoren 74a, 74b der unterschiedlichen Wechselrichter 66a, 66b erhaltenen Messtemperaturen miteinander verglichen und bei signifikanten Abweichungen voneinander das Warnsignal erzeugt.

**[0131]** Weiterhin ist hier der Mikroprozessor 44 bevorzugt ausgebildet, dass er wenigstens den unteren Temperaturgrenzwert  $T_{low}$  und/oder den oberen Temperaturgrenzwert  $T_{high}$  und/oder die erste Leistung PW1 und/oder die zweite Leistung PW2 und/oder die dritte Leistung PW3 abhängig von der Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  anpasst. Damit wird erreicht, dass die oben genannten Werte an die äußeren Temperaturbedingungen automatisch angepasst werden.

**[0132]** Um Energie zu sparen, können daher die beiden Temperaturgrenzwerte  $T_{high}$  und  $T_{low}$  abhängig von der Außentemperatur  $T_{ext}$  mit Hilfe eines Korrekturfaktors korrigiert werden. Dies kann für beide Temperaturgrenzwerte  $T_{low}$  und  $T_{high}$  getrennt durch zwei Korrekturfaktoren oder gemeinsam über einen einzigen Korrekturfaktor geschehen. Beispielsweise ist es bei starkem Schneefall und einer Umgebungstemperatur  $T_{ext} > 0^\circ\text{C}$  nicht notwendig, dass der Generator mit einer ebenso großen Heizleistung  $P$  betrieben wird wie etwa bei  $-5^\circ\text{C}$ .

**[0133]** Die vorgegebenen bzw. voreingestellten Leistungen Startleistung PW Start, erste Leistung PW1, zweite PW2 und dritte Leistung PW3 sind daher bevorzugt auf einen bestimmten Wert von Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  bezogen, einer Bezugs-Umgebungstemperatur  $T_{ext\_Bezug}$  von z.B.  $-5^\circ\text{C}$ . Es ist dann nicht erforderlich bei demgegenüber niedrigeren Temperaturen die Heizleistung PW des Generators 2 weiter zu erhöhen, da bei niedrigeren Umgebungstemperaturen  $T_{ext}$  nicht mit Schneefall zu rechnen ist. Der Mikroprozessor 44 ist daher ausgebildet, dass die oben genannten vorgegebenen bzw. voreingestellten Leistungen daher bei in Bezug auf die Bezugs-Umgebungstemperatur  $T_{ext\_Bezug}$  steigenden Umgebungstemperaturen  $T_{ext}$  reduziert. In der Praxis bedeutet dies, dass die maximale Leistung PW max für z.B. eine Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  von  $-5^\circ\text{C}$  und starken Schneefall voreingestellt wird. Wird aber dann anhand von Wetterdaten festgestellt, dass keine frierende Nässe oder Schneefall zu erwarten sind, wird die induktive Heizvorrichtung 1 beispielsweise überhaupt nicht eingeschaltet. Ändern sich indessen die äußeren Bedingungen wird die induktive Heizeinrichtung 1 eingeschaltet und wie oben beschrieben gesteuert. Der Energieverbrauch ist dabei vor allem von den voreingestellten Leistungswerten abhängig, die wiederum abhängig von der Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  und/oder von der gemessenen Luftfeuchtigkeit angepasst werden. Die Luftfeuchtigkeit der Umgebung kann daher neben der Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  in den oder die Korrektur-

faktor(en) eingehen.

**[0134]** Insbesondere können die Korrekturfaktoren für die Grenztemperaturen  $T_{high}$  und  $T_{low}$  und die Korrekturfaktoren für die Leistungswerte für die Startleistung PW Start, die erste Leistung PW1, die zweite PW2 und die dritte Leistung PW3 bevorzugt nicht identisch sein. Eine Anpassung der Leistungswerte des Generators 2 wird beispielsweise linear in Bezug auf die Umgebungstemperatur  $T_{ext}$  vorgenommen.

#### Physikalischer Hintergrund

**[0135]** Einige Beispiele von Impulsfunktionen für eine beliebige zeitabhängige physikalische Größe  $g$ , hier der Erreger-Wechselstrom der Induktionsspulen 56, die überwiegend als Hüllkurve mehrerer Pulse entstehen, sind in den **Figuren 7a bis 7d** gezeigt, worin  $T$  die Periode der jeweiligen Impulsfunktion darstellt.

**[0136]** Des Weiteren sind Verfahren bekannt, bei den periodische Schwingfunktionen in Form von symmetrischen oder asymmetrischen Sägezähnen als Einzelwelle mit einer Periode von z.B. 10 ms ( $T_1$ , entsprechend 100 Hz) mit einer Wiederholungsrate von 100 ms ( $T_2$ , entsprechend 10 Hz) angewendet werden. Beispiele solcher periodischer Schwingfunktionen sind in den **Figuren 9a bis 9c** gezeigt.

**[0137]** Wird im Weiteren eine Funktion als "Impuls" oder "Puls" bezeichnet, handelt es sich immer um einen Funktionsverlauf während einer Halbperiode. Danach folgt immer ein Puls mit umgekehrtem Vorzeichen. Bei einem Spannungsverlauf erfolgen die positiven und negativen Pulse mit einer Nullphase zwischen den beiden Halbwellen, bei einem Stromverlauf und/oder einem Feldverlauf ist diese Folge lückenlos. In diesem Fall bilden die beiden Halbwellen eine periodische Wechselfunktion.

**[0138]** Der magnetische Fluss  $\Phi$  ist direkt proportional zu dem elektrischen Strom  $I$ , der ihn verursacht. Die Proportionalitätskonstante heißt Induktivität  $L$  und stellt die charakteristische Größe eines Induktors dar:

$$\Phi = L \times i$$

**[0139]** Die vorstehende Gleichung besagt gleichzeitig, dass der Verlauf des magnetischen Flusses in linearen Systemen dem Stromverlauf treu folgt. Steigt der Strom  $i$  linear, steigt auch der Fluss  $\Phi$  linear, ist der Strom  $i$  konstant, nimmt auch der Fluss  $\Phi$  einen konstanten Wert an.

**[0140]** Da es sich in diesen Fällen um lineare Systeme und zeitabhängige Verläufe, d.h. um Wechselströme handelt, kann die Gleichung nach der Zeit differenziert werden:

$$d\Phi / dt = L \times di / dt$$

wobei die induzierte Spannung

$$u = - d\Phi / dt$$

ist. Je höher die Frequenz  $f$  ist, desto höher ist auch die induzierte Spannung  $u$ . Allerdings ist auch eine hohe Feldstärke  $\Phi$  notwendig, d.h. es wird dazu ein größerer Strom  $i$  benötigt. Strom  $i$  und Feldstärke  $\Phi$  zusammen bestimmen den Arbeitsbereich (Spannung und Frequenz) an den Induktoranschlüssen 68a und 68b des Generators 2.

[0141] Als besonders vorteilhaft hat sich eine senkrecht zu einer Fläche der Schiene 8, insbesondere zu einer Seitenfläche 12, 14 der Schiene 8 verlaufende Richtung der Feldlinien gezeigt (siehe Fig.6). Die Magnetfeldstärke bzw. die Induktion des durch die Induktionsspule 56 produzierten Magnetfeldes wird mittels einer Frequenz- und/oder einer Pulsweitenmodulation gesteuert.

[0142] Wie oben erläutert, wird eine Steuerung oder Regelung der Leistung  $P$  des Generators 2 mittels einer Pulsweitenmodulation als eine erste Betriebsart bezeichnet, eine Steuerung oder Regelung mittels einer Frequenzmodulation als eine zweite Betriebsart bezeichnet.

[0143] Es werden bevorzugt ausschließlich periodische Schwingfunktionen angewendet, die sowohl positive als auch negative Werte annehmen, ohne dass diese in einem definierten Verhältnis zueinander stehen müssen. Eine periodische Funktion erfüllt die Gleichung:

$$f(t + T) = f(t)$$

[0144] Im Grenzfall gehen die Schwingfunktionen in Wechselfunktionen über, wobei die positiven und negativen, durch die Spannungskurve begrenzten Flächen innerhalb einer Periode identisch sind.

[0145] Sowohl die positiven als auch die negativen Spannungspulse sind rechteckig. In Fig.10a ist die Pulsweite  $PW$  mit 100 %, in Fig.10b mit 50 % dargestellt. Die Steuersignale für den Strom- und damit auch für den Flussverlauf werden so erzeugt, dass es bei beiden unabhängig von der jeweiligen Pulsweite  $PW$  zu keiner Unterbrechung kommt. Wird die maximal zulässige Pulsweite  $PW$  nach oben begrenzt- z.B. mit 75 % - entstehen beim Strom unterbrechungsfreie trapezformähnliche Funktionsverläufe ohne Pulsunterbrechung, wie in den Figuren 11a und 11b dargestellt.

[0146] Die erste, hier bevorzugt verwendete Betriebsart oder Pulsweitenmodus ermöglicht über entsprechende Steuerungsvorgaben ein periodisches bzw. aperiodisches Durchlaufen eines beliebigen Pulsweitenbereiches bei konstanter Frequenz  $f$ . Dies entspricht einer in

Fig.12 gezeigten Pulsweitenmodulation:

### PW\_mode bei $f = \text{konst.}$

[0147] Die erste Betriebsart (Pulsweitenmodus) hat eine Stromänderung und damit auch eine Flussänderung zur Folge. Beide Größen können kontinuierlich, d.h. rampenförmig, oder sprunghaft zwischen zwei frei wählbaren Grenzwerten verändert werden.

[0148] In Fig.12 ist ein symmetrischer Spannungsverlauf dargestellt. Der entsprechende Stromverlauf ergibt sich dann analog zu Fig.11b.

[0149] Alle Vorgaben können über beliebige, frei wählbare Zeit- oder Pulszahl-Konstanten entweder manuell (mittels beispielsweise einer Tastatur) oder automatisiert (beispielsweise mittels der Steuerung oder der Regelung) eingestellt werden.

[0150] Wie vorstehend beschrieben wurde, beinhaltet die induktive Heizvorrichtung 1 einen Generator 2 mit zumindest einem Induktor 6 mit wenigstens einer Induktionsspule 56 zur Erzeugung eines elektromagnetischen Felds mit Wechselstrom.

[0151] Die am Ausgang des Generators 2 anstehende Spannung wird bevorzugt in Form von viereckigen Pulsen erzeugt. Der durch die Induktionsspule 56 fließende Strom nimmt bevorzugt eine symmetrische Trapezform an. Die trapezformähnliche Strompulse werden bevorzugt als Einzelpulse ohne zusätzliche Frequenzmodulation erzeugt. Der frei einstellbare Frequenzbereich liegt vorzugsweise zwischen 5 kHz und 15 kHz.

[0152] Die Grenzwerte für alle Betriebsarten sind über die Bedieneinrichtung 40 frei einstellbar. Alle für die einzelnen Betriebsarten benötigten Zeitkonstanten sind ebenfalls über die Bedieneinrichtung 40 frei einstellbar. Die Verläufe sind dabei symmetrisch. Die Abläufe können mit variabler Pulszahl oder mit konstanter Pulszahl erfolgen. Der Generator 2 weist hierzu eine durch die Bedieneinrichtung 40 bzw. die Einstellmittel 42 frei programmierbare Steuerung/Regelung auf. Diese freiprogrammierbare Steuerung/Regelung ist in einem Mikroprozessor 44 implementiert.

[0153] Ein durch den Mikroprozessor 44 wie oben beschrieben gesteuerter Generator 2 wird daher bevorzugt verwendet, um in einer induktiven Heizvorrichtung 1 zur Befestigung an einer Schiene 8 oder an einer Weiche 10 vorgesehene Induktoren 6 mit Wechselstrom zu versorgen, wobei der durch den Mikroprozessor 44 gesteuerte oder geregelte Generator 2 die Frequenz  $f$  und/oder die Pulsweite  $PW$  des Erreger-Wechselstroms der Induktoren 6 verändert.

[0154] Mit anderen Worten wird eine in Fig.8 in Gesamtübersicht gezeigte induktive Heizeinrichtung mit wenigstens einem von einer beispielsweise Wechselspannungsquelle gespeisten Generator 2, einer Leitungsverbindung 22 zwischen dem Generator 2 und wenigstens einem wenigstens eine Induktionsspule 56 ent-



haltenden Induktor 6 zur Versorgung der wenigstens einen Induktionsspule 56 mit von dem Generator 2 erzeugten Wechselstrom, und mit einer Steuerungs- oder Regelungseinrichtung 44 zur Steuerung oder Regelung der elektrischen Leistung des Generators 2 durch Variieren der Frequenz  $f$  und/oder der Pulsweite  $PW$  des in die Induktionsspule 56 eingespeisten Wechselstroms bevorzugt als induktive Weichen- und/oder Schienenheizvorrichtung verwendet, bei welcher der wenigstens eine Induktor 6 an einer Schiene 8 und/oder an einer Weiche 10 eines Schienennetzes angeordnet ist und bei welcher aufgrund der mit dem Wechselstrom gespeisten Induktionsspule 56 in der Schiene 8 und/oder in der Weiche 10 durch elektromagnetische Induktion ein Strom induziert wird, welcher die Schiene 8 und/oder die Weiche 10 erwärmt.

**[0155]** Anstatt zur Beheizung von Weichen/Schienen kann die induktive Heizeinrichtung aber selbstverständlich zum Beheizen eines jeglichen anderen elektrisch leitfähigen Körpers verwendet werden. Die oben beschriebene Mehr-Punkt-Temperaturregelung dient dabei als Schutz des Generators der induktiven Heizeinrichtung gegen Überhitzung bei gleichzeitiger Leistungsoptimierung und kann bei allen induktiven Heizeinrichtungen unabhängig von Applikation und Kühlart (Konvektion, Zwangsbelüftung, Wasserkühlung, ...) angewendet werden. Sie ist daher für alle kontinuierlichen oder quasi kontinuierlichen induktiven Heizprozesse anwendbar.

#### Bezugszahlenliste

#### [0156]

1	Vorrichtung
2	Generator
4a, b	elektrische Kreise
6a, b	Induktoren
8	Schiene
10	Weiche
12	äußere Seitenfläche
14	innere Seitenfläche
16	Schienenmittelteil
18	Schienenfuß
20	Schienenkopf
22	Verbindungsleitungen
24	Windungen
26	Trägerkörper
28	Magnetfeldlinien
30	Klammer
32	erster Schenkel
34	zweiter Schenkel
36	Ausbauchung
38	Abschirmkörper
40	Bedieneinrichtung
42	Einstellmittel
44	Mikroprozessor
46	Display
48	Luftfeuchtigkeitssensor

56	Induktionsspule
58	Generatorgehäuse
60	Versorgungsanschlüsse
62	Netzgleichrichter
5 64	Kondensatorbatterie
66a/b	Wechselrichter
68a/b	Induktoranschlüsse
70	Sensoranschluss
72	Umgebungstemperatursensor
10 74a/b	Temperatursensor
76	Temperatursensor

#### Patentansprüche

1. Induktive Heizvorrichtung (1), welche einen von einer Spannungsquelle gespeisten Generator (2) sowie wenigstens einen Induktor (6) beinhaltet, wobei

a) der Generator (2) als Baugruppen wenigstens einen Netzgleichrichter (62), wenigstens einen Mikroprozessor (44), wenigstens eine Ladeeinrichtung (64) sowie wenigstens einen Wechselrichter (66a, 66b) umfasst und die Baugruppen des Generators (2) in einem Generatorgehäuse (58) untergebracht sind,

b) der durch die elektronische Steuerung (44) gesteuerte Generator (2) über eine Leitungsverbindung (22) wenigstens einen wenigstens eine Induktionsspule (56) enthaltenden, zur Befestigung an einem zu beheizenden, elektrisch leitfähigen Körper (8, 10) vorgesehenen Induktor (6) mit Wechselstrom versorgt, und

c) aufgrund der mit dem Wechselstrom gespeisten Induktionsspule (56) des Induktors (6) in dem zu beheizenden, elektrisch leitfähigen Körper (8, 10) durch elektromagnetische Induktion ein Strom induziert wird, welcher den zu beheizenden Körper (8, 10) erwärmt, und

d) in dem Mikroprozessor (44) Algorithmen für die Steuerung oder die Regelung der Leistung des Generators (2) abhängig von einer Führungsgröße ( $T_{ext}$ ) implementiert sind, **dadurch gekennzeichnet, dass**

e) eine mit dem Mikroprozessor (44) signalleitend verbundene Sensoreinrichtung (72; 74a, 74b; 76) vorgesehen ist, welche wenigstens eine im Inneren des Generatorgehäuses herrschende Innentemperatur ( $T_{int1}$ ,  $T_{int2}$ ) und/oder die Induktortemperatur des wenigstens einen Induktors (6) als Messtemperatur(en) misst und in den Mikroprozessor (44) einsteuert, wobei

f) in dem Mikroprozessor (44) implementierte Algorithmen ein Temperaturbereich zwischen einem unteren Temperaturgrenzwert ( $T_{low}$ ) und einem oberen Temperaturgrenzwert ( $T_{high}$ ) für die Messtemperatur vorgegeben ist, wobei

g) der elektrische Generator (2) derart von dem Mikroprozessor (44) gesteuert ist, dass

g1) im Rahmen eines Startmodus nach einem Einschalten des Generators (2) die Leistung (PW) des Generators (2) ausgehend von einer Startleistung ( $PW_{Start}$ ) über eine vorgegebene erste Zeitspanne ( $t_1$ ) rampenartig auf eine demgegenüber höhere erste Leistung (PW1) erhöht wird, welche kleiner oder gleich in Bezug zu einer maximalen Leistung (PW max) des Generators (2) ist, und

g2) diese erste Leistung (PW1) über eine vorgegebene zweite Zeitspanne ( $t_2$ ) konstant gehalten wird, und dann

g3) die Leistung (PW) des Generators (2) sprunghaft auf eine demgegenüber niedrigere zweite Leistung (PW2) abgesenkt wird, welche größer als die Startleistung PW Start ist, und dann

g4) der Generator (2) solange unter der zweiten Leistung (PW2) betrieben wird, bis die Messtemperatur den unteren Temperaturgrenzwert ( $T_{low}$ ) erreicht hat, und dann

g5) im Rahmen eines Betriebsmodus

g5.1) die Leistung (PW) des Generators (2) rampenartig erhöht wird, bis eine vorgegebene, gegenüber der zweiten Leistung (PW2) größere dritte Leistung (PW3) erreicht wird, welche kleiner oder gleich in Bezug zur ersten Leistung (PW1) ist, und dann

g5.2) der Generator (2) solange unter der dritten Leistung (PW3) betrieben wird bis die Messtemperatur den oberen Temperaturgrenzwert ( $T_{high}$ ) erreicht hat, und dann

g5.3) die Leistung (PW) des Generators (2) sprunghaft auf die zweite Leistung (PW2) abgesenkt wird, und dann

g5.4) der Generator (2) solange unter der niedrigeren zweiten Leistung (PW2) betrieben wird, bis die Messtemperatur den unteren Temperaturgrenzwert ( $T_{low}$ ) erreicht hat, und dann

g5.5) die Schritte g5.1) bis g5.4) zyklisch wiederholt werden.

2. Induktive Heizvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine mit dem Mikroprozessor (44) kommunizierende Bedieneinrichtung (40, 42) vorgesehen ist, über welche wenigstens ein Wert für die erste Zeitspanne ( $t_1$ ), ein Wert für die zweite Zeitspanne ( $t_2$ ), ein Wert für die Startleistung (PW Start), ein Wert für die erste Leistung (PW1), ein Wert für die zweite Leistung (PW2) und/oder ein

Wert für die dritte Leistung (PW3) in den Mikroprozessor (44) einsteuerbar ist.

3. Induktive Heizvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinrichtung (72; 74a, 74b; 76) wenigstens einen Temperatursensor (74a, 74b) umfasst, welcher eine Temperatur ( $T_{int1}$ ,  $T_{int2}$ ) des wenigstens einen Wechselrichters (66a, 66b) des Generators (2) als Messtemperatur erfasst und in den Mikroprozessor (44) einsteuert.
4. Induktive Heizvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem Mikroprozessor (44) implementierten Algorithmen eine absolute obere Grenztemperatur ( $T_{abs}$ ) vorgegeben ist, wobei falls die Messtemperatur ( $T_{int1}$ ,  $T_{int2}$ ) diese absolute obere Grenztemperatur ( $T_{abs}$ ) erreicht oder überschreitet, der Mikroprozessor (44) ausgebildet ist, dass er den Generator (2) abschaltet.
5. Induktive Heizvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Mikroprozessor (40) zur Steuerung oder Regelung der elektrischen Leistung des Generators (2) durch Variieren der Frequenz ( $f$ ) und/oder der Pulsweite (PW) des in den wenigstens einen Induktor (6) eingespeisten Wechselstroms ausgebildet ist.
6. Induktive Heizvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine zusätzliche Führungsgröße die Umgebungstemperatur ( $T_{ext}$ ) und/oder die Temperatur des zu beheizenden Körpers (8, 10) und/oder die Induktortemperatur wenigstens eines Induktors (6) ist.
7. Induktive Heizvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Generator (2) mehrere in Bezug zur Ladeeinrichtung (64) parallel geschaltete Wechselrichter (66a, 66b) beinhaltet, wobei an jeden Wechselrichter (66a, 66b) jeweils ein Induktor (6a, 6b) angeschlossen ist.
8. Induktive Heizvorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** an oder in jedem Wechselrichter (66a, 66b) mittelbar oder unmittelbar ein Temperatursensor (74a, 74b) angeordnet ist, welcher eine auf den jeweiligen Wechselrichter (66a, 66b) bezogene Temperatur ( $T_{int1}$ ,  $T_{int2}$ ) in den Mikroprozessor (44) als Messtemperatur einsteuert.
9. Induktive Heizvorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Mikroprozessor (44) ausgebildet ist, dass er eine Plausibilitätsprüfung anhand der Werte der Messtemperaturen

(T\_int1, T\_int2) durchführt und bei nicht plausiblen Werten der Messtemperaturen (T\_int1, T\_int2) ein Warnsignal erzeugt.

10. Induktive Heizvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinrichtung (72; 74a, 74b; 76) wenigstens einen Umgebungstemperatursensor (72) aufweist, welcher die Umgebungstemperatur (T\_ext) misst und in den Mikroprozessor (44) einsteuert, wobei der Mikroprozessor (44) ausgebildet ist, dass er wenigstens den unteren Temperaturgrenzwert (T\_low) und/oder den oberen Temperaturgrenzwert (T\_high) und/oder die erste Leistung (PW1) und/oder die zweite Leistung (PW2) und/oder die dritte Leistung (PW2) abhängig von der Umgebungstemperatur (T\_ext) anpasst. 5  
10
11. Induktive Heizvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine induktive Welchen- und/oder Schienenheizvorrichtung ausbildet, wobei der zu beheizende Körper (8, 10) durch eine Schiene und/oder durch eine Weiche gebildet wird. 15  
20  
25
12. Schienennetz für Schienenfahrzeuge, beinhaltend wenigstens eine Schiene (8) und/oder eine Weiche (10), **dadurch gekennzeichnet, dass** es wenigstens eine induktive Welchen- und/oder Schienenheizvorrichtung (1) gemäß Anspruch 11 umfasst. 30
13. Schienennetz nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der wenigstens eine Induktor (6) an einer oder an beiden Seitenflächen (12, 14) wenigstens einer Schiene (8) angeordnet ist. 35
14. Schienennetz nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der wenigstens eine Induktor (6) an der Schiene (8) in einem sich im Bereich einer Weiche (10) befindlichen Schienenabschnitt angeordnet ist. 40  
45  
50  
55

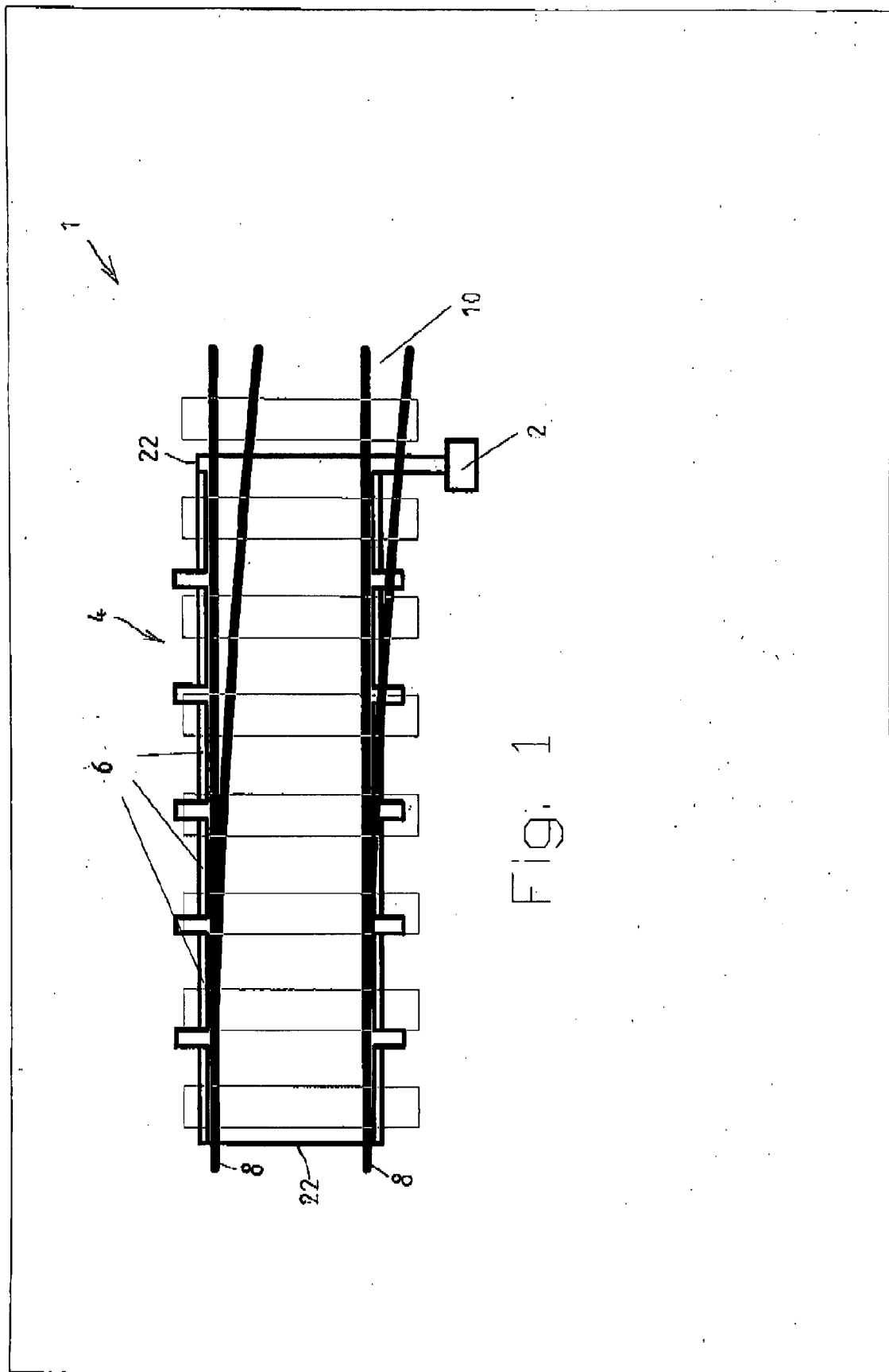


FIG. 1

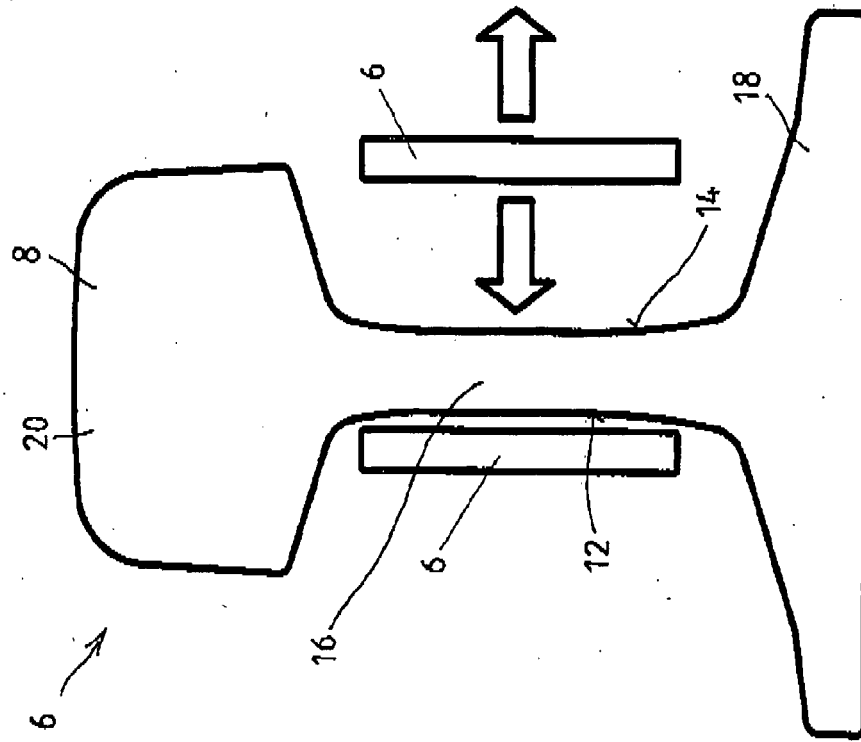
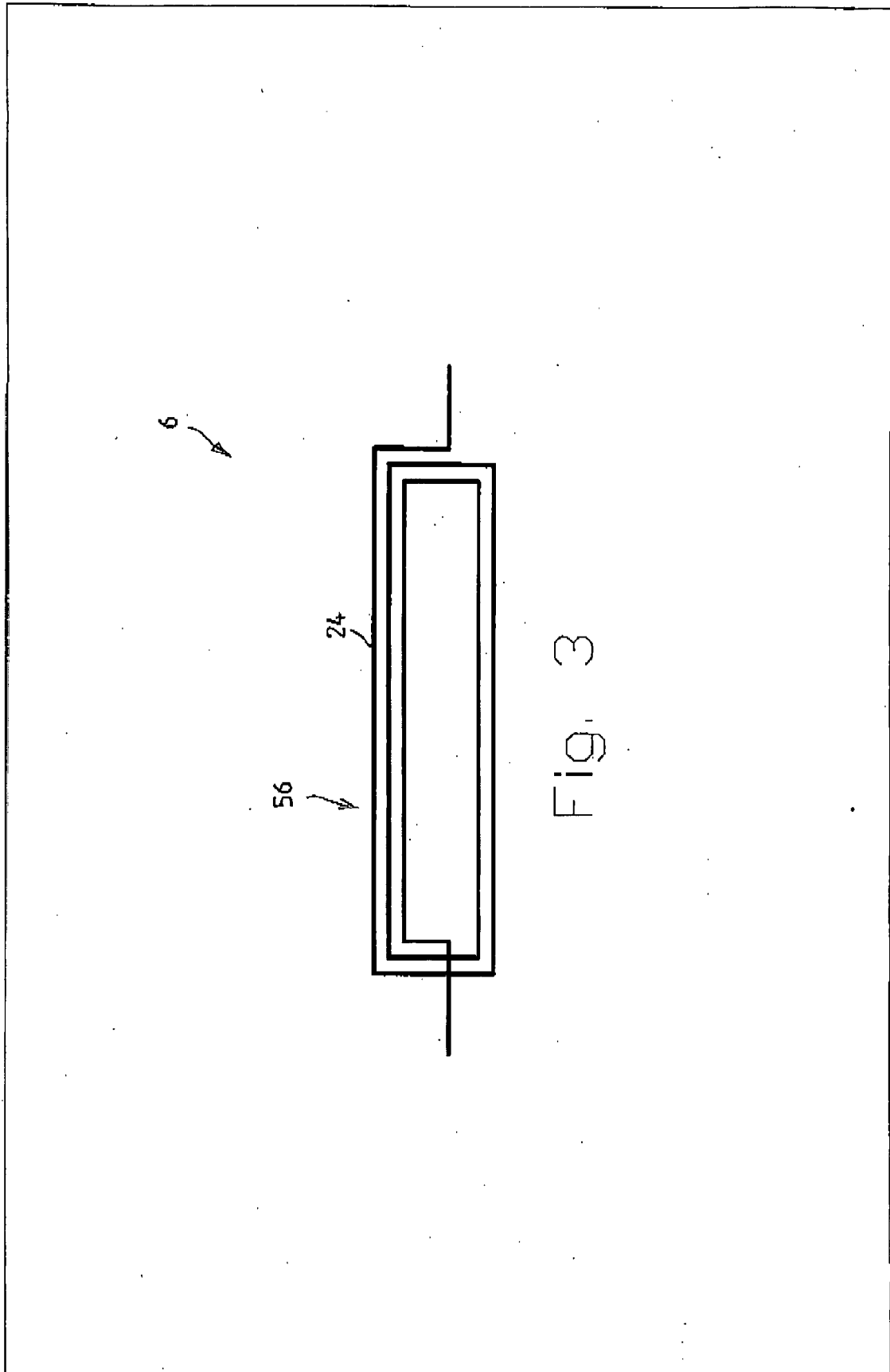


FIG. 2



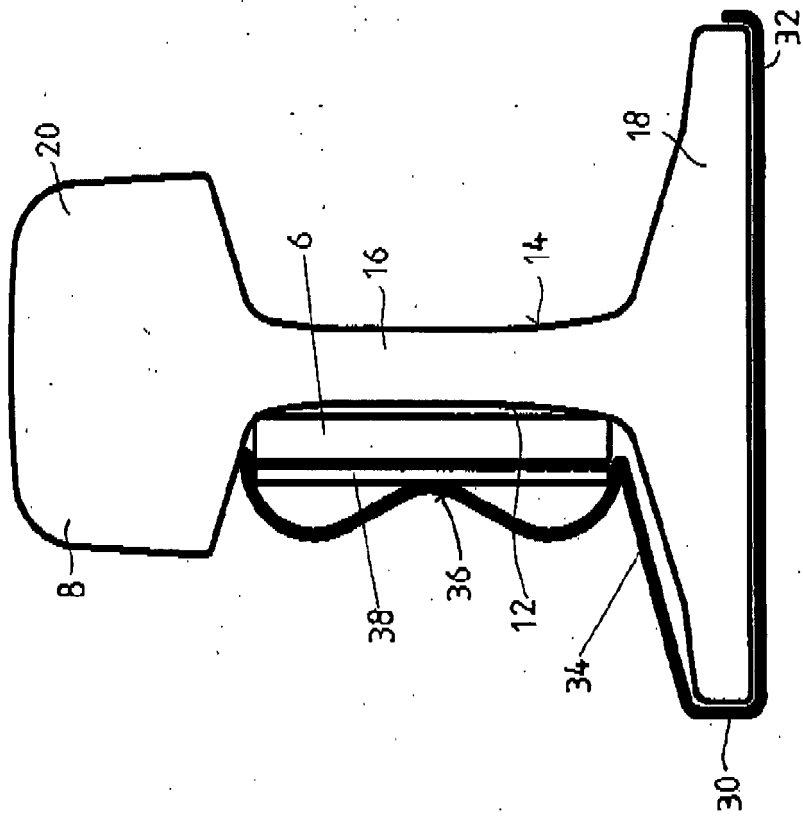


Fig. 4

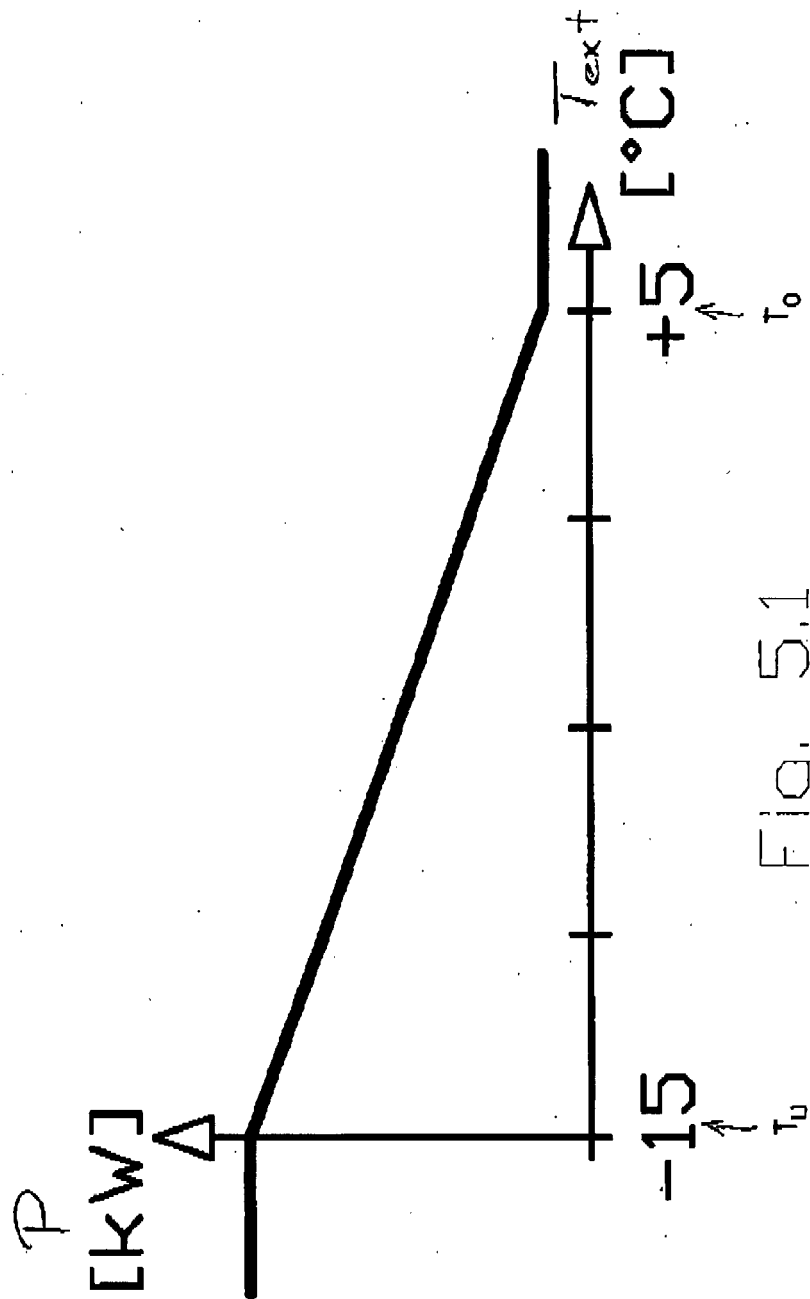


Fig. 5.1



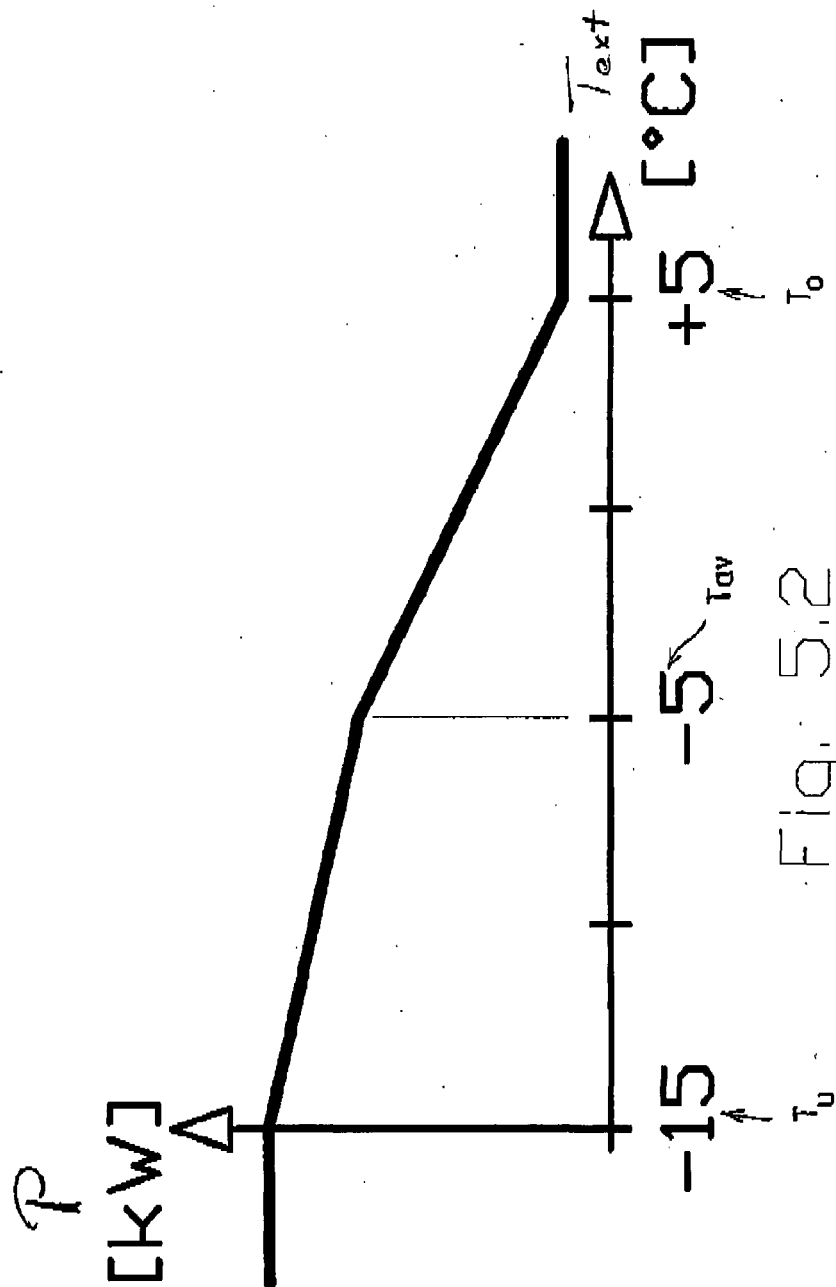


Fig. 5.2

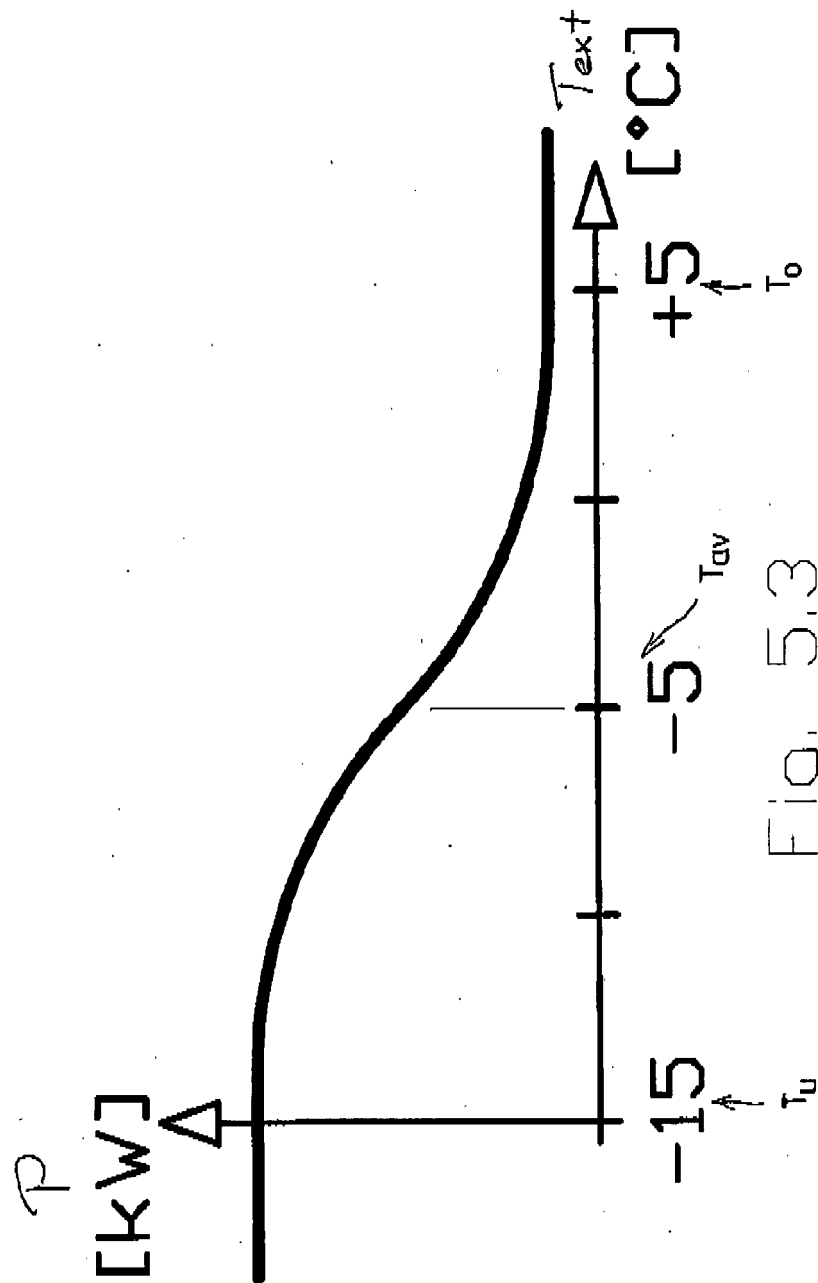


Fig. 5.3

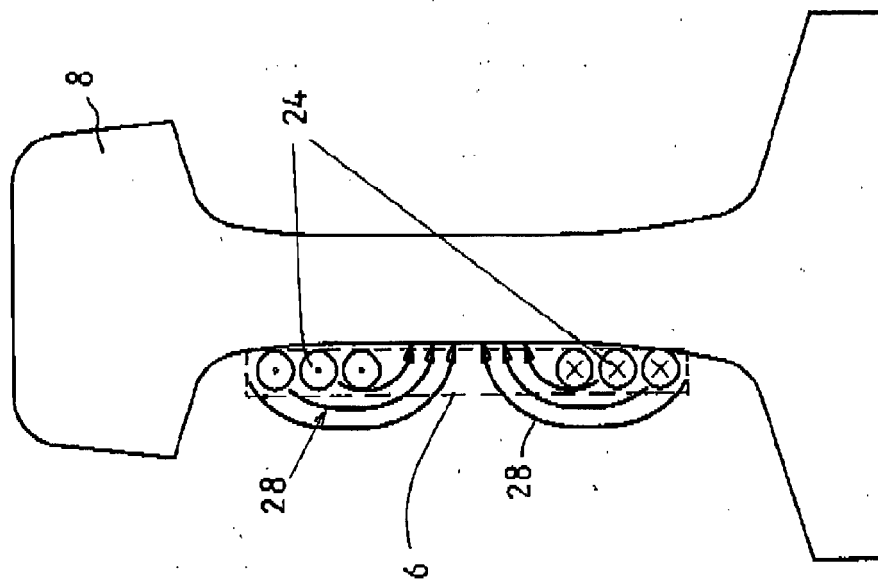
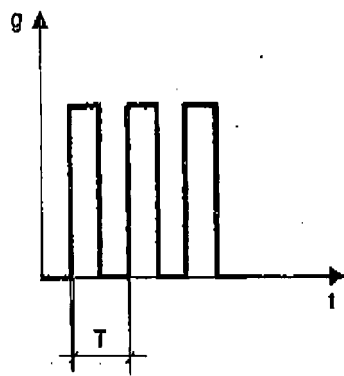
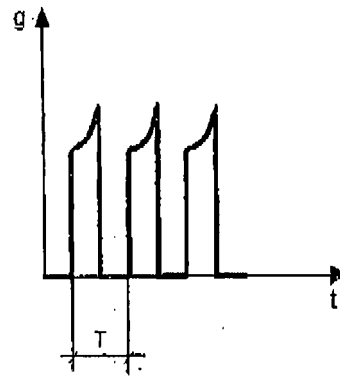


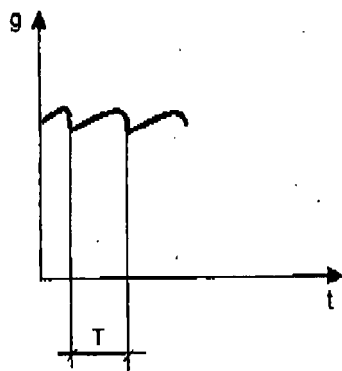
Fig. 6



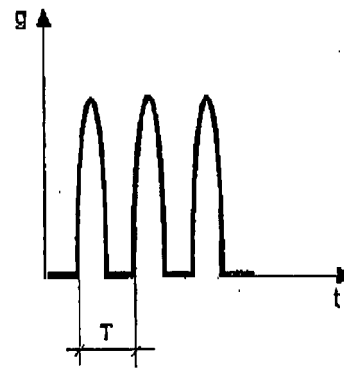
a)



b)



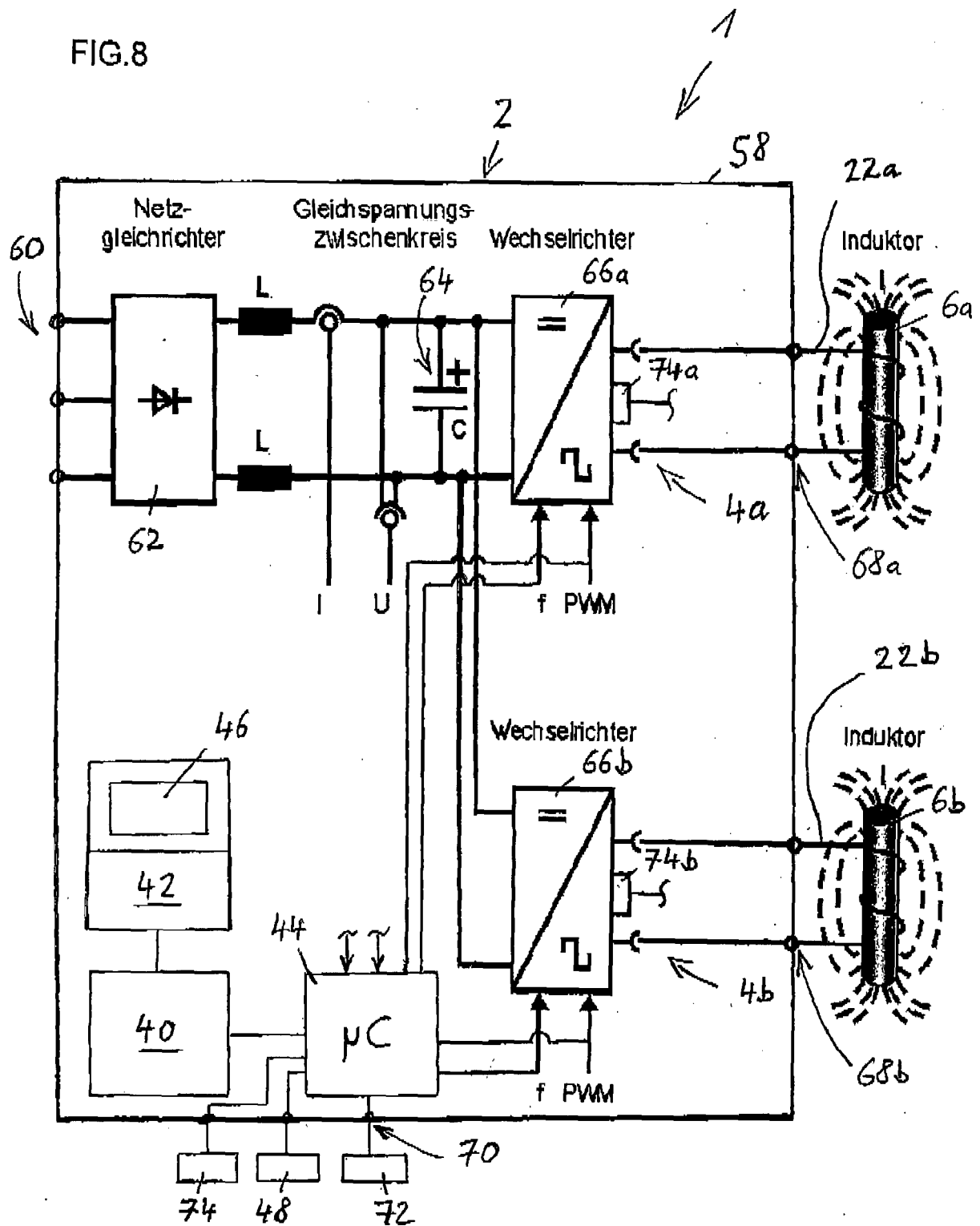
c)

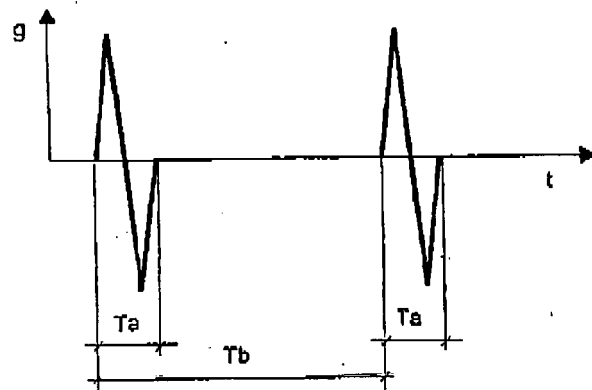


d)

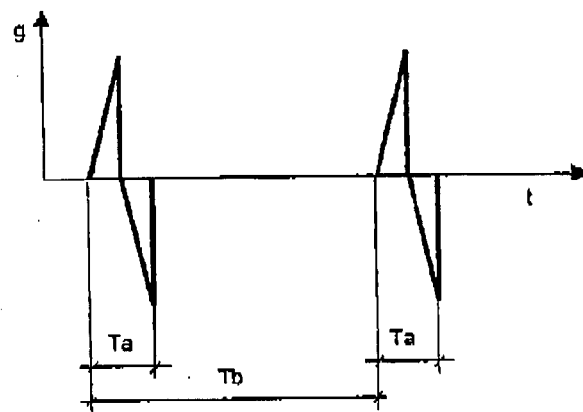
FIG.7

FIG.8

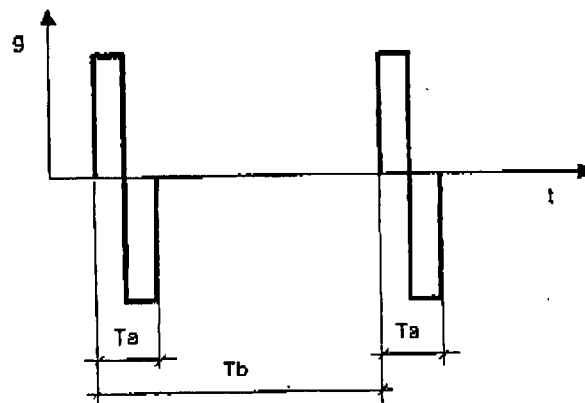




a)



b)



c)

FIG.9

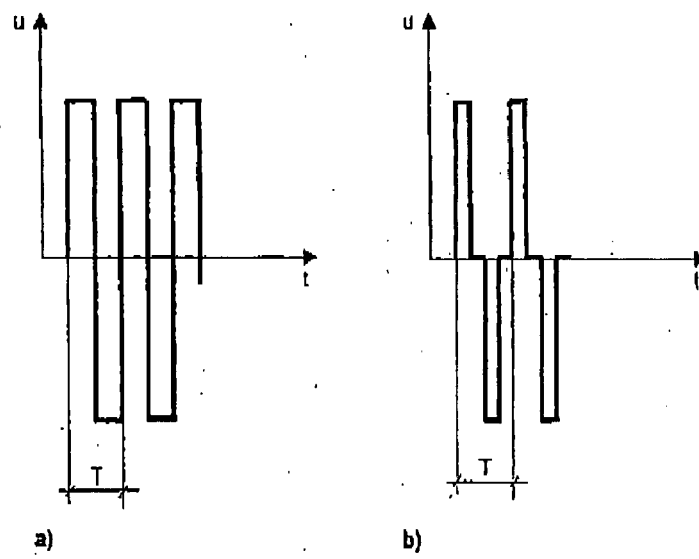


FIG.10

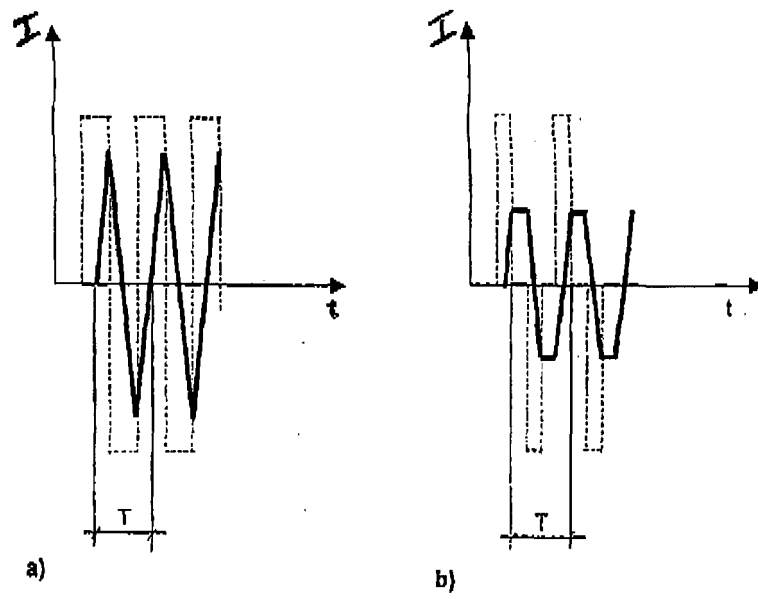


FIG.11

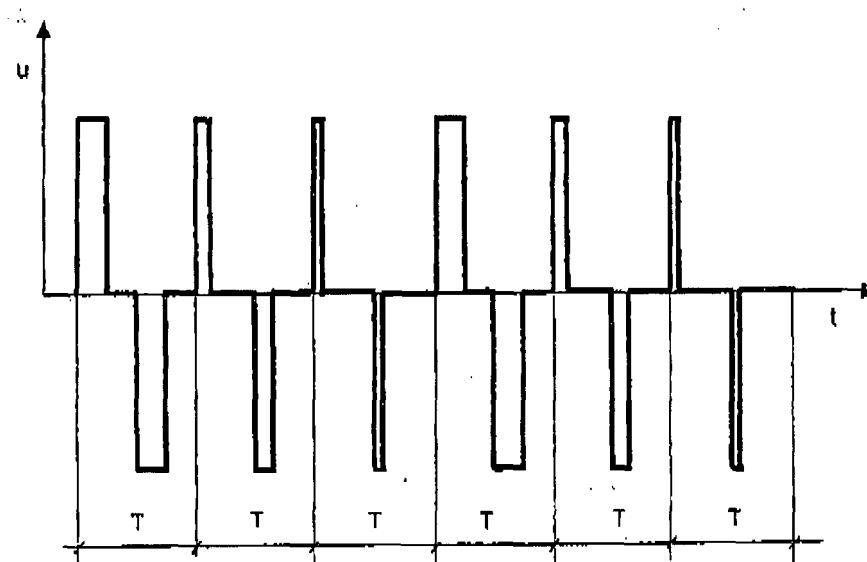


FIG.12



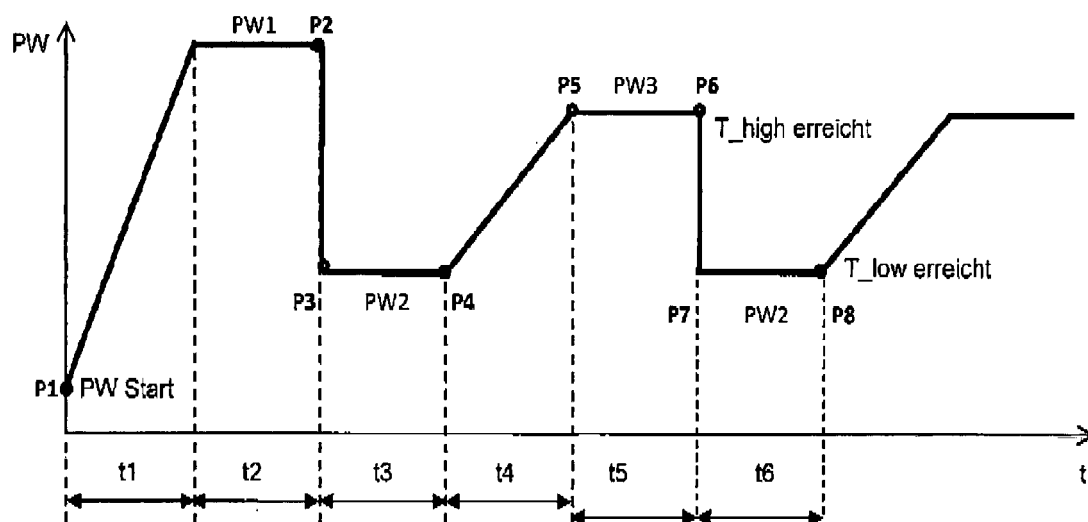


FIG.13

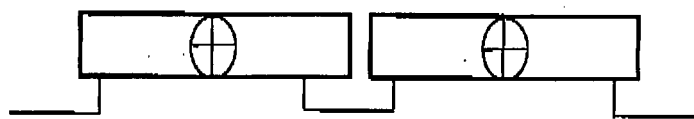


FIG.14

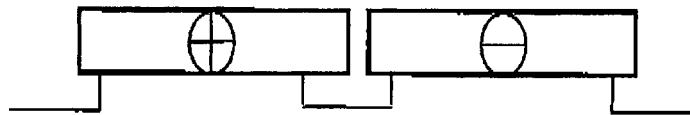


FIG.15



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 15 00 3251

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,D	EP 2 720 513 B1 (IFF GMBH [DE]) 22. April 2015 (2015-04-22) * Zusammenfassung * * Absätze [0030] - [0033], [0040] - [0043], [0050] - [0067], [0069], [0070], [0072] - [0086], [0089], [0093] - [0105] * * Ansprüche 1-4,6-19,23 * * Abbildungen 1-4,8,16 *	1-14	INV. H05B6/06 H05B6/10 E01B7/24
A	JP H07 216842 A (HIGASHI NIPPON RYOKAKU TETSUDO; SANKI SEISAKUSHO KK) 15. August 1995 (1995-08-15) * Zusammenfassung * * Abbildungen 4,10,11 *	1-14	
A	EP 1 227 186 A1 (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]; WEST JAPAN RAILWAY COMPANY [JP];) 31. Juli 2002 (2002-07-31) * Zusammenfassung * * Absatz [0021] * * Abbildungen 1,5 *	1-14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	EP 2 506 673 A2 (BSH BOSCH SIEMENS HAUSGERÄTE [DE]) 3. Oktober 2012 (2012-10-03) * Zusammenfassung * * Abbildung 3 * * Absätze [0019], [0020] *	1-14	H05B E01B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>6. Mai 2016</b>	Prüfer <b>de la Tassa Laforgue</b>
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 15 00 3251

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.

06-05-2016

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2720513 B1	22-04-2015	KEINE	
JP H07216842 A	15-08-1995	KEINE	
EP 1227186 A1	31-07-2002	CA 2388248 A1	26-04-2001
		EP 1227186 A1	31-07-2002
		JP 2001115402 A	24-04-2001
		US 6664521 B1	16-12-2003
		WO 0129318 A1	26-04-2001
EP 2506673 A2	03-10-2012	EP 2506673 A2	03-10-2012
		ES 2562616 T3	07-03-2016

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**

- EP 2720513 B1 [0002] [0004]