



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

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑲ Gesuchsnummer: 9173/80

⑦ Inhaber:
Patelhold Patentverwertungs- und
Elektro-Holding AG, Glarus

⑳ Anmeldungsdatum: 12.12.1980

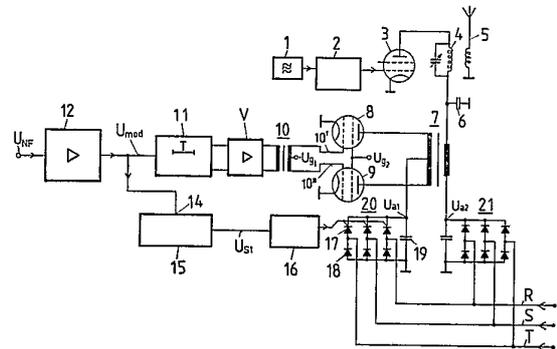
㉔ Patent erteilt: 15.03.1988

④ Patentschrift
veröffentlicht: 15.03.1988

⑦ Erfinder:
Kyrian, Bohumil, Windisch

⑤ Verfahren und Verstärkerschaltung zum Verstärken elektrischer Signale, insbesondere NF-Modulationssignale eines Rundfunksenders.

⑤ Zur Verbesserung des Wirkungsgrades von Verstärkern, insbesondere von Modulationsverstärkern hoher Leistung (8, 9), die z.B. in Rundfunksendern zur Amplitudenmodulation der HF-Endstufe zur Anwendung kommen, werden diese Verstärker mit gleitender Anodenspannung (U_{a1}) betrieben. Von dem zu verstärkenden Modulationssignal (U_{mod}) wird in einer Steuerstufe (15) ein Steuersignal (U_{st}) abgeleitet, das der Amplitude der Einhüllenden dieses Modulationssignals zugeordnet ist und zur Steuerung der Ausgangsspannung (U_{a1}) eines Modulator-Gleichrichters (20) benutzt wird. Das Steuersignal wird dem Modulationssignal innerhalb vorgegebener Zeitintervalle nachgeführt.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Verstärken elektrischer Signale, insbesondere von NF-Modulationssignalen eines Rundfunksenders, bei welchem das zu verstärkende Signal dem Steuereingang einer Verstärkerstufe (8, 9) zugeführt wird, von dem zu verstärkenden Signal (U_{mod}) ein der Einhüllenden dieses Signals entsprechendes Steuersignal (U_{St}) abgeleitet wird und in Abhängigkeit von diesem Steuersignal die Anodengleitspannung (U_{a1}) dieser Verstärkerstufe gesteuert wird, dadurch gekennzeichnet, dass dieses Steuersignal der Amplitude der Einhüllenden des zu verstärkenden Signals in mindestens einer Änderungsrichtung innerhalb eines vorgebbaren Zeitintervalls (t_{A} , t_{B}) nachgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuersignal (U_{St}) einem Anstieg der Amplitude der Einhüllenden des zu verstärkenden Signals (U_{mod}) innerhalb von 10 ms und einem Abfall innerhalb von 3 s nachgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Anodengleitspannung (U_{a1}) der Verstärkerstufe (8, 9) bis zu einem vorgebbaren Spannungswert, der einem vorgebbaren Modulationsgrad (m_0) im Bereich von 0,3 - 0,5 entspricht, konstant gehalten und für grössere Modulationsgrade proportional zu diesem Modulationsgrad bzw. zu diesem Steuersignal (U_{St}) verändert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das zu verstärkende Signal (U_{mod}) dem Steuereingang der Verstärkerstufe (8, 9) verzögert zugeführt wird, wobei diese Verzögerung der Verzögerung der Verstärkerstufe bezüglich der zeitlichen Änderung der Amplitude des zu verstärkenden Signals wenigstens annähernd gleich ist.

5. Verstärkerschaltung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, mit mindestens einer Verstärkerstufe (8, 9) mit gleitender Anodenspannung (U_{a1}), einem steuerbaren Gleichrichter (20) zur Erzeugung dieser gleitenden Anodenspannung, und einer Steuerstufe (15) zur Steuerung dieses Gleichrichters in Abhängigkeit von der Einhüllenden der zu verstärkenden elektrischen Signale (U_{mod}), dadurch gekennzeichnet, dass ein Modulationstransformator (7) zur Übertragung bzw. Auskopplung der in dieser Verstärkerstufe verstärkten elektrischen Signale vorgesehen ist, wobei ein Gleitspannungsausgang dieses Gleichrichters mit der Primärseite dieses Modulationstransformators in Verbindung steht und die Steuerstufe (15) mindestens ein Zeitglied (26) für mindestens eine vorgebbare Nachführzeit des Ausgangssignals (U_{St}) dieser Steuerstufe gegenüber dessen Eingangsmodul (U_{mod}) aufweist.

6. Verstärkerschaltung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerstufe (15) ein Zeitglied (26) mit einem Einstellglied (27) für eine vorgebbare maximale Anstiegszeit (t_{A}) und ein Einstellglied (28) für eine vorgebbare Abfallzeit (t_{B}) des Ausgangssignals (U_{St}) dieser Steuerstufe aufweist, wobei die Anstiegszeit (t_{A}) des Ausgangssignals der Steuerstufe (15) ≤ 10 ms und die Abfallzeit (t_{B}) des Ausgangssignals der Steuerstufe (15) ≤ 3 s ist.

7. Verstärkerschaltung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Anodenspannung (U_{a1}) der Verstärkerstufe für Modulationsgrade m der Verstärkung von 0 bis zu einem vorgebbaren Wert (m_0) im Bereich von 0,3 bis 0,6 konstant gehalten ist und für grössere Modulationsgrade im wesentlichen proportional zu diesen bis zur maximalen Spannung des steuerbaren Gleichrichters bzw. der Anodenspannung einstellbar ist.

8. Verstärkerschaltung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstärkerstufe (8, 9) einen Gegentakt-B-Modulationsverstärker aufweist und dass die Anoden der Modulationsverstärker mit der Primärwicklung des Modulationstransformators (7) und der Ausgang (U_{a1}) des steuerbaren Gleichrichters (20) mit einer Anzapfung dieses Modula-

tionstransformators, insbesondere mit dessen Mittelanzapfung in Verbindung steht.

9. Verstärkerschaltung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Verstärkerstufe (8, 9) ein Verzögerungsglied (11) zur zeitlichen Verzögerung der zu verstärkenden elektrischen Signale vorgeschaltet ist und dass die Verzögerungszeit dieses Verzögerungsgliedes der Verzögerung der Verstärkerstufe bezüglich der zeitlichen Änderung der Amplitude dieser zu verstärkenden Signale wenigstens annähernd gleich ist.

BESCHREIBUNG

Bei der Erfindung wird ausgegangen von einem Verfahren zum Verstärken elektrischer Signale und einer Verstärkerschaltung nach dem Oberbegriff der Ansprüche 1 und 5.

Bei einem Verstärker, insbesondere bei einem Modulationsverstärker für hohe Ausgangsleistung soll die zugeführte Gleichstromleistung mit möglichst hohem Wirkungsgrad in Ausgangsleistung umgeformt werden. Für sehr hohe Ausgangsleistungen werden fast ausnahmslos Gegentaktverstärker im sogenannten B- oder C-Betrieb verwendet. Der Wirkungsgrad beträgt theoretisch 78,5% für B-Betrieb. Bei B-Klasse-NF-Verstärkern werden praktisch Wirkungsgrade um 70% erreicht. Die Restspannung und der Ruhestrom in den Endstufen bringen die zusätzlichen Verluste.

Sinkt der Modulationsgrad m einer amplitudenmodulierten hochfrequenten Schwingung unter 1, was beim Modulieren mit Musik und Sprache der Fall ist, so liegt der erreichbare Wirkungsgrad noch wesentlich tiefer. Bei tiefen Modulationsgraden bis ca. $m = 0,4$, welche bei Rundfunkprogramm-Modulation im Mittel erreicht werden, sind die Verluste gegenüber der abgegebenen Leistung relativ hoch; der Wirkungsgrad eines Modulators mit einem B-Klasse-Verstärker liegt dann bei etwa 27%.

Da die abgegebene NF-Leistung P_{mod} eines Modulationsverstärkers dem Quadrat des Modulationsgrades proportional ist, $P_{\text{mod}} = P_{\text{T}} m^2/2$, P_{T} = Leistung des Trägers, werden bei mittleren Modulationsgraden die Verluste bemerkbar, und der Gesamtwirkungsgrad eines Senders sinkt rapid im Bereich von $m = 0$ bis $m = 0,6$.

Zum Beispiel durch Eugen Philippow, Taschenbuch Elektrotechnik Bd. 3, VEB Verlag Technik Berlin 1978, S. 721, ist ein für Grosssender verwendbarer Anoden-B-Modulator bekannt, bei dem die Modulationsspannung der Anodengleichspannung für die Leistungs-Endstufe überlagert wird. Die Amplitude der am Antennenausgang verfügbaren Ausgangsspannung ist dann der Anodenspannung nahezu proportional. Die Modulationsspannung wird von einem Modulationsverstärker im Gegentakt-B-Betrieb über einen Modulationstransformator zur Verfügung gestellt. Dabei liegen die Mittelanzapfung der Primärwicklung sowie ein Ende der Sekundärwicklung dieses Modulationstransformators auf einem konstanten Anodenpotential. Ein Nachteil dieses Anoden-B-Modulators besteht darin, dass bei niedrigem Modulationsgrad hohe Verluste auftreten, da dem Modulationsverstärker stets die volle Anodenspannung zugeführt ist.

Durch die DE-OS 2 342 714 ist eine Gitter-Modulationschaltung für Funksender bekannt, bei welcher die Anodenspannung der Endstufe eines Funksenders synchron mit der Änderung der mittleren Leistung eines Modulationssignals geändert wird. Von einem Modulator, der über eine Treiberstufe mit dieser Endstufe in Steuerungsverbindung steht, wird gleichzeitig ein Steuersignal für einen steuerbaren Gleichrichter abgeleitet, an dessen Ausgang die gleitende Anodenspannung verfügbar ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, den Wirkungsgrad von Verstärkern für elektrische NF-Signale zu verbessern. Die Aufgabe

wird in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs gemäss dem kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1 und 5 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass beim Betreiben eines NF-Verstärkers Energie gespart werden kann. Diese Einsparung gewinnt insbesondere für Hochleistungsverstärker im Dauerbetrieb an Bedeutung. Der Aufwand für diese Einsparung ist vergleichsweise gering, da bei der Realisierung des Erfindungsgegenstandes auf herkömmliche Schaltungsmittel zurückgegriffen werden kann.

Mit einer kontinuierlichen Anpassung der Anodenspannung an die momentane Amplitude der Modulationsspannung kann der Wirkungsgrad des Verstärkers bzw. Modulators derart erhöht werden, dass man bei Rundfunk-Programmmodulation eines AM-Senders einen Gesamtwirkungsgrad erreicht, welcher dem eines pulsdauermodulierten (PDM-) Senders überlegen ist.

Gemäss besonderen Ausgestaltungen der Erfindung können dynamische Verzerrungen bei einer abrupten Änderung der Amplitude des Eingangssignals klein gehalten werden, indem die gleitende Anodenspannung des Verstärkers einem Anstieg dieser Amplitude des Eingangssignals schnell und einem Abfall langsam nachgeführt wird. In dem in der Praxis des Betriebs von Rundfunksendern überwiegend verwendeten Bereich von Modulationsgraden bis etwa $m = 0,5$ können dynamische Verzerrungen ganz vermieden werden, indem die Anodenspannung bis zu einem Anfangswert, der diesem vorgebbaren Modulationsgrad entspricht, konstant gehalten und erst für höhere Werte des Modulationsgrades gleitend die Amplitude des Modulationssignals nachgeführt wird. Der Gesamtwirkungsgrad eines Senders kann somit bis etwa 50% Modulationstiefe auf sehr hohen Werten gehalten werden, er beginnt erst über diesem Modulationsgrad stärker abzufallen. Im Bereich der Anodengleitenspannung können dynamische Verzerrungen durch Verwendung eines Verzögerungsgliedes in der Zuleitung des Modulationssignals zum Steuereingang des Verstärkers eliminiert werden.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 einen Anoden-B-Modulator mit gleitender Anodenspannung des Modulators,

Fig. 2 ein Blockschaltbild des Gleitspannungs-Steuengerätes 15 von Fig. 1,

Fig. 3 den Verlauf der Anodenspannung U_{a1} eines Modulators gemäss Fig. 1 in Abhängigkeit vom Modulationsgrad m ,

Fig. 4 ein rechteckiges Burst-Signal U_{mod} am Eingang des Gleitspannungs-Steuengerätes 15 von Fig. 1,

Fig. 5 ein Impulsantwortsignal U_{St} auf das Rechtecksignal gemäss Fig. 4 am Ausgang des Gleitspannungssteuengerätes 15 von Fig. 1 und

Fig. 6 Gesamtwirkungsgrade η von Sendern in Abhängigkeit vom Modulationsgrad m für unterschiedliche Sendeleistungen und unterschiedliche Anodenspannungen des Modulationsverstärkers.

In Fig. 1 ist ein Amplitudenmodulator mit gleitender Anodenspannung gezeigt, der ausgangsseitig über einen Modulationstransformator 7 die Anodenspannung der HF-Endstufe eines Rundfunksenders moduliert. Diese HF-Endstufe weist eine als Leistungs- oder Endverstärker verwendete Tetrode 3 auf, die von einem Oszillator 1 über eine HF-Treiberstufe 2 gesteuert ist. Die Anode dieser Tetrode 3 ist über einen HF-Schwingkreis 4, der die Sendeleistung auf eine Antenne 5 überträgt, und über die Sekundärwicklung eines Modulationstransformators 7 mit einer Konstantspannungsquelle bzw. einem Hauptgleichrichter 21 verbunden, an dessen Ausgang die Spannung U_{a2} anliegt. Zwischen dem Ausgang des HF-Schwingkreises 4 zur

Sekundärwicklung des Modulationstransformators 7 und Erde bzw. Masse ist ein Siebkondensator 6 geschaltet, der eine Übertragung der trägerfrequenten Schwingung von der HF-Endstufe auf den Amplitudenmodulator verhindern soll.

Der Amplitudenmodulator bzw. die zur Modulation der Anodenspannung der HF-Endstufe eines Senders verwendete Modulatorstufe weist im Gegentakt geschaltete Klasse-B-Verstärker bzw. Tetroden 8 und 9 auf, an deren Schirmgittern eine Spannung U_{g2} anliegt und deren Steuergitter mit den Ausgängen 10' und 10'' der Sekundärwicklung eines NF-Treibertransformators 10 verbunden sind. An der Mittelanzapfung der Sekundärwicklung dieses NF-Treibertransformators liegt die konstante Spannung $-U_{g1}$ an. Die Primärwicklung dieses NF-Treibertransformators ist über einen Verstärker V mit dem Ausgang eines Verzögerungsgliedes 11 verbunden, das ein diesem eingangsseitig zugeführtes Modulationssignal U_{mod} um eine vorgebbare Zeitdauer T verzögert. Dieses Modulationssignal ist ein bereits in einem NF-Vorverstärker 12 verstärktes niederfrequentes Signal U_{NF} , das dem Eingang dieses Vorverstärkers zugeführt ist.

Das Modulationssignal U_{mod} ist dem Eingang 14 eines Gleitspannungssteuergerätes bzw. einer Steuerstufe 15 zugeführt, die ausgangsseitig ein Steuersignal U_{St} an eine Thyristorsteuerungsrichtung 16 liefert. In der Steuerstufe 15 wird der Betrag der einhüllenden der in der Modulatorstufe zu verstärkenden elektrischen Signale gebildet.

Das Ausgangssignal der Thyristorsteuerungseinrichtung 16 ist dem Steuereingang von Thyristoren 17 zugeführt, die mit Dioden 18 in einer Drehstrombrückenschaltung angeordnet sind und den Modulator-Gleichrichter 20 bilden. Von dessen Ausgang ist die Verstärkerspannung bzw. Anodengleitenspannung U_{a1} für die Anoden der beiden Tetroden 8, 9 der Mittelanzapfung der Primärwicklung des Modulationstransformators 7 zugeführt. Ein parallel zur Gleichrichterstrecke geschalteter und einseitig geerdeter Kondensator 19 dient zur Glättung dieser Anodengleitenspannung. Die Drehspannung für Haupt- und Modulator-Gleichrichter kommt über die mit R, S und T bezeichneten Phasenleitungen von einem nicht gezeigten Anodentransformator.

Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild dieser Steuerstufe 15. Das dem Eingang 14 zugeführte Modulationssignal U_{mod} von z.B. 1 V Effektivspannung wird über ein Potentiometer 22 und einen Verstärker 23 einem Gleichrichter 24 mit einstellbarer Gleichrichtervorspannung im Bereich von 0,2 - 0,6 der Gleichrichternennspannung zugeführt und gleichgerichtet. Die Eingangsklemme 13 ist geerdet. Das gleichgerichtete Modulationssignal ist über ein übliches Zeitglied 26, einen Verstärker 29, einen üblichen Begrenzer 30, einen weiteren Verstärker 33 einem einseitig geerdeten Potentiometer 34 zugeführt, an dessen Abgriff das Steuersignal U_{St} anliegt. Mit dem Zeitglied 26 ist ein Potentiometer 27 mit geerdetem Abgriff zur Einstellung einer vorgebbaren Anstiegszeit t_A von z.B. 1 ms und ein Potentiometer 28, ebenfalls mit geerdetem Abgriff, zur Einstellung einer vorgebbaren Abfallzeit t_B im Bereich von 0,5 s - 10 s, insbesondere von ≤ 3 s eines Impulsantwortsignals bzw. eines Ausgangssignals dieses Zeitgliedes bezüglich dessen Eingangssignal verbunden, vergleiche Fig. 5.

Der Begrenzer 30 steht mit Potentiometern 31 und 32 in Verbindung. Das Potentiometer 31 dient zur Einstellung eines vorgebbaren Maximalwertes entsprechend einem Bereich von $m = 0,9 \div 1,1$ des ausgangsseitig an der Steuerstufe 15 anliegenden Steuersignals U_{St} und das Potentiometer 32 zur Einstellung eines Minimalwertes von U_{St} , entsprechend einem Bereich von $m = 0,2 \div 0,6$.

Das erfindungsgemässe Verfahren bzw. die Wirkung der Verstärkerschaltung sei nun anhand der Fig. 1 - 6 erläutert.

Das zu verstärkende Niederfrequenzsignal U_{NF} wird zunächst im NF-Vorverstärker 12 verstärkt und als Modulations-

signal U_{mod} über einen NF-Treiber, der ein Verzögerungsglied 11, einen Verstärker V und einen NF-Treibertransformator aufweist, den Steuergittern von im Gegentakt betriebenen Tetroden 8 und 9 zugeführt. Die Auskopplung des verstärkten Niederfrequenzsignals erfolgt über den Modulationstransformator 7, dessen Primärwicklung die Anodengleitspannung U_{a1} für die beiden Tetroden zugeführt ist und dessen Sekundärwicklung im Anodenkreis mit konstanter Anodenspannung U_{a2} der HF-Endstufe 3 eines Rundfunksenders liegt. Von dem Modulationssignal U_{mod} wird in der Steuerstufe 15 ein Steuersignal U_{St} abgeleitet, das der Amplitude der Einhüllenden des Modulationssignals entspricht, und zur Steuerung der Anodengleitspannung U_{a1} verwendet. Diese Anodengleitspannung kann somit proportional zum Modulationsgrad m vergrößert werden. Für Modulationsgrade $m \geq 1$ liegt die volle Nennspannung des Modulatorgleichrichters an der Primärwicklung des Modulationstransformators und für einen Modulationsgrad $m = 0$ die Anodengleitspannung 0, falls keine Minimalspannung vorgegeben wird, vgl. die strichpunktierte Fortsetzung des geraden Teils der ausgezogenen Kurve im Bereich kleiner Werte von m in Fig. 3. Damit können ohne Modulation keine Anodenverluste in dem NF-Modulator auftreten.

Die ausgezogen dargestellte Kurve in Fig. 3 zeigt den Verlauf der Anodengleitspannung U_{a1} am Ausgang des Modulator Gleichrichters 20 in Abhängigkeit vom Modulationsgrad m , welcher der Modulationsspannung U_{mod} bzw. der Steuerspannung U_{St} zugeordnet ist, gemäss einer bevorzugten Betriebsweise des NF-Modulators. Die Anodengleitspannung ist in Prozent der Anodennennspannung eingetragen. Bis zu einem mittels des Potentiometers 32, vgl. Fig. 2, vorgebbaren Anfangsmodulationsgrad m_0 von z.B. 0,3 wird dabei die Spannung am Ausgang des Modulator-Gleichrichters 20 konstant auf dem Wert der Anodenanfangsspannung U_{a0} von z.B. 30% der Anodennennspannung gehalten. Dies hat den Vorteil, dass im Modulationsbereich von 0 bis m_0 keine dynamischen Verzerrungen infolge einer verzögerten Nachführung der Anodenspannung U_{a1} bezüglich des Modulationssignals eintreten können. Die gepunkteten Linien parallel zur Abzisse in Fig. 3 deuten vorgebbare unterschiedliche Anoden-Anfangsspannungswerte U_{a0} an.

Die Fig. 4 und 5 zeigen das dynamische Verhalten der Steu-

erstufe 15. In Fig. 4 ist ein rechteckiges Burst-Signal U_{mod} am Eingang dieser Steuerstufe und in Fig. 5 ein Impulsantwortsignal auf dieses Rechtecksignal am Ausgang von 15 dargestellt. Das Impulsantwortsignal folgt einem Anstieg des Eingangssignals verzögert innerhalb der Anstiegszeit t_A und einem Abfall innerhalb der Abfallzeit t_B . Durch ein derartiges Zeitverhalten wird erreicht, dass nach Modulationspausen oder Perioden geringer Modulation bei abruptem Anstieg der Modulationsamplitude die Anodenspannung schnell nachgeführt und dynamische Verzerrungen niedrig gehalten werden. Dem abrupten Anstieg nachfolgende amplitudenstarke Modulationen werden praktisch verzerrungsfrei verstärkt, da die Steuerspannung U_{St} und damit auch die Anodengleitspannung U_{a1} eine gewisse Zeit lang auf hohem Potential bleiben und nur langsam abnehmen. Dabei wird eine gewisse niedrige Verlustleistung zugunsten eines vergleichsweise geringeren Klirrfaktors in Kauf genommen. Eine Verringerung der dynamischen Verzerrungen im Proportionalbereich der Anodengleitspannung wird durch eine Verzögerung des Modulationssignals im Verzögerungsglied 11 in der Zuleitung zu den Steuergittern der Tetroden 8 und 9 erreicht. Dabei wird die Verzögerungszeit T so eingestellt, dass sie wenigstens annähernd gleich der Verzögerung der Anodengleitspannung U_{a1} bezüglich der zeitlichen Änderung des Modulationssignals U_{mod} ist.

Fig. 6 zeigt Gesamtwirkungsgrade η von 2 Senden im Klasse-B-Betrieb in Abhängigkeit vom Modulationsgrad m . Die Kurven A und B gelten für einen 600-kW-Mittelwellensender und die Kurven C - F für einen 250-kW-Kurzwellensender. Kurve A zeigt die Verbesserung des Wirkungsgrades mit einer Gleitspannung ab $m_0 = 0,4$ im Vergleich zu Kurve B, die für einen Betrieb ohne Gleitspannung, d.h. mit voller Nennspannung und einen Anodenruhestrom von 0,2 A gilt. Den Kurven C, D und E sind Gleitspannungen ab $m_0 = 0,3; 0,4$ und $0,5$ zugeordnet. Sie zeigen die Wirkungsgradverbesserung gegenüber der Kurve F, die für einen Betrieb bei Nennspannung von 14 kV und einen Anodenruhestrom von 0,3 A gilt (Anodenrestspannung = 1,6 kV). Aus diesen Kurven wird deutlich, dass gerade bei mittleren und niederen Modulationsgraden bis etwa 0,4, welche bei Programmmodulation im Mittel erreicht werden, beachtliche Wirkungsgradverbesserungen erreichbar sind.

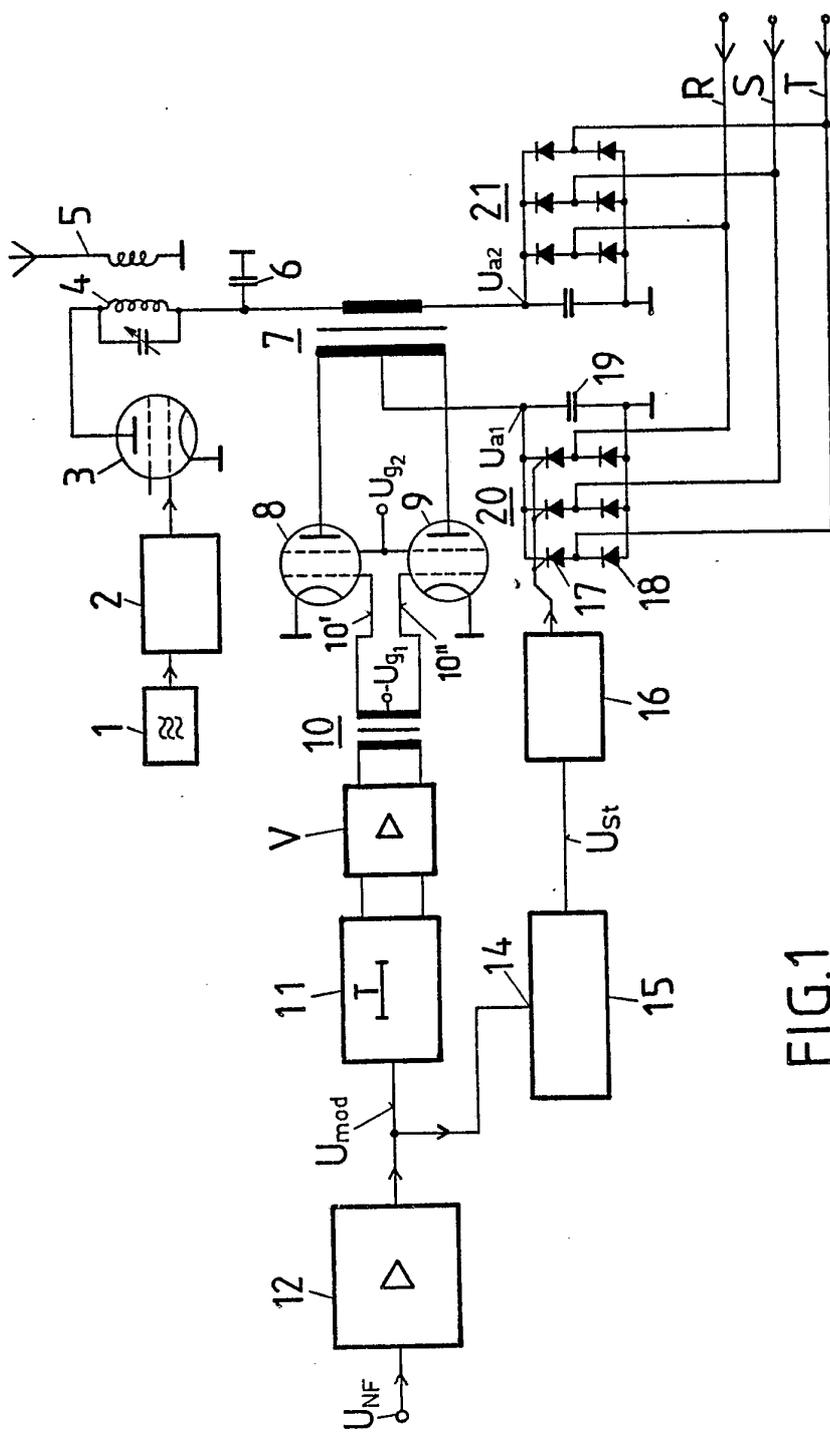


FIG.1

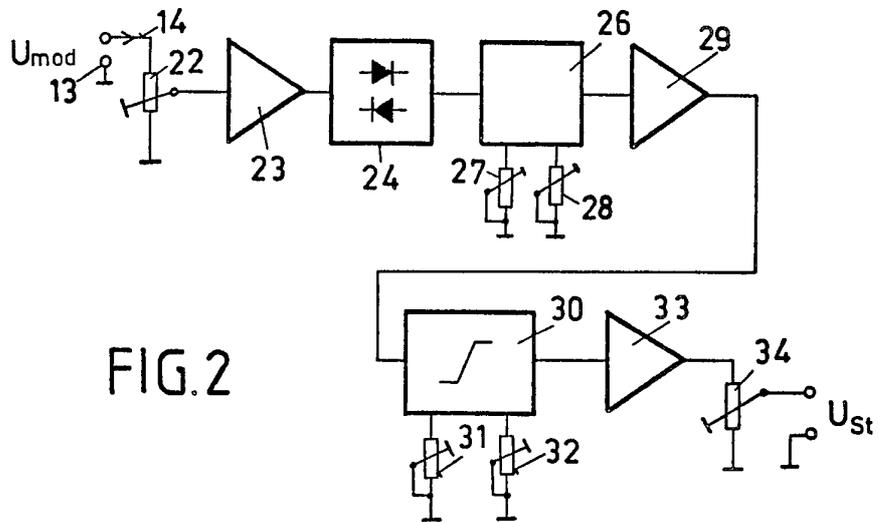


FIG. 2

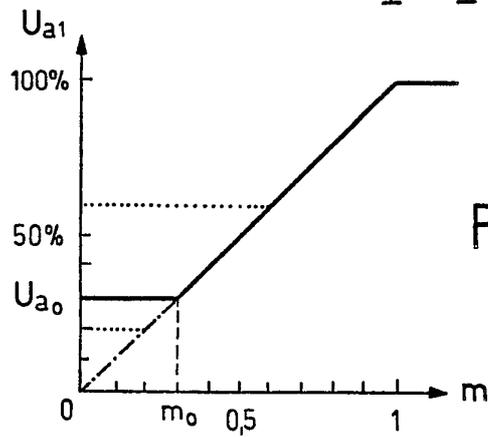


FIG. 3

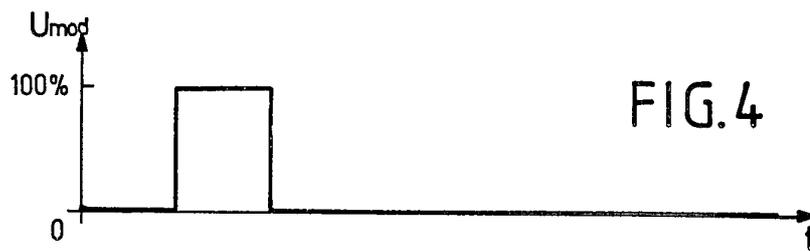


FIG. 4

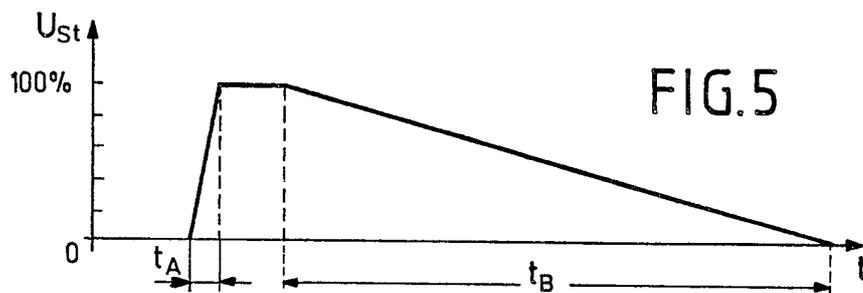


FIG. 5

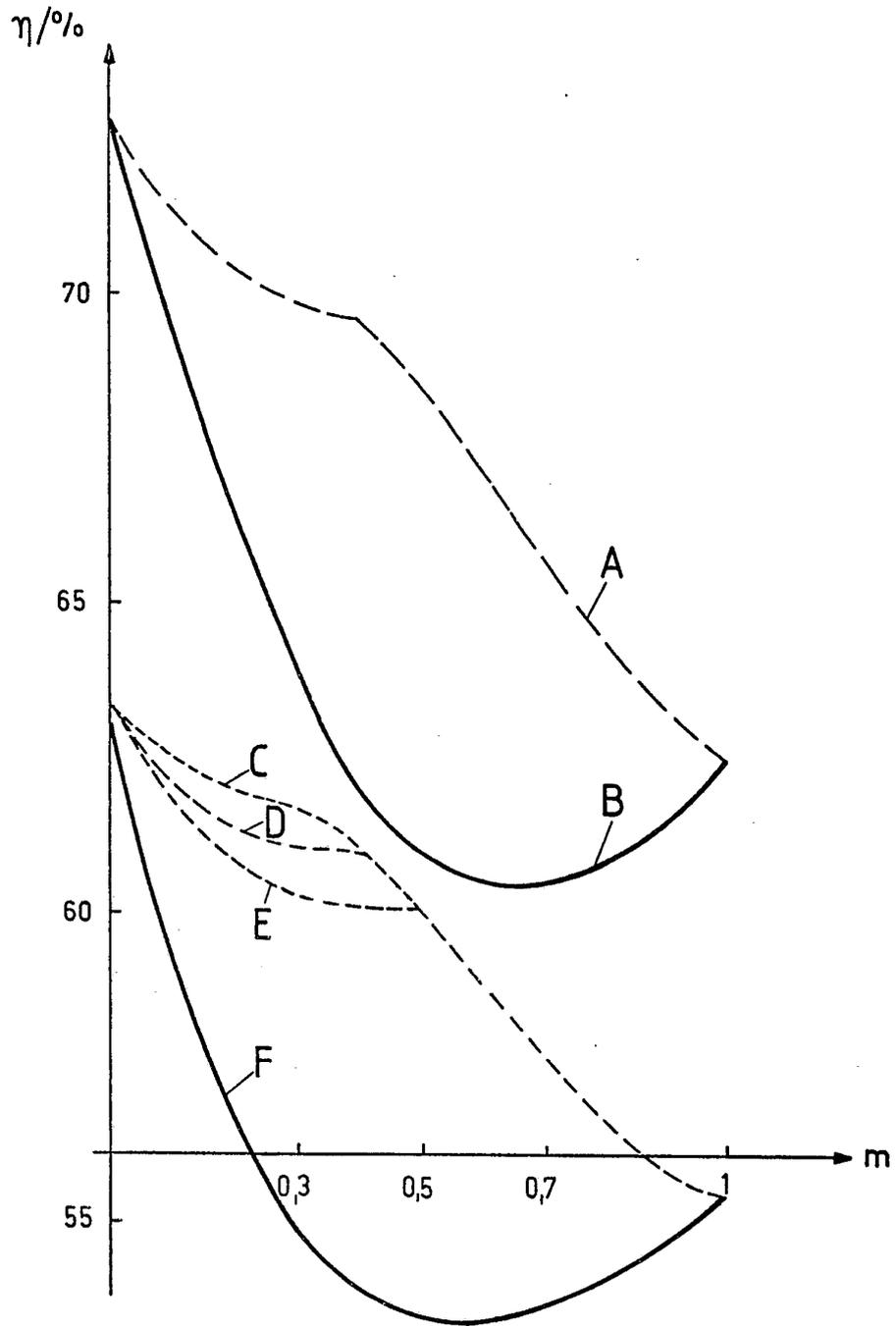


FIG.6