



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 000 962.2**

(22) Anmeldetag: **09.02.2019**

(43) Offenlegungstag: **13.08.2020**

(51) Int Cl.: **B03C 1/23 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Danylyev, Igor, Dipl.-Ing., 06126 Halle, DE; Weiss,
Patrice, Dr.-Ing., 06193 Petersberg, DE**

**Andreas Binder: Elektrische Maschinen und
Antriebe. 2. Berlin : Springer, 2017. S. 90 und 120.
- ISBN 978-3-662-53240-9**

(72) Erfinder:

**Weiss, Patrice, Dr.-Ing., 06193 Petersberg, DE;
Danylyev, Igor, Dipl.-Ing., 06126 Halle, DE**

**Wikipedia-Artikel - Skin Effekt vom 07.12.2018.
URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Skin-Effekt&oldid=183477161> [abgerufen am
02.12.2019]**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

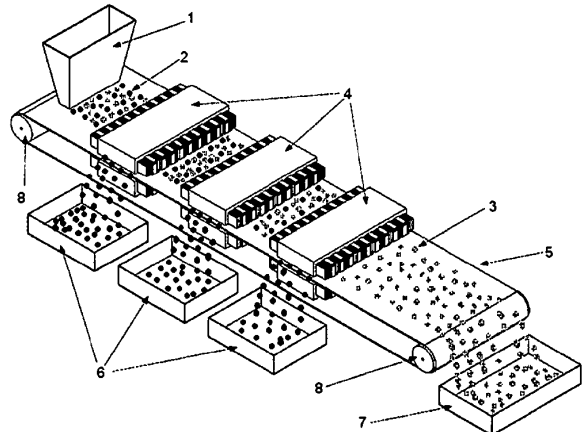
DE	24 05 433	A
US	5 823 354	A
US	4 137 156	A
US	4 459 206	A
WO	83/ 04 194	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung auf Basis von Doppelstatorinduktoranordnungen zur Generierung m-phasiger, hochfrequenter, polyharmonischer elektromagnetischer Wanderwellen zur Anwendung in verschiedenen technologischen Prozessen der elektrodynamischen Separation nichtferromagnetischer, leitfähiger Materialien.**

(57) Zusammenfassung: Verfahren und Vorrichtung auf Basis von Doppelstatorinduktoranordnungen zur Generierung m-phasiger, hochfrequenter, polyharmonischer elektromagnetischer Wanderwellen zur Anwendung in verschiedenen technologischen Prozessen der elektrodynamischen Separation nichtferromagnetischer, leitfähiger Materialien. Es werden Verfahren und Vorrichtungen vorgestellt, mit denen es möglich ist, kleinste, nichtferromagnetische, elektrisch leitfähige Partikel aus einem dünnem Partikelstrom zu separieren. Grundlage hierfür bilden hochfrequenzfähige Doppelstatorinduktoren entsprechender Bauart und mit entsprechender Erregung. Neu ist zudem die Kommutierung der bandförmigen Wicklungselemente und die Betriebsart des Frequenzwobbelns, bei dem ein breites Spektrum der zu separierenden Partikel erfaßt wird.



Beschreibung

Begriffe:

[0001] Elektrodynamische Separation (ES): Prozeß der Aussonderung nichtmagnetischer leitender Materialien im magnetischen Wechselfeld, hervorgerufen durch die Wechselwirkung zwischen Hauptfeld und induzierten Wirbelstromfeldern

[0002] Lineare Induktionsmaschine (LIM): m-phasige elektrische Maschine in linearer Ausführung, welche ein Wanderfeld generiert

[0003] Sekundärteil (ST): Fraktionen nichtmagnetischer, leitender Materialien, welche das bewegliche Teil (Sekundärteil) der linearen Motoranordnung bilden

[0004] Frequenzwobbeln: Prozeß der Frequenzänderung der Einspeisespannung des LIM nach Vorgabe

Anwendungsgebiete der Erfindung

[0005] Die Erfindung bezieht sich:

- I. auf Vorrichtungen zur Erzeugung hochfrequenter, magnetischer Wanderfelder mit breiter spektraler Zusammensetzung
- II. die Anwendung dieses Wanderfeldes für verschiedene technologische Prozesse

[0006] Prozesse und Anwendungen, bei denen hochfrequente, magnetische Wanderfelder vorteilhaft verwendet werden können, sind:

- Aussortierung von Mikropartikeln von Buntmetallen aus industriellen und kommunalen Abfällen
- Anreicherung bei der Erzförderung (Au, Ag, Cu usw.)
- Endbearbeitung von Schlich bei der Gewinnung von Edelmetallen
- Reinigung von Schmierstoffen bei deren Aufbereitung durch die Separation von Abrieb nichtmagnetischer, leitfähiger Materialien
- Reinigung von Formfüllmaterialien von Grat- und anderen Partikeln beim Buntmetallgießen
- Separation von Gemischen unterschiedlicher Buntmetalle nach deren spezifischen Leitfähigkeit.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

[0007] Seit langem ist die elektrodynamische Separation von Buntmetallen bekannt. Nach dem Wirkprinzip zählen die elektrodynamischen Separatoren zu den Induktionsmaschinen, in welchen die elektromechanische Energieumwandlung durch das elektrische Feld hervorgerufen wird, welches Wirbelströme im ST induziert und mit den dadurch hervorgerufenen Magnetfeldern in Wechselwirkung tritt.

[0008] In den meisten Fällen werden zwei Methoden zur Generierung des magnetischen Wanderfeldes genutzt- zum einen durch die Verwendung von LIM (Einfach- oder Doppelstator) ([L1] - [L6]), zum anderen durch bewegte Permanentmagnete ([L7] - [L9])

[0009] Jede dieser Methoden hat Vor- und Nachteile, gemeinsam alles ist es jedoch, daß sie nicht in der Lage sind, nichtmagnetische, leitfähige Teilchen kleiner 1mm Partikelgröße zu separieren, weil das ST mit der Länge b viel kleiner als die Periode des Wanderfeldes des Induktors $2 \cdot \tau$ ist:

$$b < \tau \quad (1)$$

[0010] Durch die Längsbegrenzungen des ST im Luftspalt der Induktionsmaschine hat der Skineffekt entscheidenden Einfluß auf die Charakteristik der elektrodynamischen Separation.

[0011] In [L10] wird gezeigt, daß die Abhängigkeit der Antriebskraft F^* auf das Teilchen (ST) der Größe b ein scharf abgegrenztes Maximum bei:

$$b \approx 2\Delta \quad (2)$$

hat.

Δ - Eindringtiefe des magnetischen Feldes

[0012] Die Eindringtiefe des magnetischen Wechselfeldes [L11] hierbei ist:

$$\Delta = \sqrt{2 / (\omega * \mu * \gamma)} \quad (3)$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$\mu = \mu_r \mu_0 - \text{Permeabilität, V*s/A*m;}$$

μ_r - relative Permeabilität

$$\mu_0 - \text{magnetische Feldkonstante } 4\pi * 10^{-7}, \text{ V*s/A*m;}$$

γ - Leitfähigkeit, $1/\Omega*m$

[0013] Da die meisten zu separierenden nichtmagnetische Metalle para- und diamagnetische Eigenschaften haben ($\mu_r \sim 1$), kann (3) wie folgt vereinfacht werden:

$$\Delta = \sqrt{2,53 * 10^5 / (f * \gamma)} \quad (4)$$

[0014] Formel (2) zeigt die bekannte Tatsache [L10], daß Separatoren nach dem Wirkprinzip von LIM, die mit einer Netzfrequenz $f = 50$ Hz betrieben werden, nicht in der Lage sind, Nichteisenmetalle kleiner 40mm zu separieren. Bei dieser Frequenz beträgt die Eindringtiefe in Aluminium bzw. Kupferpartikel $\Delta = 9 - 15$ mm ($2A = 18 - 30$ mm).

Physikalisch bedeutet Formel (2), daß das ST bei $b \ll 2\Delta$ „durchsichtig“ für das Magnetfeld des Induktors wird und damit nicht in der Lage ist, elektrische in mechanische Energie umzuwandeln.

Daraus folgt, daß zur Freisetzung von Vorschubkräften an kleinen Partikeln die Eindringtiefe Δ durch die Erhöhung der Frequenz des magnetischen Feldes f des Induktors vermindert werden muß.

Aus Formel (4) läßt sich schlußfolgern, daß für die Separation von kleinsten leitfähigen nichtmagnetischen Partikeln mit ($b \ll 1$ mm) die Frequenz des Induktormagnetfeldes auf zwischen 10kHz und mehr als 100kHz erhöht werden muß.

[0015] In US 4229288 wird die Separation mit einigen dreiphasigen LIM vorgeschlagen, die bei normaler Netzfrequenz arbeiten.

[0016] Die Nachteile dieser Anordnung sind:

- Offener Magnetkreis (Einstatorausführung), der magnetische Fluß existiert nur auf der Oberfläche des Luftspaltes und ist minimal.
- Der Betrieb bei Netzfrequenz erlaubt nicht die Separierung kleinster Partikel leitfähiger Nichteisenmetalle.

[0017] In SU 934600 und SU 1230691 werden ähnliche Anordnungen vorgestellt, die magnetische Wanderfelder benutzen, die entgegengesetzt laufen. Die Nachteile sind:

- Ebenfalls offener Magnetkreis.
- Erhöhung der Frequenz des Magnetfeldes um 2-2,5mal mit konstruktiven Methoden; eindeutig nicht ausreichend für die Separation kleinster Teilchen.

[0018] In SU 659188 und SU 1233937 wird der LIM in Doppelstatorausführung verwendet, was die Induktion im Luftspalt der Separatoranordnung wesentlich erhöht. Die Nachteile sind:

- Der obere und untere Induktor sind um 90° versetzt angeordnet. dadurch wird das magnetische Feld verzerrt und es bilden sich Zonen aus, in denen sich die beiden Felder aufheben (tote Zone), dadurch sinkt die Intensität der Separation.
- Betrieb bei Netzfrequenz - wie bei den o.g. Veröffentlichungen.

[0019] In SU 1519776 wird eine Doppelstatoranordnung vorgestellt, wobei einer der Statoren ständig eingeschaltet ist, der andere Einzelstator im Impulsbetrieb arbeitet. Der Nachteil ist:

- Der Impulsbetrieb des zweiten Stators ist nichts anderes als das ständige Anlaufen eines Asynchronmotors, bei dem der Anlaufstrom das 5...7-fache des Nennstromes beträgt, unter Berücksichtigung des fehlenden magnetischen Rückschlusses sind diese Werte wesentlich höher. Das führt zu einer wesentlichen thermischen Belastung der Wicklung.

[0020] In WO 2011/067402 A1, WO 2013/167591 A1 und WO 2014/037082 A1 werden Verfahren vorgestellt, bei denen das magnetische Wanderfeld mit rotierenden Induktoren mit aufgebracht Permanentmagneten generiert wird. Obwohl diese Art von Separatoren Partikel von 0,5...3,0mm separieren kann, gibt es hier eine ganze Reihe von wesentlichen Nachteilen:

- Die Induktion im Arbeitsluftspalt ist sehr ungleichförmig, sie hat ein Maximum an der Achstangente des Arbeitszylinders und nimmt dann an beiden Seiten exponentiell ab.
- Zum Erreichen einer hohen Geschwindigkeit der magnetischen Wanderwelle sind hohe Drehzahlen des Induktionszylinders erforderlich, was mechanisch nur begrenzt möglich ist.
- Durch den offenen, jochlosen Magnetkreis halten sich die erreichbaren Induktionen (magnetische Flußdichten) in sehr engen Grenzen.
- Relativ komplizierte mechanische Konstruktion.

Zusammenfassung zum Stand der Technik:

[0021] In allen recherchierten Veröffentlichungen übersteigt die Frequenz des magnetischen Wanderfeldes nicht 2,5kHz, was eindeutig nicht ausreichend zu sicheren Separation von kleinsten Partikeln ist.

In der ersten Gruppe der Separatoren (auf der Basis von LIM) sind die erreichbaren Frequenzen des Wanderfeldes auf 400...800Hz begrenzt, was durch die Verwendung von Statoren aus elektrotechnischem Stahl bedingt ist.

Bei diesen Frequenzen erhöhen sich die Verluste im Magnetleiter wesentlich, was zu einer Verminderung der Vorschubkraft führt.

[0022] In der zweiten Gruppe der Separatoren (auf der Basis von rotierenden Permanentmagneten) sind Frequenzen bis zu 2,5kHz erreichbar, was allerdings Drehzahlen bis 6000Upm erforderlich macht. Das bedingt entsprechende konstruktive Aufwendungen.

[0023] Außerdem hat in beiden Gruppen von Separatoren die magnetische Wanderwelle eine Sinusform und

ist mehr oder weniger monoharmonisch. Dadurch ist es kaum möglich, hohe Werte für $\frac{\partial B}{\partial t}$ zu erreichen.

Aus

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial B}{\partial t}$$

folgt

$$I = - \gamma * \frac{\partial B}{\partial t} \quad (5)$$

γ - spez. Leitfähigkeit des ST-Materials

[0024] Da die Höhe des im ST induzierten Stroms die elektrodynamische Kraft hervorruft, muß der Differentialquotient $\frac{\partial B}{\partial t}$ maximal sein, Das ist nur mit steilen Flanken der Kurvenform möglich (Mäanderform).

Ziel der Erfindung und deren Vorteile

[0025] Das Ziel der Erfindung gem. 1.2.1 ist die Schaffung einer Anlage zur Generierung eines hochfrequenten magnetischen Wanderfeldes mit einer breiten spektralen Zusammensetzung

Problem: Die Induktoren von LIM werden aus elektrotechnischem Stahl gefertigt, darum sind die Umagnetisierungsverluste bei hohen Frequenzen sehr hoch.

Lösung: Verwendung von Materialien für die Herstellung des Induktors, die für hohe Frequenzen geeignet sind, z.B. Magnetdielektrika und Ferrite.

Problem: Die Einspeisung der Induktoren der LIM erfolgt entweder mit Netzfrequenz oder mit Frequenzumrichtern; dabei ist die Speisefrequenz nicht höher als 800Hz, die Einspeisung ist sinusförmig.

Lösung: Verwendung einer dreiphasigen geregelten Hochfrequenzstromquelle (50Hz...50kHz) mit Rechteckausgangsstrom und einer Gegenkopplung des Induktorstromes zur Stabilisierung des Strombelages im Induktor bei verschiedenen Frequenzen.

Problem: Aufgrund des Skin效ektes können herkömmliche Wicklungen nicht bei höheren Frequenzen arbeiten.

Lösung: Verwendung von dünnen Kupferfolien über die gesamte Nuthöhe und Verschaltung dieser nach dem Schema einer Einschicht-Wellenwicklung.

Problem: Separatoren in Einstatoranordnung erzeugen eine sehr geringe magnetische Feldstärke, da der magnetische Rückschluß fehlt. Verwendung einer Doppelstatoranordnung, wobei beide Wanderwellen synchron in die gleiche Richtung laufen, wobei die Augenblickswerte der Induktionen entgegengesetzt sind (Nordpol gegenüber Südpol). Auf diese Art und Weise ist im Luftspalt (und im ST) der maximale magnetische Fluß vorhanden.

[0026] Das Ziel der Erfindung gemäß 1.2.11 besteht darin,

1. Polyharmonische magnetische Wanderwellen zu generieren, mit denen zuverlässig Mikrofraktionen von Nichteisenmetallen separiert werden können.
2. Die Anlage an verschiedene technologische Prozesse zu adaptieren, z.B.:
 - Separation von Mikrofraktionen aus zerkleinertem Buntmetallschrott industrieller und kommunaler Herkunft (elektronische Baugruppen, Elektroschrott).
 - Erzanreicherung (Au, Ag, Pt, Cu usw.), Separation kleinster Partikel, was zum jetzigen Zeitpunkt nicht kostendeckend möglich ist.
 - Verarbeitung von Schlich zur Goldgewinnung.
 - Reinigung von Schmierstoffen von Abriebpartikeln aus Nichteisenmetallen.
 - Reinigung von Formstoffen von Grat beim Buntmetallguß.
 - Separation, Sortierung von Mischungen verschiedener Buntmetalle nach elektrischer Leitfähigkeit.

Vorteile der Erfindung und deren Anwendung

1. Das Fehlen sämtlicher mechanischer, beweglicher Teile.
2. Die Möglichkeit, im Hochfrequenzbereich (50...100kHz) zu arbeiten und damit kleinste Partikel anzuregen.
3. Eine hohe Flexibilität der Ansteuerung der LIM-Anordnung, mit welcher es möglich ist, ein großes Spektrum magnetischer Wanderwellen mit beinahe beliebigen Frequenzen, Amplituden und Kurvenformen zur Separation zu erzeugen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

[0027] Das Wesen der Erfindung liegt gem. 1.2.1 in einer Anordnung, welche es ermöglicht, polyharmonische, hochfrequente Magnetische Wanderfelder zu erzeugen, welche in der Lage sind, Kraftwirkungen auf Mikropartikel leitfähiger, nichtferromagnetischer Materialien auszuüben und diese dadurch aus dem übrigen Material zu separieren.

[0028] Das Wesen der Erfindung gem. 1.2.11 besteht in der Verwendung der LIM-Anordnung für verschiedene technologische Prozesse und in der Generierung prozeß- und materialspezifischer m-phasiger, magnetischer, hochfrequenter Wanderwellen beliebiger Kurvenform, um mit der Fourier-Synthese Mikropartikel unterschiedlicher Leitfähigkeit, Dichte und anderen physikalischen Parametern anzutreiben und auszuseparieren.

Ausführungs- und Anwendungsbeispiele

Bezugszeichenliste

- | | |
|---------------------|--|
| 1 - | Aufgabebehältnis/ Trichter für das zu separierende Gemisch |
| 2 - | Mikrofraktionen nichtferromagnetischer, leitfähiger Partikel, welche als ST fungieren |
| 3 - | Nichtleitende Partikel des Gemisches |
| 4 - | Hochfrequenz-LIM in Doppelstatorausführung, welche das polyharmonische Magnetwonderfeld erzeugen |
| 5 - | Transportband, Förderband |
| 6 - | Auffangbehälter für die separierten Partikel |
| 7 - | Auffangbehälter für das Restgemisch |
| 8 - | Umlenkrollen des Förderbandes |
| 9 - | Kommutierungselemente der Wickelköpfe der LIM |
| 10 - | plattenförmige Elemente der Nutzenzone, plattenförmige Wicklungselemente |
| 11 - | Stator der LIM aus Materialien, die hochfrequenten magnetischen Fluß leiten können |
| 12 - | geregeltes Eingangsgleichstromleistungsteil |
| 13 - | Kondensatorblock |
| 14 - | dreiphasiger Spannungsinverter |
| 15 - | Meßeinrichtung der Phasenströme der LIM |
| 16 - | Hochfrequenzfähiger LIM |
| 17 - | Treibermodul für die IGBT's |
| 18 - | Block zur Steuerung, Regelung, Kontrolle und zum Schutz der Anordnung |
| 19 - | ungeregelte Eingangsbrücke |
| 20 - | dreiphasiger Transistor-Leistungsverstärker |
| U1 ,V1 ,W1 - | Einspeisung der Phasen, Wicklungsanfang |
| U2, V2, W2 - | Wicklungsende |

Ausführungen der nach Fig.1

[0029] Hier ist ein Ausführungsbeispiel einer Separationsanlage vom Förderbandtyp gezeigt, bestehend aus dem Einfülltrichter (1), hochfrequenzfähigen Doppelstator-LIM (4), welche hochfrequente polyharmonische Magnetwonderfelder erzeugen können, dem Förderband (5), den Auffangbunkern für die separierten leitfähigen, nichtferromagnetischen Partikel (6) und dem Auffangbehälter für das Rest-Gemisch (7), sowie den Umlenkrollen des Förderbandes (8).

Das zu bearbeitende Gemisch, welches aus Mikrofraktionen nichtferromagnetischer, leitender Partikel (2) und nichtleitender Partikel (3) besteht, wird über den Aufgabetrichter (1) auf das Förderband (5) in einer dünnen Einzelschicht aufgegeben. Beim Passieren der Arbeitszone der LIM (4) kommt es zu einer Wechselwirkung

des magnetischen Wanderfeldes mit den Feldern, gebildet durch induzierte Ströme in den ST (2), im Zuge dessen es zu einer Auslenkung/ Bewegung der angeregten Partikel in Richtung der Auffangbehälter (6) kommt. Die nichtleitenden Fraktionen unterliegen dieser Wechselwirkung nicht und bewegen sich auf dem Band in Richtung Auffangbehälter für das Restgemisch (7).

Ausführungen des Induktors nach Fig.2, Fig.3, Fig.4, Fig.5, Fig. 6 und Fig. 7

[0030] Die Doppelstatoranordnung mit 3 - phasigen Induktoren (**Fig. 2**) besteht aus hochfrequenzfähigen Magnetmaterialien, die die Nuten und das Joch (11) bilden und der Einschicht-Wellenwicklung (**Fig. 7**), ausgeführt als Bandmaterial (z.B. aus Kupfer). Die Kommutierungselemente der Wickelköpfe (9) und die platten-/bandförmigen Elemente der Wicklung in der Nutzzone (10) befinden sich in 3 zueinander rechtwinkligen Ebenen (Fi.3), wodurch sowohl die Wickelkopfgröße als auch die Streuinduktivitäten der Einschicht-Wellenwicklung minimiert werden. Durch die diagonale Kommutierung der Phasen V und W (**Fig. 5** und **Fig. 6**) wird eine ähnlich gleichförmige Stromverteilung in den platten-/bandförmigen Elementen der Wicklung in der Nutzzone (10) erreicht, wie bei der Phase U (**Fig. 4**).

[0031] Beide Induktoren sind so kommutiert, daß die gebildeten Wanderwellenmagnetpole sich genau gegenüber befinden und gegenpolig sind. Die mechanische Konstruktion, die die beiden Induktoren fixiert, ist so ausgeführt, daß der Arbeitsluftspalt einstellbar (bzw. regelbar) ist und kann mit einer Wasserkühlung versehen sein.

Ausführung nach Fig. 8

[0032] Die Anlage aus **Fig. 8** besteht aus einem geregelten Eingangsgleichstromleistungsteil (12), dem Kondensatorblock (13), dem dreiphasigen Spannungsinverter (14), der Meßeinrichtung der Phasenströme (15), der hochfrequenzfähigen LIM (16), den Treibermodulen für die IGBT's (17) und dem Block zur Steuerung, Regelung, Kontrolle und zum Schutz der Anordnung (18).

In diesem Fall wird die Speisung des Doppelstatorinduktors von einem 3-phasigen Spannungsinverter vorgenommen, dessen Ausgangsspannung mäanderförmig ist. Dadurch ist es möglich, ein polyharmonisches Magnetwanderfeld zu erzeugen, welches aus ungeraden Harmonischen besteht. Entsprechend der Fourier-Reihe kann für die mäanderförmige Funktion mit veränderlichem Impulsverhältnis dargestellt werden:

$$A(t) = \frac{4Amp}{\pi} \left(\sin(2*\pi*f*t) + \frac{1}{3} \sin(6*\pi*f*t) + \frac{1}{5} \sin(10*\pi*f*t) \dots \right) \quad (6)$$

[0033] Es ist zu sehen, daß im Wanderfeld ungerade harmonische höherer Frequenz vorhanden sind, die dann auf die zu separierenden Mikropartikel einwirken. Obwohl die Amplitude der höheren Harmonischen entsprechend kleiner ist, ist aber auch die Masse der Mikropartikel kleiner; die hervorgerufene Krafteinwirkung ist nachweislich ausreichend für die Separation der Partikel.

Im gesamten Partikelstrom existieren Fraktionen unterschiedlicher Größe und Leitfähigkeit; aus Formel (4) folgt, daß für jede Fraktion eine optimale Erregerfrequenz existiert, bei der die Krafteinwirkung maximal möglich ist.

[0034] Darum wird das Wobbeln der Frequenz angewendet, d.h. während des Durchlaufs des Partikelstromes unter dem Induktor wird die Frequenz der Wanderwelle schnell geändert, um jede Fraktion entsprechend anzuregen (**Fig. 10**). Die Betriebsart der Frequenzänderung kann dem Prozeß angepaßt werden (linear, logarithmisch usw.). Hierbei bleibt der Strombelag dank der Regelung des Inverters mit Stromgegenkopplung konstant. Ebenfalls kann mit Amplituden-, Frequenzmodulation gearbeitet werden bzw. mit beidem zugleich.

Ausführung nach Fig. 9

[0035] Die Anlage nach **Fig. 9** besteht aus einem ungeregelten Eingangsteil (19), dem Kondensatorblock (13), dem dreiphasigem Transistor-Leistungsverstärker (20), der der Meßeinrichtung der Phasenströme (15) der hochfrequenzfähigen LIM (16), dem Treibermodul für die IGBT's und dem Block zur Steuerung, Regelung, Kontrolle und zum Schutz der Anordnung.

Bei dieser Ausführung wird 3-phasiger Doppelstatorinduktor mit einem dreiphasigem, Transistor-Leistungsverstärker (20) betrieben, der in der Lage ist, beliebige Erregungskurven vorzugeben um gemäß der Fourier-Synthese nur bestimmte Teilchen, die auf bestimmte Frequenzen reagieren, anzuregen. Weiterhin können die

Phasen symmetrisch oder asymmetrisch sein, um Mit-, Gegen- und Nullfelder zu erzeugen. Auch hier können selektiv verschiedene Mikrofraktionen bewegt werden.

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- US 4229288 [0015]
- SU 934600 [0017]
- SU 1230691 [0017]
- SU 659188 [0018]
- SU 1233937 [0018]
- SU 1519776 [0019]
- WO 2011/067402 A1 [0020]
- WO 2013/167591 A1 [0020]
- WO 2014/037082 A1 [0020]

Patentansprüche

2-1. Verfahren und Vorrichtung auf Basis von Doppelstatorinduktoranordnungen zur Generierung m-phasiger, hochfrequenter, polyharmonischer elektromagnetischer Wanderwellen zur Anwendung in verschiedenen technologischen Prozessen der elektrodynamischen Separation nichtferromagnetischer, leitfähiger Materialien, gekennzeichnet dadurch, daß

- Die Induktoren aus hochfrequenzfähigen magnetischen Materialien hergestellt werden zur Verminderung der Ummagnetisierungsverluste.
- Die Einschicht-Wellenwicklung der Induktoren aus Metall- (vorzugsweise Kupfer-) -folien/-platten/-bändern zur Minimierung des Skin-Effekts ausgeführt sind.
- Die Induktoren gegeneinander so angeordnet und bestromt sind, daß die Augenblickswerte der magnetischen Pole genau sich gegenüber befinden und entgegengesetzt gepolt sind.

2-2. Methode der Kommutierung dreiphasiger plattenförmiger Wicklungen elektrischer Maschinen nach Anspruch 2.1, gekennzeichnet dadurch, daß die Wickelköpfe in drei gegenseitig rechtwinkligen Ebenen hergestellt sind zur Verminderung der Größe der Wickelköpfe, der Streuinduktivität und zur gleichmäßigen Stromverteilung im bandförmigen Teil der Wicklung, welches sich in der Nut befindet.

2-3. Ansteuerschaltung der Induktoranordnung und Methode zur Generierung eines magnetischen Wanderfeldes, bestehend aus einem m-phasigen Inverter zur Anwendung in Vorrichtungen und Verfahren nach Anspruch 2.1 und 2.2, gekennzeichnet dadurch, daß diese Schaltung/Methode hochfrequente, polyharmonische mäanderförmige Wanderfelder in der Induktoranordnung und hohe Anstiege der Induktion im Luftspalt generieren kann.

2-4. Ansteuerschaltung der Induktoranordnung und Methode zur Generierung eines magnetischen Wanderfeldes, bestehend aus einem m-phasigen Transistor-Leistungsverstärker zur Anwendung in Vorrichtungen und Verfahren nach Anspruch 2.1 und 2.2, gekennzeichnet dadurch, daß auf der Grundlage der Fourier-Synthese magnetische Wanderfelder beliebiger Formen, Amplituden, Frequenzen, Symmetrien vorgegeben werden können, um Partikel mit unterschiedlichen Eigenschaften anzuregen und zu bewegen.

2-5. Betriebsart Frequenzwobbeln der Anlage bei unverändertem Strombelag der LIM nach Anspruch 2.1 bis 2.4, gekennzeichnet dadurch, daß durch mehrfaches schnelles Abfahren eines vorgegebenen Frequenzspektrums Partikel unterschiedlicher Größe im Partikelstrom im Arbeitsluftspalt der Induktoranordnung mit polyharmonischen, hochfrequenten, magnetischen Wanderwellen angeregt werden.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

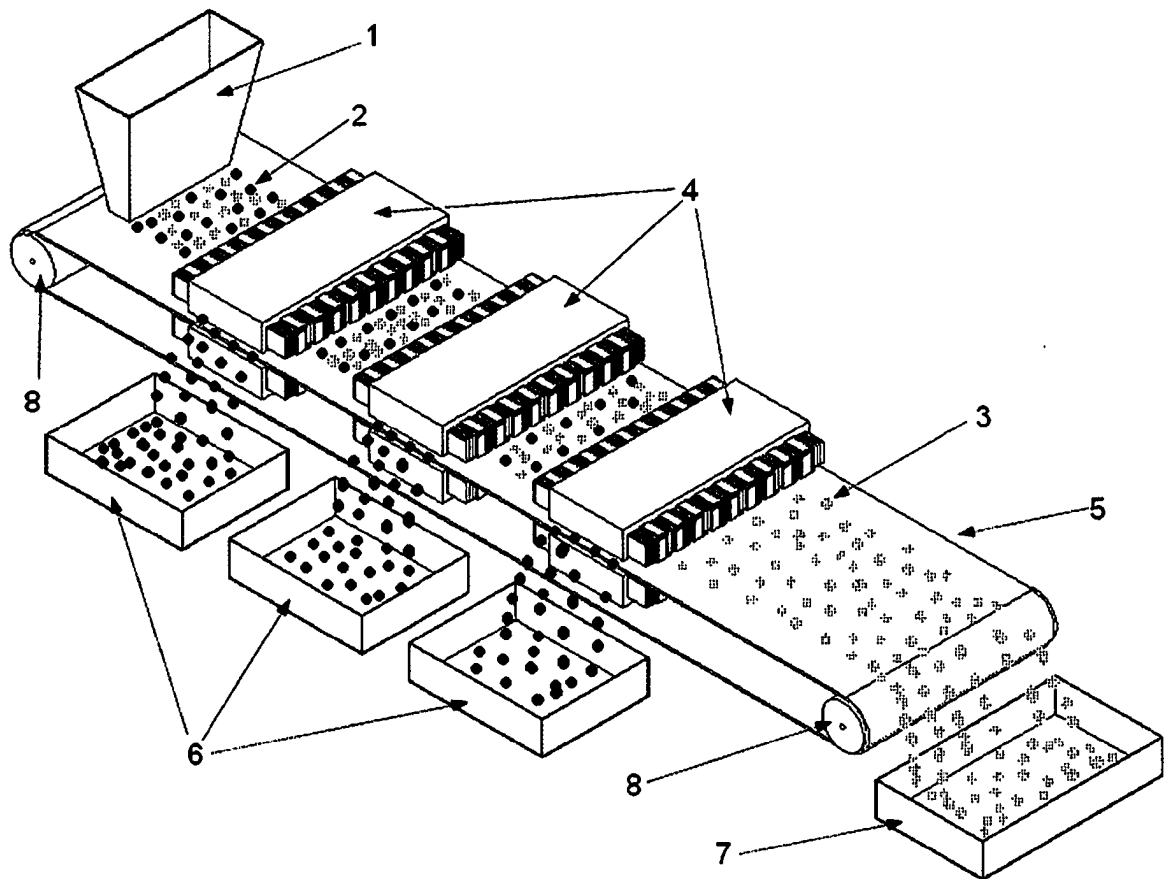


Fig. 1

Fig. 1 Anwendung von Hochfrequenz-Doppelstatoranordnungen zur Separation

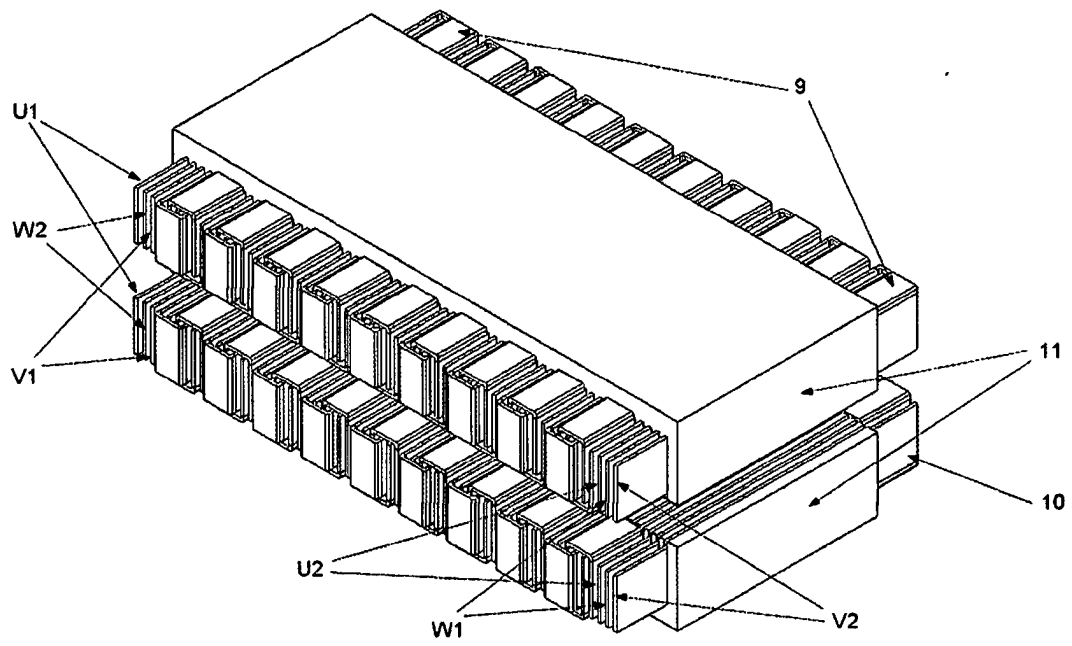


Fig. 2

Fig. 2 Doppelstatoranordnung

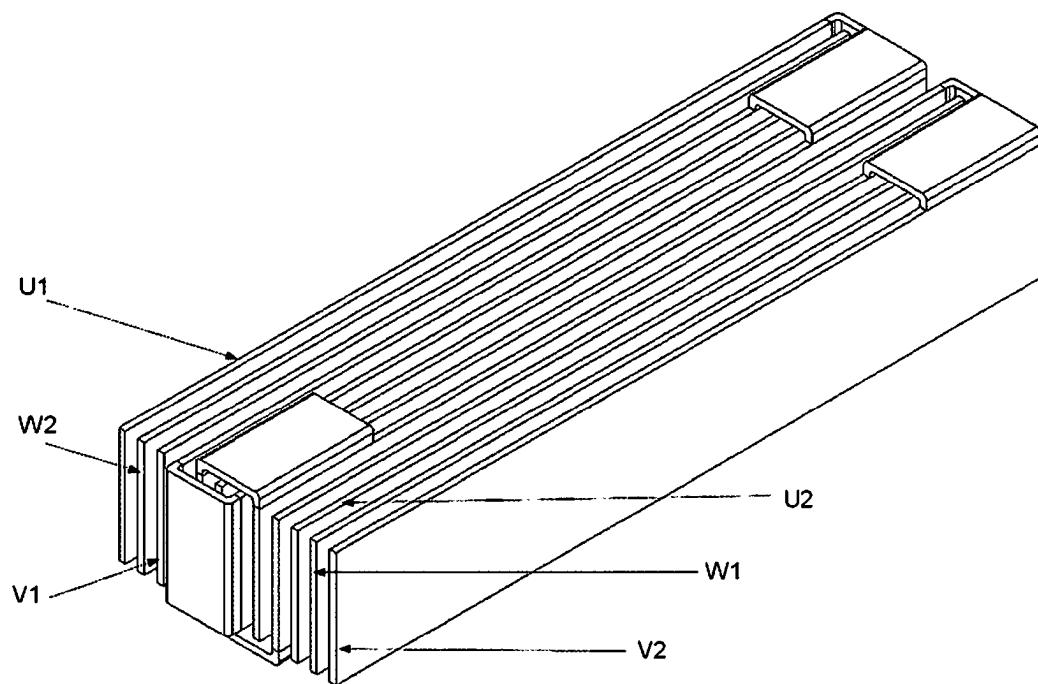


Fig. 3

Fig. 3 Fragment einer dreiphasigen Einschicht-Wellenwicklung aus Plattenmaterial und Ansicht der Kommutierung der Wickelköpfe

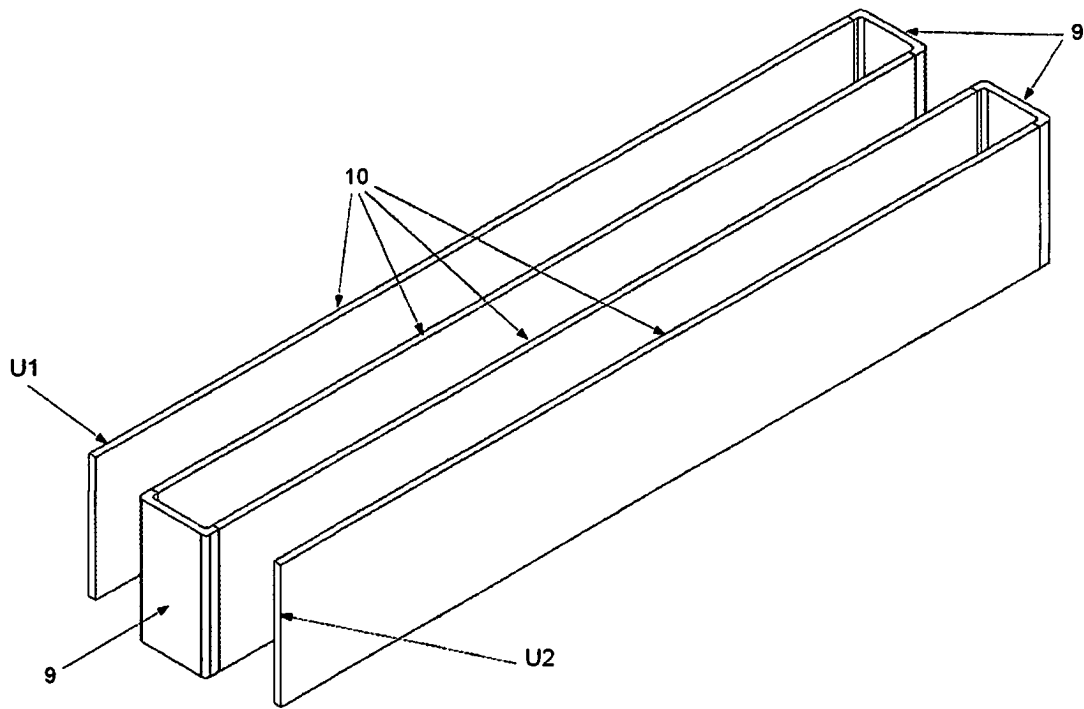


Fig. 4

Fig. 4 Fragment der Phase U mit Kommutierung

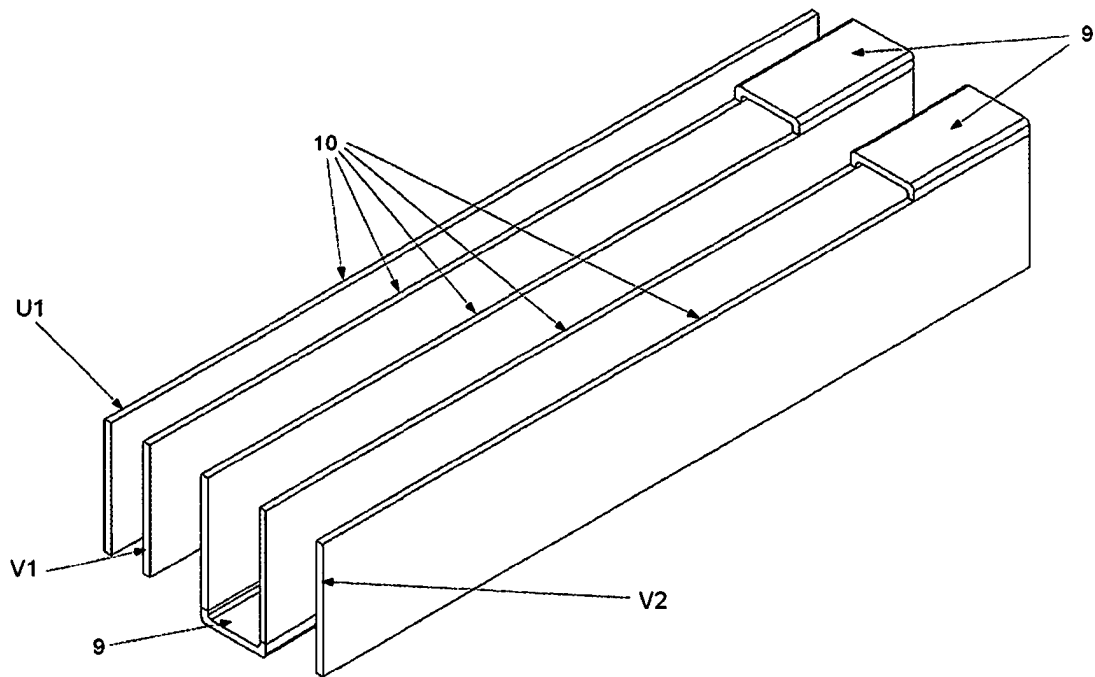


Fig. 5

Fig. 5 Fragment der Phase V mit Kommutierung

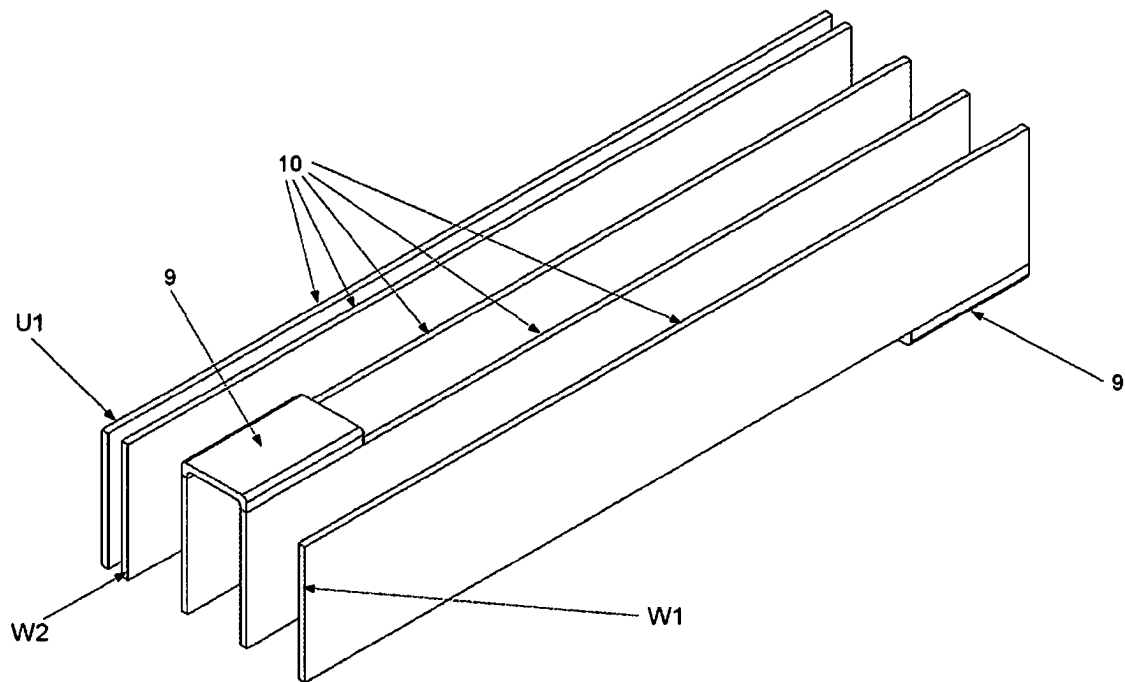


Fig. 6

Fig. 6 Fragment der Phase W mit Kommutierung

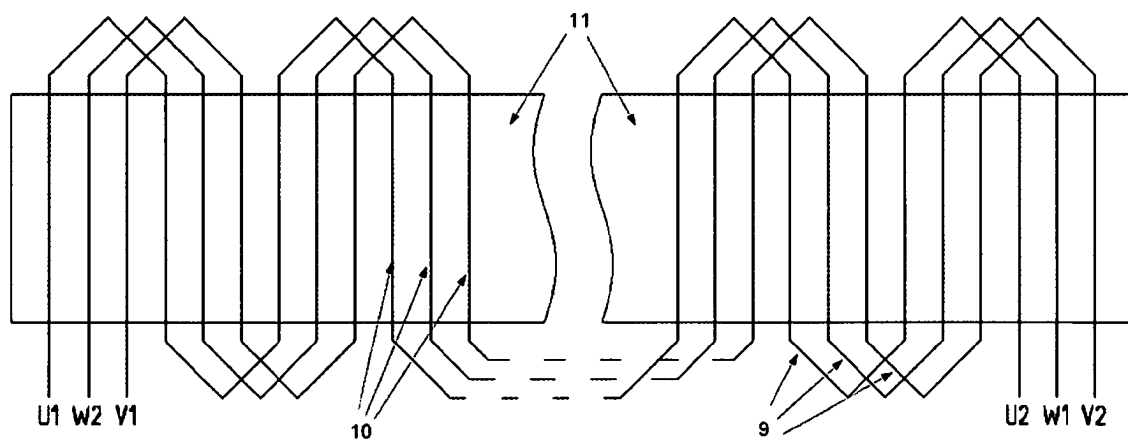


Fig. 7

Fig. 7 Schema einer dreiphasigen Einschicht-Wellenwicklung der LIM

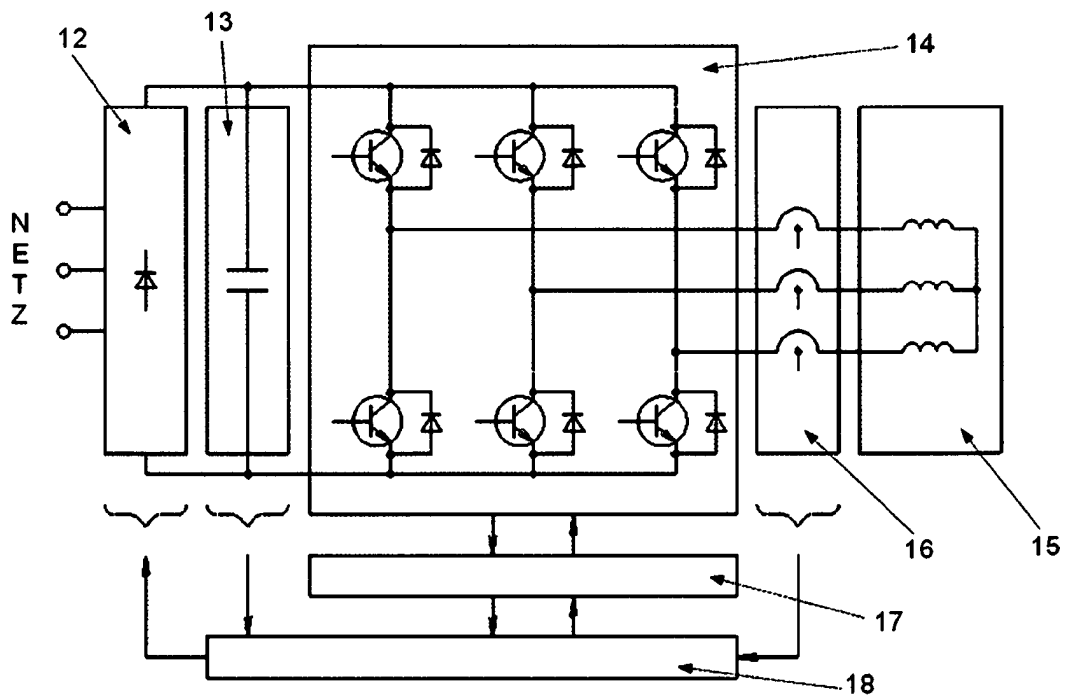


Fig. 8

Fig. 8 Dreiphasiger Spannungsinverter

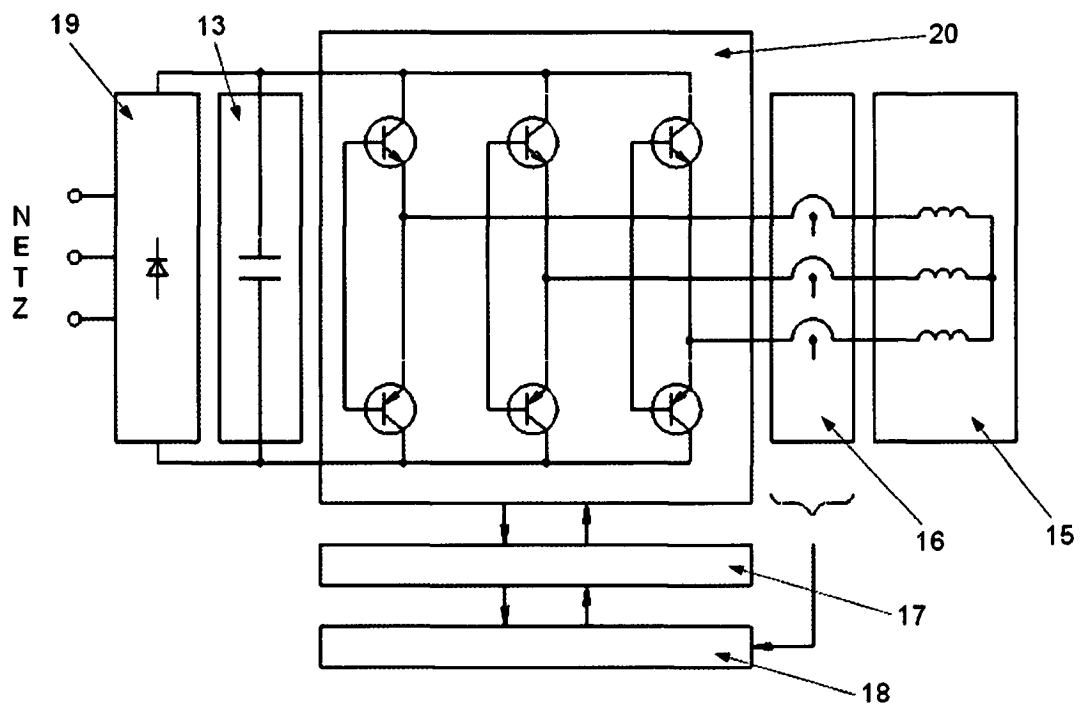


Fig. 9

Fig. 9 Dreiphasiger Transistor-Leistungsverstärker

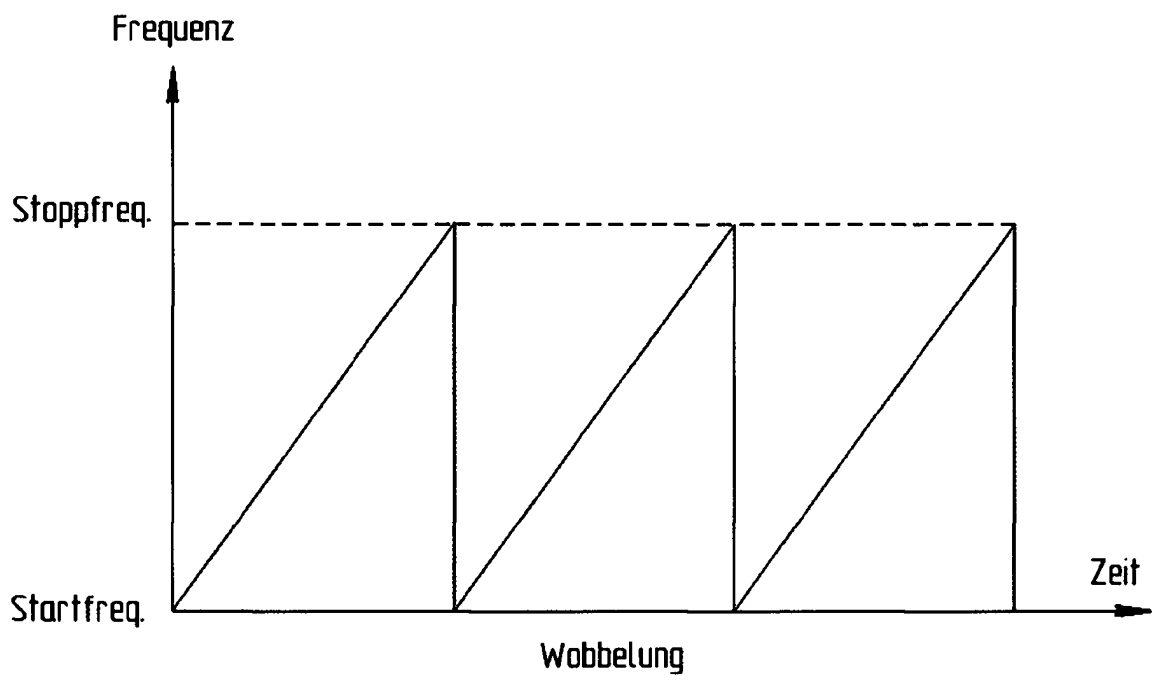


Fig. 10

Fig. 10 Frequenzwobbeln