

(19)



Republik
Österreich
Patentamt

(11) Nummer:

AT 405 353 B

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 134/96

(51) Int.Cl.⁶ : H03F 3/217

(22) Anmeldetag: 25. 1.1996

(42) Beginn der Patentdauer: 15.11.1998

(45) Ausgabetag: 26. 7.1999

(56) Entgegenhaltungen:

ELEKTRONIK, HEFT 23, 11. 11. 1988, SEITEN 112-116

(73) Patentinhaber:

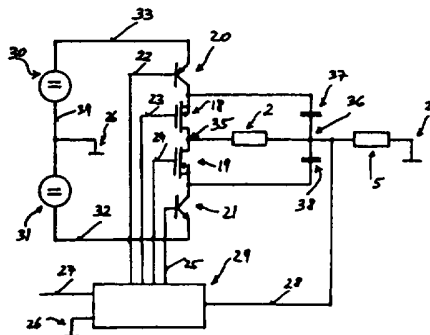
ERHARTT LUTZ DIPL.ING.
A-1170 WIEN (AT).

(72) Erfinder:

EDELMOSER KARL
WIEN (AT).
ERHARTT LUTZ
WIEN (AT).
HIMMELSTOSS FELIX
WR. NEUDORF, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) AKTIVES FILTER FÜR DIGITALE SPANNUNGSFORMEN

(57) Die Erfindung beschreibt eine Vorrichtung zur Gewinnung der verstärkten Analogspannung an einer Last (5) aus der Ausgangsspannung der PWM-Endstufe eines D-Verstärkers. Der PWM-Endstufe (18, 19) wird ein einfaches Tiefpaßfilter, bestehend aus der Induktivität (2) und den Kondensatoren (37, 38) nachgeschaltet. Die Last (5) ist in Serie zum Tiefpaßfilter angeordnet und an das Bezugspotential (26) angeschlossen. Die Kondensatorspannungen weisen einen schaltfrequenten Rippelanteil auf, den das Eingangssignal nicht enthält. Daher ist zwischen der Versorgung (30, 31) mit dem Bezugspotential (26) und der Serienanordnung Endstufe (18, 19), Filter (2, 37, 38) und Last (5) weiters die aus den Regeltransistoren (20, 21) bestehende Kompensationsquelle angeordnet. Der in der Steuer- und Regeleinheit (29) befindliche Analogregler regelt die Transistoren (20, 21) aufgrund der Eingangsspannung auf Leitung (27) und der Ausgangsspannung auf Leitung (28) so, daß sie sowohl den verbleibenden Rippel der jeweiligen Kondensatorspannung (37, 38), als auch den eventuell vorhandenen Rippel auf der jeweiligen Versorgungsspannung (30, 31) aufnehmen. Die Spannung an der Last (5) entspricht dann der linear verstärkten Eingangsspannung.



AT 405 353 B

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Filterung der Ausgangsspannung eines D-Verstärkers, wie es im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 beschrieben ist.

Der Wirkungsgrad nicht schaltender Analogverstärker beträgt ca. 50%. Beim D-Verstärker wird eine am Eingang anliegende Analogspannung mit einer festen Frequenz, der Schaltfrequenz des D-Verstärkers, pulsweiten(PWM-) moduliert. Diese PWM-Spannung wird in der PWM-Endstufe des D-Verstärkers durch das abwechselnde Ein- und Ausschalten von zwei Transistoren in Halbbrückenschaltung mit einem hohen Wirkungsgrad von über 90% verstärkt. Das Spektrum der verstärkten PWM-Spannung weist jedoch naturgemäß einen hohen schaltfrequenten Anteil und hohe Oberschwingungsanteile auf, die nun entsprechend vollständig aus dieser wieder herausgefiltert werden müssen, um an der Last die Analogspannung verstärkt und möglichst unverzerrt zu erhalten. Passive Filter sind aus dem Stand der Technik bekannt. Die Phasendrehung eines Tiefpaßfilters und die komplexe Lautsprecherlast setzen der für niedrige Verzerrungen wünschenswerten kräftigen Gegenkopplung durch Instabilitäten sehr schnell enge Grenzen. Die kräftige Gegenkopplung ist schon deshalb erforderlich, da alle Änderungen der Versorgungsspannung direkt als Amplitudenmodulation an die Last weitergegeben werden, was sich in einer unzureichenden Supply Voltage Rejection (SVR) äußert. Akzeptable Ergebnisse sind nur mit einem äußerst komplexen, schwierig zu beherrschenden und notwendigerweise mehrstufigen Filter und/oder Gegenkopplungsnetzwerk und einer entsprechend hohen Schaltfrequenz zu erzielen. Die erforderliche Schaltfrequenz von weit über 100 kHz und die damit verbundenen schnellen Kommutierungsvorgänge in der Endstufe erschweren die Einhaltung der seit dem 2. Jänner 1996 für alle im EWR-Raum in Umlauf gebrachten Produkte verbindlichen Normen, insbesondere der EN 50081 bezüglich der Störemissionen von elektromagnetischen Feldern.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung mit hohem Wirkungsgrad und hoher SVR zur qualitativ besseren, lastunabhängigeren und unproblematischeren Filterung der verstärkten PWM-Spannung zu schaffen, wobei die Schaltfrequenz der Endstufe unter 100 kHz betragen kann.

Diese Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale im Kennzeichenteil des Patentanspruchs 1 gelöst. Wie in den Prinzipschaltbildern in Fig. 1a und Fig. 1b dargestellt, wird die Ausgangsspannung 1 der PWM-Endstufe durch ein einstufiges, passives Filter 2 oder 2 und 3 und der verbleibende Rippel von einem aktiven, mit A-Verstärkertechnik realisierten Filter gefiltert. Bei einfacher Dimensionierung der Impedanzen 2 und 3 kann das aktive Filter für eine gegenüber der Ausgangsleistung vergleichsweise kleine Leistung ausgelegt werden. Der hohe Wirkungsgrad des D-Verstärkers kann somit der hohen Qualität der Ausgangsspannung eines A-Verstärkers verbunden werden. Die Ausgangsimpedanz der Filter 7 und 8 ist gegenüber der Lastimpedanz vernachlässigbar gering und nahezu frequenzunabhängig. Änderungen der Amplitude der PWM-Spannungsquelle 1 werden aufgrund der geregelten Einrichtungen 4 und 6 nicht an die Last 5 weitergegeben. Die Phasendrehung des einstufigen Filters 2 oder 2 und 3 kann bei der Regelung der aktiven Einrichtungen 4 und 6 durch ein Totzeitglied berücksichtigt werden, wodurch der Wirkungsgrad verbessert wird [1]. Vorteilhaft bei dieser Lösung sind die hohe Qualität der Spannung an der Last, die der eines A-Verstärkers entspricht, der hohe Wirkungsgrad, der in etwa dem des D-Verstärkers entspricht, der geringe Filter- und Regelaufwand und die hohe SVR gegenüber der konventionellen PWM-Endstufenlösung [2]. Die Realisierung der Analogspannungsquelle 4 des Filters 7 in Fig. 1b gestaltet sich in der Schaltung nach Fig.3 besonders einfach.

Beim Vorgehen nach Patentanspruch 2 gestaltet sich der passive Tiefpaßfilter 2,3 in Fig. 1b besonders einfach. Vorteilhaft ist weiters, daß ein Anschluß der Last mit festem Potential, z.B. Erdpotential, verbunden ist. Auch die Steuerung der Regeltransistoren 20 und 21, mit denen die Einrichtung 4 realisiert ist, erfolgt einfach und billig, da die Emitter jeweils mit den festen Potentialen der Energieversorgung verbunden sind.

Eine kostengünstige und betriebssichere Lösung mit hoher Lebensdauer kann auch durch die Ausgestaltung nach dem Patentanspruch 3 erreicht werden.

Die Erfindung wird im nachfolgenden anhand dem in Fig. 1a und b dargestellten Ersatzschaltbildern, den in Fig.2 dargestellten Spannungen und Strömen und der in Fig.3 dargestellten Schaltung der Endstufe näher erläutert.

Es zeigen:

- 50 Fig.1 Ersatzschaltbilder;
- Fig.2 Spannungen und Ströme in den Ersatzschaltbildern Fig. 1a und b;
- Fig.3 Schaltung der Endstufe.

Fig.1a zeigt die PWM-Spannungsquelle 1, das aktive Filter bestehend aus Impedanz 2, vorzugsweise einer Induktivität und der Analogstromquelle 6. Zuzufolge der sich mit Schaltfrequenz sprunghaft ändernden Spannung 1 der PWM-Endstufe fließt durch die Filterimpedanz 2 ein Strom, der dem zu verstärkenden Analogsignal entspricht, jedoch noch einen schaltfrequenten Rippelanteil aufweist. Die Stromquelle 6 wird nun so gesteuert, daß sie diesen, in Relation zum Laststrom kleinen Rippelstrom übernimmt, sodaß der Laststrom und damit die Lastspannung nahezu keinen schaltfrequenten Anteil mehr aufweisen. Aufgrund der

geringen Amplitude des Ripplestromes ist das Produkt aus Lastspannung und Ripplestrom, also die in der Quelle 6 anfallende Verlustleistung, gering.

In Fig.1b fließt der gegenüber dem Strom durch die Filterimpedanz 2 kleine Rippleanteil aufgrund der entsprechend gesteuerten Analogspannungsquelle 4 durch die Filterimpedanz 3, vorzugsweise einem Kondensator. Die Spannungsquelle 4 muß dabei lediglich die gegenüber der Lastspannung kleine Ripplespannung an der Impedanz 3 aufnehmen. Das Produkt aus Ripplespannung und Laststrom, also die in der Quelle 4 anfallende Verlustleistung, ist wieder gering.

Die Diagramme 12 und 39 in Fig.2 beziehen sich auf Fig.1a. Diagramm 12 zeigt den zeitlichen Verlauf der PWM-Spannung 13 und der innerhalb einer Periode der Schaltfrequenz annähernd konstanten Lastspannung 14, die dem Mittelwert der digitalen Spannung entspricht. Die Spannung an der Filterimpedanz 2 ergibt sich aus der Differenz der Spannungen 13 und 14. Im stationären Fall ändert sich der Mittelwert des Stromes durch die Impedanz 2 nicht, die schraffierten Spannungszeitflächen oberhalb und unterhalb der Spannung 14 müssen daher, handelt es sich bei der Impedanz 2 z.B. um eine Induktivität, gleich groß sein. Im Diagramm 39 weist der Strom 9 durch die Impedanz 2 daher einen schaltfrequenten Rippleanteil auf. Dieser Ripplestrom 11 fließt durch die gesteuerte Stromquelle 6, sodaß der Laststrom 10 und damit die Lastspannung 14 nahezu keinen schaltfrequenten Anteil mehr aufweisen.

Diagramm 17 bezieht sich auf das in Fig.1b dargestellte Filter. Es zeigt die PWM-Spannung 13, die Lastspannung 14, die Spannung 15 an der Impedanz 3 sowie den in diesem Fall einzustellenden Verlauf der Spannung 16 an der Quelle 4. Dieser ergibt sich aus der Differenz der Spannungen 14 und 15 und beträgt nur wenige Volt. Durch die Spannung 16 wird die Ripplespannung an der Filterimpedanz 3, die bevorzugt durch einen Kondensator gebildet wird, so geregelt, daß die Spannung an der Last 5 keinen schaltfrequenten Ripple mehr aufweist, weil der Rippleanteil des durch die Filterimpedanz 2 fließenden Stromes nun durch die Impedanz 3 und somit nicht durch die Last 5 fließt. Die Filterimpedanz 2 wird bevorzugt durch eine Induktivität realisiert.

Die in den Diagrammen 12, 17 und 39 gemachte Annahme des stationären Falles ist zulässig, wenn die Schaltfrequenz der PWM-Spannung wesentlich größer ist, als die Frequenz der Ausgangsspannung 14. Aufgrund der hohen Dynamik der analog arbeitenden Kompensationsquellen 4 und 6 kann die Schaltfrequenz auch so niedrig gewählt werden, daß sich Lastspannung 14 und Laststrom 10 innerhalb der dargestellten Schaltperiode T merklich ändern.

Fig.3 zeigt das Prinzipschaltbild eines erfindungsgemäßen D-Verstärkers. Die zwei im allgemeinen gleich großen und mit Leitung 34 in Serie geschalteten Gleichspannungsquellen 30 und 31 versorgen über die Leitungen 32 und 33 die Serienschaltung der vier Transistoren 18-21. Die Leitung 34 ist mit der Masse 26 verbunden. Die Transistoren 18 und 19 sind zur Halbbrücke 18/19 mit Mittelpunkt 35 in Serie geschaltet. Die Halbbrücke 18/19 ist über den Transistor 20 mit der positiven Versorgungsleitung 33 und über den Transistor 21 mit der negativen Versorgungsleitung 32 verbunden. Am Verbindungspunkt der Transistoren 18 und 20 ist der Filterkondensator 37, am Verbindungspunkt der Transistoren 19 und 21 ist der Filterkondensator 38 angeschlossen. Die anderen Anschlüsse der Kondensatoren 37,38 sind mit dem Mittelpunkt 36 verbunden. Die Filterinduktivität 2 ist an den Punkten 35 und 36 angeschlossen. Die Last 5 ist am Punkt 36 und an die Masse 26 angeschlossen. Die Transistoren 18 und 19 werden über die Leitungen 23 und 24, die Transistoren 20 und 21 über die Leitungen 22 und 25 von der Regeleinheit 29 angesteuert.

Der Steuerungsteil der Einheit 29 erhält über die Leitung 27 das leistungsschwache Analogsignal, wandelt dieses in ein PWM-Signal um und erzeugt die Ansteuersignale für die Schalttransistoren 18 und 19. Über die Leitung 28 erhält der Regelteil der Einheit 29 die verstärkte, analoge Ausgangsspannung bzw. die Spannung an der Last 5, schwächt diese ab und regelt nun die Transistoren 20 und 21 so, daß die abgeschwächte Ausgangsspannung und somit die Ausgangsspannung auf der Leitung 28 der Eingangsspannung folgt und insbesondere keinen schaltfrequenten Anteil mehr aufweist. Eine Welligkeit in den Versorgungsspannungen 30, 31 wird automatisch ausgeglichen und gelangt nicht an die Last.

Relevante Literatur:

- [1] K.H. Edelmoser und F.A. Himmelstoss: High Dynamic Class-D Power Amplifier. IEEE International Conference on Consumer Electronics, Chicago, 11.-13. Juni 1997, S 302-303.
 [2] H. Sax: Schalten statt Heizen. Elektronik Nr. 23, S 112 ff., Nov. 1988.

Bezugszeichenaufstellung

55

- 1 Digitale Spannungsquelle
- 2 Filterimpedanz, Filterinduktivität
- 3 Filterimpedanz, Filterkondensator

AT 405 353 B

	4	Steuerbare Spannungsquelle
	5	Last
	6	Steuerbare Stromquelle
	7	Aktives Filter
5	8	Aktives Filter
	9	Strom durch die Impedanz 2
	10	Laststrom
	11	Strom durch die Impedanz 3
	12	Diagramm der Spannungen in Fig.1a
10	13	Digitale Spannung
	14	Spannung an der Last
	15	Spannung an der Impedanz 3
	16	Rippelspannung
	17	Diagramm der Spannungen und Ströme in Fig. 1b
15	18	Schalttransistor
	19	Schalttransistor
	20	Regeltransistor
	21	Regeltransistor
	22	Verbindungsleitung
20	23	Verbindungsleitung
	24	Verbindungsleitung
	25	Verbindungsleitung
	26	Masse, Massepunkt, Mittelpunkt
	27	Übertragungsleitung
25	28	Übertragungsleitung
	29	Steuer- und Regeleinrichtung
	30	Stromversorgung
	31	Stromversorgung
	32	Versorgungsleitung
30	33	Versorgungsleitung
	34	Verbindungsleitung
	35	Brückenmittelpunkt
	36	Kapazitiver Mittelpunkt
	37	Filterimpedanz, Filterkondensator
35	38	Filterimpedanz, Filterkondensator
	39	Diagramm der Ströme in Fig.1a

Patentansprüche

- 40 1. Vorrichtung zur Filterung der pulsweitenmodulierten Ausgangsspannung einer D-Verstärkerendstufe bestehend aus der Spannungsversorgung, zwei in Serie geschalteten Schalttransistoren und einem an deren Verbindungspunkt angeschlossen Tiefpaßfilter und einer daran angeschlossenen Last, gekennzeichnet dadurch, daß an den Enden der beiden Schalttransistoren (18,19) jeweils ein Regeltransistor (20,21), in Serie geschaltet, angeordnet ist, daß einer Steuer- und Regeleinheit (29) das analoge
45 Eingangssignal (27) und das von der Last (5) und dem Tiefpaßfilter (2, 37, 38) herrührende Ausgangssignal (28) zugeführt wird, daß die Steuer- und Regeleinheit(29) einerseits die beiden Schalttransistoren (18, 19) und andererseits die beiden Regeltransistoren (20, 21) ansteuert und daß die Regelung der beiden Regeltransistoren (20, 21) derart erfolgt, sodaß nur mehr das verstärkte Eingangssignal an der Last (5) anliegt, hingegen aber an den Regeltransistoren (20,21) sowohl die Rippelspannung als auch
50 die Schwankungen in den Versorgungsspannungen (30, 31) abfallen.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Regeltransistoren (20, 21) jeweils zwischen den Versorgungsspannungen (30, 31) und den Schalttransistoren (18, 19) angeordnet sind und das Tiefpaßfilter aus einer Induktivität (2) und zwei Kondensatoren (37, 38) besteht, wobei die
55 Induktivität (2) zwischen dem Verbindungspunkt (35) der beiden Schalttransistoren (18, 19) und der Last (5) geschaltet ist und daß die beiden Kapazitäten (37, 38) jeweils mit einem Ende an der Verbindungsstelle zwischen Schalt- und Regeltransistor (18, 19, 20, 21) und dem anderen Ende an der Verbindung zwischen Induktivität (2) und der Last (5) liegen und der zweite Anschluß der Last (5)

AT 405 353 B

gegen das zwischen den Versorgungsspannungen (30, 31) liegende Bezugspotential (26) geschaltet ist.

- 5 3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schalttransistoren (18, 19) und/oder die Regeltransistoren (20, 21) durch Bipolartransistoren, Feldeffekttransistoren oder andere Leistungshalbleiter gebildet sind.

Hiezu 3 Blatt Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

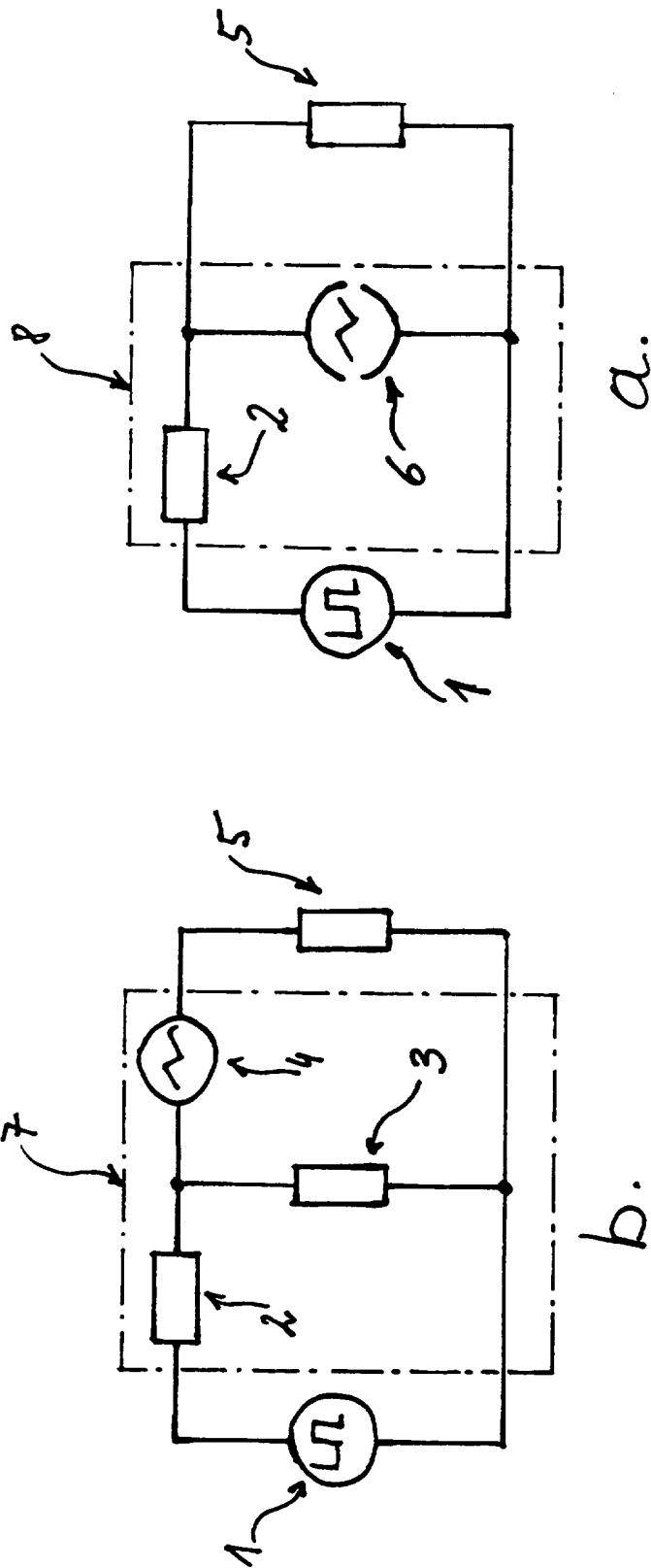


FIG.1

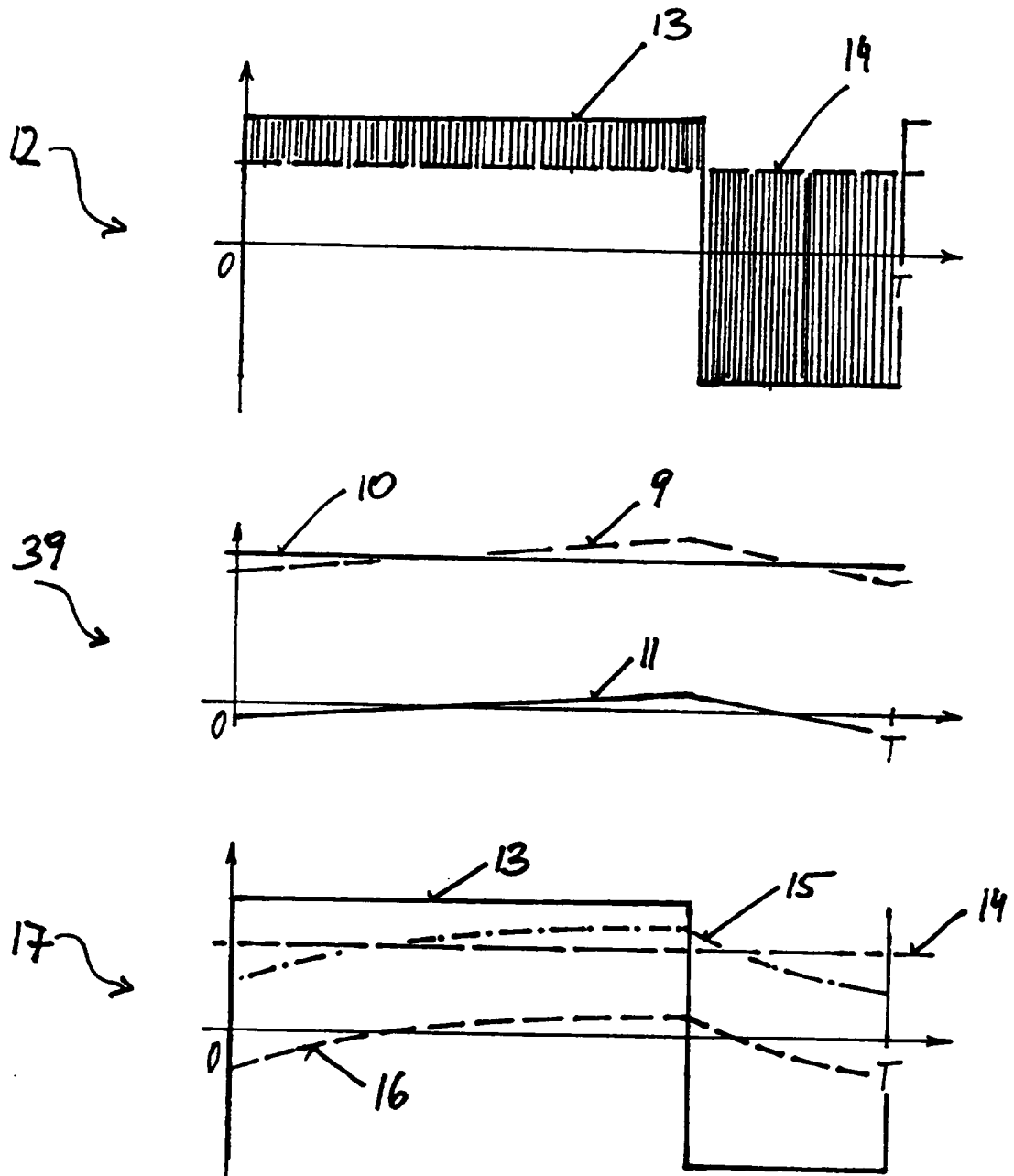


FIG. 2

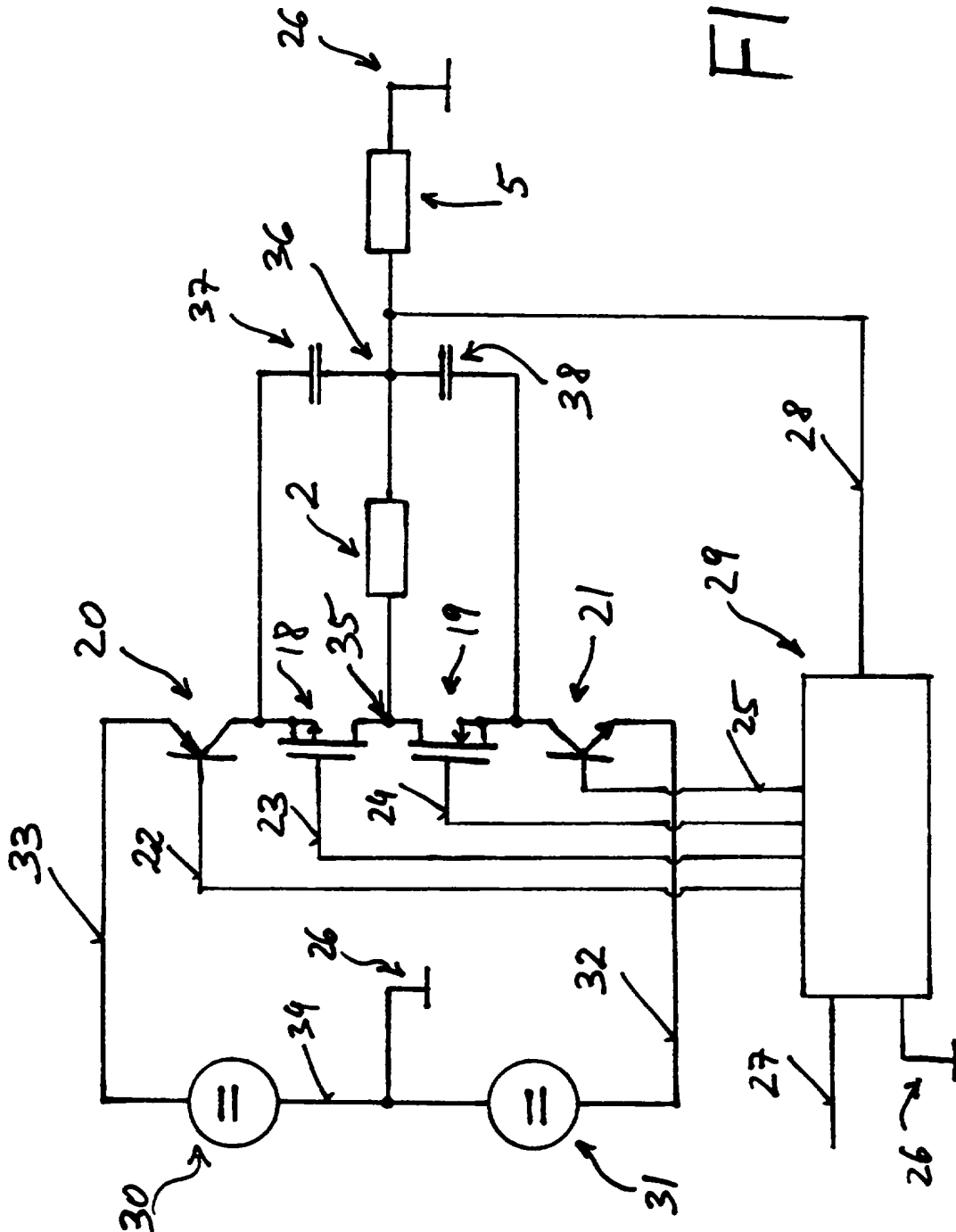


FIG. 3