



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 299 341 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1  
Patentgesetz der DDR  
vom 27. 10. 1983  
in Übereinstimmung mit den entsprechenden  
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 10 H 1/08  
G 10 D 1/08  
G 10 H 3/18

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

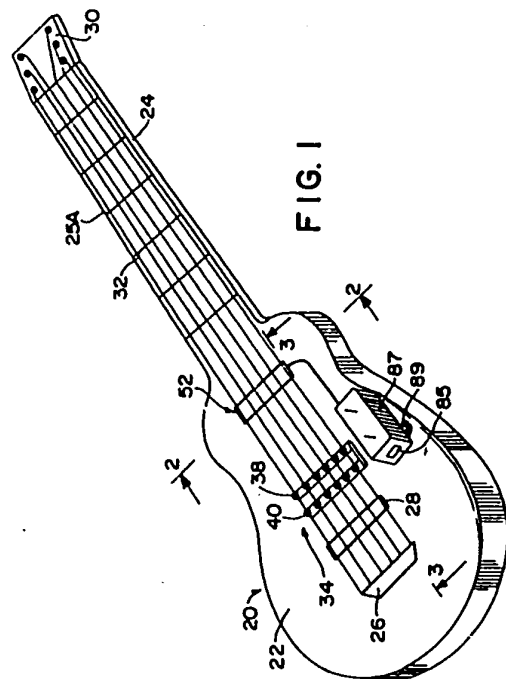
(21)	DD G 10 H / 344 411 5	(22)	25.05.89	(44)	09.04.92
(31)	199,851	(32)	27.05.88	(33)	US

- (71) siehe (72)
- (72) Rose, Floyd D.; Moore, Steven M.; Knotts, Richard W., US
- (73) siehe (72)
- (74) Vossius u. Partner, Patentanwälte, P.O. Box 86 07 67, W - 8000 München 86, DE

(54) Trägereinrichtung für ein Musikinstrument mit einem Schwingungselement

(55) Trägereinrichtung; Schwingungselement; Rückkopplungsschaltung; Abnehmersignal; Treibereinrichtung; Treibersignal; Spule; Saite; Treibkraft; Phase; Phasenverschiebung; Phasenvoreilung

(57) Die Erfindung betrifft eine Trägereinrichtung für ein Musikinstrument mit einem Schwingungselement. Die Trägereinrichtung weist eine Rückkopplungsschaltung zur Aufnahme eines Abnehmersignals auf und liefert für eine Treibereinrichtung ein Treibersignal, beispielsweise eine elektromagnetische Spule, so daß die Kräfte von der Treibereinrichtung an die Saite oder ein anderes Schwingungselement abgegeben und dazu beitragen, deren Schwingung aufrechtzuerhalten. Die Rückkopplungseinrichtung ist derart angeordnet, daß sie das Treibersignal so zur Verfügung stellt, daß die von dem Treiber angelegte Treibkraft mit der Schwingung des Schwingungselements im wesentlichen in Phase ist. Die Rückkopplung kann so vorgesehen sein, daß eine Phasenverschiebung oder Verzögerung zwischen dem Anlegen des Treibersignals und der Entwicklung der Treibkraft kompensiert wird. Zur Gewährleistung einer solchen Kompensation kann die Rückkopplungseinrichtung so angeordnet sein, daß eine Phasenvoreilung in dem Treibersignal bezüglich des Abnehmersignals vorgesehen ist. Fig. 1



**Patentansprüche:**

1. Trägereinrichtung für ein Musikinstrument mit einem Schwingungselement, welche folgende Bestandteile umfaßt:
  - (a) eine auf ein Treibersignal ansprechende Treibervorrichtung zum Anlegen einer Treibkraft an ein Schwingungselement des genannten Instrumentes, wobei die Treibkraft in einem vorgegebenen Phasenverhältnis mit dem Treibersignal steht, und
  - (b) eine Rückkopplungseinrichtung zum Empfang eines Abnehmersignals, das der Schwingung eines Schwingungselementes des Musikinstrumentes entspricht und in einem vorgegebenen Phasenverhältnis mit der Schwingung steht, und zur Leitung des Treibersignals zur Treibervorrichtung, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rückkopplungseinrichtung (70) das Treibersignal mit einem solchen Phasenverhältnis bezüglich des Abnehmersignals liefert, daß die Treibkraft im wesentlichen phasengleich mit der Schwingung des Schwingungselementes ist.
2. Trägereinrichtung nach Anspruch 1, weiterhin **gekennzeichnet durch** Abnehmereinrichtungen (34) zur Erzeugung eines Abnehmersignals, das der Schwingung des Schwingungselementes des Instrumentes entspricht, und zur Leitung des Abnehmersignals zur Rückkopplungseinrichtung, wobei mindestens einer der Abnehmer und Treiber eine Phasenübertragungsfunktion ungleich Null besitzt und die Phasenübertragungsfunktion der Rückkopplungseinrichtung im wesentlichen umgekehrt zur kombinierten Phasenübertragungsfunktion von Abnehmer und Treiber ist.
3. Trägereinrichtung für ein Musikinstrument mit einem Schwingungselement, **gekennzeichnet durch** eine Rückkopplungseinrichtung (70) zum Empfang eines Abnehmersignals, das der Schwingung des Schwingungselementes des Instrumentes entspricht, und zur Umwandlung dieses Abnehmersignals in ein Treibersignal, so daß zumindest bei bestimmten Frequenzen des Abnehmersignals eine Phasendifferenz zwischen dem Treibersignal und dem Abnehmersignal auftritt, die sich in Abhängigkeit von der Frequenz ändert, wobei diese Änderung bei zunehmender Frequenz hinsichtlich der voreilenden Phasendifferenz des Treibersignals erfolgt; und eine Treibervorrichtung (52) zum Anlegen einer Treibkraft an das Schwingungselement des Instrumentes, die dem genannten Treibersignal entspricht.
4. Trägereinrichtung nach Anspruch 3, weiterhin **dadurch gekennzeichnet**, daß die Treibervorrichtung (52) die Treibkraft derartig an das Schwingungselement des Instrumentes anlegt, daß die Treibkraft dem Treibersignal zumindest bei bestimmten Frequenzen nacheilt.
5. Trägereinrichtung nach Anspruch 4 oder Anspruch 3, weiterhin **gekennzeichnet durch** eine Abnehmereinrichtung (34) zur Erzeugung eines Abnehmersignals, das der Schwingung des Schwingungselementes des Instrumentes entspricht, wobei die Abnehmereinrichtung das Abnehmersignal so erzeugt, daß es zumindest bei bestimmten Frequenzen der Schwingung des Schwingungselementes nacheilt.
6. Trägereinrichtung nach Anspruch 5, weiterhin **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rückkopplungseinrichtung (70) zumindest bei bestimmten Frequenzen eine Voreilung des Treibersignals gegenüber dem Abnehmersignal erzeugt, deren Betrag im wesentlichen gleich der Summe aus der Nacheilung des Abnehmersignals gegenüber der Bewegung des Schwingungselementes und der Nacheilung der Treibkraft gegenüber dem Treibersignal ist.
7. Trägereinrichtung nach Anspruch 4, weiterhin **dadurch gekennzeichnet**, daß die Treibervorrichtung eine induktive Treiberspule (60) und eine Einrichtung (54) zum Anlegen der Treibkraft an das Schwingungselement des Instrumentes in Abhängigkeit vom magnetischen Fluß in der Spule und die Rückkopplungseinrichtung eine Vorrichtung (88) zum Anlegen des Treibersignals in Form einer Spannung an die Spule umfassen.
8. Trägereinrichtung nach Anspruch 7, weiterhin **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung zum Anlegen der dem Fluß entsprechenden Treibkraft Mittel (66) zur Befestigung der Spule an einem Instrument umfaßt, das mindestens eine Saite als ein Schwingungselement besitzt, so daß die Spule dieser mindestens einer Saite so gegenüberliegt, daß der von der Treiberspule herrührende magnetische Fluß auf diese mindestens eine Saite trifft.
9. Trägereinrichtung für ein Musikinstrument, das eine Struktur und mehrere an dieser Struktur befestigte, ferromagnetische Saiten besitzt, nach Anspruch 8, **gekennzeichnet durch** eine Abnehmereinrichtung (34) zum Empfang der Schwingungsbewegung der Saiten und zur Leitung

- des Abnehmersignals zur Rückkopplungseinrichtung der Trägereinrichtung, wobei die Treiberspule (60) der Trägereinrichtung an der Struktur (22, 24, 26) befestigt ist und die Trägereinrichtung eine Vorrichtung (54) zur Leitung des magnetischen Flusses der Treiberspule zu sämtlichen Saiten umfaßt.
10. Trägereinrichtung nach den Ansprüchen 1 oder 3, weiterhin **gekennzeichnet durch** eine eingebaute Stromversorgung (85) und Vorrichtungen (87, 89) zur Befestigung dieser Stromversorgung am Instrument, wobei die genannte Rückkopplungseinrichtung eine Vorrichtung (88) zur Leistungsverstärkung des von der Stromversorgung erzeugten Treibersignals umfaßt.
  11. Trägereinrichtung nach Anspruch 1, weiterhin **gekennzeichnet durch** eine Steuereinrichtung zur Bestimmung des Frequenzteils des genannten Abnehmersignals und zur Änderung der Phasenübertragungsfunktion der Trägereinrichtung in Abhängigkeit von dem genannten Frequenzanteil.
  12. Trägereinrichtung nach Anspruch 11, weiterhin **dadurch gekennzeichnet**, daß die Steuereinrichtung Vorrichtungen (150, 152, 154) zum Nachweis der dominierenden Frequenz des Abnehmersignals mit der größten Amplitude und zur Erzeugung eines dieser dominierenden Frequenz entsprechenden Signals sowie Vorrichtungen (128, 452) zur Regelung der Phasenübertragungsfunktion von mindestens einer Rückkopplungseinrichtung und Treibervorrichtung in Abhängigkeit von dem der dominierenden Frequenz entsprechenden Signal umfaßt.
  13. Trägereinrichtung nach Anspruch 12, weiterhin **dadurch gekennzeichnet**, daß die Treibervorrichtung (52) Vorrichtungen (60, 54) zum Anlegen der Treibkraft an mehrere Schwingungselemente umfaßt, wobei die Trägereinrichtung, wenn das Abnehmersignal aus Signalen besteht, die der Schwingung mehrerer Schwingungselemente, die alle mit unterschiedlichen Frequenzen schwingen, entsprechen, die Schwingung des Schwingungselementes mit der größten Amplitude verstärkt.
  14. Trägereinrichtung nach Anspruch 12 oder Anspruch 13, weiterhin **dadurch gekennzeichnet**, daß die Steuereinrichtung eine Vorrichtung (128) zur Regelung der Phasenübertragungsfunktion der Rückkopplungseinrichtung in Abhängigkeit von dem der dominierenden Frequenz entsprechenden Signal umfaßt.
  15. Trägereinrichtung nach Anspruch 14, weiterhin **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rückkopplungseinrichtung besteht aus einem Eingangsanschluß (76) zum Empfang des Abnehmersignals, einem Ausgangsanschluß zur Ausgabe des Treibersignals (90) und einer Schaltung (128), die eine an den Eingang (76) angeschlossene Eingangsverzweigung (126) für das Abnehmersignal, einen Funktionsverstärker (130) mit invertierten und nichtinvertierten Eingängen und einem an den Ausgangsanschluß angeschlossenen Ausgang, einen zwischen die Eingangsverzweigung für das Abnehmersignal und einen Eingang des Funktionsverstärkers geschalteten Widerstand (132) einen Kondensator (138), der auf einer ersten Saite an die Eingangsverzweigung für das Abnehmersignal und mit einer zweiten Saite an den anderen Eingang des Funktionsverstärkers angeschlossen ist, und ein regelbares Widerstandselement (140), das zwischen die zweite Saite des Kondensators und Erde geschaltet ist, umfaßt, wobei die genannte Vorrichtung zur Regelung der Phasenübertragungsfunktion der Rückkopplungseinrichtung Vorrichtungen (152, 154) zur Änderung des Widerstandes des regelbaren Widerstandselementes umgekehrt zur dominierenden Frequenz des Abnehmersignals einschließt.
  16. Trägereinrichtung nach Anspruch 12, weiterhin **dadurch gekennzeichnet**, daß die Steuereinrichtung eine Vorrichtung (452) zur Regelung der Phasenübertragungsfunktion der Treibervorrichtung in Abhängigkeit von dem der dominierenden Frequenz entsprechenden Signal umfaßt.
  17. Trägereinrichtung nach den Ansprüchen 1 und 11, **gekennzeichnet durch** alternierende Signalvorrichtungen (78, 80) zur Lieferung des dem Abnehmersignal entsprechenden Treibersignals, wobei sich die Phasenübertragungsfunktion der alternierenden Signalvorrichtungen von der Phasenübertragungsfunktion der Rückkopplungseinrichtung unterscheidet, und eine Wahlvorrichtung (84) zur wahlweisen Betätigung der Rückkopplungseinrichtung (82) oder der alternierenden Signalvorrichtung (78, 80).
  18. Trägereinrichtung nach Anspruch 17, weiterhin **dadurch gekennzeichnet**, daß die alternierende Signalvorrichtung eine Verzögerungsschaltung (80) umfaßt, die eine Nacheilung des Treibersignals gegenüber dem Abnehmersignal erzeugt, wobei diese Nacheilung mit der Frequenz zunimmt.

19. Trägereinrichtung nach Anspruch 17 oder Anspruch 18, weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß die alternierende Signalvorrichtung weiterhin eine Vorrichtung, (78) zur Erzeugung eines Treibersignals umfaßt, das im wesentlichen phasengleich mit dem Abnehmersignal ist.
20. Trägereinrichtung nach den Ansprüchen 1 oder 11, weiterhin gekennzeichnet durch eine automatische Verstärkungssteuereinrichtung (145), die die Rückkopplungseinrichtung so steuert, daß das Treibersignal auf einem vorgegebenen Wert gehalten wird, und durch eine Vorrichtung (137), die die automatische Verstärkungssteuereinrichtung so regelt, daß sich dieser vorgegebene Wert ändert.

Hierzu 6 Seiten Zeichnungen

#### Anwendungsgebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung zur Erzeugung eines ungedämpften Tons mit einem Musikinstrument, das ein Schwingungselement, wie zum Beispiel eine Saite, besitzt.

#### Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Für Musikinstrumente, bei denen zur Erzeugung von Tönen ein mechanisches Schwingungselement, wie zum Beispiel eine Saite, eingesetzt wird, wurden bisher zum Nachweis der Bewegung des Schwingungselementes und zur Erzeugung eines dieser Schwingung entsprechenden elektronischen Signals Wandler verwendet, die üblicherweise als „Abnehmer“ bezeichnet werden. Das Abnehmersignal kann verstärkt und durch einen Lautsprecher in einen Ton umgewandelt werden. Der aus dem Abnehmersignal erzeugte Ton ergänzt oder ersetzt den Ton, der durch die akustische Wechselwirkung zwischen der Saite, dem Instrumentenkörper und der Luft erzeugt wird. Der Instrumentenkörper zeigt typischerweise wenig oder keine akustische Reaktion, so daß der aus dem Abnehmersignal erzeugte Ton im wesentlichen den Gesamton des Instrumentes bildet. Dies ist bei den üblichen Elektrogitarren, Elektrobaßgitarren und ähnlichem der Fall.

Der von Instrumenten dieser Art erzeugte Ton klingt nach dem Anschlagen der Saite zunehmend ab. Dies ist vor allem bei solchen Instrumenten der Fall, die wenig oder keine eigene akustische Reaktion zeigen. Der Ton läßt sich durch den Betrieb des Verstärker- und Lautsprechersystems bei äußerst hohen Leistungspegeln etwas verlängern, so daß starke Schallwellen, die der ursprünglichen Schwingung entsprechen, auf die Saite auftreffen. Eine solche „akustische Rückkopplung“ erhält oftmals die Schwingung der Saite aufrecht, wodurch der Ton (note) verlängert wird. Diese Herangehensweise ist jedoch nur dann wirksam, wenn der durch das Verstärker- und Lautsprechersystem erzeugte Ton außergewöhnlich laut ist. Darüber hinaus ist der akustische Rückkopplungseffekt von den akustischen Eigenschaften der Umgebung abhängig. Aus diesem Grund hat dieser Effekt in unterschiedlichen Konzerthallen unterschiedliche Ergebnisse.

Es wurden verschiedene Versuche zur Schaffung einer „Trägereinrichtung“ (substainer) oder einer Apparatur unternommen, mit der die Töne unabhängig von der akustischen Rückkopplung aus der Umgebung verlängert werden können. Im US-Patent Nr. 4 245 540 wird eine Trägereinrichtung offenbart, die einen in unmittelbarer Nähe der Saiten befestigten Lautsprecher umfaßt. Das verstärkte Signal vom Abnehmer wird zu diesem Lautsprecher geleitet, so daß die von diesem Lautsprecher erzeugten Schallwellungen direkt auf die Saiten treffen. Im US-Patent Nr. 4 697 491 wird eine Träger-Einrichtung für ein Saiteninstrument, zum Beispiel eine Gitarre, offenbart, das einen Körper und einen aus dem Körper hervorgehenden Hals umfaßt. Auf dem Hals ist in großem Abstand zum Körper ein elektromechanischer Wandler befestigt. Dieser Wandler versetzt den Hals in Schwingungen, die sich wieder auf die Saiten übertragen. Im US-Patent Nr. 3 813 473 wird ein Instrument offenbart, das einen mit einem Elektromagnet verbundenen „Steg“ oder Saitenhalter besitzt. An diesem Elektromagnet wird ein aus dem Abnehmersignal gewonnenes elektronisches Signal angelegt, so daß der Steg und somit die Saiten in Schwingungen versetzt werden. Im US-Patent Nr. 4 484 508 wird eine im allgemeinen ähnliche Trägereinrichtung beschrieben, die einen elektromechanischen Wandler zur Vibrierung des Instrumentenkörpers in Abhängigkeit von Abnehmersignal und eine Schaltung zur progressiven Verringerung der Amplitude des Signals besitzt, die ein gesteuertes Ausblenden gewährleistet. Die Ausblendschaltung ist so aufgebaut, daß ein schnelleres Ausblenden der Signale mit höheren Frequenzen erfolgt. In den US-Patenten Nr. 4 137 811 und Nr. 4 181 058 wird eine Tonverlängerung beschrieben, bei der die magnetische Wechselwirkung zwischen einem statischen Magnetfeld und elektrischen Strömen ausgenutzt wird, die durch die Saiten selbst geleitet werden. Hierbei ist neben den Saiten ein Elektromagnet befestigt, und sowohl die Saiten als auch die Bünde des Instrumentes sind elektrisch leitend. Es ist eine Schaltung vorgesehen, mittels der ein dem Abnehmersignal entsprechendes Wechselstrom-Rückkopplungssignal über die Bünde durch die Saiten geleitet wird. Durch die Wechselwirkung des Wechselstromes in den einzelnen Saiten mit dem statischen Magnetfeld wird auf der Saite eine alternierende magnetomotorische Treibkraft erzeugt. Im US-Patent Nr. 4 236 433 wird eine Trägereinrichtung offenbart, die eine elektromagnetisch betätigte Spannvorrichtung für jede Saite umfaßt, wobei jede dieser Spannvorrichtungen an eine Rückkopplungsschaltung angeschlossen ist. Das von einer jeder Saite zugeordneten Abnehmer kommende Signal wird über die Rückkopplungsschaltung an die Spannvorrichtung angelegt, so daß die Spannvorrichtung die Saite periodisch spannt und löst. Im Patent Nr. 4 236 433 wird ebenfalls eine alternative Anordnung offenbart, bei der die einzelnen Saiten einem Elektromagnet oder „Treiber“ gegenüberliegen, so daß der vom Elektromagnet kommende Magnetfluß direkt auf die Saite trifft. Jeder dieser Elektromagneten wird durch ein Treibersignal gespeist, das dem Signal eines der gleichen Saite zugeordneten Abnehmers entspricht. Somit rufen Schwankungen des vom Elektromagneten kommenden Magnetflusses Schwankungen in dem auf die Saiten treffenden Fluß hervor. Dieser schwankende Fluß versetzt die Saite in Schwingungen, vorausgesetzt, die Saite selbst ist ferromagnetisch. Im US-Patent Nr. 4 075 921 wird eine im allgemeinen ähnliche Herangehensweise offenbart, bei der ein Magnetabnehmer und ein Magnettreiber so angeordnet sind, daß eine ferromagnetische Saite direkt erregt wird. Bei der Trägereinrichtung kann es sich um eine batteriegespeiste Handvorrichtung handeln, die sowohl einen Abnehmer als auch

einen Treiber umfaßt und die so angeordnet ist, daß der Abnehmer und der Treiber nach einer Seite des Instrumentes ausgerichtet werden können. Alternativ dazu kann die Trägereinrichtung in das Instrument eingebaut und mit getrennten Tonabnehmern und Treibern für die einzelnen Saiten ausgerüstet werden. Im US-Patent Nr. 3742 113 werden ebenfalls ein Magnetabnehmer und Magnettreiber beschrieben, die direkt den einzelnen Saiten zugeordnet sind, wobei zwischen den Abnehmer und den Treiber eine Rückkopplungs- und Verstärkerschaltung geschaltet ist. Im Patent Nr. 3742 113 wird betont, daß die Rückkopplungsschaltung oder der Verstärker eine „Nullphasenverschiebung“ besitzen sollten, so daß ein Treibersignal erzeugt wird, das „phasengleich“ mit der vom Abnehmer gewandelten Grundswingungsfrequenz der Saite ist, um den Grundswingungsmodus der Saite zu verstärken.

In den vorstehend erwähnten Patenten Nr. '921, '433 und '113 werden Abnehmer und Treiber beschrieben, die separate, unter den einzelnen Saiten angeordnete ferromagnetische Polschuhe besitzen, wobei jeder Polschuh in der normalen und unverzerrten Lage der zugeordneten Saite ein stark konzentriertes Magnetfeld erzeugt. Für die einzelnen Polschuhe können getrennte Spulen vorgesehen werden. In den US-Patenten Nr. 4580 481 und Nr. 4535 668 wird ein Abnehmer offenbart, der eine einzelne längliche Spule mit ferromagnetischem Kern umfaßt, die sich seitlich über das Saitenfeld erstreckt. Es sind ebenfalls bewegliche Dauermagnete vorgesehen. Durch Veränderung der Lage der Dauermagnete kann die Feldrichtung variiert werden, so daß zwischen den durch die verschiedenen Saiten in die Spule induzierten Signalen unterschiedliche Phasenverhältnisse erzeugt werden. Im US-Patent Nr. 3983 777 wird ein Abnehmer vorgeschlagen, der über die seitliche Ausdehnung des Saitenfeldes eine gleichmäßige Magnetfeldstärke besitzt, um die durch seitliche Bewegungen der Saiten verursachten Schwankungen der Abnehmerfrequenz zu unterdrücken. Weitere Einzelabnehmer, die aus einer Einzelspule und einem einzelnen ferromagnetischen Polschuh bestehen, der sich über das Saitenfeld erstreckt, werden in den US-Patenten Nr. 4364 295 und 4 151 776 beschrieben.

Trotz der beträchtlichen Bemühungen in der bisherigen Technik besteht noch ein erheblicher ungedeckter Bedarf nach weiteren Verbesserungen. Die bisher verfügbaren Trägereinrichtungen waren im allgemeinen dahingehend ineffektiv, daß sie zur Erzeugung eines spürbaren Tonverlängerungseffektes eine beträchtliche elektrische Energie für die Steuerung der Spulen benötigten. Diese hohe Leistungsaufnahme stellt ein beträchtliches Problem bei solchen Trägereinrichtungen dar, die durch eine am Instrument befestigte Batterie gespeist werden.

Darüber hinaus führt das Anlegen einer hohen Leistung an eine in einer Trägereinrichtung befindliche elektromagnetische Treiberspule oftmals zu beträchtlichen elektromagnetischen Emissionen. Die von den Treiberspulen ausgestrahlten elektromagnetischen Felder treffen auf den Abnehmer und induzieren unerwünschte Signale. Obwohl die bei elektronischen Musikinstrumenten verwendeten Abnehmer typischerweise Vorrichtungen zur Unterdrückung des Effektes der elektromagnetischen Streustrahlung umfassen, sind derartige Maßnahmen nicht immer vollständig wirksam. Die vom Treiber ausgehende Strahlung läßt sich in bestimmtem Maße durch Abschirmung unterdrücken. Eine solche Abschirmung bedeutet jedoch zusätzlich Masse, Volumen und Kosten.

#### Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, die vorgenannten Nachteile weitgehend zu vermeiden und eine Trägereinrichtung zu schaffen, deren Wirkung von dem Musiker eingestellt werden kann, um unterschiedliche künstlerische Effekte zu erzielen. Gleichzeitig sollen Masse, Volumen und Kosten verringert werden.

#### Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Trägereinrichtung für ein Musikinstrument mit einem Schwingungselement zu schaffen, welche die Schwingung eines Schwingungselements, beispielsweise einer Saite, wirkungsvoll aufrecht erhält. Die Trägereinrichtung soll eine brauchbare unterstützende Wirkung selbst mit nur einer kleinen eingebauten Batterie als Stromversorgungsquelle liefern.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch eine Trägereinrichtung für ein Musikinstrument gelöst, das mindestens ein Schwingungselement besitzt, bei dem es sich um eine Saite oder dergleichen handeln kann. Die Trägereinrichtung umfaßt eine Treibervorrichtung zum Anlegen einer Treibkraft an das auf das Treibersignal ansprechende Schwingungselement des Instrumentes, wobei die Treibkraft ein vorgegebenes Phasenverhältnis zum Treibersignal aufrechterhält. Es sind Rückkopplungseinrichtungen für die Aufnahme eines Abnehmersignals vorgesehen, das der Schwingung des Schwingungselementes des Instrumentes entspricht und ein vorgegebenes Phasenverhältnis zur Schwingung aufweist. Die Rückkopplungseinrichtungen sind so angeordnet, daß ein Treibersignal derart in die Treibervorrichtung eingespeist wird, daß die an die Treibervorrichtung angelegte Treibkraft im wesentlichen phasengleich mit der Schwingung des Schwingungselementes ist. Die Trägereinrichtung kann darüber hinaus einen Abnehmer zur Erzeugung eines Abnehmersignals in Abhängigkeit von der Schwingung der Saite umfassen.

Eine oder beide Abnehmvorrichtungen und die Treibervorrichtung weisen typischerweise eine Nullphasenverschiebung auf. Dies bedeutet, daß das von der Abnehmvorrichtung erzeugte Abnehmersignal der tatsächlichen Bewegung des Schwingungselements nach- oder voreilen kann, wobei die durch die Treibervorrichtung angelegte Treibkraft dem Treibersignal nach- und voreilen kann. Die Rückkopplungseinrichtung ist vorzugsweise so angeordnet, daß eine Phasenverschiebung erzeugt wird, die im wesentlichen umgekehrt zur kombinierten Phasenverschiebung von Abnehmvorrichtung und Treibervorrichtung zusammen ist. Somit ist die kombinierte Gesamtphasenverschiebung der Trägereinrichtung als Ganzes annähernd Null, und die Treibkraft wird phasengleich mit der Schwingungsbewegung der Saite selbst angelegt. Trägereinrichtungen gemäß diesem Aspekt der Erfindung gewährleisten eine wirksame Verlängerung des Grundswingungsmodus einer Saite oder eines anderen Schwingungselementes bei nur geringer Leistungsaufnahme des Treibers. Die Trägereinrichtungen gemäß der vorliegenden Erfindung können über längere Zeiträume des Dauerbetriebs, zum Beispiel bei Konzerten, eine Tonverlängerungswirkung gewährleisten, wobei die Stromversorgung nur kleine, eingebaute Batterien verwendet werden. Obwohl die vorliegende

Erfindung durch keine Funktionstheorie eingeschränkt ist, wird angenommen, daß sich die erreichten besseren Ergebnisse zumindest teilweise aus der besseren Phasenanpassung zwischen der an das Schwingungselement angelegten Kraft und dem tatsächlichen Grundschwingungsmodus des Schwingungselements ergeben.

Die Rückkopplungseinrichtung kann so angeordnet werden, daß das Treibersignal zumindest bei bestimmten Frequenzen des Abnehmersignals phasenverschieden vom Abnehmersignal ist, und daß sich diese Phasendifferenz mit der Frequenz ändert. Eine derartige Änderung der Phasendifferenz zwischen dem Abnehmer- und dem Treibersignal erfolgt idealerweise gegenüber einem Treibersignal, das der Phasendifferenz bei zunehmender Frequenz voreilt. Die Rückkopplungseinrichtung erzeugt das Treibersignal vorzugsweise so, daß das Treibersignal dem Abnehmersignal zumindest bei bestimmten Frequenzen voreilt. Es kann eine Steuereinrichtung zur Bestimmung des Frequenzgehalts des Abnehmersignals und zur Änderung der Phasenübertragungsfunktion der Rückkopplungseinrichtung, der Phasenübertragungsfunktion der Treibervorrichtung oder beider vorgesehen werden, was von diesem Frequenzgehalt abhängig ist. Die Steuereinrichtung kann somit eine Vorrichtung zur Einstellung der Phasenübertragungsfunktion der Rückkopplungseinrichtung auf einen solchen Zustand umfassen, bei dem das Treibersignal voreilt, wenn die dominierende oder größte Amplitude der Frequenz des Abnehmersignals zunimmt. Die Treibervorrichtung kann eine Induktionsspule und eine Vorrichtung zum Anlegen einer Treibkraft an das Schwingungselement umfassen, das auf dem von der Spule erzeugten magnetischen Fluß anspricht. Die unter Verwendung einer Induktionsspule durch die Treibervorrichtung angelegte Kraft eilt dem an die Spule angelegten Treibersignal oder der Spannung oftmals nach. Des weiteren nimmt diese Nacheilung mit der Frequenz des Signals zu. Somit kompensieren die durch die Rückkopplungseinrichtung gemäß diesem Aspekt der vorliegenden Erfindung erzeugte Phasendifferenz sowie die Änderung der Phasendifferenz mit der Frequenz die Eigenschaften der Treibervorrichtung. Darüber hinaus wird angenommen, daß das von typischen elektromagnetischen Abnehmern erzeugte Abnehmersignal der tatsächlichen Bewegung des Schwingungselementes oder der Saite oftmals nacheilt, und daß diese Nacheilung ebenfalls mit der Frequenz zunimmt. Aus diesem Grunde wird angenommen, daß die durch die Rückkopplungseinrichtung der bevorzugten Trägerleinrichtungen erzeugte Phasendifferenz und die Änderung der Phasendifferenz mit der Frequenz auch die Eigenschaften des Abnehmers kompensieren. Das Nettoergebnis ist die Erzeugung einer Treibkraft, die im wesentlichen phasengleich mit der Grundbewegung des Schwingungselementes ist.

Die Rückkopplungseinrichtung umfaßt idealerweise eine Schaltung mit einem Eingang zum Empfang des Abnehmersignals, einem Ausgang zum Senden des Treibersignals und ein regelbares Bauelement, das sich zwischen dem Eingang und dem Ausgang befindet. Die Schaltung kann so angeordnet sein, daß sich durch die Einstellung des regelbaren Bauelements die Phasenübertragungsfunktion der Schaltung, d. h. das Verhältnis zwischen der Phasenverschiebung in der Schaltung und der Frequenz, ändert. Die Steuereinrichtung kann eine Vorrichtung zur Einstellung des Wertes des regelbaren Bauelementes in Abhängigkeit von der Frequenz des Abnehmersignals umfassen, so daß sich die Phasenübertragungsfunktion der Schaltung ändert. Das Abnehmersignal ist typischerweise ein zusammengesetztes Signal, das bei verschiedenen Frequenzen bestimmte Komponenten besitzt. Die Vorrichtung zur Registrierung der Frequenz des Abnehmersignals ist vorzugsweise so aufgebaut, daß sie die dominierende Frequenz im Abnehmersignal, die die größte Amplitude aufweist, nachweist und ein Signal erzeugt, das dieser dominierenden Frequenz entspricht. Die Vorrichtung zur Einstellung des Wertes des regelbaren Bauelements umfaßt vorzugsweise eine Vorrichtung zur Einstellung dieses Wertes in Abhängigkeit von dem der dominierenden Frequenz entsprechenden Signal. Diese Anordnung erzeugt einen wahlweisen Sustain-Effekt, da die Trägerleinrichtung so eingestellt wird, daß sie zur Verstärkung bestimmter Frequenzen mit der größten Amplitude die optimale Phasenübertragungsfunktion erzeugt.

#### Ausführungsbeispiele

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen in einem Ausführungsbeispiel näher erläutert.

Fig. 1: ist eine schematische Perspektivansicht einer Trägereinrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in Verbindung mit einem Musikinstrument;

Fig. 2:

und 3: sind schematische Querschnittsteilansichten entlang der in Fig. 1 enthaltenen Linien 2-2 bzw. 3-3;

Fig. 4: ist ein funktionales Blockschaltbild der in Fig. 1 dargestellten Trägereinrichtung und des Instruments;

Fig. 5: ist ein schematischer Schaltplan, der einen Teil der in den Fig. 1 bis 4 dargestellten Trägereinrichtung zeigt;

Fig. 6: ist eine grafische Darstellung bestimmter Variablen, die mit der in den Fig. 1 bis 5 dargestellten Trägereinrichtung zusammenhängen;

Fig. 7: ist ein schematischer Teilschaltplan, der einen Teil einer Trägereinrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung darstellt;

Fig. 8: ist eine schematische Perspektivteilansicht, die einen Teil einer Trägereinrichtung gemäß einer weiteren alternativen Ausführungsform der Erfindung zeigt;

Fig. 9: ist eine der Fig. 8 ähnliche Perspektivteilansicht, die jedoch eine Trägereinrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung zeigt.

Eine herkömmliche Elektrogitarre 20 besitzt einen Aufbau, der einen Körper 22 und einen aus dem Körper hervorstehenden, länglichen Hals 24 umfaßt. Ein herkömmlicher Reiter 26 und ein Steg 28 sind am Körper 22 befestigt, während ein Kopfstück 30 in großem Abstand zum Körper 22 am Ende des Halses 24 befestigt ist. Sechs ferromagnetische, typischerweise aus Stahl gefertigte Saiten 32 werden durch den Reiter 26 und das Kopfstück 30 unter Spannung gehalten und sind am Steg 28 befestigt, so daß sich die einzelnen Saiten im allgemeinen in der gleichen Längsrichtung vom Reiter zum Kopfstück erstrecken, wobei die Saiten nebeneinander über dem Hals 24 und dem Körper 22 angeordnet sind. Die Saiten definieren somit ein Feld, dessen Richtung in die Breite quer zur Längsrichtung und im allgemeinen parallel zu den oberen oder den Saiten gegenüberliegenden Flächen des Halses und des Körpers liegt. Gemäß ihrer Verwendung in der vorliegenden Offenbarung sind die Begriffe „in die Breite“ und „seitlich“ so zu verstehen, daß sie sich auf diese Richtung des Saitenfeldes in die Breite beziehen. Auch die Ausdrücke

„oben“ und „unten“ sind so zu verstehen, daß sie sich auf die Richtungen der Saiten weg von bzw. hin zur Oberfläche des Gitarrenkörpers beziehen. Aus Fig. 2 ist ersichtlich, daß die Richtungen nach links und nach rechts Richtungen in die Breite oder seitliche Richtungen sind, während die Richtungen hin zur und weg von der Oberseite der Figur Richtungen nach oben bzw. nach unten sind.

Die Gitarre 20 umfaßt einen auf diesem Fachgebiet als „Humbucker“ bezeichneten Abnehmer 34, der neben dem Steg 28 am Körper 22 befestigt ist. Der Abnehmer 34 umfaßt einen Dauermagneten 36, der sich entlang der oberen Fläche des Körpers 22 erstreckt, wobei der Nordpol des Magneten 36 nach hinten in Richtung des Kopfstücks 30 und der Südpol nach vorn in Richtung des Reiters 26 zeigt. Der Abnehmer umfaßt ebenfalls sechs ferromagnetische Stifte oder Verlängerungen 38, die an den Nordpol des Magneten 36 angrenzen, und sechs ähnliche Stifte oder Verlängerungen 40, die an den Südpol angrenzen. Diese Verlängerungen 38 und 40 sind paarweise angeordnet. Jedes dieser Paare umfaßt eine Verlängerung 38, die an den Nordpol angrenzt, und eine Verlängerung 40, die an den Südpol angrenzt. Beide Verlängerungen der einzelnen Paare sind nach einer Seite 32 ausgerichtet. Durch die Verlängerungen wird der vom Magneten kommende Fluß auf die Saiten konzentriert. Gemäß Fig. 3, die die allgemein angenommene Konvention für die Richtung des magnetischen Flusses berücksichtigt, emaniert der Fluß aus den einzelnen Verlängerungen 38 nach oben durch die ausgerichtete Saite 32 und fließt dann nach unten wiederum durch die Saite zur entsprechenden Verlängerung 40. Eine Spule 42, die in einer ersten, vorgegebenen Richtung gewickelt ist, umschließt sämtliche Verlängerungen 38, während eine Spule 44, die in entgegengesetzter Richtung gewickelt ist, sämtliche Verlängerungen 40 umschließt. Die Spule 42 ist mit der Spule 44 in Reihe geschaltet. Durch die Bewegung einer Saite 32, die einem bestimmten Paar der Verlängerungen 38 zugeordnet ist, nach oben oder unten ändert sich der Abstand zwischen der Saite und den Verlängerungen 38 und 40, wodurch sich die magnetische Reluktanz zwischen den Verlängerungen ändert. Wenn sich die Saite den Verlängerungen nähert (Bewegung nach unten), erhöht sich die Reluktanz, so daß der nach oben gerichtete Fluß durch die Verlängerung 38 und der nach unten gerichtete Fluß durch die Verlängerung 40 zunehmen. Bei einer nach oben gerichteten Bewegung der Saite ist das Gegenteil der Fall. Bei jeder einzelnen Saitenbewegung nach oben oder unten erhöhen sich die Spannungen, die durch die entgegengesetzt gerichteten Änderungen des Flusses in den entgegengesetzt gewickelten Spulen induziert werden, gegenseitig und erzeugen somit eine nennenswerte Ausgangsspannung. Da alle Saiten ähnliche Änderungen des Flusses hervorrufen, ist der Ausgang des Abnehmers 34 ein zusammengesetztes Signal, das den Bewegungen sämtlicher Saiten 32 nach oben oder unten entspricht. Elektromagnetische Streusignale induzieren in die Spulen 42 und 44 entgegengesetzt gerichtete Spannungen. Somit erzeugen die elektromagnetischen Streufelder nur ein schwaches oder kein Ausgangssignal.

Das Ausgangs- oder Abnehmersignal kann zu einem herkömmlichen Verstärker 46 und Lautsprecher 48 (Fig. 4) gesendet werden, vorzugsweise über einen herkömmlichen Sender 50, wie zum Beispiel einem Hochfrequenzsender oder ähnlichem. Der Sender und der Abnehmer sind vorzugsweise so angeordnet, daß sie ohne jegliche Drahtverbindung zu einer stationären Stromversorgung oder zum Verstärker 46 funktionieren. Auf diese Weise können die an der Gitarre 20 befestigten Teile des Senders 50 durch eine Batterie gespeist werden, die ebenfalls an der Gitarre befestigt ist. Der Abnehmer 34 ist vorzugsweise über den Vorverstärker 74 der Trägereinrichtung an das Sendersystem 50 angeschlossen, was nachstehend weiter beschrieben ist. Die Trägereinrichtung umfaßt einen Treiber 52. Der Treiber 52 umfaßt ein längliches und im allgemeinen rechteckiges ferromagnetisches Element 54 (Fig. 3). Das Element 54 ist ein Dauermagnet, der aus einem ferromagnetischen Keramikwerkstoff besteht, zum Beispiel dem Werkstoff, der in der Magnet-Branche üblicherweise unter der Bezeichnung „Ceramic-B“ erhältlich ist. Die Magnetisierung des Elementes 54 ist so ausgerichtet, daß sich der Nordpol des Elementes entlang einer relativ langen, schmalen Stirnfläche 56 des Elementes und der Südpol entlang der gegenüberliegenden Stirnfläche 58 erstrecken. Der Treiber 52 umfaßt ebenfalls eine Treiberspule 60, die das Element 54 umschließt. Die Treiberspule 60 ist im wesentlichen wendelförmig, wobei die Form der Wendel verdreht ist, so daß sie das Element 54 eng umschließt. Die Achse der wendelförmigen Treiberspule 60 verläuft in der Richtung von Pol zu Pol des Elementes 54, d. h. zwischen den Stirnflächen 56 und 58. Die Treiberspule 60 besitzt einen Erdungsanschluß 62, einem den Erdungsanschluß gegenüberliegenden Endanschluß 64 und eine Mittelanzapfung 66.

Zur Befestigung des Treibers 52 an der Konstruktion des Instruments 20 an einer vorgegebenen Treiberposition entlang der Längsausdehnung der Saiten 32 sind geeignete Mittel vorgesehen, wie zum Beispiel Schrauben 66' oder andere herkömmliche Befestigungselemente. Die Treiberposition liegt vorzugsweise in großem Abstand zum Steg 28 und zum Kopfstück 30 und kann sich etwa in der Mitte zwischen dem Steg und dem Kopfstück befinden. Somit kann die Treiberposition neben der Verbindungsstelle zwischen dem Körper 22 und dem Hals 24 liegen. Die Befestigungsmittel sind so angeordnet, daß der Treiber 52 auf eine solche Weise an der Konstruktion des Instruments befestigt ist, daß sich die Längsabmessung Z (Fig. 2) des Elementes 54 in seitlicher Richtung vom Saitenfeld erstreckt und die Stirnfläche 56 des Nordpols des Elementes 54 nach oben zum Feld der Saiten 32 zeigt. Da die Längsabmessung Z des ferromagnetischen Elementes 54 größer als die seitliche Ausdehnung W des Saitenfeldes 32 ist, steht das ferromagnetische Element an beiden Rändern des Saitenfeldes seitlich über. Wenn der Treiber 52 am Körper befestigt ist, trifft der aus vom Dauermagnetismus des Elementes 54 resultierende magnetische Fluß auf die Saiten 32. Aus Fig. 3 ist am besten ersichtlich, daß der vom ferromagnetischen Element 54 herrührende Dauerfluß im allgemeinen in die gleiche Richtung fließt wie der Fluß in den einzelnen hinteren Verlängerungen 38 am Abnehmer 34. Der Fluß im Element 54 und in jeder der Verlängerungen 38 ist nach oben gerichtet. Mit anderen Worten, der Fluß im ferromagnetischen Treiberelement fließt in die gleiche Richtung wie der Fluß im nächstgelegenen aktiven Teil, oder in der Verlängerung, des Abnehmers. Aus Fig. 2 ist am besten ersichtlich, daß die nach oben zeigende Stirnfläche 56 des Nordpols des ferromagnetischen Elementes 54 im wesentlichen parallel zu einer imaginären Fläche 68 liegt, die durch die Saiten 32 an der Treiberposition definiert ist. Die obere oder zu den Saiten zeigende Fläche 56 des Elementes 54 ist in der Nähe ihres Mittelpunktes leicht nach oben gewölbt. Diese leichte Krümmung stimmt mit der durch die Saiten 32 an der Treiberposition definierten Krümmung der imaginären Fläche 68 überein, wie in Fig. 2 ebenfalls sichtbar ist. Somit ist der Abstand zwischen der zu den Saiten zeigenden Stirnfläche 56 und der durch die Saiten definierten imaginären Fläche 68 über die gesamte seitliche Ausdehnung des Saitenfeldes im wesentlichen konstant. Die Stirnfläche 56 des ferromagnetischen Elementes besitzt im wesentlichen keine nennenswerten Verlängerungen in Richtung der Saiten oder Aussparungen weg von den Saiten, zumindest nicht innerhalb der seitlichen Ausdehnung des Saitenfeldes und vorzugsweise auch nicht darüber hinaus. Somit ist der auf die Saiten 32 treffende dauermagnetische Fluß vom Element 54 über die gesamte Breite des Saitenfeldes im wesentlichen gleichförmig, wobei dieser gleichförmige Fluß auch seitlich über das Saitenfeld hinaus fließt.

Da die Saiten 32 ferromagnetisch sind, erzeugt der vom Element 54 herrührende Fluß eine konstante, auf die Saiten wirkende Anziehungskraft. Der durch die Spule 60 erzeugte magnetische Fluß wirkt dem vom Dauermagnetismus des Elementes 54 herrührenden Fluß entweder entgegen, oder verstärkt diesen, was von der Richtung des Stromflusses in den Wicklungen der Spule 60 abhängig ist. Somit nimmt die durch den Treiber auf die Saiten wirkende Anziehungskraft in Abhängigkeit von der Stärke und der Richtung des Stromflusses in der Spule 60 ab oder zu. Das ferromagnetische Element 54 verteilt den von der Spule 60 herrührenden Fluß gleichmäßig über die seitliche Ausdehnung des Saitenfeldes und auch leicht über das Saitenfeld hinaus. Daraus folgt, daß durch Anlegen einer Wechselspannung an die Spulen 60 ein Wechselstrom in die Spule induziert werden kann, so daß die durch den Treiber 52 auf die Saiten 32 wirkende Anziehungskraft abwechselnd zu- und abnimmt. Mit anderen Worten, ein an die Spule 60 angelegtes alternierendes Treibersignal erzeugt eine alternierende Treibkraft auf den Saiten. Diese alternierende Kraft, die entweder anziehend oder abstoßend wirkt, wird durch die konstante Anziehungskraft überlagert, die durch den Dauermagnetismus des Elementes 54 ausgeübt wird. In dem Maße, wie der von der Spule 60 herrührende Fluß im wesentlichen gleichmäßig verteilt wird, ist die auf die einzelnen Saiten wirkende Treibkraft trotz seitlicher Bewegungen der Saiten im wesentlichen gleichförmig.

Die Trägereinrichtung umfaßt ebenfalls eine Rückkopplungseinrichtung 70 (Fig. 4) zum Empfang des Signals vom Abnehmer 34 und zum Anlegen eines dem Abnehmersignal entsprechenden Treibersignals an den Treiber 52. Die Rückkopplungseinrichtung 70 umfaßt einen Eingangsanschluß 72 und kann als Stecker oder Abzweigung zum Anschluß an den Abnehmer 34 vorgesehen werden. Der Eingang 72 ist an einen Vorverstärker 74 angeschlossen. Der Ausgang des Vorverstärkers 74 ist an den Eingang des Sendersystems 50 angeschlossen, so daß das Abnehmersignal vom Abnehmer 34 über den Vorverstärker zum Sendersystem 50 geleitet wird. Der Vorverstärker besitzt eine hohe Eingangsimpedanz. Er dient zur Isolierung des Abnehmers 34 gegen die durch das Sendersystem verursachte Aufladung.

Der Ausgang des Vorverstärkers 74 ist ebenfalls an eine Eingangsverzweigung 76 für das Abnehmersignal angeschlossen. Die Eingangsverzweigung 76 ist über die Anschlußschaltung 78 direkt mit einem Anschluß 84 a eines Dreistellungswahlschalters 84 verbunden. Die Eingangsverzweigung 76 ist ebenfalls an eine Verzögerungsschaltung 80 und an eine regelbare Voreilungsschaltung 82 angeschlossen, die ihrerseits an die Anschlüsse 84 b bzw. 84 c des Schalters 84 angeschlossen sind. Der gemeinsame Anschluß 84 d des Schalters 84 ist über eine automatische Verstärkungssteuerschaltung 145, einen Booster 146 und einen Ein/Aus-Schalter an einen Ausgangsverstärker 88 angeschlossen.

Die automatische Verstärkungssteuerschaltung 145 umfaßt einen Kondensator 131 (Fig. 5), einen Widerstand 133 und einen Feldeffekttransistor 135, die im Signalpfad in Reihe geschaltet sind. Das Gate des FET 135 ist an den Schleifkontakt oder die regelbare Abzweigung eines Potentiometers 137 angeschlossen. Das Potentiometer 137 ist zwischen der Erdung und einer Diode 141 mit einem Kondensator 139 parallelgeschaltet. Die Diode 141 ist wiederum über den Widerstand 143 an den Ausgang des Ausgangsverstärkers 88 angeschlossen (Fig. 4). Der Widerstand des FET 135 und somit der Pegel des zum Booster 146 geleiteten Signals wird durch die Einstellung des Potentiometers 137 und durch die Spannung am Kondensator 139 geregelt. Diese Spannung ist wiederum abhängig vom Pegel des durch den Ausgangsverstärker 88 erzeugten Signals. Bei dem Booster 146 handelt es sich um eine auf herkömmliche Weise funktionierende Verstärkeranordnung. Bei dem Ein/Aus-Schalter 86 kann es sich um einen herkömmlichen Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor oder „MOSFET“ handeln, der einen Steuereingang oder Gate-Anschluß, einen Signaleingang und einen Signalausgang besitzt. Wenn die an den Steuereingang angelegte Spannung einen vorgegebenen Schwellwert nicht überschreitet, ist das Bauelement zwischen dem Signaleingang und dem Signalausgang im wesentlichen nichtleitend. Bei dem Ausgangsverstärker 88 kann es sich um einen herkömmlichen Gegentakttransistorverstärker handeln.

Der Ausgangsverstärker 88 ist wiederum an den Eingang eines Zweistellungsschalters 90 angeschlossen, wobei dieser Schalter so arbeitet, daß der Ausgangsverstärker entweder mit dem Endanschluß 64 oder der Mittelabzweigung 66 der Treiberspule 60 verbunden wird. An der Verzweigung 76 ist ein Demodulator 92 an den Ausgang des Vorverstärkers 74 angeschlossen. Bei dem Demodulator 92 kann es sich um ein herkömmliches Bauelement zur Erzeugung einer Spannung handeln, die die Amplitude der vom Vorverstärker 74 kommenden Signale aufweist. Der Demodulator 92 kann somit einen Verstärker, einen an den Ausgang des Verstärkers angeschlossenem Gleichrichter und einen an den Ausgang des Gleichrichters angeschlossenem Kondensator mit einer entsprechenden Ableitung vom Kondensator umfassen, so daß die im Kondensator akkumulierte Spannung dem zeitlich gemittelten, gleichgerichteten Ausgang des Verstärkers entspricht. Die vom Demodulator 92 erzeugte Spannung wird an den Steuereingang des Ein/Aus-Schalters 86 angelegt.

Der Vorverstärker 74, die automatische Verstärkungssteuerschaltung 145, der Booster 146, der Ein/Aus-Schalter 86 und der Ausgangsverstärker 88 fügen für Signale im Tonfrequenzbereich im wesentlichen eine Nullphasenverschiebung ein. Die Anschlußschaltung 78 fügt ebenfalls im wesentlichen eine Nullphasenverschiebung ein. Somit ist, wenn der Vorverstärker über die Anschlußschaltung 78 mit dem Ausgangsverstärker verbunden ist, das Treibersignal oder die Spannung, die vom Ausgangsverstärker 88 erzeugt werden, im wesentlichen phasengleich mit dem am Vorverstärker 74 anliegenden Abnehmersignal. Bei jedem Signal innerhalb des Tonfrequenzbereiches treten ansteigende Auslenkungen des Treibersignals im wesentlichen gleichzeitig mit ansteigenden Auslenkungen des Abnehmersignals auf. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß die in der vorliegenden Patentschrift als positiv oder negativ definierten Werte des Abnehmer- und des Treibersignals unter Bezugnahme auf eine durchgängige Vorzeichenkonvention spezifiziert sind, die für die entsprechende Kraft oder Bewegung angewendet wird. Wenn in der vorliegenden Patentschrift nichts anderes spezifiziert ist, ist ein positives Abnehmersignal ein Abnehmersignal, das mit der Bewegung einer oder mehrerer Saiten nach oben zusammenhängt, während ein negatives Abnehmersignal mit der Bewegung einer oder mehrerer Saiten nach unten verknüpft ist. Ebenso ist ein positives Treibersignal ein Treibersignal, das eine nach oben gerichtete Kraft (oder ein Nachlassen einer nach unten gerichteten Kraft) auf einer oder mehreren Saiten erzeugt, während ein negatives Treibersignal eine nach unten gerichtete Kraft (oder ein Nachlassen einer nach oben gerichteten Kraft) auf einer oder mehreren Saiten erzeugt. Daraus ergibt sich, daß die Beziehung zwischen dem Vorzeichen der Abnehmer- oder Treiberspannung und der elektrischen Erdung gemäß der in der vorliegenden Offenbarung durchgängig verwendeten Vorzeichenkonvention gleich dem oder verschieden von Vorzeichen einer solchen Spannung sein kann, was von der Wicklungsrichtung der im Abnehmer oder Treiber befindlichen Spulen und von der physischen Orientierung dieser Spulen abhängig ist. Somit kann die Nullphasenverschiebung gemäß der in der vorliegenden Patentschrift verwendeten durchgängigen Vorzeichenkonvention entweder eine Verschiebung um 0 oder um 180° implizieren, was der üblichen Polaritätstheorie im Hinblick auf die Erdung entspricht.

Die Verzögerungsschaltung 80 besitzt eine einfache, vorgegebene Phasenübertragungsfunktion oder -relation zwischen den an der Verzweigung 76 anliegenden Eingangssignalen und den Ausgangssignalen, die durch die Schaltung 80 zum Schalteranschluß 84b gesendet werden. Die Verzögerungsschaltung 80 kann eine an die Verzweigung 76 angeschlossene Eingangsverzweigung 100 (Fig. 5), eine an den Schalteranschluß 84b angeschlossene Ausgangsverzweigung 102 und einen Funktionsverstärker 104 umfassen, der invertierte und nichtinvertierte Eingänge und einen an die Ausgangsverzweigung 102 der Verzögerungsschaltung angeschlossenen Ausgang besitzt. Des weiteren kann die Verzögerungsschaltung Widerstände 106 und 108, die zwischen der Eingangsverzweigung 100 und dem invertierten bzw. nichtinvertierten Eingang des Verstärkers 104 geschaltet sind, einen zwischen der Ausgangsverzweigung 102 und dem invertierten Eingang des Verstärkers 104 geschalteten Rückkopplungswiderstand 110 und einen zwischen dem nichtinvertierten Eingang des Verstärkers 104 und dem Erdungsanschluß geschalteten Kondensator 112 umfassen. Die Phasenübertragungsfunktion der Schaltung 80 läßt sich durch folgende Gleichung ausdrücken:

$$\theta_{a_{80}} = 2 \arctan (2 \pi f R_{108} C_{112})$$

Hierbei ist  $\theta_{a_{80}}$  der Betrag, um den das Ausgangssignal an der Verzweigung 102 dem Eingangssignal an der Verzweigung 100 nachhinkt;  $R_{108}$  der Wert des Widerstands 108;  $C_{112}$  der Wert des Kondensators 112; und  $f$  die Frequenz des Signals.

Die regelbare Voreilungsschaltung 82 umfaßt ein Dämpfungsglied 120 mit einem an die Verzweigung 76 angeschlossenen Eingang. Die Verstärkung des Dämpfungsgliedes 120 hat eine Größenordnung von weniger als 1 und liegt typischerweise bei etwa 0,4. Der Ausgang des Dämpfungsgliedes 120 ist an die Eingangsverzweigung 126 für das Abnehmersignal einer regelbaren Schaltung 128 für die Phasenübertragungsfunktion angeschlossen. Die Schaltung 128 umfaßt einen Funktionsverstärker 130, der einen über einen Widerstand 132 an die Eingangsverzweigung 126 für das Abnehmersignal angeschlossen, invertierten Eingang besitzt. Der Ausgang des Funktionsverstärkers 130 ist an die Signalausgangsverzweigung 134 angeschlossen, und zwischen die Ausgangsverzweigung 134 und den invertierten Eingang des Verstärkers 130 ist ein Rückkopplungswiderstand 136 geschaltet. Ein Kondensator 138 ist mit einem Seitenanschluß an die Eingangsverzweigung 126 für das Abnehmersignal und mit einem zweiten Seitenanschluß an den nichtinvertierten Eingang des Verstärkers 130 angeschlossen. Zwischen dem zweiten Seitenanschluß des Kondensators 138 und dem Erdungsanschluß ist ein zusammengesetztes regelbares Widerstandselement 140 geschaltet. Das regelbare Widerstandselement 140 umfaßt einen Festwiderstand 142 und einen Feldeffekttransistor, oder „FET“, 144, wobei die Quellenelektrode und die Senke des FET 144 mit dem Festwiderstand 142 parallelgeschaltet sind. Die Signalausgangsverzweigung 134 der Schaltung 128 ist an den Anschluß 84c des Schalters 84 angeschlossen.

Das Gate des FET 144 ist an die Frequenzüberwachungs- und Steuerschaltung angeschlossen, die einen Rechteckgeber 150 für die Eingangswellenform, eine Frequenz-Spannungs-Wandlerschaltung 152 und eine Kurvengaberschaltung 154 umfaßt. Der Rechteckgeber 150 für die Wellenform umfaßt einen Komparator 156, der einen an die Schalterverzweigung 76 und somit an das ankommende Abnehmersignal angeschlossen, nichtinvertierten Eingang besitzt. Der invertierte Eingang des Komparators 156 ist zwischen die Widerstände 159 und 160 geschaltet, die wiederum zwischen eine positive Spannungsquelle 165 und den Erdungsanschluß geschaltet sind, so daß eine Vergleichsspannung erzeugt wird. Der Ausgang des Komparators 156 ist an die Ausgangsverzweigung 162 für Rechteckwellenformen angeschlossen, die über eine in Sperrichtung geschaltete Zener-Diode 166 ebenfalls an den Erdungsanschluß angeschlossen ist. Die an der Verzweigung 162 anliegende Spannung besitzt im wesentlichen eine Rechteckwellenform, die nur zwei diskrete Werte besitzt. Die Rechteckwellenform weist einen ersten dieser Werte auf, wenn die über den Widerstand 158 anliegende Komponente des Abnehmersignals die an der Verzweigung 161 anliegende Vergleichsspannung überschreitet, während die Rechteckwellenform den zweiten dieser Werte aufweist, wenn der umgekehrte Zustand eintritt. Somit entspricht die an der Verzweigung 162 anliegende Wellenform dem in eine Rechteckwellenform umgewandelten Abnehmersignal. Die Frequenz der Rechteckwellenform wird durch die Komponenten des Abnehmersignals mit der größten Amplitude gesteuert. Bei einem Abnehmersignal, das durch freie Schwingungen einer einzelnen Saite erzeugt wird, ist die Frequenz der Rechteckwellenform an der Verzweigung 162 im wesentlichen gleich der Grundfrequenz der Schwingung dieser Saite.

Die Frequenz-Spannungs-Wandlerschaltung 152 umfaßt eine Mikroschaltung 170, die so aufgebaut ist, daß sie die Frequenz der Rechteckwellenform an der Verzweigung 162 nachweist und eine Ausgangsspannung erzeugt, die eine annähernd lineare Funktion zu dieser Frequenz ist, wobei diese Spannung gleich Null ist, wenn die Frequenz gleich Null ist. Die Belegung der einzelnen Anschlüsse der Mikroschaltung 170 ist in Fig. 5 dargestellt, wobei die Anschlußbezeichnungen des Herstellers verwendet werden. Anschlußstift 1 ist nicht belegt, während Anschlußstift 2 über den Widerstand 190 geerdet ist. Anschlußstift 3 ist nicht belegt. Anschlußstift 4 dient als Ausgangsanschluß der Mikroschaltung 170. Zwischen den Anschlußstift 1 und Erde sind ein Potentiometer 194, ein Festwiderstand 195 und ein Kondensator 196 geschaltet. Anschlußstift 8 ist direkt an den positiven Spannungsbus 172 angeschlossen, der wiederum an eine positive Spannungsquelle 165 angeschlossen ist. Die Anschlußstifte 5, 6 und 7 sind über die Vorwiderstände 174; 176 und 178 an den gleichen Bus angeschlossen. Anschlußstift 5 ist über den Kondensator 180 ebenfalls geerdet, während Anschlußstift 7 über den Widerstand 182 geerdet ist. Die Ausgangsverzweigung 162 des Rechteckgebers 150 ist über den Kondensator 184 an Anschlußstift 6 angeschlossen, wobei sich zwischen dem Anschlußstift 6 und Erde ein Vorwiderstand 186 befindet. Die Kurvengaberschaltung 154 umfaßt einen Funktionsverstärker 200, der einen über den Widerstand 202 an den Ausgang des Frequenz-Spannungs-Wandlers 152 angeschlossenen, nichtinvertierten Eingang und einen über den Widerstand 206 an eine regelbare positive Spannungsquelle 204 angeschlossenen, invertierten Eingang besitzt. Zwischen dem nichtinvertierten Eingang des Funktionsverstärkers 200 und Erde ist ein Erdungswiderstand 208 geschaltet, während zwischen der Ausgangsverzweigung 212 des Funktionsverstärkers und dem invertierten Eingang ein Rückkopplungswiderstand 210 geschaltet ist. Der Funktionsverstärker 200 und die zugehörigen Widerstände dienen dazu, die durch die Spannungsquelle 204 erzeugte Vergleichsspannung von der Ausgangsspannung des Frequenz-Spannungs-Wandlers 152 zu subtrahieren und die Differenz anschließend mit einer Festverstärkung zu multiplizieren, wobei das Produkt dieser Multiplikation an der Ausgangsverzweigung 212 anliegt. Die Verzweigung 212 ist über den Widerstand 214 an den invertierten Eingang des Funktionsverstärkers 216 angeschlossen. Der nichtinvertierte Eingang dieses Funktionsverstärkers ist über den Widerstand 218 geerdet, und zwischen dem invertierten Eingang und der Ausgangsverzweigung 217 des Funktionsverstärkers 216 ist ein Rückkopplungswiderstand 220 geschaltet.

Die Verzweigung 212 ist ebenfalls an den Widerstand 222 angeschlossen, der wiederum an der Verzweigung 224 an einen weiteren Widerstand 228 und über den Widerstand 226 an eine regelbare Vergleichsspannungsquelle 228 angeschlossen ist. Die Verzweigung 224 ist an den invertierten Eingang eines weiteren Funktionsverstärkers 230 angeschlossen. Der nichtinvertierte Eingang des Verstärkers 230 ist über den Widerstand 232 geerdet. Zwischen der Ausgangsverzweigung 231 des Verstärkers 230 und der Verzweigung 224 ist ein regelbarer Rückkopplungswiderstand 234 vorgesehen. Die Verzweigung 231 ist über die Diode 236 und den Widerstand 238 an einen Eingang eines noch weiteren Funktionsverstärkers 240 angeschlossen. Der gleiche Eingang des Verstärkers 240 ist über den Widerstand 242 geerdet. Der entgegengesetzte, invertierte Eingang des Verstärkers 240 ist über einen weiteren Widerstand 243 an die Ausgangsverzweigung 217 des Verstärkers 216 angeschlossen. Zwischen dem invertierten Eingang und dem Ausgang 246 des Verstärkers 240 ist ein Rückkopplungswiderstand 244 vorgesehen. Die Ausgangsverzweigung 246 des Verstärkers 240 ist über den Widerstand 247 an das Gate des FET 144 im regelbaren Widerstandselement 140 der Schaltung 128 angeschlossen. Zwischen dem Widerstand 247 und Erde ist eine Diode 249 geschaltet.

Alle elektrischen Bauelemente der Trägereinrichtung einschließlich des Ausgangsverstärkers 88, des Vorverstärkers 74 und der regelbaren Vorellungs- und Verzögerungsschaltungen 82 und 80, werden von einer eingebauten Stromversorgung, wie zum Beispiel einer Batterieeinheit 85 (Fig. 4) gespeist. Die Batterieeinheit und alle Bauelemente der Rückkopplungseinrichtung sind für die Befestigung am Instrument ausgelegt. Somit können gemäß der schematischen Darstellung in Fig. 1 sämtliche elektrischen Bauelemente der Rückkopplungseinrichtung einschließlich der Batterieeinheit 85 in einem Gehäuse 87 untergebracht werden, wobei das Gehäuse 87 mittels einer geeigneten Klemme oder anderen Befestigungseinrichtung 89 abnehmbar am Körper 22, der Gitarre 20 befestigt werden kann. Alternativ dazu können die Rückkopplungseinrichtung und die Stromversorgung oder Batterieeinheit 85 vollständig im Körper 22 der Gitarre untergebracht werden. Da die gesamte Trägereinrichtung nur durch die eingebaute Stromversorgungseinheit oder Batterie 85 gespeist wird, ist kein Anschluß an eine externe Stromversorgung erforderlich. Die Batterieeinheit 85 kann eine herkömmliche Klemme zur Befestigung von zwei herkömmlichen Zellen des Typs umfassen, die üblicherweise als 9-Volt-Transistorradio-Batterie bezeichnet wird. Die Batterieeinheit 85 umfaßt darüber hinaus vorzugsweise eine Spannungsregelschaltung (nicht dargestellt), wie zum Beispiel einen herkömmlichen Schaltreglerkreis, die ungeachtet der Schwankungen der von der Batterie gelieferten Spannung  $v$  im wesentlichen konstante Ausgangsspannung aufrechterhält. Die Regelung der Spannung erlaubt den Einsatz einer Batterie selbst im Endstadium der Haltbarkeit der Batterie, wenn die Batteriespannung abzunehmen beginnt.

Während des Betriebs liefert der Abnehmer 34 ein der Schwingung einer oder mehrerer Saiten 32 entsprechendes Abnehmersignal zum Eingangsanschluß 72. Dieses Signal wird im Vorverstärker 74 verstärkt. In der in den Fig. 4 und 5 angegebenen Stellung des Schalters 84 wird das vorverstärkte Abnehmersignal durch die regelbare Vorellungsschaltung 82 geleitet. Der Rechteckgeber 150 empfängt das Abnehmersignal und erzeugt an der Ausgangsverzweigung 162 eine Rechteckwelle, deren Frequenz gleich der dominierenden Frequenz im Abnehmersignal ist, d. h. der Frequenz des Abnehmersignals mit der größten Amplitude. Gemäß der schematischen Darstellung in Fig. 6 ist die von der Frequenz-Spannungs-Wandlerschaltung 152 gelieferte Spannung  $v_{162}$  im wesentlichen gleich Null, wenn die Frequenz  $f_{162}$  der an der Verzweigung 162 anliegenden Rechteckwelle gleich Null ist, und erhöht sich linear mit zunehmender Frequenz der Rechteckwelle. Die an der Verzweigung 212 anliegende Spannung ist eine negative Spannung mit einem großen Wert bei Nullfrequenz. Der Wert der negativen Spannung  $v_{212}$  nimmt mit zunehmender Frequenz linear ab, so daß  $v_{212}$  Null wird, wenn  $f_{162}$  einen vorgegebenen Maximalwert  $f_{max}$  erreicht. Dieser Wert  $f_{max}$  entspricht vorzugsweise der maximalen Grundfrequenz des Instruments. Bei einer typischen Gitarre beträgt  $f_{max}$  somit etwa 1 318 Hz. Die an der Verzweigung 217 anliegende Spannung  $v_{217}$  ist im wesentlichen die Umkehrung von  $v_{212}$ , d. h., sie ist bei einem Nullwert von  $f_{162}$  positiv und nimmt bei zunehmender Frequenz  $f_{162}$  progressiv ab. Die an der Verzweigung 231 als Reaktion auf  $v_{212}$  erzeugte Spannung  $v_{231}$  ist positiv, wenn die Frequenz  $f_{162}$  gleich Null ist, nimmt linear ab, so daß die Spannungskurve den Nullpunkt kreuzt, wenn die Frequenz  $f_{162}$  der Rechteckwelle gleich oder relativ niedrigen Umschaltfrequenz  $f_c$  ist, und wird dann bei höheren Werten von  $f_{162}$  negativ. Bei einer Gitarre benötigt  $f_c$  vorzugsweise etwa 250 bis 300 Hz und idealerweise etwa 300 Hz. Die an der Verzweigung 246 anliegende Spannung  $v_{246}$  und somit die am FET 144 anliegende Gitterspannung ist eine zusammengesetzte Funktion aus  $v_{231}$  und  $v_{217}$ . Wenn  $v_{231}$  negativ ist (bei Rechteckwellenfrequenzen über  $f_c$ ), wird  $v_{231}$  durch die Diode 236 gesperrt. Daraus folgt, daß  $v_{246}$  in diesem Frequenzbereich ausschließlich eine Funktion von  $v_{217}$  ist und daß  $v_{246} = G_{240}(-v_{217})$  ist. Hierbei ist  $G_{240}$  die Verstärkung des Funktionsverstärkers 240.

Wenn  $v_{231}$  bei Frequenzen unter  $f_c$  positiv ist, wird  $v_{231}$  durch die Diode 236 nicht gesperrt. Daraus folgt:

$$v_{246} = G_{240}(v_{231} - v_{217}).$$

Gemäß Fig. 6 ist somit die am Gate des FET 144 anliegende Spannung  $v_{246}$  negativ und weist bei Nullfrequenz der Rechteckwelle einen beträchtlichen Wert auf. Wenn sich die Rechteckwellenfrequenz  $f_{162}$  von Null auf  $f_c$  erhöht, nimmt der Wert von  $v_{246}$  relativ langsam gegen Null ab und verringert sich dann schneller, wenn sich die Rechteckwellenfrequenz über  $f_c$  erhöht. Der Widerstand  $R_{144}$  zwischen der Quellenelektrode und der Drainelektrode des FET 144 ist eine Funktion der Gitterspannung  $v_{246}$ . Gemäß der Darstellung in Fig. 6 schwankt  $R_{144}$  in Abhängigkeit von  $v_{246}$  innerhalb eines großen Bereiches. Bei stark negativen Werten von  $v_{246}$  kann  $R_{144}$  bei niedrigen Rechteckwellenfrequenzen mehrere Hundert Kiloohm betragen. Demgegenüber kann  $R_{144}$  nur wenige Kiloohm betragen, wenn  $v_{246}$  gegen Null geht, d. h. bei Rechteckwellenfrequenzen  $f_{162}$  von annähernd  $f_{max}$ . Der Gesamtwiderstand  $R_{140}$  des parallelen Widerstandselementes 140 verringert sich bei Zunahme von  $f_{162}$  ebenfalls. In dem Maße, wie die Rechteckwellenfrequenz  $f_{162}$  der dominierenden Frequenz oder der Frequenz mit der größten Amplitude des zur Schaltung 82 geleiteten Abnehmersignales entspricht, ist der Widerstand  $R_{140}$  des Widerstandselementes 140 eine Funktion der im Abnehmersignal dominierenden Frequenz und verringert sich bei Zunahme dieser dominierenden Frequenz. Die Phasenübertragungsfunktion oder die Phasenbeziehung zwischen dem an der Eingangsverzweigung 126 der Schaltung 128 anliegenden Signal und dem an der Ausgangsverzweigung 134 abgegebenen Signal ist durch die folgende Beziehung gegeben:

$$\Theta_{128} = 180^\circ - 2 \arctan(2\pi f R_{140} C_{136}).$$

Hierbei sind:

$\Theta_{128}$  der Betrag, um den eine Komponente der Frequenz  $f$  im Ausgangssignal an der Verzweigung 134 der entsprechenden Komponente im Eingangssignal an der Verzweigung 128 voreilt;

$f$  die Frequenz;

$R_{140}$  der Widerstand des zusammengesetzten Elementes 140 und

$C_{133}$  die Kapazität des Kondensators 138.

Aus der Überprüfung dieser Beziehung ergibt sich, daß die Phasenübertragungsfunktion der Schaltung 128 für jeden angegebenen Festwert von  $R_{140}$  und  $C_{138}$  eine vorgegebene Relation zwischen der Phasenvoreilung und der Frequenz ist, wobei die Phasenvoreilung des Ausgangssignals gegenüber dem Eingangssignal mit zunehmender Frequenz abnimmt.

Die Phasenübertragungsfunktion läßt sich jedoch durch Einstellung des Wertes von  $R_{140}$  regeln. Da der Wert von  $R_{140}$  selbst eine Funktion der dominierenden Frequenz des ankommenden vorverstärkten Abnehmersignals ist, ändert sich die vorstehend genannte Phasenübertragungsfunktion in Abhängigkeit von der dominierenden Frequenz des Abnehmersignals. Wenn sich die dominierende Frequenz des Abnehmersignals erhöht und  $R_{140}$  abnimmt, ändert sich die Phasenübertragungsfunktion der Schaltung 128 so, daß im allgemeinen eine größere Ausgangsvoreilung für jede Komponente des Signals erzeugt wird. Bei keiner der Kurven ist die Voreilung einer bestimmten Frequenzkomponente gegenüber der Frequenz dieser Komponente dargestellt. Die Voreilung, die jeder Komponente des die Schaltung 128 passierenden Signals durch diese Schaltung verliehen wird, ist sowohl von der Frequenz der jeweiligen Einzelkomponente als auch von der Frequenz der zur jeweiligen Zeit im Abnehmersignal dominierenden Komponente abhängig. Wird jedoch nur die dominierende Frequenzkomponente des Signals berücksichtigt, führen diese kombinierten Effekte zu einer Zunahme der durch die Schaltung 128 verliehenen Voreilung der dominierenden Frequenz, wenn sich die Frequenz dieser Komponente erhöht. Bezüglich der Gleichung für die Phasenübertragungsfunktion  $\Theta_{128} = 180^\circ - 2 \arctan(2\pi f R_{140} C_{138})$  bedeutet dies, daß  $R_{140}$  schneller abnimmt, als sich  $f$  erhöht. Wenn das Abnehmersignal der Bewegung einer schwingenden Saite entspricht, ist die dominierende Frequenz, oder die Frequenz mit der größten Amplitude, typischerweise gleich der Grundschwingungsfrequenz. Somit nimmt die Voreilung, die der Grundfrequenz durch die Schaltung 128 verliehen wird, zu, wenn sich die Grundfrequenzkomponente erhöht. Da der Vorverstärker 74 und der Ausgangsverstärker 88 keine Phasenverschiebung erzeugen, eilt das durch den Ausgangsverstärker 88 an die Spule 60 angelegte Treibersignal dem vom Abnehmer 34 kommenden Abnehmersignal vor (Fig. 4). Bei dieser Voreilung handelt es sich einfach um die durch die Schaltung 82 verliehene, variable Voreilung, d. h. die Voreilung, die durch die Schaltung 128 verliehen wird. Das durch den Ausgangsverstärker 88 angelegte Treibersignal eilt somit dem Abnehmersignal vor, wobei der Betrag der Voreilung in der Grundfrequenzkomponente mit der Grundfrequenz zunimmt.

Das durch den Ausgangsverstärker 88 an die Spule 60 angelegte Treibersignal, oder die Treiberspannung, führt in der Spule 60 zum Stromfluß und erzeugt somit Treibkräfte auf den Saiten 32. Die Treibkräfte schwanken in Abhängigkeit vom Strom in Spule 60, wobei dieser Strom der durch den Ausgangsverstärker 88 angelegten Spannung nacheilt. Dadurch eilen die Treibkräfte dem Treibersignal nach. Des weiteren eilt das durch den Abnehmer 34 erzeugte Abnehmersignal der Bewegung der Saiten 32 typischerweise nach. Diese Nacheilungen hängen von der Frequenz der Schwingung, und der Frequenz des Signals ab und nehmen mit der Frequenz zu. Die durch die regelbare Voreilungsschaltung 82 erzeugte, zunehmende Voreilung kompensiert diese Nacheilungen, so daß die durch den Treiber 52 in Abhängigkeit vom Abnehmersignal 34 angelegten Treibkräfte im wesentlichen phasengleich mit den Grundschwingungen einer der Saiten 32 sind. Mit anderen Worten, die kombinierte Phasenübertragungsfunktion des Abnehmers und des Treibers führt dazu, daß die Treibkraft der Bewegung der Saiten nacheilt und daß diese Nacheilung mit der Frequenz zunimmt. Die Phasenübertragungsfunktion der regelbaren Voreilungsschaltung ist im wesentlichen umgekehrt zur kombinierten Phasenübertragungsfunktion des Abnehmers und des Treibers.

Wird zunächst nur eine Saite in Schwingung versetzt, ist die dominierende Frequenz des Abnehmersignals gleich der Grundfrequenz dieser Saite. Die regelbare Voreilungsschaltung 82 stellt die Voreilungskennziffern gemäß dieser Grundfrequenz ein und erzeugt somit bei dieser Grundfrequenz eine Treibkraft, die im wesentlichen phasengleich mit den Schwingungen dieser Saite ist. Werden mehrere Saiten in Schwingung versetzt, stellt die regelbare Voreilungsschaltung 82 die Voreilungskennziffern gemäß der Grundfrequenz jener Saite ein, die die größte Schwingungsamplitude besitzt. Auf diese Weise wählt die regelbare Voreilungsschaltung Voreilungskennziffern, die bei optimaler Phaseneinstellung eine Treibkraft zur maximalen Verlängerung der Schwingungen in dieser dominierenden Saite erzeugen. Da die durch die Schaltung 82 angelegte Voreilung nur für eine Saite optimiert wird, ist sie für die anderen Saiten suboptimal. Die Treibkräfte werden durch den Treiber 52 an alle Saiten 32 angelegt. Obwohl die vorliegende Erfindung nicht durch eine Funktionstheorie beschränkt ist, wird angenommen, daß aufgrund der Tatsache, daß die Treibkräfte bei der Grundfrequenz einer Saite im wesentlichen phasengleich mit der Grundschwingung dieser Saite sind und die Treibkräfte bei den Grundfrequenzen der anderen Saiten nicht phasengleich mit den Grundschwingungen der anderen Saiten sind, die Treibkräfte die Schwingungsbewegung einer Saite in weitaus höherem Maße als die der anderen Saiten verstärken. Wenn die regelbare Voreilungsschaltung 82 in Betrieb ist und mehrere Saiten in Schwingung versetzt werden, verstärkt die Trägereinrichtung auf jeden Fall selektiv die Schwingungen der einen Saite, die zunächst die größte Amplitude hat.

Das Verhältnis zwischen der Voreilung der dominierenden Frequenz und der dominierenden Frequenz, die durch die regelbare Voreilungsschaltung 82 verliehen wird, ist von den Kennziffern der Bauelemente des Systems abhängig, einschließlich des Frequenz-/Spannungs-Verhältnisses des Frequenz-/Spannungs-Wandlers 152 und der Kennziffern der Kurvengeberschaltung 154.

Das Verhältnis läßt sich durch Änderung eines beliebigen dieser Parameter einstellen. So können zum Beispiel die Widerstände verändert werden, die in der Kurvengeberschaltung 154 anliegenden, verschiedenen Verstärkungen und Vergleichsspannungen bestimmten, so daß sich die Wirkung der Kurvengeberschaltung ändert. Das optimale Verhältnis hängt von der Phasenkennziffer des in die Trägereinrichtung eingespeisten Abnehmersignals ab. Somit hängt das optimale Phasenverhältnis für die regelbare Voreilungsschaltung teilweise davon ab, ob das Abnehmersignal ein der Bewegung der Saite nacheilendes Signal ist, was bei einem induktiven Abnehmer typisch ist, sowie auch vom Grad der Nacheilung und von der Art der Änderung einer derartigen Nacheilung mit der Frequenz. Darüber hinaus hängt das optimale Phasenverhältnis der regelbaren Voreilungsschaltung auch von der Phasenübertragungsfunktion des Treibers ab.

Der kombinierte Phasennacheilungseffekt eines induktiven Abnehmers und eines induktiven Treibers läßt sich gemäß der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Nacheilung} = \arctan(Q_{\text{Abnehmer}}) + \arctan(Q_{\text{Treiber}}).$$

Hierbei ist:

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

R der Widerstand und  
 $X_L$  der induktive Widerstand.

Da  $X_L = 2\pi fL$ , läßt sich die gleiche Formel auch folgendermaßen ausdrücken:

$$\text{Nacheilung} = \arctan(1/\pi fL_{\text{Abnehmer}}/R_{\text{Abnehmer}}) + \arctan(2\pi fL_{\text{Treiber}}/R_{\text{Treiber}}).$$

Hierbei ist L die Induktivität.

Das charakteristische Verhältnis zwischen der dominierenden Frequenz und der durch die regelbare Voreilungsschaltung 82 verliehenen Voreilung der dominierenden Frequenz wird vorzugsweise so gewählt, daß die Voreilung für jede dominierende Frequenz im wesentlichen der gemäß dieser Formel berechneten Nacheilung entspricht. Es wird angestrebt, daß eines oder mehrere der einstellbaren Bauelemente in der Kurvengaberschaltung 154 während des Betriebs der Trägereinrichtung zur manuellen Einstellung zugänglich sind, so daß das charakteristische Verhältnis für ein bestimmtes Instrument auf ein Optimum „abgestimmt“ werden kann. Bei einer typischen, auf normale Weise abgestimmten Elektrogitarre kann die regelbare Voreilungsschaltung so ausgelegt sein, daß sie eine Voreilung der dominierenden Frequenz im Treibersignal relativ zum Abnehmersignal erzeugt, die sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 35° pro Oktave erhöht. Wenn die dominierende Frequenz etwa 100 Hz oder weniger beträgt, kann die Voreilung etwa 0° betragen, d. h. etwa zwischen -10° (10° Nacheilung) und +10° (10° Voreilung). Bei einer dominierenden Frequenz von etwa 1318 Hz, der maximalen Grundfrequenz des Instruments, kann die regelbare Voreilungsschaltung eine Voreilung der dominierenden Frequenz des Treibersignals relativ zum Abnehmersignal zwischen etwa 130° und etwa 150° erzeugen.

Die Verzögerungsschaltung 80 und die Anschlußschaltung 78 bilden eine alternierende Signaleinrichtung zur Erzeugung von Treibersignalen mit Phasenkennziffern, die sich von den Phasenkennziffern des von der regelbaren Voreilungsschaltung 82 erzeugten Treibersignals unterscheiden. Der Musiker kann somit den von der Trägereinrichtung erzeugten Effekt durch Betätigung des Schalters 84 wählen. Wenn die Verzögerungsschaltung 80 für die Festphasenübertragungsfunktion durch Schalter 84 aktiviert wird, eilt das Treibersignal dem Abnehmersignal nach, und die Treibkraft eilt der Bewegung der Saiten nach. In dieser Betriebsart neigt die Trägereinrichtung eher zur Verstärkung bestimmter Harmonischer als zur Verstärkung der Grundschnwingungen. Bei eingeschalteter Anschlußschaltung 78 ist das Treibersignal phasengleich mit dem Abnehmersignal. Dadurch eilt die Treibkraft der Bewegung der Saiten um einen Betrag nach, der gleich der durch den Abnehmer 34 und den Treiber 52 verursachten Nacheilung ist. In dieser Betriebsart ist der Wirkungsgrad der Trägereinrichtung bei der Verstärkung der Grundschnwingung der Saiten geringer als bei eingeschalteter regelbarer Voreilungsschaltung 82. Dieser Effekt ist jedoch bei relativ hohen Grundfrequenzen von mehr als etwa 300 Hz und besonders über 600 Hz am stärksten ausgeprägt. Somit erzeugt die Trägereinrichtung bei eingeschalteter Anschlußschaltung 78 eine nützliche Tonverlängerung bei Grundschnwingungen mit relativ niedriger Frequenz. Darüber hinaus neigt die Trägereinrichtung bei eingeschalteter Anschlußschaltung 78 nicht dazu, nur die Frequenz einer Saite zu halten. Beim Spielen von Akkorden, die sich aus Noten mit relativ niedrigen Grundfrequenzen zusammensetzen, kann anstelle der regelbaren Voreilungsschaltung 82 die Direktschaltung benutzt werden.

Der Wert des an die Treibervorrichtung angelegten Treibersignales und somit der Wert der an die Saiten angelegten Treibkraft läßt sich durch Einstellung der automatischen Verstärkungssteuerschaltung 145 regeln. Der FET 135 bildet eine Impedanz in dem Pfad, der von einem Rückkopplungssignal gekreuzt wird, das vom Eingang 72 zum Ausgangsverstärker 88 geleitet wird. Der FET 135 dämpft somit dieses Signal. Der Widerstand des FET 135 und damit der Grad der Dämpfung hängt von der über das Potentiometer 137 an das Gate des FET abgelegten Spannung ab. Bei jeder gegebenen Einstellung des Potentiometers 137 existiert ein vorgegebenes Verhältnis zwischen dem Wert des Treibersignals und dieser Gitterspannung, so daß sich der Grad der Dämpfung erhöht, wenn der Wert des Treibersignals zunimmt. Das System neigt somit zur Stabilisierung eines vorgegebenen Pegels des Treibersignals. Dieser Pegel läßt sich durch Einstellung des Potentiometers 137 ändern, so daß sich das Verhältnis zwischen der Dämpfung und dem Wert des Treibersignals ändert.

Schalter 90 kann zur Schaffung einer weiteren, koerzitiven Steuerung des Leistungspegels des Treibersignals benutzt werden. In der in Fig. 4 dargestellten Stellung des Schalters und beim Anschluß des Treibersignals an die Endanzapfung 64 der Spule 60 sind der Gesamtwiderstand und der induktive Widerstand der Spule über den Ausgang des Verstärkers 88 angeschlossen. Aus diesem Grunde ist der Stromfluß durch die Spule 60 und damit der Energieverlust der Baugruppe verhältnismäßig gering. In einer alternativen Stellung des Schalters 90, in der die Endanzapfung 64 getrennt und die Mittelzapfung 66 angeschlossen ist, sind der effektive induktive Widerstand und der Widerstand der Spule reduziert, wodurch der Energieverlust in der Spule zunimmt. Dadurch werden Treibkräfte mit einem größeren Betrag erzeugt, und somit entsteht ein wirksamerer Tonverlängerungseffekt. Auf diese Weise kann der Musiker durch Betätigung des Schalters 90 entweder eine normale Tonverlängerung bei geringerer Leistungsaufnahme und längerer Haltbarkeit der Batterie oder einen Hochleistungsverlängerungseffekt mit einer etwas kürzeren Lebensdauer der Batterie wählen. Wenn eine regelbare automatische Verstärkungssteuerschaltung 145 vorgesehen ist, kann auf Schalter 90 und die Mittelanzapfung 66 verzichtet werden.

Bei der herkömmlichen Verfahrensweise kann der Musiker die aktive Länge jeder Saite 32 und damit die Grundfrequenz der einzelnen Saiten ändern, indem er die Saiten gegen einen der Bünde 25 auf dem Hals 24 drückt. Dies ermöglicht nur eine stufenweise Regelung der Grundfrequenz der einzelnen Saiten. Der Musiker kann die Grundfrequenz der einzelnen Saiten weiterhin regeln, indem er bewußt seitlich gerichtete Kräfte auf die Saiten ausübt, so daß sich die Saite seitlich in Richtung der Breite des Saitenfeldes biegt. Die Enden der Saiten sind in ihrer seitlichen Bewegung durch den Steg 28 und das Kopfstück 30 beschränkt. Da der Abnehmer 34 neben dem Steg 28 liegt, ist die seitliche Bewegung der Saiten am Abnehmer minimal, und somit bleibt jede Saite selbst dann nach den zugeordneten Verlängerungen 38 und 40 ausgerichtet, wenn die Saite bis zum maximal möglichen Ausmaß gebogen wird. Da jedoch der Treiber 52 an einer Treiberposition angeordnet ist, die sich in großem Abstand sowohl zum Steg als auch zum Kopfstück befindet, kann sich der den Treiber überlagernde Teil der Saite während des Spielens innerhalb eines beträchtlichen Bereiches seitlich bewegen. Der seitliche Bewegungsbereich der einzelnen Saiten zu beiden Seiten ihrer normalen unverzerrten Lage ist an der Position des Treibers 52 etwa gleich dem seitlichen Abstand zwischen den Saiten des Feldes und kann bis zu etwa 2,54 cm zu beiden Seiten von der normalen Lage der Saiten betragen. Der Bewegungsbereich der Saiten an den Rändern des Feldes erstreckt sich nur in Richtung der Mitte des Feldes, da diese äußersten Saiten während des normalen Spielens nicht nach außen bewegt werden.

Die seitliche Bewegung der Saiten beeinträchtigt die Leistung der Trägereinrichtung nicht. Da der Fluß der Treiberspule 60 kontinuierlich über die Breite oder die seitliche Ausdehnung des Saitenfeldes verteilt wird, wird jede Saite innerhalb ihres seitlichen Bewegungsbereiches in jeder beliebigen seitlichen Lage im wesentlichen den gleichen Treibkräften ausgesetzt. Damit sind die an jeder Saite anliegenden Treibkräfte von der seitlichen Bewegung der Saite im wesentlichen unabhängig. Dieses schafft einen beträchtlichen Vorteil dahingehend, daß der Musiker einzigartige Effekte erreichen kann, die durch bewußte seitliche Biegung der Saiten in Verbindung mit einem wirksamen Tonverlängerungseffekt entstehen. Die anderen Bauelemente der Trägereinrichtung, die die vorstehend erwähnten, einmaligen Phasenübertragungsfunktionskennziffern erzeugen, tragen ebenfalls zu diesem Vorteil bei. Mit diesen Kennziffern läßt sich eine wirksame Verstärkung der Grundschwingung der Saite bei nur geringen Niveaus des magnetischen Flusses der Treiberspule 60 erreichen. Aus diesem Grunde besteht keine Notwendigkeit für Verlängerungen auf dem ferromagnetischen Element 54 oder für andere Vorrichtungen zur Konzentrierung des Flusses der Treiberspule 60 auf die normale unverzerrte Lage der einzelnen Saiten. Derartige Vorrichtungen zur Konzentrierung des Flusses verstärken die Wirkung der Trägereinrichtung, solange die Saiten nicht seitlich gebogen werden. Sie beeinträchtigen jedoch den Frequenzgang materiell, wenn die Saiten seitlich gebogen werden.

Die Orientierung des mit dem Treiber zusammenhängenden Dauermagnetfeldes beeinflußt die Wirkung der Trägereinrichtung ebenfalls. Bei der vorstehend beschriebenen Ausführungsform fließt der magnetische Fluß des mit dem Treiber zusammenhängenden Dauermagnetfeldes in die gleiche Richtung wie der vom nächstgelegenen Teil des Abnehmers kommende magnetische Fluß. Dadurch kommt es zu einer größeren Verstärkung der Grundschwingung der Saite als beim umgekehrten Fall, bei dem der Dauermagnetfluß in entgegengesetzter Richtung des vom nächstgelegenen Teil des Abnehmers kommenden Flusses fließt. Die Gründe für diesen Unterschied sind nicht völlig geklärt. Obwohl auch die Anordnung des umgekehrten Falles mit dem in entgegengesetzter Richtung fließenden Fluß eingesetzt werden kann, wird diese weniger bevorzugt. Darüber hinaus sollte bei Anwendung der Anordnung des umgekehrten Falles die charakteristische Kurve der regelbaren Voreilungsschaltung 82 so modifiziert werden, daß bei niedrigen Frequenzen eine Nacheilung des Treibersignals relativ zum Abnehmersignal und bei hohen Frequenzen eine Voreilung erzeugt wird. Das Optimum der charakteristischen Kurve der regelbaren Voreilungsschaltung für den umgekehrten Fall ist im wesentlichen gleich der optimalen charakteristischen Kurve für die vorstehend beschriebene Ausführungsform, wobei jedoch die gesamte charakteristische Kurve in Richtung Nacheilung des Treibersignals relativ zum Abnehmersignal verschoben ist. Selbst in diesem Fall erzeugt jedoch die regelbare Voreilungsschaltung und damit die Rückkopplungseinrichtung als Ganzes bei eingeschalteter regelbarer Voreilungsschaltung eine Phasenübertragungsfunktion, die sich in Richtung der zunehmenden Voreilung des Treibersignals verschiebt, wenn sich die dominierende Frequenz des Abnehmersignals erhöht.

Die vorstehend beschriebene Ausführungsform läßt sich in vielerlei Hinsicht modifizieren. So kann zum Beispiel das regelbare Widerstandselement 140 in der regelbaren Phasenübertragungsschaltung anstelle des Feldeffekttransistors 144 ein Fotowiderstandselement, wie zum Beispiel einen Fototransistor, umfassen. Bei dieser Anordnung kann das von der Frequenz-Spannungs-Wandlerschaltung 150 kommende Signal zu einem lichtemittierenden Element, wie zum Beispiel einer mit dem Fotowiderstandselement zusammengeschalteten Diode, geleitet werden. Zwischen dem Frequenz-Spannungs-Wandler und der lichtemittierenden Diode kann eine entsprechende Kurvengeberschaltung geschaltet werden, so daß sich die von der Diode erzeugte Lichtmenge und damit der Widerstand des Fotowiderstandselementes erforderlichenfalls ändern, um das gewünschte Verhältnis zwischen der Phasenvoreilung und der dominierenden Frequenz zu ergeben. Anstelle des Widerstandselementes kann als regelbares Element in der regelbaren Phasenübertragungsschaltung 128 auch der Kondensator 138 verwendet werden. Somit lassen sich das zusammengesetzte Widerstandselement 140 durch einen Festwiderstand und der Kondensator 138 durch ein einzelnes kapazitives Element ersetzen, dessen Kapazität sich in Abhängigkeit des von der Frequenz-Spannungs-Wandlerschaltung kommenden Signals ändert. Alternativ dazu kann der Kondensator 138 durch eine aus Festkondensatoren und den entsprechenden Schaltelementen bestehende Schaltung ersetzt werden, um diese Elemente wahlweise zusammenzuschalten oder zu trennen, und zwar in Abhängigkeit von einem der Frequenzzusammensetzung des Abnehmersignals entsprechenden Signal, zum Beispiel einem der dominierenden Frequenz des Abnehmersignals entsprechenden Signal. Das gleiche Ergebnis ließe sich durch Ausrüstung der regelbaren Voreilungsschaltung mit einem regelbaren induktiven Element erreichen.

Die in der regelbaren Voreilungsschaltung 82 befindliche regelbare Phasenübertragungsfunktionschaltung 128 kann durch mehrere Schaltungsverzweigungen ersetzt werden, die alle eine unterschiedliche Phasenübertragungsfunktion aufweisen. Es kann eine Schaltvorrichtung vorgesehen werden, so daß in Abhängigkeit von der Frequenzzusammensetzung des Abnehmersignals eine der Schaltungsverzweigungen gewählt und das Abnehmersignal durch die gewählte Verzweigung geleitet werden kann. Eine solche Schaltvorrichtung kann auf ein der dominierenden Frequenz des Abnehmersignals entsprechendes Signal der bevorzugten Ausführungsform ansprechen und zwischen den Verzweigungen umschalten, so daß sich die

Übertragungsfunktion der Schaltung als Ganzes stufenweise ändert, wenn die dominierende Frequenz zu- oder abnimmt. Bei einer noch weiteren Anordnung kann die Schaltvorrichtung weggelassen und durch Frequenzfilter ersetzt werden, die so angeordnet sind, daß mehrere Komponenten des Abnehmersignals gleichzeitig durch die verschiedenen Verzweigungen geleitet werden, wobei die Komponenten mit höherer Frequenz durch die Verzweigungen geleitet werden, bei denen die Voreilung des Ausgangssignals relativ zum Eingangssignal größer ist. Eine solche Schaltungskombination besitzt eine konstante Phasenübertragungsfunktion, oder ein konstantes Differenzverhältnis gegenüber der Frequenz, unabhängig von der dominierenden Frequenz des Abnehmersignals. Bei dieser konstanten Phasenübertragungsfunktion handelt es sich jedoch um eine Kurve, die sich in Richtung einer größeren Voreilung des Treibersignals für eine beliebige Komponente des Abnehmersignals ändert, wenn sich die Frequenz dieser Komponente erhöht. Anstelle der mehrfach verzweigten Schaltung und des Schaltsystems kann auch eine einfach verzweigte Schaltung verwendet werden, die den gleichen Typ der Phasenübertragungsfunktion aufweist. Bei einer noch weiteren Ausführungsform wird ein Analogschieberegister eingesetzt, das zwischen den Abnehmersignaleingang und den Treibersignalausgang geschaltet wird. Die Kennziffern des Schieberegisters lassen sich in Abhängigkeit vom Frequenzgehalt des Abnehmersignals regeln, so daß das gewünschte Verhältnis zwischen der Frequenz und der Phasendifferenz des Treibersignals relativ zum Abnehmersignal gewährleistet wird.

Bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen wird das Abnehmersignal zur Erzeugung des Treibersignals als Analogsignal verarbeitet. Die Analogverarbeitung kann jedoch durch eine geeignete Digitalverarbeitung ersetzt werden. Somit kann das Abnehmersignal zur Erzeugung des Treibersignals in eine digitale Form umgewandelt, verarbeitet und wieder in eine analoge Form rückgewandelt werden. Die digitale Signalverarbeitung kann so aufgebaut sein, daß sie eine beliebige der vorstehend beschriebenen Analoganordnungen simuliert, d. h. entweder die Phasenübertragungsfunktion für alle Komponenten des Abnehmersignals in Abhängigkeit von der Frequenzzusammensetzung des Abnehmersignals ändert oder verschiedene Komponenten des Abnehmersignals verarbeitet, so daß für jede Komponente eines Treibersignals in Abhängigkeit von der Frequenz dieser Einzelkomponente unterschiedliche Voreilungen erzeugt werden. Durch Bauteile, die nicht am Instrument befestigt sind, kann entweder die digitale oder die analoge Signalverarbeitung erfolgen. Somit kann die Trägereinrichtung ein Signalverarbeitungsgerät, das nicht am Instrument befestigt ist, eine Sendeanlage zum Senden des Abnehmersignals zur Verarbeitungsanlage, eine weitere Sendeanlage zur Rücksendung des verarbeiteten Signals zum Instrument und einem am Instrument angebrachten und über einen entsprechenden Ausgangsverstärker mit dem Treiber gekoppelten Empfänger zum Empfang dieser verarbeiteten Signale und zur Erzeugung des Treibersignals umfassen. Eine solche Anordnung kann zum Beispiel eingesetzt werden, wenn das Abnehmersignal in einer feststehenden Anlage verarbeitet wird, zum Beispiel in einer digitalen Verarbeitungsanlage zur Aufzeichnung oder Umwandlung in Töne. Die in der Trägereinrichtung befindliche Signalverarbeitungsanlage kann in die zur Aufzeichnung eingesetzte Signalverarbeitungsanlage integriert werden. Wenn sämtliche der am Instrument befestigten Baugruppen durch eine eingebaute Energiequelle, wie der Batterie 85, gespeist werden, wird die Bewegungsfreiheit des Musikers durch die Trägereinrichtung nicht eingeschränkt.

Die Trägereinrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung kann auch mit einem Signal von Abnehmern betrieben werden, die sich von den vorstehend beschriebenen induktiven Abnehmern unterscheiden. Bei dem in Verbindung mit der Trägereinrichtung eingesetzten Abnehmer kann es sich somit um einen kapazitiven Sensor handeln, in dem durch die Bewegung der Saite die Kapazität eines Kondensators verändert, diese Änderung nachgewiesen und das Abnehmersignal erzeugt werden. Bei dem Abnehmer kann es sich auch um einen fotoelektrischen Typ handeln, zum Beispiel um einen den einzelnen Saiten gegenüberliegenden Fotoleiter oder Fototransistor, so daß sich durch die Bewegung der Saiten die auf die fotoempfindlichen Elemente auftreffende Lichtmenge ändert. Ein solcher Abnehmer kann entweder bei Umgebungslicht oder vorzugsweise mit einer Lichtquelle eingesetzt werden, die eine bestimmte Wellenlänge besitzt und über die Saite auf das fotoempfindliche Element gerichtet ist, wobei das fotoempfindliche Element durch ein Filter abgedeckt ist, so daß der Einfluß des Umgebungslichtes minimiert wird. Es können ebenfalls Kontaktabnehmer, zum Beispiel piezoelektrische und magnetostriktive oder Widerstandsdehnungsmeßstreifen, verwendet werden, die ein mechanisch mit einer oder mehreren Saiten gekoppeltes, aktives Element umfassen. Ebenso muß es sich bei dem Treiber nicht um einen elektromagnetischen Treiber handeln, sondern es kann stattdessen ein piezoelektrisches Element oder ähnliches benutzt werden. In dem Maße, wie diese verschiedenen Abnehmer und/oder Treiber Phasenübertragungsfunktionen besitzen, die sich von denen der vorstehend beschriebenen elektromagnetischen Abnehmer und Treiber unterscheiden, kann die Phasenübertragungsfunktion der Rückkopplungseinrichtung, die zur Optimierung der Reaktion der Saiten im Grundschwingungsmodus auf die durch die Trägereinrichtung angelegten Treibkräfte notwendig ist, ebenfalls unterschiedlich sein. So erzeugt zum Beispiel ein fotoelektrischer Abnehmer typischerweise ein Abnehmersignal, das aus praktischen Gründen bei allen Tonfrequenzen genau phasengleich mit der Bewegung der Saiten ist, während der vorstehend beschriebene elektromagnetische Abnehmer typischerweise ein Abnehmersignal liefert, das der Bewegung der Saiten nacheilt. Somit ist beim Einsatz eines fotoelektrischen Abnehmers der Grad der Voreilung des Treibersignals, der für einen optimalen Grundfrequenzgang bei jeder einzelnen Grundfrequenz erforderlich ist, typischerweise geringer als der, der bei einem elektromagnetischen Abnehmer für einen optimalen Grundschwingungsang bei derselben Frequenz erforderlich ist.

In Fig. 7 ist eine Trägereinrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung schematisch dargestellt. Die Trägereinrichtung gemäß dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfaßt einen Eingangsanschluß 372 zum Empfang des Abnehmersignals, einen mit dem Eingangsanschluß verbundenen Vorverstärker 374, einen Demodulator 392 zum Nachweis des vom Vorverstärker 374 erzeugten Signalpegels und einen vom Demodulator 392 gesteuerten Ein/Aus-Schalter 386. Die Rückkopplungsschaltung ist so aufgebaut, daß die vom Vorverstärker 374 kommenden Signale direkt über den Ein/Aus-Schalter 386 in einen Ausgangsverstärker 388 eingespeist werden. Diese Baugruppen sind ähnlich den entsprechenden Baugruppen der Ausführungsform, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 6 beschrieben wurde. Jede Komponente des vom Ausgangsverstärker 388 erzeugten Treibersignals ist im wesentlichen phasengleich mit der entsprechenden Komponente des am Eingangsanschluß 372 anliegenden Abnehmersignals. Die Trägereinrichtung umfaßt ebenfalls einen an den Ausgang des Vorverstärkers 374 angeschlossenen Wellenformrechteckgeber 350 und eine an den Ausgang des

Wellenformrechteckgebers 350 angeschlossene Frequenz-Spannungswandlerschaltung 352. Die Baugruppen ähneln ebenfalls den entsprechenden Baugruppen der in den Fig. 1 bis 6 dargestellten Ausführungsform.

Die Frequenz-Spannungswandlerschaltung 352 liefert somit eine Signalspannung, die sich direkt mit der Frequenz der vom Rechteckgeber 350 erzeugten Rechteckwellenform und somit direkt mit der Frequenz der dominierenden oder größten Amplitude des am Eingangsanschluß 372 anliegenden Abnehmersignals ändert.

Der Ausgang der Frequenz-Spannungswandlerschaltung 352 ist über einen Verstärker 402 an die positiven Eingänge der vier Komparatoren 404; 406; 408 und 410 angeschlossen. Der negative Eingang der einzelnen Komparatoren ist an die separaten Vergleichsspannungsquellen 414; 416; 418 und 420 angeschlossen. Die Spannungsquellen 414-420 liefern unterschiedliche positive Vergleichsspannungen. Die an den Komparator 404 angeschlossene Spannungsquelle 414 liefert die niedrigste Spannung, die an den Komparator 506 angeschlossene Spannungsquelle 416 liefert eine etwas höhere Spannung, die Spannungsquelle 418 liefert eine noch höhere Spannung zum Komparator 408, und die Spannungsquelle 420 liefert die höchste Vergleichsspannung zum Komparator 410. Die Komparatoren 404-410 bilden somit eine geordnete Anordnung, bei der der Komparator 404 den ersten Komparator dieser Anordnung und der Komparator 410 den letzten Komparator darstellt. Die Ausgänge der Komparatoren 404-410 sind an die Eingänge der vier ausschließenden ODER- oder „XOR“-Gatter 424; 426; 428 und 430 angeschlossen. Die Gatter 424-430 sind ebenfalls in einer geordneten Anordnung angeordnet, wobei das Gatter 424 das erste Gatter und das Gatter 430 das letzte Gatter bildet.

Jedes der Gatter 424-430 besitzt einen ersten und einen zweiten Eingang. Der erste Eingang jedes Gatters ist an den Ausgang des entsprechenden Komparators 404-410 der Komparatoranordnung angeschlossen. Der zweite Eingang jedes Gatters, mit Ausnahme des letzten Gatters 430, ist an den Ausgang des nachgeordneten Komparators angeschlossen. So ist zum Beispiel der erste Eingang des zweiten Gatters 426 an den Ausgang des zweiten Komparators 406 angeschlossen, während der zweite Eingang des zweiten Gatters 426 an den Ausgang des dritten Komparators 428 angeschlossen ist. Der zweite Eingang des letzten Gatters 430 ist geerdet.

Die Vergleichsspannungsquellen, Komparatoren und Gatter bilden zusammengenommen somit einen Analog-Digital-Wandler 431.

Wenn die vom Frequenz-Spannungswandler und Verstärker 402 erzeugte Signalspannung niedriger als die durch eine der Spannungsquellen 414-420 gelieferte Vergleichsspannung ist, sind die Ausgangssignale aller Komparatoren negativ und damit die Ausgänge aller Gatter 424-430 niedrig oder logisch Null. Wenn die Signalspannung höher als die durch die erste Vergleichsspannungsquelle 414 angelegte Spannung ist, ist das Ausgangssignal des ersten Komparators 404 positiv, während das Ausgangssignal aller anderen Komparatoren negativ bleibt. Somit empfängt das erste XOR-Gatter 424 ein positives und ein negatives Eingangssignal und erzeugt ein Ausgangssignal mit einem hohen oder der logischen Eins entsprechenden Pegel. Im allgemeinen erzeugt das XOR-Gatter nur dann ein Ausgangssignal mit einem hohen oder der logischen Eins entsprechenden Pegel, wenn die Signalspannung höher als die durch den entsprechenden Komparator angelegte Vergleichsspannung ist, jedoch die durch den nachgeordneten Komparator angelegte Vergleichsspannung nicht überschreitet. Das letzte XOR-Gatter 430 erzeugt immer dann ein Ausgangssignal mit einem hohen oder der logischen Eins entsprechenden Pegel, wenn die Signalspannung höher als die höchste Vergleichsspannung ist.

Die bei dieser Ausführungsform eingesetzte Treibervorrichtung 432 umfaßt eine Spule 434 und ein permanent magnetisiertes ferromagnetisches Element 436, die der Spule und dem ferromagnetischen Element der vorstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 7 beschriebenen Ausführungsform ähnlich sind. Bei dieser Ausführungsform umfaßt die Treibervorrichtung jedoch eine Anordnung von Kondensatoren 442; 444; 446; 448 und 450, die alle an eine Endanzapfung der Spule 434 angeschlossen sind. Die Kondensatoren sind in einer vom ersten bis zum letzten zählenden Anordnung angeordnet, wobei der erste Kondensator 442 die höchste Kapazität und der letzte Kondensator 450 der Anordnung die niedrigste Kapazität besitzen. Der Treiber 432 ist an den Ausgangsverstärker 388 angeschlossen, und zwar über einen logisch gesteuerten Digitalschaltkreis 452, dessen Steuereingänge mit dem Ausgang des Analog-Digital-Wandlers 431, d. h. mit den Ausgängen der XOR-Gatter 424-430, verbunden sind. Der Schaltkreis 452 ist so aufgebaut, daß das Treibersignal vom Ausgangsverstärker 388 in Abhängigkeit vom Ausgangssignal des Analog-Digital-Wandlers 431 über einen der Kondensatoren 442-450 zum Treiber 432 geleitet wird. Wenn also keines der XOR-Gatter ein Ausgangssignal mit einem hohen oder der logischen Eins entsprechenden Pegel erzeugt, leitet der Schaltkreis 452 das Treibersignal über den ersten Kondensator 442 zur Treibervorrichtung. Liefert das erste XOR-Gatter 424 ein Ausgangssignal von logisch Eins, leitet der Schaltkreis 452 das Signal durch den zweiten Kondensator 444 usw. Der Schaltkreis 452 schaltet somit die Kondensatoren der Treibervorrichtung 432 entsprechend den vom Analog-Digital-Wandler 431 empfangenen Signalen wirksam zu oder ab.

Während des Betriebs wirken der Wellenformrechteckgeber 350, der Frequenz-Spannungswandler 352 und der Verstärker 402 zusammen und liefern eine Signalspannung, die direkt mit der dominierenden Frequenz des Abnehmersignals zunimmt. Wenn die dominierende Frequenz des Abnehmersignals niedrig ist, wird der erste Kondensator 442 zugeschaltet, während die übrigen Kondensatoren 444-450 abgeschaltet werden. Bei zunehmender dominierender Frequenz des Abnehmersignals wird der erste Kondensator 442 abgeschaltet und der zweite Kondensator 444 zugeschaltet.

Bei zunehmend höheren dominierenden Frequenzen werden die nachgeordneten Kondensatoren 446; 448 und 450 nacheinander zu- und abgeschaltet, so daß zu einem gegebenen Zeitpunkt stets nur ein Kondensator zugeschaltet ist. Somit ist die Kapazität des Treibers 432 hoch, wenn die dominierende Frequenz des Abnehmersignals niedrig ist. Bei zunehmend höheren Werten der dominierenden Frequenz nimmt die Kapazität des Treibers ab, da nacheinander die nachgeordneten Kondensatoren mit niedrigerer Kapazität zugeschaltet werden. Wenn sich die Kapazität des Treibers 432 ändert, ändert sich ebenfalls die Phasenübertragungsfunktion der Treibervorrichtung (das Verhältnis zwischen der angelegten Signalspannung oder dem vom Verstärker 388 erzeugten Treibersignal und den elektromagnetischen Kräften, die durch den Treiber an die Saiten angelegt werden). Bei abnehmender Kapazität des Treibers weist somit die Komponente der Treibkraft bei einer gegebenen Frequenz eine geringere Nachleilung (oder größere Voreilung) als die entsprechende Komponente des Treibersignals auf.

Bemerkenswerterweise bleibt die Phasenübertragungsfunktion der Rückkopplungseinrichtung gleich, wohingegen sich die Phasenübertragungsfunktion der Treibervorrichtung in Abhängigkeit von der dominierenden Frequenz des Abnehmersignals

ändert. Der Gesamteffekt ist jedoch im wesentlichen der gleiche wie der, der mittels der regelbaren Voreilungsschaltung erreicht wird, die bei der vorstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 6 beschriebenen Ausführungsform eingesetzt wird. Bei der in Fig. 7 dargestellten Ausführungsform ändert sich somit die zusammengesetzte Phasenübertragungsfunktion der Rückkopplungseinrichtung und der Treibervorrichtung in Richtung der zunehmenden Voreilung der Treibkraft (oder weg von der Nacheilung der Treibkraft) gegenüber dem Abnehmersignal, wenn die dominierende Frequenz zunimmt.

Anstelle eines Anschlusses an einen separaten Abnehmer kann die Trägereinrichtung selbst einen Abnehmer umfassen. In diesem Fall kann die Trägereinrichtung eine Vorrichtung zur Regelung der Phasenübertragungsfunktion des Abnehmers umfassen, mittels der die zusammengesetzte Phasenübertragungsfunktion der gesamten Trägereinrichtung verändert werden kann. So läßt sich zum Beispiel bei der in Fig. 7 dargestellten Ausführungsform die Kapazität eines elektromagnetischen Abnehmers auf die gleiche Weise regeln wie die Kapazität des Treibers. Zur Regelung der Phasenübertragungsfunktion der Trägereinrichtung als Ganzes – das Verhältnisses zwischen der Frequenz und der Phasendifferenz zwischen der Treibkraft und der Bewegung der Saiten – kann jede dieser Herangehensweisen oder eine beliebige Kombination davon angewendet werden, da sich der Frequenzgehalt des Abnehmersignals ändert.

In den Fig. 8 und 9 ist ein Treiber gemäß einer noch weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. Dieser Treiber umfaßt ein erstes, stabförmiges, permanent magnetisiertes ferromagnetisches Element 502, dessen Nordpol sich auf einer ersten, langen Stirnseite 504 befindet, während der Südpol auf einer gegenüberliegenden Stirnseite 506 liegt.

Zur Befestigung des Elementes 502 an der Gitarrenkonstruktion, zum Beispiel am Körper 22, sind Mittel wie Schrauben oder Klemmen 508 zur Anbringung des Elementes 502 am Aufbau der Gitarre vorgesehen, beispielsweise am Körper 22, so daß das ferromagnetische Element unter den Saiten 32 positioniert ist. Daher liegt das Element 502 zwischen den Saiten und dem Gitarrenkörper, wobei die Polfläche des Elementes 502 nach oben auf die Saiten gerichtet ist. Ein zweites, stabförmiges, permanent magnetisiertes ferromagnetisches Element besitzt einen Nordpol entlang einer Fläche 512 und einen Südpol entlang einer weiteren Fläche 514. Zur Befestigung des zweiten ferromagnetischen Elements 510 am Gitarrenkörper sind Vorrichtungen wie stützenförmige Träger oder „Abstandhalter“ 516 vorgesehen, die so angeordnet sind, daß sich das ferromagnetische Element über den Saiten hinter dem ersten ferromagnetischen Element 502 befindet. Das Element 510 befindet sich somit näher am Kopfstück der Gitarre, während das Element 502 näher am Steg der Gitarre liegt. Die Befestigungsmittel halten das stabförmige Element so, daß sich dessen Polflächen in Längsrichtung des Saitenfeldes erstrecken, wobei die Nordpolfläche nach vorn zum Steg der Gitarre und zum Element 502 zeigt. Die Befestigungsmittel halten somit die ferromagnetischen Elemente auf einander gegenüberliegenden Seiten der Saiten 32, wobei die Elemente in Längsrichtung des Saitenfeldes in einem Abstand zueinander angeordnet sind.

Auf einen hohlen Spulenträger oder Wicklungsträger 520 ist eine spiralförmige Spule 518 gewickelt. Der Spulenträger und damit die Spule haben im allgemeinen die Form eines Hohlrohres mit rechteckigem Querschnitt, wobei die Längsabmessung der Innenöffnung des Rohres etwas größer als die Breite des Feldes der Saiten 32 ist. Der Spulenträger 520 und die Spule 518 sind mit Befestigungsmitteln 522, wie zum Beispiel Schrauben, Klemmen oder ähnlichem, so am Instrument befestigt, daß die Spule 518 die Saiten 32 an einer Position entlang der Längsabmessung des Saitenfeldes umschließt, die sich zwischen den ferromagnetischen Elementen 510 und 502 befindet, wobei die Achse der Spule in Längsrichtung des Saitenfeldes liegt. Während des Betriebs wird durch die Rückkopplungseinrichtung auf die vorstehend beschriebene Weise ein Treibersignal oder eine Treiberspannung an die Spule 518 angelegt, so daß die Spule einen magnetischen Fluß erzeugt. Dieser Fluß steht zusammen mit dem von den ferromagnetischen Elementen 502 und 510 erzeugten Fluß in Wechselwirkung mit den Saiten 32. Die Wechselwirkung des von der Spule 518 erzeugten Flusses mit den Saiten 32 besteht hier wiederum im wesentlichen gleichmäßig über den gesamten Bewegungsbereich der einzelnen Saiten 32 in Richtung der Breite. Dementsprechend wird die Treibwirkung durch die seitliche Biegung der Saiten im wesentlichen nicht beeinflußt.

Ein Treiber gemäß einer noch weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, der in Fig. 10 dargestellt ist, umfaßt zwei längliche plattenförmige ferromagnetische Elemente 602 und 604 mit den auf der Oberseite befindlichen Flächen 602 bzw. 604. Die Flächen 606 und 608 der Oberseite sind so gekrümmt, daß sie der Krümmung einer durch die Saiten 32 definierten, imaginären Krümmung entsprechen. Wenn der Treiber in der veranschaulichten Betriebsstellung am Instrument befestigt ist, erstrecken sich somit die Flächen 606 und 608 der Oberseite im wesentlichen parallel zu der durch die Saiten definierten imaginären Fläche. Die Elemente 602 und 604 sind ferromagnetisch, stellen jedoch selbst keine Dauermagneten dar. Zwischen den Unterkanten der Elemente 602 und 604 erstreckt sich ein plattenförmiger Dauermagnet 610, so daß die Elemente 602 und 604 zusammen mit dem Dauermagneten einen U-förmigen Kanal bilden.

Es sind Befestigungsvorrichtungen wie die Halter 612 vorgesehen, mittels derer dieser gesamte Kanal so an der Gitarrenkonstruktion, zum Beispiel am Körper 22, befestigt ist, daß sich der U-förmige Kanal im allgemeinen seitlich bezüglich des Saitenfeldes erstreckt. Der Nordpol des Dauermagneten 610 befindet sich auf der an das ferromagnetische Element 604 angrenzenden Seite des Magneten, während sich der Südpol auf der gegenüberliegenden Seite befindet, die an das Element 602 grenzt. Dementsprechend fließt der vom Dauermagneten 610 kommende Fluß nach oben durch das Element 604 und durch dessen Fläche der Oberseite 608, durch die von den Saiten definierte imaginäre Fläche und durch das Element 602 wieder nach unten, und zwar durch die Fläche 606 der Oberseite dieses Elements.

Um das Element 602 ist eine Spule 622 gewickelt, während um das Element 604 eine Spule 624 mit der gleichen Windungszahl in entgegengesetzter Richtung gewickelt ist. Diese beiden Spulen sind parallelgeschaltet. Die Schaltung ist so aufgebaut, daß durch eine an die parallelgeschalteten Spulen angelegte Spannung mit einer Polarität ein nach oben gerichteter Fluß von Spule 624 und ein nach unten gerichteter Fluß von Spule 622 erzeugt wird, wodurch der Fluß in den beiden ferromagnetischen Elementen verstärkt wird, wohingegen eine Spannung mit entgegengesetzter Polarität den entgegengesetzten Effekt erzeugt, d. h. den Fluß in den beiden ferromagnetischen Elementen entgegenwirkt.

Ein Treiber gemäß dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung besitzt ähnliche Vorteile wie der in den Fig. 1 bis 3 dargestellte Treiber. Der von dem Treiber gemäß Fig. 10 erzeugte magnetische Fluß wirkt im wesentlichen gleichmäßig über die gesamte seitliche Ausdehnung des Saitenfeldes. Aus diesem Grund wird die Wirkung der Trägereinrichtung durch seitliche Biegung der Saiten nicht negativ beeinflußt. Der Treiber gemäß Fig. 10 schafft darüber hinaus bei einem gegebenen Stromfluß

eine wesentlich stärkere magnetische Wechselwirkung. Die beiden Spulen 622 und 624 können jeweils mehr Windungen aufweisen, als für die Spule eines Einspulentreibers eingesetzt werden würden. Die durch die beiden Spulen erzeugten magnetischen Flüsse verstärken sich gegenseitig. Der Nettoeffekt besteht in der Schaffung eines beträchtlich größeren Magneteffekts und damit eines beträchtlich größeren Schwingungsverlängerungseffektes bei gleichem Energieverlust. Der in Fig. 10 dargestellte Treiber kann auch als Abnehmer benutzt werden. Wenn der Abnehmer an eine Baugruppe mit hoher Impedanz angeschlossen ist, zum Beispiel an den Vorverstärker 74 (Fig. 4), werden die beiden Spulen 622 und 624 vorzugsweise in Reihe geschaltet und nicht parallel.

Bei einer Variante des in Fig. 10 veranschaulichten Treibers ist der gesamte U-förmige Kanal permanent magnetisiert. Bei einer weiteren Variante wird auf den Dauermagneten 610 verzichtet, und jedes der ferromagnetischen Elemente 602 und 604 ist permanent magnetisiert. Die Magnetisierung dieser beiden separaten Elemente sollte so sein, daß die gleichen Flußrichtungen gemäß der vorstehenden Beschreibung erzeugt werden, d. h. von der Fläche 608 der Oberseite des Elementes 604 nach oben und nach unten in die Fläche 606 der Oberseite des Elementes 602. Somit würde der Nordpol des Elementes 604 entlang der Fläche der Oberseite liegen, während der Südpol des Elementes 602 entlang der Fläche der Oberseite liegen würde. Die Flußrichtung in den beiden Elementen könnte auch umgekehrt werden.

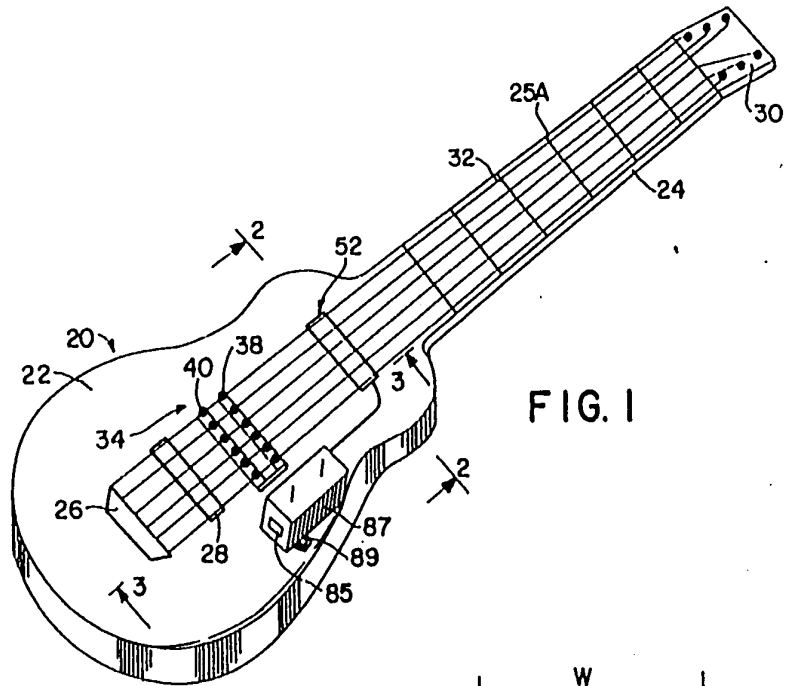


FIG. 1

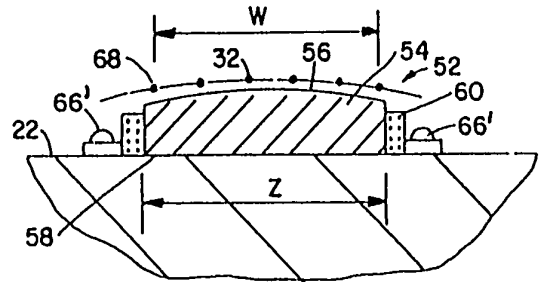


FIG. 2

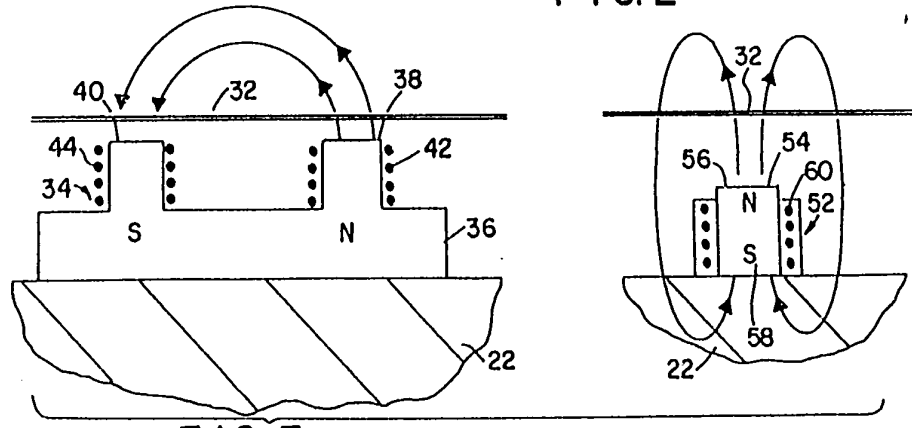


FIG. 3

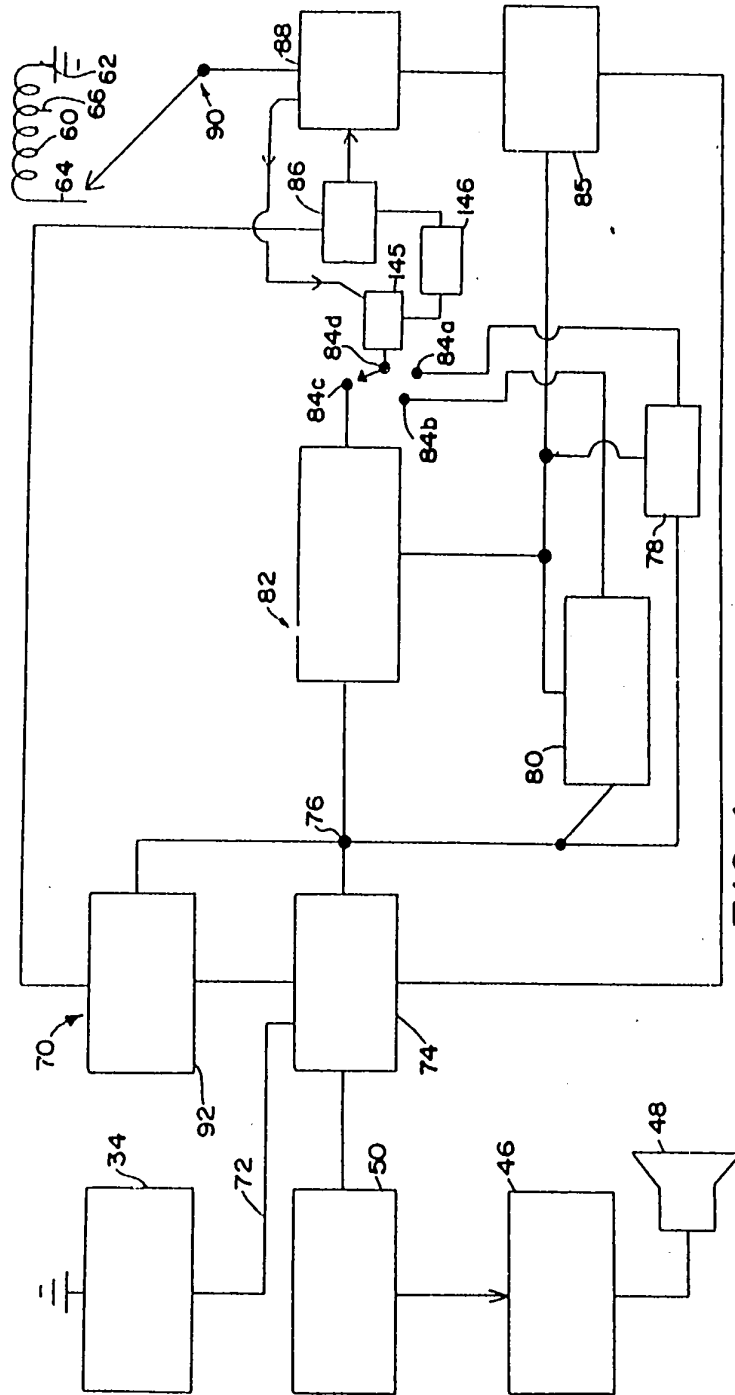


FIG. 4

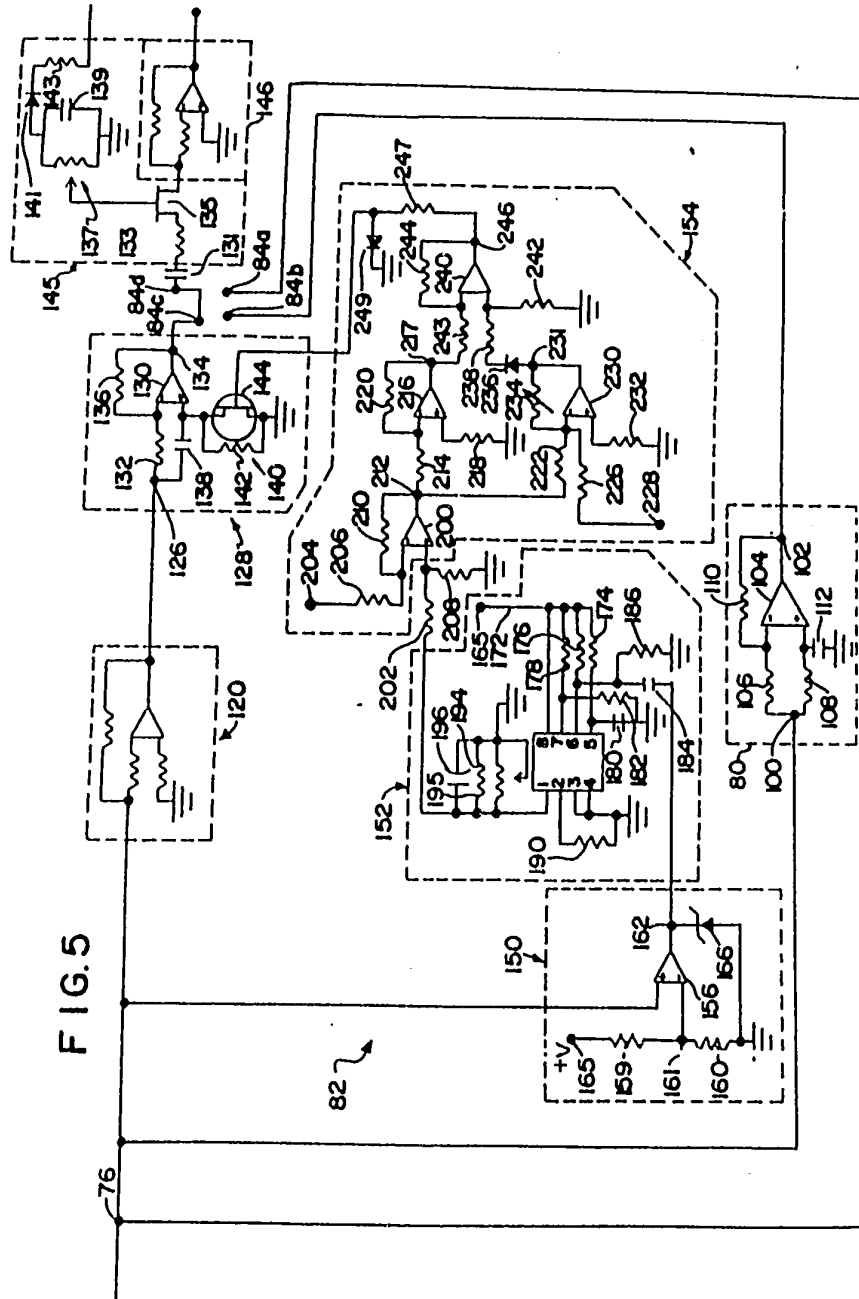
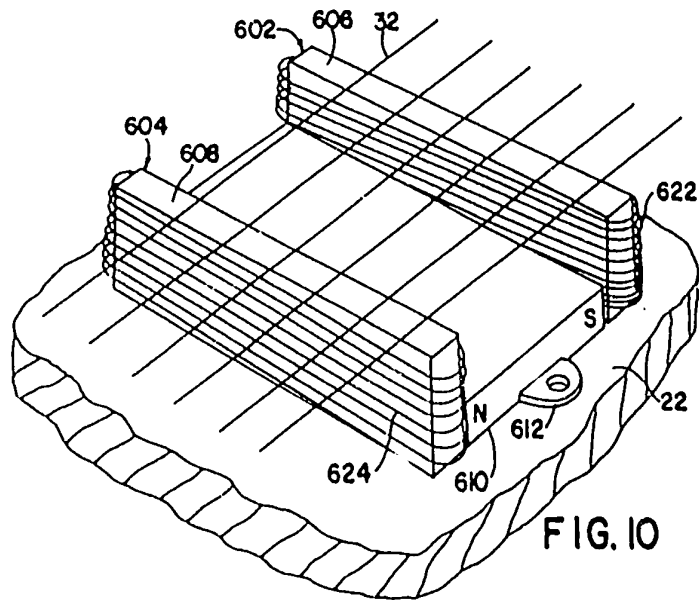
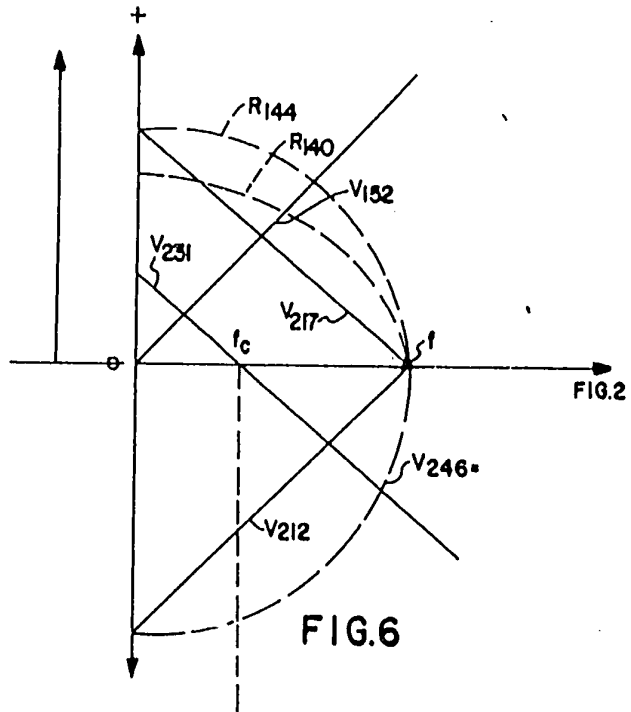


FIG. 5



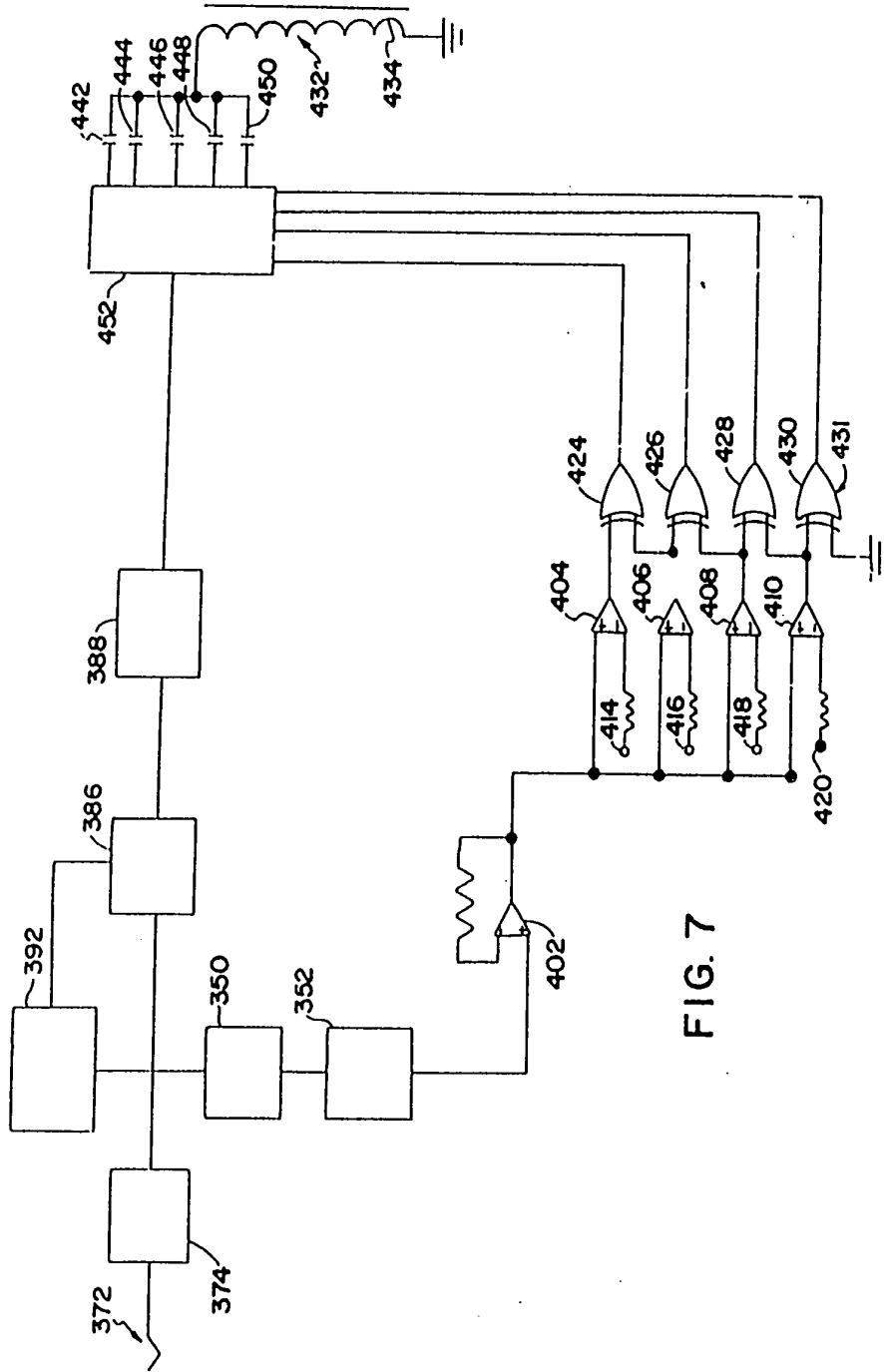


FIG. 7

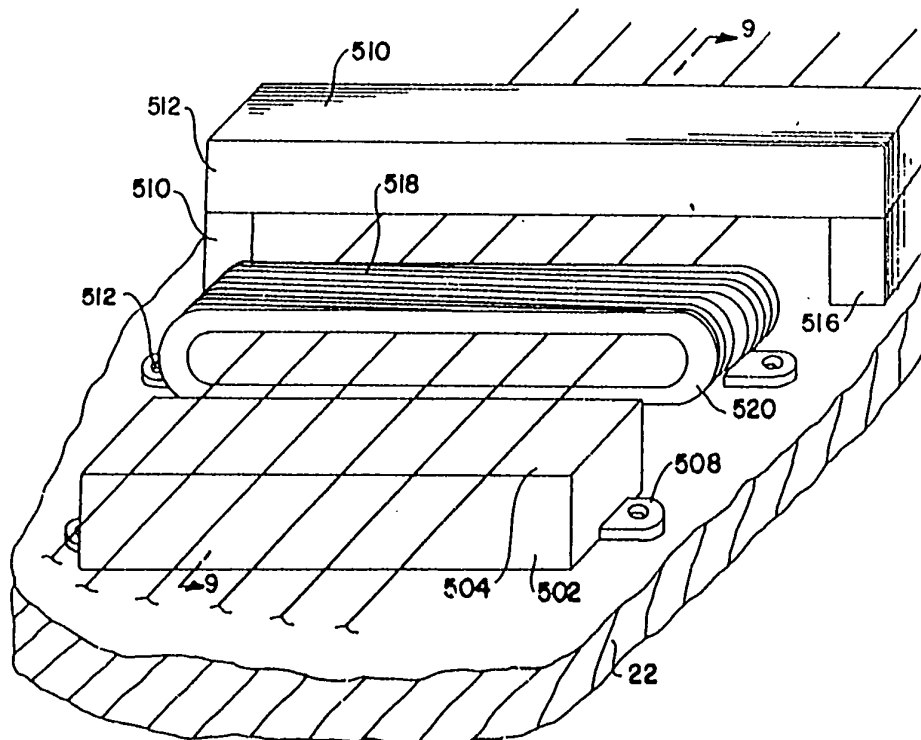


FIG. 8

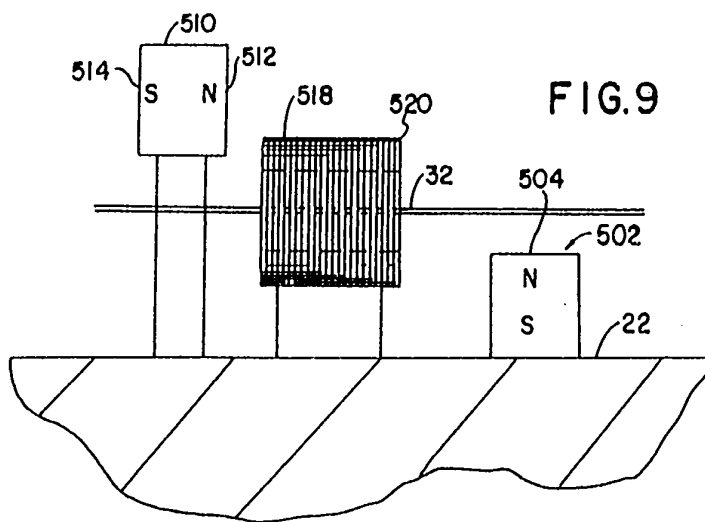


FIG. 9