



**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

**(12) PATENTSCHRIFT A5**

(11)

**621 729**

(21) Gesuchsnummer: 2980/76

(73) Inhaber:  
Institut Fiziki Akademii nauk Latviiskoi SSR,  
Rizhsky raion (SU)  
Spetsialnoe konstruktorskoe bjuro magnitnoi  
gidrodinamiki Instituta Fiziki Akademii nauk  
Latviiskoi SSR, Riga (SU)

(22) Anmeldungsdatum: 10.03.1976

(72) Erfinder:  
Robert Karlovich Kalnin, Riga (SU)  
Benyamin Alexandrovich Ioffe, Riga (SU)  
Jury Arvidovich Zommer, Riga (SU)  
Gunar Yanovich Sermons, Riga (SU)  
Ivan Ivanovich Kern, Riga (SU)  
Jury Julievich Kipers, Riga (SU)

(24) Patent erteilt: 27.02.1981

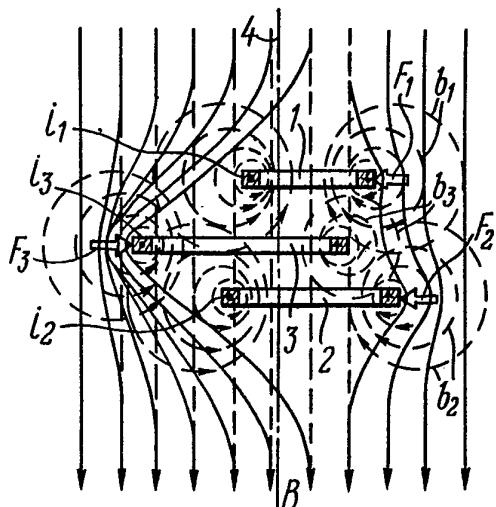
(74) Vertreter:  
E. Blum & Co., Zürich

(45) Patentschrift  
veröffentlicht: 27.02.1981

**(54) Verfahren zum Zusammenbau von nicht magnetisierbaren stromleitenden Teilen mit Hilfe von elektrodynamischen Kräften.**

(57) Beim Zusammenbau der Teile wird die Zusammenwirkung eines primären magnetischen Wechselfeldes mit sekundären Magnetfeldern ausgenutzt. Die Richtung des primären Magnetfeldes (B) wird zunächst mit der Richtung einer Montageachse (4) in Übereinstimmung gebracht. Danach werden die Teile (1,2,3) in dieses Feld in der Weise eingebracht, dass für jedes Teil (1,2,3) die von dem in diesem Teil induzierten Strom ( $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ ) umfasste Fläche in einer Ebene liegt, die ungefähr senkrecht zur Montageachse steht. Die genannten Flächen überdecken sich bei jeweils zwei benachbarten zusammenzubauenden Teilen mindestens teilweise, in Längsrichtung der Montageachse gesehen.

Dieses Verfahren gestattet eine kontaktlose Anordnung zweier Teile oder einer grösseren Anzahl derselben auf einer gemeinsamen Montageachse, und zwar selbst dann, wenn der Unterschied in der Ausgangsstellung der Achsen derselben einen gewissen Wert übersteigt.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Zusammenbau von nicht magnetisierbaren, stromleitenden Teilen mit Hilfe von elektrodynamischen Kräften, die sich aus dem Zusammenwirken eines primären magnetischen Wechselfeldes, dessen Induktion und Frequenz derart gewählt werden, dass sie für die Entstehung einer die Verschiebung der in diesem Feld befindlichen Teile bewirkenden elektrodynamischen Kraft ausreichend sind, mit sekundären Magnetfeldern ergeben, die durch die in den Teilen durch das primäre Magnetfeld induzierten Kreisströme erzeugt werden, sowie aus dem Zusammenwirken der einzelnen sekundären Magnetfelder untereinander, dadurch gekennzeichnet, dass die Richtung des primären Magnetfeldes (B) mit der Richtung einer Montageachse (4) in Übereinstimmung gebracht wird und dass die Teile (1, 2, 3) in dieses Feld in der Weise eingebracht werden, dass für jedes Teil (1, 2, 3) die von dem in diesem Teil induzierten Strom ( $i_1, i_2, i_3$ ) umfasste Fläche in einer Ebene liegt, die ungefähr senkrecht zur Montageachse steht, wobei diese genannten Flächen bei jeweils zwei benachbarten zusammenzubauenden Teilen in Längsrichtung der Montageachse gesehen einander mindestens teilweise überdecken.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das primäre Magnetfeld pulsierend ist, und dass während der Pausen dieses Feldes im Montagebereich ein zusätzliches pulsierendes magnetisches Wechselfeld erzeugt wird, dessen Induktionsvektor einen Winkel mit dem Induktionsvektor des primären Magnetfeldes einschließt und dessen Impulsdauer der Pausenzeit des primären Magnetfeldes gleich ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Winkel zwischen den Induktionsvektoren des primären und des zusätzlichen Magnetfeldes  $90^\circ$  beträgt.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Impulsdauer des primären und des zusätzlichen Magnetfeldes vom Anfang bis zum Ende der Montage verringert wird, während zugleich die Amplitude der Impulse des Primärfeldes allmählich vergrößert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Querschnitt des primären Magnetfeldes eine Konfiguration aufweist, die dem maximalen Querschnitt der sich im primären Magnetfeld befindlichen zusammenzubauenden Teile in einer zur Montageachse senkrechten Ebene ähnlich ist und diesen maximalen Querschnitt übersteigt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass während der Annäherung der Teile längs der Montageachse der Querschnitt des primären Magnetfeldes bis zum Zusammenfallen mit dem Querschnitt der zusammenzubauenden Teile in dem Koppelabschnitt in einer zur Montageachse senkrechten Ebene eingeengt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das primäre magnetische Wechselfeld eine ungleichmäßige, von der Montageachse zur Peripherie hin zunehmende Dichte aufweist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz des primären magnetischen Wechselfeldes nach demjenigen Teil der zusammenzubauenden Teile gewählt wird, für welches Teil der Rechnungswert der erforderlichen Frequenz bei dem vorgegebenen Wert der Induktion des primären Feldes maximal ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwingungsfrequenz des primären Magnetfeldes mit der Annäherung der Teile aneinander bis zum Zeitpunkt ihrer Berührungen allmählich um 30 bis 50% des gewählten Frequenzwertes erhöht und nachher auf den gewählten Wert reduziert wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Augenblick der Berührung der Teile an den zu ver-

koppelnden Flächen die Induktion des primären Magnetfeldes kurzzeitig um das mindestens Zweifache erhöht wird.

11. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem Teile von Typ «Büchse-Welle» montiert werden, dadurch gekennzeichnet, dass zuerst im primären Magnetfeld das Teil vom Typ «Büchse» untergebracht und dieses Teil im Feld bis zur Erreichung einer Vergrößerung der Öffnung dieses Teils bewirkenden Temperatur durch das Feld gelagert und danach im primären Magnetfeld das Teil vom Typ «Welle» angeordnet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem Baugruppen aus mindestens drei Teilen montiert werden, wobei das Zwischenstück ein Hartlot ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Teile durch das primäre Magnetfeld auf die Schmelztemperatur des Lotes erhitzt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Erhitzung durch Erhöhung der Schwingungsfrequenz des primären magnetischen Wechselfeldes zustande kommt.

14. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Erhitzung durch Halten der Teile im primären Magnetfeld zustande kommt.

15. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Unterbringung der Teile im primären magnetischen Wechselfeld in diesem auf der Montageachse ein Dorn aus ferromagnetischem Werkstoff angeordnet und das Magnetfeld ungleichmäßig nach der Dichte mit deren Maximalwert auf der Montageachse erzeugt wird.

30

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Zusammenbau von nichtmagnetisierbaren stromleitenden Teilen mit Hilfe von elektrodynamischen Kräften, die sich aus dem Zusammenwirken eines primären magnetischen Wechselfeldes, dessen Induktion und Frequenz derart gewählt werden, dass sie für die Entstehung einer die Verschiebung der in diesem Feld befindlichen Teile bewirkenden, elektrodynamischen Kraft ausreichend sind, mit sekundären Magnetfeldern ergeben, die durch die in den Teilen durch das primäre Magnetfeld induzierten Kreisströme erzeugt werden, sowie aus dem Zusammenwirken der einzelnen sekundären Magnetfelder untereinander. Solche Verfahren können bei Automatisierung von Montagevorgängen im Geräte- und Maschinenbau eingesetzt werden.

Es ist ein Montageverfahren für ferromagnetische Teile vom Typ «Welle-Büchse» unter der Wirkung von elektrodynamischen Kräften bekannt. Dieses Verfahren stützt sich darauf, dass dem einen der zu montierenden Teile eine zusammen gesetzte fortschreitende Drehbewegung in bezug auf das andere in den Grenzen des Wertes des Fehlers der Ausgangsstellung des Teiles erteilt wird. Die erforderlichen Übereinstimmungen der Achsen der Teile bei der Montage werden durch die Wechselwirkung des einen der zu koppelnden fer-

romagnetischen Teile mit einem beispielsweise durch den Stator eines Einphasenmotors erzeugten umlaufenden Magnetfeld erreicht. Das im Stator mit einem Spiel angeordnete Teil (Welle) beginnt sich in einer der Feldbewegung entgegengesetzten Richtung zu drehen. Wenn hierbei die Enden des Teiles bezüglich der Stirnseiten des Stators asymmetrisch angeordnet sind, so erfährt das Teil auf Grund des Randeffektes außer der Abwälzbewegung in bezug auf den Stator auch noch eine Kraftwirkung in dessen Achsrichtung. Indem man das Teil mit einer vorgegebenen Asymmetrie in bezug auf die Seite, in

deren Richtung die Montage mit einem anderen Teil zu erfolgen hat, anordnet, kann man die Kraftwirkung entlang der Achse des Teiles entgegen dem anderen zu verkoppelnden Teil ausüben. Solch ein Montageverfahren ist im UdSSR-Urheber-

schein Nr. 241 939 in Anlehnung an die Montage von ferromagnetischen Teilen beschrieben.

Diese eine Einstellung des einen Teiles bezüglich des anderen fordernde Verfahren ist nur in dem Falle effektiv, wenn der relative Fehler der ursprünglichen gegenseitigen Einstellung der zwei Teile einen verhältnismässig geringen Wert gegenüber dem Mass der zu verkoppelnden Elemente der Teile ausmacht.

Dieses Montageverfahren, welches auf einer mit der Wahrscheinlichkeit behafteten mechanischen «Suche» nach einer Zentralnase oder -öffnung eines Teiles in bezug auf das andere beruht, ist nicht anwendbar, falls es notwendig ist, eine gegenseitige exakte Einstellung von drei oder einer grösseren Anzahl von Teilen zueinander auf einer gemeinsamen Symmetriearchse vorzunehmen.

Es ist darüber hinaus ein Verfahren zur Montage von nichtmagnetisierbaren stromleitenden Teilen bekannt, indem elektrodynamische Kräfte ausgenutzt werden, die sich aus der Wechselwirkung eines primären und eines sekundären magnetischen Wechselfeldes ergeben. Die Induktion und die Schwingungsfrequenz des magnetischen Primärfeldes werden dabei ausreichend für die Entstehung einer die Verschiebung eines in dieses Feld gebrachten zusammenzubauenden Teiles gewährleistenden elektrodynamischen Kraft gewählt. In diesem Verfahren werden im besonderen die Wicklungen in das Ständer- oder Ankerpaket verlegt.

Die Wicklung wird vorher auf einen zusammengesetzten Dorn angebracht, in dessen Unterteil, d.h. unter der Wicklung, ein unmagnetischer stromleitender Rahmen angeordnet ist. Beim Anschluss der Wicklung an eine Stromimpulse liefernde Quelle wird im Rahmen, unter der Einwirkung des (primären) Magnetfeldes der Wicklung, ein Strom induziert. Infolge der Wechselwirkung zwischen dem durch diesen Strom bewirkten sekundären Magnetfeld und dem Magnetfeld der Wicklung wird eine die Wicklung vom Rahmen abstossende elektrodynamische Kraft erzeugt.

Das beschriebene Verfahren gestattet es, Montagegruppen lediglich aus zwei Teilen zusammenzubauen, wobei eines der Teile (Stator oder Anker) passiv, d.h. mit der Montagestellung, starr verbunden ist. Entsprechend diesem Verfahren ist es notwendig, dem zweiten, verschiebbaren Teil (Wicklung) einen Strom zuzuführen, was für eine ganze Reihe von Teilen erschwert ist. Darüber hinaus muss das verschiebbare Teil nach Möglichkeit genau auf der Montageachse sitzen. All das schränkt die Anwendungsmöglichkeiten des bekannten Verfahren ein.

Der Erfolg liegt die Aufgabe zugrunde, ein Montageverfahren für nichtmagnetisierbare stromleitende Teile unter der Wirkung von elektrodynamischen Kräften zu entwickeln, das es gestattet, eine gleichzeitige kontaktlose gegenseitige Anordnung zweier und einer grösseren Anzahl von Teilen auf einer gemeinsamen Achse (Montageachse) selbst unter der Bedingung vorzunehmen, dass der Fehler in der Ausgangsstellung der Teile 0,8 bis 0,9 von dem linearen Mass zwischen den Achsen der zu koppelnden Teile betragen kann.

Diese Aufgabe wird erfundungsgemäss durch das Verfahren gelöst, das im Anspruch 1 definiert ist.

Zur Montage von Teilen komplizierter Konfiguration ist es zweckmässig, das primäre Magnetfeld impulsartig zu liefern und während der Pausen dieses Feldes dem Montagebereich ein zusätzliches, pulsierendes magnetisches Wechselfeld zu überlagern, dessen Induktionsvektor unter einem Winkel zum Induktionsvektor des primären Magnetfeldes gerichtet und dessen Impulsdauer der Pausenzeit des primären Magnetfeldes gleich ist.

Es ist erwünscht, dass der Winkel zwischen den Induktionsvektoren des primären und des zusätzlichen Magnetfeldes gleich  $90^\circ$  ist.

Erwünscht ist es auch, die Impulsdauer des primären und des zusätzlichen Magnetfeldes vom Anfang bis zum Ende der Montage bei gleichzeitiger langsamer Amplitudenerhöhung der Impulse des Primärfeldes allmählich zu verringern.

5 Zweckmässig ist, dem Querschnitt des primären Magnetfeldes eine Konfiguration zu verleihen, die ähnlich dem maximalen Querschnitt der zusammenzubauenden Teile in einer zur Montageachse senkrechten Ebene ist und diesen Querschnitt übersteigt.

10 Es ist erwünscht, in dem Masse der Deckung der zusammenzubauenden Teile den Querschnitt des primären Magnetfeldes bis zum Zusammenfall mit dem Querschnitt der zusammenzubauenden Teile auf dem Koppelabschnitt in einer zur Montageachse senkrechten Ebene einzugehen.

15 Zum Halten der Teile in der Montagezone kann man das primäre magnetische Wechselfeld ungleichmässig nach der Dichte mit einer Konzentration der Dichte in der Peripherie der Montagezone ausführen.

20 Die Schwingfrequenz des primären Magnetfeldes ist nach demjenigen der zusammenzubauenden Teile zu wählen, für welches der optimale Rechenwert der Frequenz beim vorgegebenen Wert der Induktion des Feldes maximal ist.

25 Zur Optimierung des Montagevorganges ist es erwünscht, die Schwingungsfrequenz des primären Magnetfeldes in dem Masse der Annäherung der Teile bis zum Zeitpunkt ihrer Berührung allmählich um 30 bis 50% des gewählten Frequenzwertes zu erhöhen und danach auf den gewählten Wert zu reduzieren.

30 Es ist auch erwünscht, im Augenblick der Berührung der Teile an den zu verkoppelnden Flächen die Induktion des primären Magnetfeldes kurzzeitig um das mindestens 2fache zu erhöhen.

35 Bei der Montage der Teile vom Typ «Büchse-Welle» ist es angebracht, im primären Magnetfeld zuerst das Teil vom Typ «Büchse» unterzubringen und es im Feld bis zur Erreichung durch dieses einer Vergrösserung der Öffnung bewirkenden Temperatur zu halten, worauf im primären Magnetfeld das Teil vom Typ «Welle» anzutragen ist.

40 Bei der Montage von Baugruppen aus mindestens drei Teilen, wo das Zwischenstück ein Hartlot ist, ist es sinnvoll, die Teile durch das primäre Magnetfeld auf die Schmelztemperatur des Lotes zu erhitzen.

45 Die Erhitzung kann durch Erhöhung der Schwingungsfrequenz des primären magnetischen Wechselfeldes vorgenommen werden.

Die Erhitzung kann auch durch Halten der Teile im primären Magnetfeld verwirklicht werden.

Bei Notwendigkeit der Montage von Teilen an einem Dorn ist es vor der Unterbringung der Teile im primären magnetischen Wechselfeld zweckmässig, in diesem auf der Montageachse ein Dorn aus Ferromagnetikum anzutragen und das Magnetfeld ungleichmässig nach der Dichte mit einem Maximalwert der Dichte auf der Montageachse zu erzeugen.

55 Das vorliegende Montageverfahren für nichtmagnetisierbare stromleitende Teile unter Benutzung des magnetischen Wechselfeldes erlaubt es, eine gleichzeitige gegenseitige Anordnung zweier und einer grösseren Anzahl von Teilen auf einer gemeinsamen (Montage)achse selbst unter der Bedingung vorzunehmen, dass der Fehler in der Anfangsstellung der Teile 0,8 bis 0,9 von dem linearen Mass zwischen den Achsen der zu koppelnden Teile betragen kann.

60 Die exakte Anordnung und die gegenseitige Kopplung der Teile auf der gemeinsamen Achse erfolgt kontaktlos.

Das Verfahren gestattet es, sowohl achsensymmetrische Teile als auch Teile einer komplizierteren Konfiguration zusammenzubauen.

65 Das Verfahren ermöglicht es ebenfalls, eine gleichzeitige Montage in Richtung mehrerer Achsen von Teilen verschiede-

ner Konfiguration auf einer Platte oder an einem Gehäuse vorzunehmen.

Das Verfahren gewährleistet eine hohe Montagegenauigkeit und eine optimale Durchführung des Montagevorganges, weil die Teile in der Montagezone auf den kürzesten Laufbahnen verschoben werden. Das Verfahren kann mit Hilfe von einfachen und universellen Einrichtungen realisiert werden.

Die Erfindung soll nachstehend an Hand einer Beschreibung von konkreten Ausführungsbeispielen nach beiliegenden Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigt:

Fig. 1 im Magnetfeld angeordnete zusammenzubauende Teile, in der Isometrie.

Fig. 2, 3, 4 die gleichen Teile wie in Fig. 1 auf verschiedenen Stufen des Montagevorganges, im Schnitt,

Fig. 5 zusammenzubauende Teile anderer Form, in der Isometrie,

Fig. 6 zusammenzubauende Teile und auf sie einwirkende elektrodynamische Kräfte, Seitenansicht,

Fig. 7 zusammenzubauende Teile, deren eines mit der Montageposition starr verbunden ist, Seitenansicht,

Fig. 8 Abhängigkeit der elektrodynamischen Kraft von der verallgemeinerten Schwingfrequenz des Magnetfeldes,

Fig. 9 Realisierungsbeispiel für die Montage eines Teiles in einem Magnetfeld variabler Dichte,

Fig. 10 zeitliche Änderung der Induktion des Magnetfeldes B,

Fig. 11 Montageeinrichtung für achsensymmetrische Teile, in der Isometrie,

Fig. 12 zusammenzubauende Teile komplizierter Form,

Fig. 13 die gleichen Teile im Montagevorgang,

Fig. 14 zeitliche Änderung der Impulsdauer und der Amplituden des primären und des sekundären Magnetfeldes,

Fig. 15 Variante der Montageeinrichtung für Teile komplizierter Form,

Fig. 16 die gleiche Einrichtung auf einer anderen Arbeitsstufe,

Fig. 17 Grundelement mit zwei anderen Teilen, in der Isometrie,

Fig. 18 Gehäuseteil mit sechs anderen Teilen, in der Isometrie,

Fig. 19 Variante der Montageeinrichtung für Teile komplizierter Form mit dem Gehäuseteil,

Fig. 20 dto. auf einer anderen Arbeitsstufe,

Fig. 21, 22, 23, 24 Schemas für eine nacheinander erfolgende Überlagerung lokaler Magnetfelder bei Vorhandensein einer grossen Anzahl von zu verkoppelnden Elementen im Grundelement,

Fig. 25 schematisch eine Einrichtung zur Montage von Teilen auf einem Dorn.

Das Wesen des vorliegenden Montageverfahrens besteht darin, dass die zusammenzubauenden Teile in einem primären magnetischen Wechselfeld untergebracht werden, dessen Induktionsvektor längs der Montageachse (Achse, in bezug auf welche alle zusammenzubauenden Teile zentriert werden) gerichtet ist. Die Teile, da sie im Feld angeordnet sind, erfahren Kräfte, die auf die Anordnung der Teile auf einer Achse und gleichzeitig auf eine gegenseitige Kopplung der Teile längs der Achse gerichtet sind, was einen geschlossenen Montzyklus gewährleistet.

Die Montage geht nicht aufgrund eines auf der Wahrscheinlichkeit aufbauenden Zusammenfalls der Achsen, sondern auf Grund einer Wechselwirkung der durch die Stromkreise der in den Teilen induzierten Ströme erzeugten sekundären Magnetfelder mit dem primären Magnetfeld vonstatten, wobei die Teile sich unter der Einwirkung der elektrodynamischen Kräfte in Richtung der Montageachse auf der kürzesten Laufbahn bewegen.

Bei der Anordnung der Teile im primären Magnetfeld ist es nötig, in der Weise vorzugehen, dass die durch die Stromkreise der in ihnen induzierten Ströme umfassten Gebiete in zur Montageachse ungefähr senkrechten Ebenen liegen und bei jedem benachbarten Paar der zusammenzubauenden Teile einander mindestens teilweise überdecken.

Die Induktion und die Frequenz des primären Magnetfeldes werden unter der Bedingung der Entstehung von zur Verschiebung eines beliebigen der zusammenzubauenden Teile ausreichenden elektrodynamischen Kräften gewählt.

In Fig. 1 sind als Beispiel für zusammenzubauende Teile in der Isometrie drei Ringe 1, 2, 3 verschiedenen Durchmessers dargestellt, die in ein primäres magnetisches Wechselfeld B gebracht sind, dessen Induktionsvektor entlang der Montageachse 4 gerichtet ist.

Aus Fig. 2, wo die gleichen Ringe 1, 2, 3 im Schnitt gezeigt sind, ist erkennbar, dass unter der Einwirkung des Magnetfeldes B in den Ringen 1, 2, 3 Ströme  $i_1, i_2, i_3$  induziert werden. Infolge der Wechselwirkung zwischen dem primären Magnetfeld B mit den sekundären Magnetfeldern  $b_1, b_2, b_3$ , die durch die induzierten Ströme  $i_1, i_2, i_3$  hervorgerufen worden sind, entstehen elektrodynamische Kräfte  $F_1, F_2, F_3$ , die die Teile in Richtung der Montageachse 4 bewegen, d. h. die Teile werden gleichachsig eingestellt. Zugleich erfolgt als Resultat der Wechselwirkung der Magnetfelder von den Strömen  $i_1$  bis  $i_3$  eine «Vernetzung» der entsprechenden Magnetflüsse, d. h. die Ausbildung eines gemeinsamen, alle drei Ringe 1, 2 und 3 gleichzeitig umschliessenden Magnetfeldes  $b_1, b_2, b_3$  (Fig. 3). Die hierbei auftretenden elektrodynamischen Kräfte sorgen für eine weitere Annäherung der Teile (Fig. 4) und im Endergebnis für deren Verbindung in einer Stellung, bei der die Ringe 1, 2 und 3 konzentrisch zur Montageachse 4 liegen.

Aus der Betrachtung der Fig. 2 bis 4 ist ersichtlich, dass es zur Sicherstellung der Montage im vorliegenden Verfahren erforderlich ist, dass der Induktionsvektor des primären Magnetfeldes B längs der Montageachse 4 gerichtet ist, während die Teile (Ringe 1, 2, 3) in der Montagezone in der Stellung liegen, dass die durch die Kreise der induzierten Ströme umfassten Gebiete bei jedem Paar der benachbarten zusammenzubauenden Teile einander wenigstens teilweise überdecken und in zur Montageachse ungefähr senkrechten Ebenen liegen.

Darüber hinaus ist es aus Fig. 2 bis 4 zu ersehen, dass mit dem Richtungswechsel des Induktionsvektors des Magnetfeldes B jeweils die Richtung der induzierten Ströme geändert wird, die resultierenden elektrodynamischen Kräfte aber, die für die Anordnung der Teile auf einer gemeinsamen Montageachse 4 und für deren Verbindung sorgen, unverändert bleiben.

Fig. 5 zeigt, wie der Induktionsvektor des Magnetfeldes B in bezug auf die Montageachse 4 der Teile 5, 6, 7, 8 zu richten ist. Es ist zu betonen, dass verschiedenartige Teile: Büchse 5, Welle 6, Scheibe 7, Becher 8 in solch einem Feld nur Kräfte erfahren, die für deren Anordnung auf der gemeinsamen Montageachse 4 und deren gegenseitige Verbindung sorgen. Falls die Richtung des Induktionsvektors des Feldes mit der Montageachse 4 nicht zusammenfällt, wie dies durch einen gestrichelten Pfeil in Fig. 5 angedeutet ist, wird der Effekt der Montage gestört, weil die Stromkreise der in den Teilen 5, 6, 7, 8 induzierten Ströme den zu verkoppelnden Flächen nicht entsprechen und ausserdem die Teile 5, 6, 7, 8 bei derartiger Feldrichtung ein Kräftemoment erleiden werden, das bestrebt ist, ein jedes Einzelteil in Richtung des Magnetfeldes B' zu schwenken, was die Möglichkeit der koaxialen Montage einer Baugruppe ausschliesst.

Zur Erzielung also des Effektes der Montage einer aus einer grösseren Anzahl von achsensymmetrischen Teilen bestehenden Baugruppe ist es notwendig, sie der Montagezone in der Weise zuzuführen, dass die Richtung der Achsen dieser

Teile mit der Montageachse 4 zusammenfällt und der Induktionsvektor des primären magnetischen Wechselfeldes B in Richtung der Montageachse 4 zeigt.

Im Falle einer Montage der Teile vom Typ «Welle-Büchse» und bei Notwendigkeit der Durchführung der Montage mit einem Übermass oder einer Presspassung durch eine vorherige Erwärmung des die Koppelfläche umfassenden Teiles ist es zweckmäßig, dieses Teil unmittelbar in der Montagezone durch dasselbe magnetische Wechselfeld B zu erwärmen, wozu das Teil vom Typ «Büchse» der Montagezone in erster Linie und das Teil vom Typ «Welle» der Montagezone erst nach der Erreichung durch das Teil vom Typ «Büchse» einer zur Erhaltung der erforderlichen Verbindungsart ausreichenden Temperatur zugeführt wird. Sollen zum Beispiel die in Fig. 5 dargestellten Teile miteinander derart verbunden werden, dass die Büchse 5 auf den Halszapfen der Welle 6 auf- und die Scheibe 7 in den Innenraum des Bechers 8 eingepresst wird, so sind der Montagezone zuerst die Teile 5 und 8 zu- und nach deren Erhitzung in deren Zwischenraum die Teile 6 bzw. 7 einzuführen.

Der Fehler der gegenseitigen Anordnung der zwei benachbarten zu koppelnden Teile kann bedeutend sein, es muss nur gewährleistet werden, dass die durch die Kreise der induzierten Ströme der zu koppelnden Flächen umfassten Gebiete wenigstens zum Teil einander überdecken.

Die für die Montage erforderliche Kraftwirkung zwischen den Teilen wird nach einer bekannten Methodik, ausgehend von einer bedingten Montage, errechnet.

Und zwar: in welcher Ebene (vertikal, horizontal usw.) die Montage zu erfolgen hat, in bezug auf welches der zusammenzubauenden Teile die Montage erfolgt, d.h. ob die Teile 9, 10 (Fig. 6) ohne feste Verbindung sind oder das eine der Teile 11 (Fig. 7) mit der Montageposition 12 fest verbunden ist. Bei vorgegebener Montagegeschwindigkeit werden Masse, Form und Abmessungen der zusammenzubauenden Einzelteile berücksichtigt. Nachdem die erforderlichen Kräfte für die Montage der Teile, beispielsweise die Kräfte  $F_9$  und  $F_{10}$ , bestimmt worden sind, werden für die Teile 9 und 10 in Fig. 6 rationelle Parameter des primären magnetischen Wechselfeldes B (Frequenz, Induktion) festgelegt. Die Schwingungsfrequenz  $f$  des Magnetfeldes B wird aus der Formel

$$\varepsilon = 2\pi f \sigma \mu_0 a^2 = \text{const}$$

bestimmt,

wo

$f$  – Schwingungsfrequenz des Feldes, Hz

$\sigma$  – elektrisches Leitvermögen des Materials des Teiles,  $\Omega m^{-1}$

$\mu_0$  – absolute Permeabilität,  $H \cdot m^{-1}$

$a$  – charakteristisches Mass des Teiles (Plattenstärke, Zylinderradius u.ä.), m.

Der Wert von  $\varepsilon$  wird ausgehend vom erforderlichen Wert der elektrodynamischen Kraft entsprechend der graphischen Darstellung der Abhängigkeit  $F = f(\varepsilon)$ , die in Fig. 8 wiedergegeben ist, bestimmt. Angenommen, den elektrodynamischen Kräften  $F_9$  und  $F_{10}$  seien Werte  $\varepsilon_9$  und  $\varepsilon_{10}$  der verallgemeinerten Frequenz zugeordnet. Durch Einsetzen der Angaben für elektrisches Leitvermögen ( $\sigma$ ) und Mass  $a_9$  und  $a_{10}$  von jedem Einzelteil bestimmt man den erforderlichen Wert  $f$  der Frequenz des Feldes für ein jedes der zusammenzubauenden Teile.

Die Frequenz des primären Magnetfeldes B in der Montagezone wird nach dem Teil festgesetzt, bei dem der Rechenwert der erforderlichen Frequenz maximal ist. Die anderen Teile werden dabei im Montagevorgang eine entsprechend grössere Kraftwirkung erleiden, was im Endergebnis zur Beschleunigung des Montagevorganges beiträgt.

Durch Änderung der Dichte des primären Magnetfeldes B (Fig. 9) in der Montagezone in der Weise, dass sie von der Montageachse 4 und der Peripherie der Montagezone her zunimmt, wird der Effekt eines kontaktlosen Haltens der Teile 13, 14, 15 in der Nähe der Montageachse 4 erzielt. Dies gestattet es, in ein und der gleichen Montagezone verschiedene Elemente und Montagegruppen zu verbinden.

Die auf die Teile einwirkenden elektrodynamischen Kräfte steigen mit der Annäherung der Teile an. Diese Kräfte sind direkt proportional dem Wert der in den Teilen induzierten Ströme, die ihrerseits dem Wert der Induktion des primären Magnetfeldes direkt proportional sind. Durch Änderung der Induktion des Magnetfeldes kann man also die für die Montage erforderliche Kraftwirkung regulieren.

Die für die Anordnung der Teile auf der Montageachse und ihre Annäherung ausreichende Kraftwirkung ist in einer ganzen Reihe von Fällen unzureichend für deren Verbindung, beispielsweise bei einem Treibsitz. In diesem Zusammenhang erweist es sich als zweckmäßig, die Induktion des primären Magnetfeldes während des Montagevorgangs zu ändern, wie dies in der in Fig. 10 graphisch dargestellten Abhängigkeit  $B = f(t)$  gezeigt ist. Hierbei soll die erste Stufe der Montage bei einem Induktionswert  $B_1$  des Magnetfeldes, der für eine gleichachsige Anordnung der Teile in der Zeit  $t_1$  ausreicht, und die zweite abschliessende Stufe der Verbindung der Teile in der Zeit  $t_2$  bei einem sprunghaften Anstieg der Induktion des Magnetfeldes bis zu dem Wert  $B_2$  verwirklicht werden, worauf man das Magnetfeld zusammenbrechen lässt.

Bei der Durchführung der Montage der Teile nach dem vorgeschlagenen Verfahren wurde festgestellt, dass bei einem teilweisen Eintritt des einen Teiles in das andere eine Abschirmung des Außenfeldes durch das grössere Teil, eine Abnahme von im kleineren Teil induzierten Strömen und als Folge davon eine Verringerung der auf die zusammenzubauenden Teile einwirkenden Kraft, die bekanntlich zu den in den Teilen fliessenden Strömen proportional ist, beobachtet werden. Zur Aufrechterhaltung der erforderlichen Kraftwirkung kann man die Induktion des Primärfeldes vergrössern.

Jedoch ist die Erhöhung der Induktion des primären Magnetfeldes nicht immer möglich infolge einer Überhitzung der zusammenzubauenden Teile und einer Reihe von konstruktiven Besonderheiten magnetischer Systeme. Da außerdem die für die Montage erforderliche Leistung  $P \approx B^2 f$  ist, so führt selbst eine geringfügige Induktionssteigerung zu einer starken Erhöhung des Leistungsaufwandes, d.h. sie ist energetisch unvorteilhaft.

Die Verluste der Kraftwirkung können auf anderem Wege, ohne dass eine Induktionsänderung des primären Magnetfeldes gefordert wird, kompensiert werden.

Zu diesem Zweck wird die (berechnete) Ausgangsfrequenz des Magnetfeldes, die nach dem Teil gewählt ist, für das diese Frequenz maximal ist, in dem Masse der Annäherung der zusammenzubauenden Teile zum Zeitpunkt der Berührung der einander zugewandten Flächen um 30 bis 50% erhöht, worauf die Feldfrequenz beim Ineinandergreifen der Teile auf den Rechenwert reduziert wird.

Die Feldfrequenz kann so kontinuierlich wie auch diskret geändert werden.

Das oben Erwähnte wird nun an einem konkreten Beispiel erläutert.

Es wurden zwei Aluminiumringe zusammengebaut. Der Aussendurchmesser des grösseren Ringes beträgt 20 mm, die Höhe des Ringes – 5 mm; der Aussendurchmesser des kleineren Ringes beträgt 14 mm, die Höhe des Ringes – 5 mm. Die Ringe wurden in ein längs einer mit der Symmetrieachse der Ringe zusammenfallenden Montageachse gerichtetes Magnetfeld  $B = 0,2$  T gebracht. Beim Abstand zwischen den Ringen in Achsrichtung gleich 1,5 mm wurde die Feldfrequenz  $f$  gleich

10 kHz festgesetzt. In dem Masse, wie sich die Ringe näherten, wurde die Frequenz  $f$  zu dem Zeitpunkt ihrer Berührung stufenlos auf 15 kHz erhöht, und dann wurde die Feldfrequenz mit dem Eintritt des einen Ringes in den anderen herabgesetzt, und bei der Eintrittstiefe von 2,5 mm wurde  $f = 2$  kHz.

Die Vergrößerung der elektrodynamischen Kraft betrug im Vergleich zur Montage von ähnlichen Ringen in einem Magnetfeld bei  $B = 0,2$  T und  $f = \text{const} = 10$  kHz ca. 70%.

In der elektrotechnischen und in der Funkindustrie werden weitgehend Lötverbindungen eingesetzt. In letzterer Zeit wurde der Montagevorgang für derartige Verbindungen recht fortschrittlich, weil das Hartlot in Form eines zu kompletierenden Teiles in Gestalt einer Scheibe, eines Rings oder einer Kappe hergestellt wird. Der Montagevorgang wird für derartige Verbindungen damit abgeschlossen, dass die komplette Montagegruppe dem Tunnelofen zugeführt wird. Im vorliegenden Verfahren wird nach der Komplettierung der Teile auf der Montageachse durch das Magnetfeld mit Hilfe desselben Feldes eine Erhitzung der Teile auf die Schmelztemperatur des Lotes vorgenommen und damit der Montagevorgang abgeschlossen.

Die Erhitzung der Teile auf die Schmelztemperatur des Lotes erfolgt entweder durch kurzzeitige Erhöhung der Schwingfrequenz des primären Magnetfeldes oder durch Lagerung der Teile im primären Magnetfeld.

Ein Beispiel der Montageeinrichtung für achsensymmetrische Teile gemäß dem vorliegenden Verfahren ist in Fig. 11 gezeigt. Die Einrichtung besteht aus einem hufeisenförmigen Elektromagneten 16, dessen Wicklung 17 an eine (in der Zeichnung nicht angedeutete) Wechselstromquelle angeschlossen ist. Die Montagezone 18 befindet sich im Raum zwischen den Polen des Elektromagneten 16. Die Einrichtung ist mit einem der Montagezone 18 durch einen Förderer 19 zugeführten Satz von Teilen 20, 21 und 22 und mit einer durch denselben Förderer 19 aus der Montagezone 18 abzuführenden fertiggebaute Montagegruppe 23 dargestellt.

Die Einrichtung arbeitet wie folgt: Der Förderer 19 führt der Montagezone 18 die Sätze der zusammenzubauenden Teile 20 bis 22 zu. Gleichzeitig wird die Wicklung 17 des Elektromagneten 16 an die Stromquelle angeschlossen, wodurch in der Montagezone 18 ein primäres Magnetfeld aufgebaut wird, das in den Teilen 20 bis 22 Ströme induziert, die mit dem primären Magnetfeld in Wechselwirkung tretende sekundäre Magnetfelder erregen. Die hierbei auftretenden elektrodynamischen Kräfte ordnen die Teile 20 bis 22 auf einer gemeinsamen Montageachse 4 an und sorgen für deren Zusammenfall nach den Koppelflächen, wie dies bei der Betrachtung der Fig. 2 bis 4 beschrieben ist. Die aus den Teilen 20 bis 22 fertiggebaute Montagegruppe 23 wird durch den Förderer 19 aus der Montagezone 18 abgeführt.

Diese Einrichtung erlaubt es auch, eine gleichzeitige Montage mehrerer Montagegruppen vorzunehmen. In diesem Fall führt der Förderer 19 der Montagezone 18 gleichzeitig mehrere Sätze von Teilen zu. Es ist dabei zweckmäßig, das primäre Magnetfeld ungleichmäßig nach der Dichte (beispielsweise durch Änderung der Polform des Elektromagneten 16) mit maximaler Dichte an der Peripherie der Montagezone 18 aufzubauen, was das Festhalten der zusammenzubauenden Teile in der Montagezone 18 begünstigt.

Bei Notwendigkeit der Montage zu einer Baugruppe von Teilen komplizierterer Form wird das primäre Magnetfeld impulsartig geliefert und während der Pausen des primären Magnetfeldes auf den Montagebereich mit einem zusätzlichen pulsierenden Wechselfeld eingewirkt, dessen Induktionsvektor unter einem Winkel zum Induktionsvektor des Primärfeldes gerichtet und dessen Impulsdauer gleich der Pausenzeit des primären Magnetfeldes ist.

Bei derartiger Einwirkung des primären und des zusätzlichen Magnetfeldes nähern sich die Teile unter der Wirkung des Primärfeldes und tendieren im Vorgang der Annäherung zur gegenseitigen Schwenkung in der Koppelachse, während sie unter der Wirkung des zusätzlichen Feldes Kräfte erfahren, die sie gegenseitig abstoßen, weshalb bei einer wiederholten Überlagerung des Primärfeldes das Teil erneut die Freiheit zur Annäherung und Schwenkung erlangt.

Die periodische Überlagerung der Montagezone vom primären und zusätzlichen Magnetfeld sichert ein rasches und zuverlässiges Zusammenfallen der zu koppelnden Flächen. Hierbei wird der Montagevorgang durch gegenseitige Annäherung der Teile auf der kürzesten Laufbahn verwirklicht.

Es wird des weiteren näher auf das Wesen der vorliegenden Variante der Montage am Beispiel einer Verbindung zweier Teile 24 und 25 (Fig. 12) eingegangen.

Es liegt auf der Hand, dass zur Montage derartiger Teile deren gleichachsige Anordnung allein nicht ausreichend ist.

Das Sechskant des Teiles 24 geht in das entsprechende Sechskantloch des Teiles 25 nur in dem Fall hinein, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind: Übereinstimmung ihrer Symmetriachsen und Flächenrichtungen.

Die erforderliche gleichachsige Übereinstimmung der Teile auf der Montageachse 4 (Fig. 12) wird dadurch erreicht, dass auf die der Montagezone vorher zugeführten Teile mit dem primären Magnetfeld  $B$  eingewirkt wird, dessen Induktionsvektor längs der Montageachse 4 gerichtet wird. Die Teile werden in dieser Zone derartig angeordnet, dass nach der Überlagerung des Magnetfeldes  $B$  die Kreise der induzierten Ströme  $i_{24}$  und  $i_{25}$  der benachbarten zusammenzubauenden Teile einander wenigstens teilweise überdecken und in einem zur Montageachse senkrechten Schnitt ihren Koppelflächen entsprechen. Hierbei entstehen bekanntlich elektrodynamische Kräfte, die die Teile in Richtung der Montageachse 4 bewegen. Außerdem nähern sich die Teile in solch einem Feld unter der Einwirkung der Induktionsströme gegenseitig.

Falls aber die Flächen der zu verkoppelnden Teile, wie dies in Fig. 13 gezeigt ist, nicht zusammenfallen, ist der weitere Vorgang der Montage im Magnetfeld mit der Richtung des Induktionsvektors längs der Achse 4 äußerst erschwert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Zusammenfallen der Stromkreise (Flächen), obwohl die Kreise der induzierten Ströme  $i_{24}$  und  $i_{25}$  eine Tendenz zum Zusammenfall nach der Konfiguration (ein Sechskant mit dem anderen) aufweisen, wegen einer gegenseitigen Anziehung der Teile unter der Wirkung der elektrodynamischen Kräfte eine verhältnismäßig lange Zeit (30 bis 90 s) in Anspruch nimmt. Die Teile erfahren in diesem magnetischen Wechselfeld, nachdem sie einander berührt haben, vibrierende und Mikrodrehbewegungen, die letzten Endes dazu führen, dass auch nach der Konfiguration kompliziertere Teile zusammengebaut werden.

Zur Beschleunigung des Montagevorganges für derartige Teile wird das primäre Magnetfeld  $B$  der Montagezone impulsartig zugeleitet. Die Dauer des ersten Impulses des primären magnetischen Wechselfeldes  $B$  wird ausgehend von der Bedingung festgelegt, dass die zusammenzubauenden Teile aus der nur irgendmöglichen ungünstigsten Ausgangsstellung gerade dazu kommen, auf der Montageachse 4 angeordnet zu werden und einander zu berühren. Dann wird dieses Feld abgeschaltet und auf die Teile mit dem zusätzlichen magnetischen Wechselfeld  $B_3$  eingewirkt, das vorzugsweise senkrecht zur Montageachse 4 gerichtet ist. Hierbei erfahren die Teile, wie aus Fig. 13 ersichtlich, unter der Wirkung der induzierten Ströme  $i_{24}$  und  $i_{25}$  eine elektrodynamische Einwirkung (Kräfte  $F_{24}$  bzw.  $F_{25}$ ). Infolge der Wirkung derartiger Kräfte stoßen die Teile einander ab.

Die Einwirkdauer eines Impulses des zusätzlichen Magnetfeldes (Pausenzeit des primären Feldes) wird derart berechnet,

dass die gegenseitige Entfernung der Teile 1 bis 2 mm nicht überschreitet. Dann werden die zusammenzubauenden Teile erneut mit einem Impuls des primären Magnetfeldes beaufschlagt. Danach wird es abgeschaltet und das zusätzliche Magnetfeld zugeführt usw. Hierbei haben die Teile die Möglichkeit, frei zu schwenken und sich in erforderlicher Lage zu schliessen.

Es ist bemerkenswert, dass dank der elektrodynamischen Einwirkung die Teile auf dem kürzesten Wege gekoppelt werden.

Zur Erhöhung der Effektivität der Montage ist es zweckmässig, während des Montagevorgangs die Impuls- und Pausenzeiten des primären Magnetfeldes (und folglich auch des zusätzlichen Feldes) so zu ändern, dass jeder nachfolgende Impuls des primären Magnetfeldes B nach der Amplitudenhöhe der Induktion zu- und nach der Wirkdauer ( $t_1, t_1' \dots$ ) abnimmt ebenso wie jeder nachfolgende Impuls des zusätzlichen Magnetfeldes  $B_3$  nach der Dauer ( $t_2, t_2' \dots$ ) abnimmt. Graphisch ist das in Fig. 14 dargestellt, woraus zu erssehen ist, dass  $t_1 > t_1' > t_1''$  usw. beziehungsweise  $t_2 > t_2' > t_2''$  usw. ist.

Die Amplitudenhöhe der Induktion des zusätzlichen Magnetfeldes  $B_3$  kann hierbei unverändert bleiben. Die Schwingungsfrequenz des Magnetfeldes B wird ausgehend von der elektrischen Leitfähigkeit  $\sigma$  des Werkstoffes der Teile und deren charakteristischen Massen «a» (darauf ist vorstehend näher eingegangen worden) festgelegt. Mit Rücksicht darauf, dass das charakteristische Mass «a» ein und des gleichen Teiles in Richtung des Feldes B von dem in Richtung des Feldes  $B_3$  verschieden ist, können dementsprechend die Frequenzen des primären und des zusätzlichen Magnetfeldes voneinander wesentlich abweichen. Nichtsdestoweniger kann es sich in einer ganzen Reihe von Fällen zur Vereinfachung der Speisung des Magnetsystems als zweckmässig erweisen, das primäre und das zusätzliche Magnetfeld mit gleicher Frequenz zu erzeugen, wobei nach dem Betrag die grössere der zwei gewählt wird. Dies führt im Endergebnis nicht nur zur Vereinfachung, sondern auch zur Erhöhung der Effektivität des Montagevorganges. Der gesamte Einwirkzyklus von Impulsen des primären und des zusätzlichen magnetischen Wechselfeldes wird unter der Bedingung der für die Montage von Teilen benötigten Zeit gewählt. Dieser Zyklus wird ausgehend von der möglichst ungünstigen Ausgangsstellung der Teile und der Forderung nach deren zuverlässiger Verbindung bestimmt. Die durchgeföhrten Prüfungen haben die Wirksamkeit des vorgeschlagenen Montageverfahrens bestätigt. Die Dauer des Montagezyklus für die in Fig. 12 dargestellten Teile 24 und 25 betrug ca. 1 sek.

In Fig. 15, 16 ist eine Einrichtung zur Realisierung des vorliegenden Montageverfahrens auf verschiedenen Arbeitsstufen wiedergegeben.

Die Einrichtung setzt sich aus vier Solenoidspulen 26, 27, 28 und 29, die an eine (in der Zeichnung nicht angedeutete) Wechselstromquelle mittels automatisch gesteuerter Schalter 30, 31, 32, 33 angeschlossen sind, zusammen. Die Spulen 26 und 27 erzeugen das primäre magnetische Wechselfeld B (Fig. 15). Die Spulen 28 und 29 bilden das zusätzliche Magnetfeld  $B_3$  (Fig. 16) aus. Der Raum zwischen den Spulen 26, 27, 28 und 29 ist ausgehend von der Montagebedingung (Abmessungen der Teile, deren Ausgangsstellung u.ä.) gewählt.

In Fig. 15 und 16 sind auch in der Montagezone untergebrachte Teile 34 und 35 dargestellt.

Die Einrichtung arbeitet wie folgt: Die zusammenzubauenden Teile 34 und 35 werden der Montagezone im Raum zwischen den Spulen 26, 27 zugeführt. Wie aus Fig. 15 ersichtlich, können die Teile 34 und 35 gleichzeitig durch die Öffnung der Spule 26 und der Spule 27 oder von der Seite durch die Öffnungen der Spulen 28 und 29 zugeführt werden. Zu dieser

Zeit sind sämtliche Schalter 30 bis 33 offen. Nach dem Vorschub der Teile 34, 35 in die Montagezone werden die Spulen 26 und 27 an die Stromquelle durch Schliessung der Schalter 30, 32, wie dies in Fig. 15 gezeigt ist, angekoppelt.

- 5 Unter dem Einfluss des primären Magnetfeldes B kommt der erste Montagezyklus (Anordnung der Teile 34, 35 auf der Montageachse 4 und gegenseitige Annäherung der Teile) zustande. Nach Ablauf der Zeit  $t_1$  werden automatisch die Schalter 30 und 32 geöffnet und die Schalter 31 und 33 geschlossen, wie dies in Fig. 16 gezeigt ist. Hierbei wirkt auf die Teile 34 und 35 das zusätzliche Magnetfeld  $B_3$  ein. Nach Ablauf der Zeit  $t_2$  werden die Spulen 28 und 29 vom Netz ab- und gemäss der graphischen Darstellung (Fig. 14) die Spulen 26 und 27 ans Netz erneut angeschaltet usw. bis zum Abschluss des Montagezyklus.

Die zusammengebaute Montagegruppe wird aus der Arbeitszone durch eine der Öffnungen der Spulen 26 bis 29 herausgezogen. Derartige Einrichtungen bereiten keine Schwierigkeiten bei der Zuführung und Abnahme der Teile 20 durch Anwendung von weit verbreiteten Mitteln zum selbstdägigen Vorschub.

Naheliegend ist es auch, dass derartige Magnetsysteme mit den Mechanismen von Montagemaschinen und -strassen leicht vereinigt werden können. Der Montagevorgang kann sowohl 25 unter der Bedingung, dass eines der zusammenzubauenden Teile mit einer festen Grundplatte oder einem Element der Zuführungsvorrichtung verbunden ist als auch beim Fehlen bei den Teilen von festen Verbindungen vollzogen werden. Der Einfachheit halber wurde das Wesen des vorliegenden 30 Verfahrens am Beispiel der Montage einer Baugruppe aus zwei zu verkoppelnden Teilen veranschaulicht. Derselbe Effekt einer gegenseitigen Anordnung auf der Achse kann auch für drei und mehrere Teile erzielt werden.

Am wirksamsten läuft der Montagevorgang in dem Fall ab, 35 wenn der Querschnitt des primären Magnetfeldes eine Konfiguration aufweist, die dem maximalen Querschnitt einer aus Teilen in einer zur Montageachse senkrechten Ebene zusammenzubauenden Montagegruppe ähnlich ist. Am Anfang des Montagevorganges muss die Schnittfläche des Magnetfeldes 40 die Fläche des maximalen Querschnitts der zusammenzubauenden Montagegruppe so weit übertreffen, dass dieses Feld sämtliche in der Montagezone befindlichen zusammenzubauenden Teile umfasst, und dann ist der Querschnitt des primären Magnetfeldes in dem Masse der Überdeckung der Teile bis 45 zum Zusammenfall mit dem Querschnitt der zusammenzubauenden Teile auf dem Koppelabschnitt in einer zur Montageachse 1 sek. einzuengen.

Auf solche Weise kann man mit einem mehrere Koppelflächen aufweisenden Grundelement mehrere Teile verschiedener Konfiguration zusammenbauen. Zu diesem Zweck wird längs jeder der Montageachsen des Grundelementes ein eigenes lokales primäres magnetisches Wechselfeld überlagert, dessen Fluss im Querschnitt eine dem Schnitt des zu koppelnden Grundelementes ähnliche Konfiguration verliehen wird.

55 Am Anfang des Montagevorganges wird die Schnittfläche des lokalen Magnetfeldes in Richtung senkrecht zur Montageachse derart gewählt, dass dieses Feld sowohl die Koppelkontur des Grundelementes als auch die übrigen, auf der festgelegten Achse zusammenzubauenden Teile umfasst, und dann wird die 60 Fläche des Magnetflusses in dem Masse der Deckung der Koppelkonturen bis zu dessen Zusammenfall mit der Koppelkontur des Grundelementes eingeengt. Hierbei werden die lokalen Magnetfelder in Richtung sämtlicher Montageachsen gleichzeitig oder nacheinander in jeder Achsrichtung, in Richtung einer Gruppe von in einem Störungen ausschliessenden Abstand angeordneten Achsen überlagert.

Im folgenden wird näher auf das Wesen der vorliegenden Variante des Montageverfahrens am Beispiel der Verbindung

von einem Grundelement 36 (Fig. 17) mit Teilen 37 und 38 unter der Bedingung eingegangen, dass das Teil 37 mit dem Teil 36 nach der Koppelfläche eines Loches 39 (Montageachse 4<sub>37</sub>) zusammengebaut werden soll. In gleicher Weise soll das Teil 38 genau zugeführt und mit einem Loch 40 (Montageachse 4<sub>38</sub>) gekoppelt werden. Fig. 17 zeigt, dass in Richtung von Montageachsen 4<sub>37</sub> und 4<sub>38</sub> lokale primäre Magnetfelder B<sub>37</sub> und B<sub>38</sub> aufgebaut werden, bei denen die Konfigurationen der Querschnitte ähnlich den Konfigurationen der Löcher 39 und 40 sind.

Bei derartiger Einwirkung der Magnetfelder B<sub>37</sub> und B<sub>38</sub> wird eine genügend exakte Verteilung der Kreise der induzierten Ströme i<sub>39</sub> und i<sub>40</sub> nach dem Umfang der Koppelflächen des Grundelements 36 erreicht, und zwar werden nach dem Umfang des Loches 39 die Ströme i<sub>39</sub> und nach dem Umfang des Loches 40 die Ströme i<sub>40</sub> induziert. Gleichzeitig werden in den zu koppelnden Teilen 37 und 38 die Ströme i<sub>37</sub> bzw. i<sub>38</sub> induziert. Der weitere Montagevorgang verläuft ähnlich, wie dies vorstehend beschrieben worden ist, es treten nämlich die Kreise der Ströme i<sub>37</sub> und i<sub>39</sub> in Wechselwirkung, die gegenseitige Anordnung, Annäherung und Kopplung des Teiles 37 mit dem Loch 39 zustande bringt, und im Ergebnis der Einwirkung der Kreise der Ströme i<sub>38</sub> und i<sub>40</sub> wird das Teil 38 mit dem Loch 40 zusammengebaut.

In Fig. 18 ist ein Beispiel für eine gleichzeitige Montage eines Gehäuseteiles 41 mit Teilen 42, 43, 44, 45, 46, 47 verdeutlicht, die genau einzustellen und mit den entsprechenden zu koppelnden Elementen des Grundelements 41 in Richtung von sechs Montageachsen 4<sub>42</sub>, 4<sub>43</sub>, 4<sub>44</sub>, 4<sub>45</sub>, 4<sub>46</sub>, 4<sub>47</sub> zu verbinden sind. Derartige Montage kommt durch Einwirkung in Richtung von Montageachsen 4<sub>42</sub> bis 4<sub>47</sub> seitens der lokalen Magnetfelder B<sub>42</sub>, B<sub>43</sub>, B<sub>44</sub>, B<sub>45</sub>, B<sub>46</sub>, B<sub>47</sub> ähnlich, wie dies bei der Betrachtung der Fig. 17 beschrieben worden ist, zustande. Wenn die Montageachsen mit der Vertikalrichtung, wie es bei 4<sub>43</sub> bis 4<sub>47</sub> in Fig. 18 der Fall ist, nicht übereinstimmen, so sind die Teile bis zum Augenblick des Einschaltens des lokalen Magnetfeldes in der erforderlichen Ausgangsstellung mit Hilfe von mechanischen Mitteln, wie sie beispielsweise Rinnen, Mitnehmer, Anschläge u. ä. Elemente von Zuführungsvorrichtungen sind, zu halten. Bei guter elektrischer Leitfähigkeit des Materials der (aus Aluminium, Kupfer u. ä. hergestellten) zusammenzubauenden Teile übertreffen die elektrodynamischen Kräfte nach Betrag die Schwerkräfte, und der Montagevorgang kann also ohne zusätzliche mechanische Mittel erfolgen.

Die lokalen Magnetfelder B<sub>42</sub> bis B<sub>47</sub> sind bequem mittels Hufeisenförmiger Elektromagnete aufzubauen.

Indem man die Montageeinrichtung anordnet, hat man von der Bedingung der Bequemlichkeit der Zuführung der Teile für die Montage und der Abnahme der fertig gebauten Montagruppe auszugehen. Dies ist leicht zu bewerkstelligen, wenn die Eisenpakete der Elektromagnete bewegliche Kupplungen aufweisen.

Der Induktionswert des lokalen Magnetfeldes wird ausgehend von der erforderlichen Montagekraft gewählt, die vom Koppelumfang, der Zähigkeit des Materials der zu koppelnden Teile, der Art der Passung u. ä. abhängt, wie dies oben beschrieben ist.

Der Frequenzwert eines jeden lokalen Magnetfeldes wird ausgehend von den Abmessungen, dem Material und der Form der zusammenzubauenden Teile gewählt. Zur Vereinfachung der Speisequelle kann man sämtliche Elektromagnete der Montageeinrichtung an die Stromquelle einer Feldfrequenz anschliessen. In diesem Fall ist die betragsmässig grössere Speisefrequenz einzustellen.

Mit Rücksicht darauf, dass der Fehler der Zuführung der Teile für die Montage relativ gross sein kann, ist es zweckmässig, dass am Anfang des Montagevorganges die Schnittfläche

des lokalen magnetischen Wechselfeldes in Richtung senkrecht zur Montageachse sowohl die Koppelkontur des Grundelements als auch die übrigen, auf der festgelegten Achse zusammenzubauenden Teile umfasst. Dies schliesst einen spontanen Austritt des Teiles aus der Montagezone aus. In dem Masse der Anordnung des Teiles auf der gemeinsamen Montageachse wird die Fläche des lokalen Magnetfeldes bis auf die Schnittfläche des zu koppelnden Grundelements eingeengt. Dies kann durch verschiedene bekannte Mittel, darunter mit Hilfe einer in Fig. 19 und 20 auf verschiedenen Arbeitsstufen schematisch dargestellten Einrichtung, erreicht werden.

Die Einrichtung enthält einen aus Eisenpaketen 48 und 49 bestehenden und eine Hufeisenform aufweisenden Elektromagneten. Das Eisenpaket 49 ist mit der Möglichkeit einer Verschiebung in bezug auf das Eisenpaket 48 längs einer Führung 50 ausgeführt. Dies ist mit dem Ziel, die Anordnung von Gehäuseteilen komplizierter Konfiguration zwischen den Polen des Elektromagneten zu ermöglichen, gemacht worden. Als Beispiel solch eines Teiles ist in Fig. 19, 20 im IXX-IXX-Schnitt das in Fig. 18 dargestellte Teil 41 gezeigt. Zur Anordnung des Teiles 41 im Raum zwischen den Polen des Elektromagneten wird das Eisenpaket 49 bis zu der in Fig. 19, 20 gestrichelt angedeuteten Stellung verschoben, das Teil 41 wird, indem es ungefähr entlang der Montageachse, beispielsweise 25 der Achse 4<sub>44</sub>, ausgerichtet wird, angeordnet, worauf das Eisenpaket 49 in die Ausgangslage zurückgebracht wird.

Auf die Polschuhe des Elektromagneten sind Hülsen 51, 52 aufgesetzt, die aus ferromagnetischem Werkstoff mit gegenüber dem übrigen Teil des Eisenpaketes 49 und 50 niedrigerer magnetischer Permeabilität hergestellt sind. Am Eisenpaket 49, 50 ist eine aus Spulen 53, 54, 55 und 56 zusammengesetzte Magnetisierungswicklung angeordnet. Die Spulen 54, 55 werden an eine (in der Zeichnung nicht gezeigte) Wechselstromquelle für die ganze Dauer des Montagevorganges geschlossen. Die Spulen 53, 56 werden an die Wechselstromquelle für die zur Ausbildung eines Magnetfeldes B<sub>44'</sub> mit grösserer Querschnittsfläche erforderliche Zeit, wie dies in Fig. 19 gezeigt ist, angeschaltet. Das Magnetfeld B<sub>44</sub> des kleineren Querschnitts wird durch Abschaltung des Speisestromes 40 von den Spulen 53 und 56, wie dies in Fig. 20 gezeigt ist, aufgebaut.

Der Effekt der Änderung des Querschnitts des Magnetflusses in der Montagezone kann auch auf anderem Wege, und zwar durch Einspeisung eines Gleichstromes in die Spulen 53 und 56, erzielt werden.

Falls die zu verkoppelnden Elemente des Grundelements voneinander verhältnismässig nicht weit entfernt sind, ist es rationeller, die lokalen Magnetfelder nacheinander in Richtung jeder Achse oder einer Gruppe von in einem Störungen bei 50 der Montage ausschliessenden Abstand angeordneten Achsen zu überlagern. So sind beispielsweise auf dem Grundelement 57 (Fig. 21, 22, 23 und 24) Löcher 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69 vorhanden, mit denen die Montage von nichtdargestellten Teilen zu erfolgen hat. Zweckmässig ist, auf 55 solch ein Teil zuerst mit den in Richtung der Montageachsen der Löcher 58, 61, 64, 66 und 68 (Fig. 22) gelenkten lokalen Magnetfeldern einzuwirken, wobei Ströme i<sub>58</sub>, i<sub>61</sub>, i<sub>64</sub>, i<sub>66</sub> und i<sub>68</sub> in den Kreisen induziert werden.

Auf der nächsten Montagestufe wird es mit den lokalen 60 Magnetfeldern in Richtung der Montageachsen für die Löcher 60, 62, 63 und 69 (Fig. 23) eingewirkt. Nach dem Umfang dieser Löcher werden Ströme i<sub>60</sub>, i<sub>62</sub>, i<sub>63</sub> und i<sub>69</sub> induziert.

Auf der dritten Montagestufe wird es mit den in Richtung 65 der Montageachsen der Löcher 59 und 65 und 67 gelenkten lokalen Magnetfeldern eingewirkt, die eine Induzierung von Strömen i<sub>59</sub>, i<sub>65</sub> und i<sub>67</sub> (Fig. 24) nach dem Umfang der drei verbliebenen Löcher gewährleisten. Die Reihenfolge der Einwirkung der Lokalfelder kann auch anders sein. Die Auswahl

von im vorliegenden Verfahren zusammenzubauenden Erzeugnissen kann verschieden nach der Grösse, angefangen bei den Teilen von Uhrwerken bis zu den Baugruppen von Autos, sein.

In einer ganzen Reihe von Fällen, wo die zu einer Montagegruppe zusammenzubauenden Teile in Gestalt von Ringen, Büchsen, Rollen, Zahnrädern u. dgl. mehr ausgeführt sind, erfolgt der Montagevorgang auf einem Dorn.

Bei der Verwirklichung der Montage von in Fig. 25 gezeigten Teilen 70, 71, 72 und 73 nach dem vorliegenden Verfahren wird die Dichte des primären Magnetfeldes  $B$  in Richtung der Montageachse 4 konzentriert. In diesem Feld wird vorerst ein Dorn 74 aus ferromagnetischem Werkstoff (Ferrit oder Elektroblech) untergebracht, der die Funktion eines Magnetleiters übernimmt, und an einem der Enden des Dornes 74 eine Magnetisierungswicklung 75 angeordnet. Nach dem

Anschluss der Magnetisierungswicklung 75 an eine (in der Zeichnung nichtgezeigte) Wechselstromquelle werden der Montagezone die Teile 70 bis 73 zugeführt. Die Dichtekonzentration des Magnetfeldes in Achsrichtung des Dornes ist  
 5 zweckmässig, denn es gibt eine Möglichkeit zur Energieeinsparung für die Ausbildung eines Magnetfeldes. Die fertig gebaute Montagegruppe kann dann durch eine impulsartige Vergrösserung der Induktion des Feldes  $B$  vom Dorn 74 abgenommen werden. Diese Variante des Montageverfahrens kann auch mit  
 10 Hilfe einer anderen Einrichtung, beispielsweise eines C-förmigen Magneten, bei dem im Raum zwischen den Polen ein Magnetfeld gemäss Fig. 9, 11 aufgebaut wird, realisiert werden. Derartige Einrichtungen lassen sich bequem mit bekannten Mitteln für die Zuführung von Teilen und für die Abnahme von  
 15 zusammengebauten Erzeugnissen vereinigen.

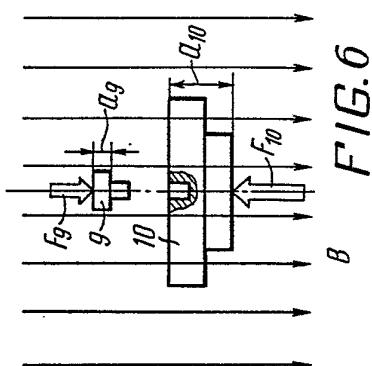


FIG. 6

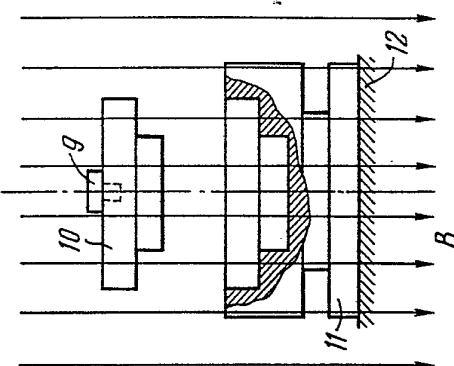


FIG. 7

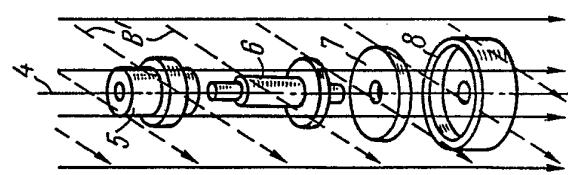


FIG. 5

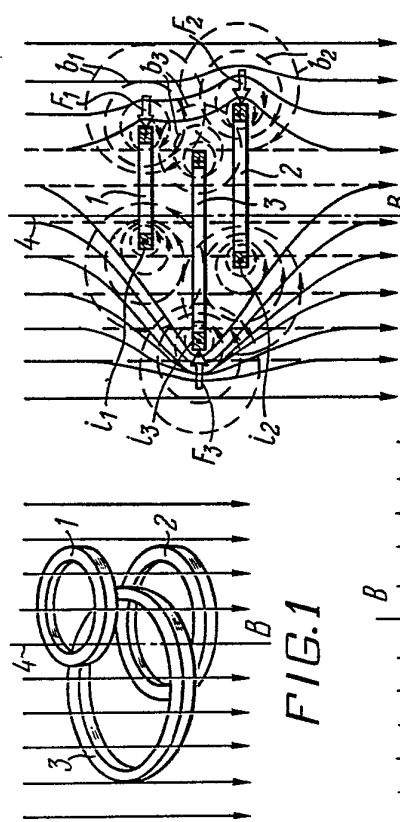


FIG. 1

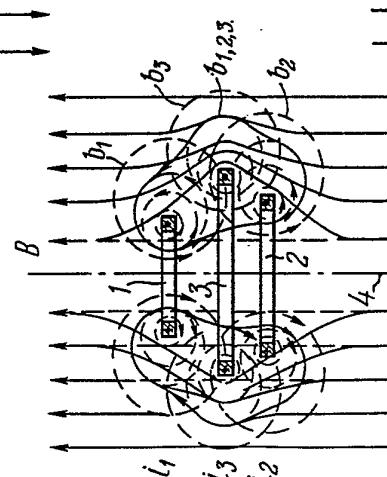


FIG. 3

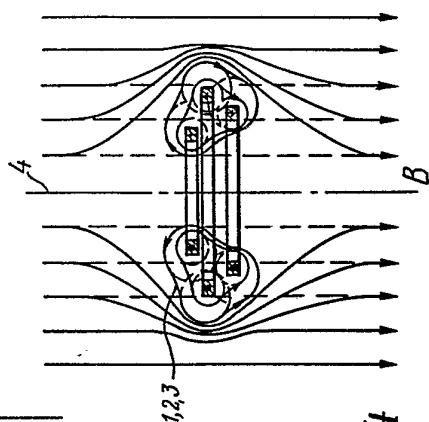


FIG. 4

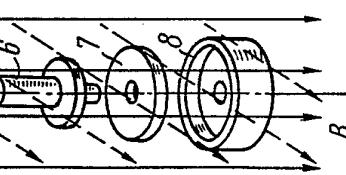


FIG. 2

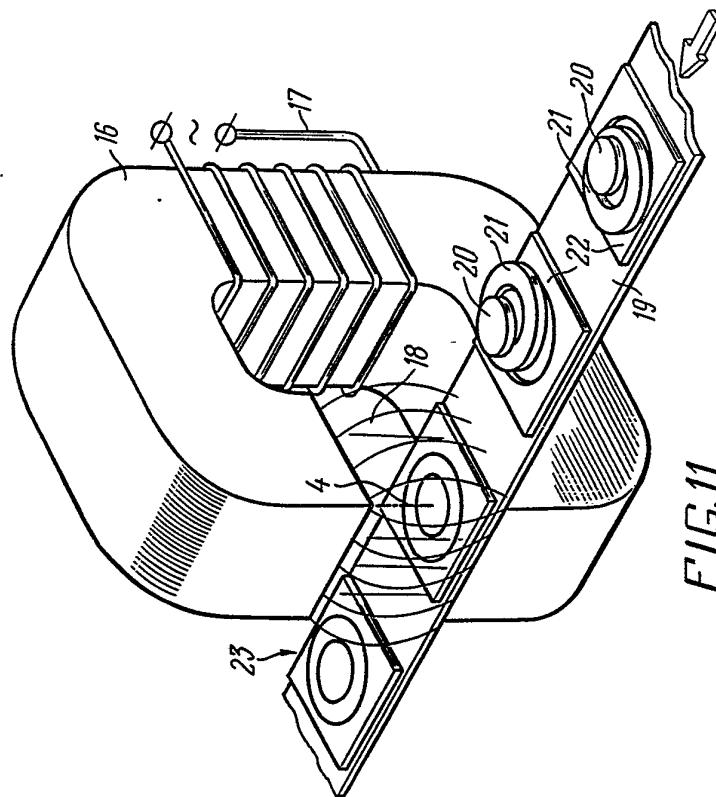


FIG. 11

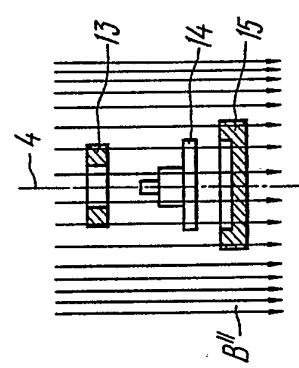
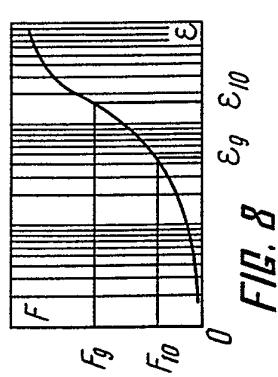
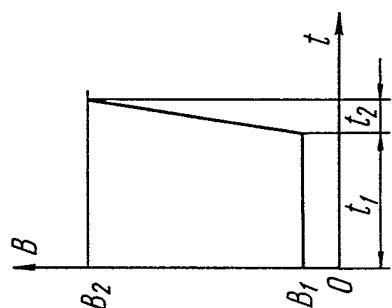
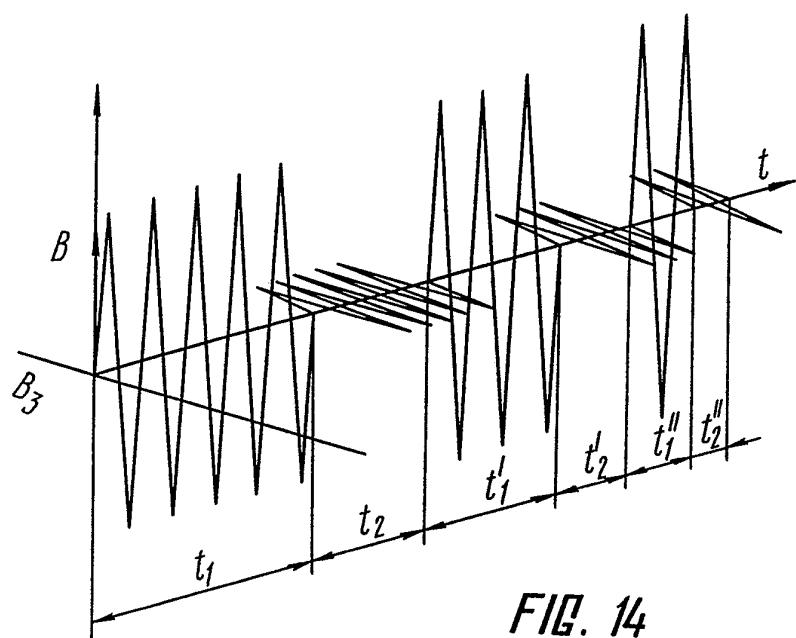
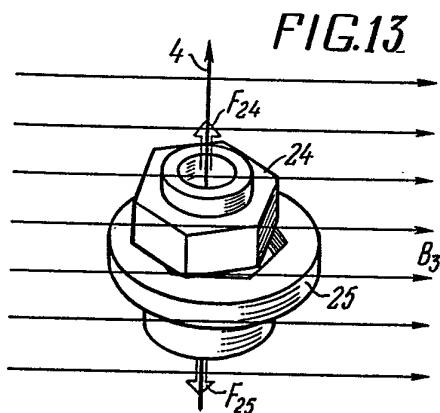
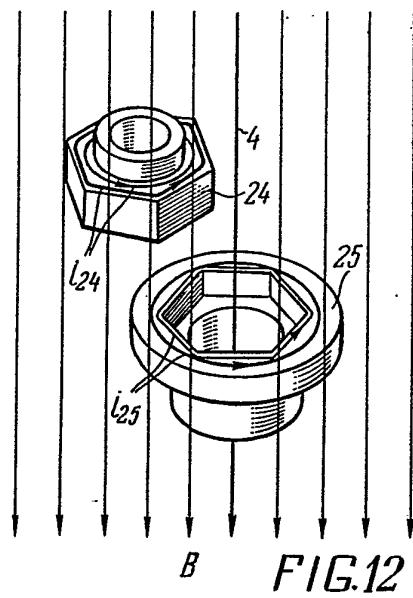


FIG. 9





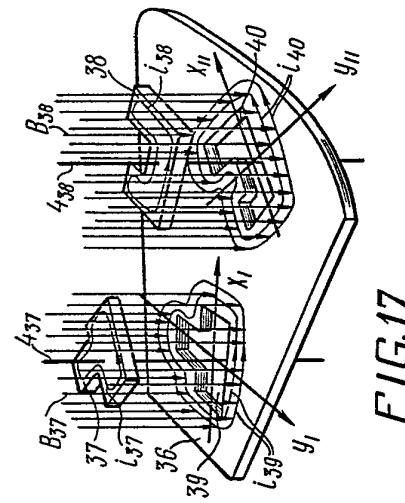


FIG. 17

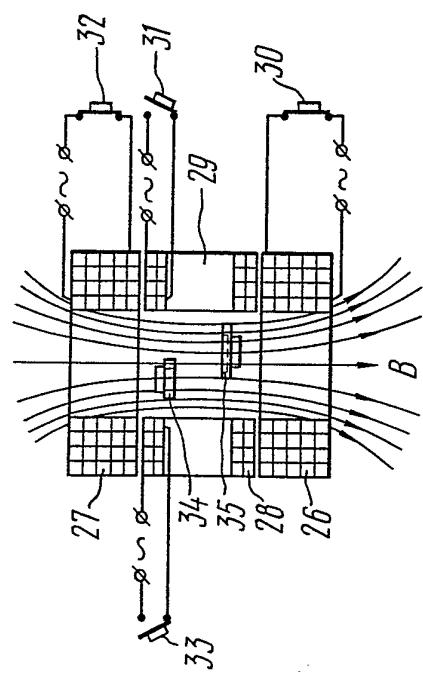


FIG. 15

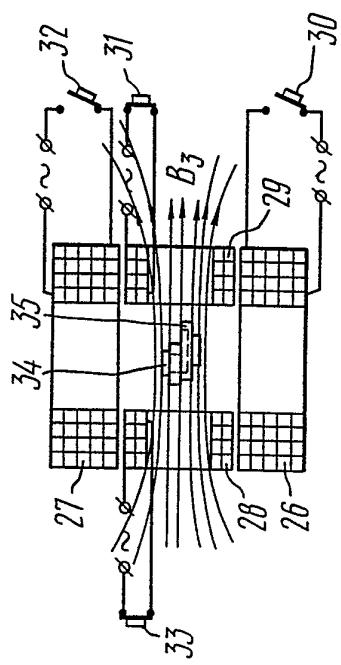


FIG. 16

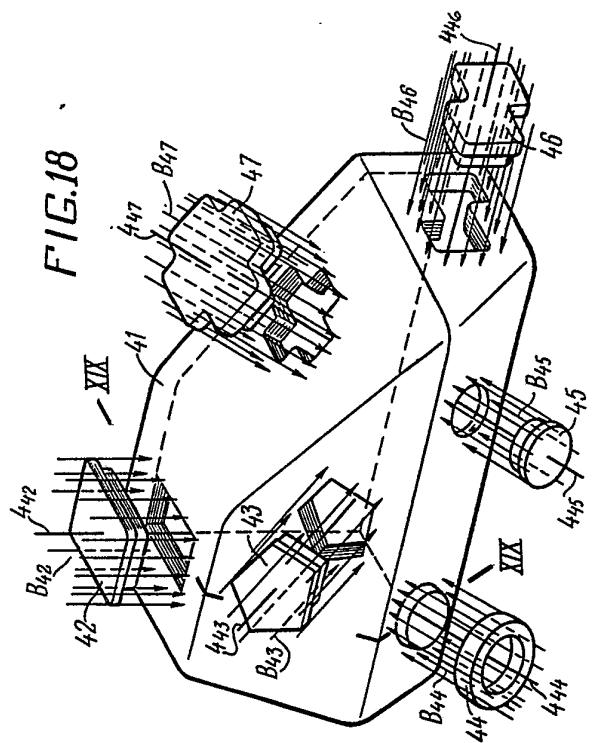


FIG. 18

