



(12) Wirtschaftspatent

Teilweise bestätigt gemäß § 18 Absatz 1  
Patentgesetz(19) **DD** (11) **212 367 B1**4(51) H 02 M 3/335  
H 02 M 7/217**AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN**

(21)	WP H 02 M / 245 740 1	(22)	09.12.82	(45)	28.09.88
				(44)	08.08.84

(71) Akademie der Wissenschaften der DDR, Otto-Nuschke-Straße 22/23, Berlin, 1080, DD

(72) Lenk, Martin, Dipl.-Phys.; Mende, Alexander, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys., DD

**(54) Verfahren zum Betrieb eines Hochspannungserzeugers**

(55) Hochspannungserzeuger, Teilchenbeschleuniger, Impulssteuerstufe, Transistorschaltstufe, Leistungsübertrager, Resonanzzustand, Steuerimpulse, Folgefrequenz, Kollektorspannung

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines aus einer Impulsformerstufe, einer Transistorschaltstufe und einem Leistungsübertrager bestehenden Hochspannungserzeugers für Hochspannungen  $\geq 50$  kV verhältnismäßig geringer Leistung, der z. B. zur Speisung von Teilchenbeschleunigern eingesetzt werden kann, und löst die Aufgabe, die Blindströme in der Schaltstufe und im Leistungsübertrager stark herabzusetzen. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß der Leistungsübertrager im Resonanzzustand betrieben wird, wobei die von der Impulssteuerstufe gelieferten Steuerimpulse für die Transistorschaltstufe in Frequenz und Breite so eingestellt sind, daß die Ansteuerung der Transistoren der Schaltstufe im Minimum ihrer Kollektorspannung erfolgt.

## Erfindungsanspruch:

1. Verfahren zum Betrieb eines aus einer Impulsformerstufe, einer Transistorschaltstufe und einem Leistungsübertrager bestehenden Hochspannungserzeugers, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Leistungsübertrager (3) im Resonanzzustand betrieben wird, wobei die von der Impulssteuerstufe (1) gelieferten Steuerimpulse für die Transistorschaltstufe (2) in Frequenz und Breite so eingestellt sind, daß die Ansteuerung der Transistoren der Schaltstufe (2) im Minimum ihrer Kollektorspannung erfolgt.
2. Verfahren nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Leistungsübertrager (3) bei seiner Parallelresonanzfrequenz betrieben wird, die sich aus der Eingangsinduktivität des Übertragers und den transformierten Schalt- und Lastkapazitäten ergibt.
3. Verfahren nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Impulsfolgefrequenz in Abhängigkeit von der Belastung nachgeführt wird.
4. Verfahren nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Leistungsübertrager (3) mit einer Festfrequenz betrieben wird.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

## Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Hochspannungserzeugers für Hochspannungen  $\geq 50$  kV verhältnismäßig geringer Leistung, z. B. zur Speisung von Teilchenbeschleunigern

## Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Schaltungsanordnungen zur Erzeugung von Hochspannungen verhältnismäßig geringer Leistung werden im Zuge der Weiterentwicklung der Halbleitergleichrichter häufig als Kaskadengleichrichter, meist mit einer Speisefrequenz von 50 Hz, ausgeführt. Diese Anlagen sind wegen der Ausmaße von Netztransformatoren und Kondensatoren relativ groß. Demgegenüber werden Netzgeräte zur Erzeugung von Versorgungsspannungen, insbesondere von Gleichspannungen, in steigendem Maße als sogenannte Schaltnetzteile ausgelegt (radio-fernsehen-elektronik 31 (1982) H 2, 79). Die Vorteile solcher Netzteile sind kleines Volumen und kleine Masse, vor allem durch den Wegfall des schweren Netztransformators, sowie ein hoher Wirkungsgrad. Bisher werden mit Schaltnetzteilen vor allem niedrige Spannungen erzeugt. Das Prinzip eines derartigen Schaltnetzteiles besteht darin, daß eine Impulssteuerung die Steuerimpulse für eine Schaltstufe mit Hochvolttransistoren, deren Ausgangsleistung über einen Ferritkernübertrager an eine Gleichrichterschaltung gekoppelt ist, liefert. Eine Rückkopplungsleitung dient der Stabilisierung der Ausgangsspannung, als Stellgröße wird die Breite der Steuerimpulse benutzt. Bei den bekannten Schaltnetzteilen ist der ausgangsseitige Ferritkernübertrager weitgehend ohmsch belastet, wobei der Einfluß von Schalt- und Lastkapazitäten verhältnismäßig gering ist. Demgegenüber wird bei Hochspannungstransformatoren infolge des großen Übersetzungsverhältnisses eine erhebliche Kapazitätslast an die Schaltstufe gelegt, wodurch es zu entsprechend großen Blindströmen kommt. Schaltnetzteile werden deshalb zur Hochspannungserzeugung nur für Spannungen von einigen kV verwendet.

## Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist die Erzeugung von Hochspannungen  $\geq 50$  kV verhältnismäßig geringer Leistung.

## Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zum Betrieb bekannter Hochspannungserzeuger anzugeben, so daß Hochspannungen  $\geq 50$  kV erzeugt und Blindströme in der Schaltstufe und im Leistungsübertrager stark herabgesetzt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betrieb eines Hochspannungserzeugers, der aus einer Impulssteuerstufe, einer Transistorschaltstufe und einem Leistungsübertrager besteht, ist dadurch gekennzeichnet, daß der Leistungsübertrager im Resonanzzustand betrieben wird, wobei die von der Impulssteuerstufe gelieferten Steuerimpulse für die Transistorschaltstufe in Frequenz und Breite so eingestellt sind, daß die Ansteuerung der Transistoren der Schaltstufe im Minimum ihrer Kollektorspannung erfolgt. Der Leistungsübertrager wird bei seiner Parallelresonanzfrequenz betrieben, die sich aus der Eingangsinduktivität des Übertragers und den transformierten Schalt- und Lastkapazitäten ergibt, dadurch werden die Blindströme in der Schaltstufe und im Leistungsübertrager stark herabgesetzt. Als Leistungsübertrager für die Hochspannung wird im allgemeinen ein Ferritkernübertrager verwendet. Wegen der Aussteuerungsabhängigkeit der Permeabilität des Kernmaterials und damit der Induktivität verschiebt sich die Resonanzfrequenz bei unterschiedlicher Belastung. Um maximale Ausgangsleistung zu erhalten, muß die Impulsfolgefrequenz entsprechend nachgeführt werden. In den meisten Anwendungsfallen ist jedoch Festfrequenzbereich ohne größere Leistungseinbuße möglich. Der optimale Betrieb legt damit die Parameter für die Ansteuerimpulse relativ streng fest. Abweichungen von der optimalen

Folgefrequenz lassen den Wirkungsgrad sinken und die Blindanteile steigen. Veränderungen der Impulsbreite führen schnell zu unzulässig hohen Spitzenströmen. Dadurch ist die bei herkömmlichen Schaltnetzteilen übliche Spannungseinstellung und -regelung mittels Impulsbreitenmodulation nicht möglich und muß durch andere Verfahren, z. B. durch Änderung der Kollektorspannung der Schaltstufe, vorgenommen werden. Zu diesem Zweck wird vorzugsweise ein weiteres, konventionell aufgebautes Schaltnetzteil benutzt.

Anstelle einer Schaltstufe mit Hochvolttransistoren kann auch, besonders zur Erzeugung größerer Leistungen, eine Schaltstufe mit schnellen Thyristoren entsprechender Sperrspannung eingesetzt werden. Dabei erweist es sich als vorteilhaft, die für derartige Schaltungen üblicherweise verwendeten Kommutatordrosseln zum Löschen der Thyristoren durch Hochvolttransistoren zu ersetzen. Mit diesen gelingt es, einen exakt festgelegten Loschzeitpunkt auch dann zu realisieren, wenn die Steuerfrequenz automatisch nachgeregelt wird.

Die Erfindung kann sowohl bei der Erzeugung von Wechselhochspannung als auch in Verbindung mit entsprechenden Gleichrichterschaltungen von gleichgerichteter Hochspannung eingesetzt werden.

### Ausführungsbeispiel

Figur 1 zeigt einen Hochspannungserzeuger, der erfindungsgemäß betrieben wird. Figur 2 stellt die Kollektorspannung und die zugehörigen Stromimpulse dar.

Der Hochspannungserzeuger besteht aus einer Impulssteuerstufe 1, einer Schaltstufe 2, einem Hochspannungsübertrager 3, einer Gleichrichterkaskade 4 und einem Schaltnetzteil 5. Die Schaltstufe 2 enthält vier parallel geschaltete Hochvolttransistoren, während die Gleichrichterkaskade 4 aus zwölf Stufen besteht. Der Hochspannungsübertrager 3 besitzt eine Eingangsinduktivität von 56 mH, ein Übersetzungsverhältnis von 1:100 und ist für eine sekundäre Spitzenspannung von 70 kV ausgelegt. Die Kaskadenkondensatoren haben eine Kapazität von je 20 nF. Aus der Eingangsinduktivität und den transformierten Last- und Schaltkapazitäten ergibt sich eine Resonanzfrequenz von ca. 3 kHz. Die Dämpfung des entstehenden Schwingkreises ist verhältnismäßig gering, da die Größe des Übertragers nicht durch seine Übertragungsleistung, sondern durch die notwendige Eingangsinduktivität und den benötigten Wickelraum bestimmt wird. Durch diese geringe Dämpfung entsteht an den Kollektoren der Schaltstufe 2 eine Wechselspannung, deren Amplitude etwa so groß ist wie die Betriebsspannung  $V_{CE0}$  und die dieser überlagert ist. Die resultierende Kollektorspannung zeigt Figur 2a. Die Aussteuerung der Schaltstufe 2 erfolgt etwa symmetrisch zum Minimum der Kollektorspannung  $V_{CE}$  mit relativ schmalen Rechteckimpulsen (d. h., die Ansteuerung erfolgt so, daß die Mitte der Schaltimpulse mit dem Minimum der Kollektorspannung zusammenfällt), so daß in den Schaltmomenten ziemlich niedrige Spannungsamplituden anliegen, wodurch die Schaltverlustleistung erheblich gesenkt wird. Außerdem kann dadurch das sonst notwendige, schwierig zu dimensionierende SOAR-Glied entfallen.

Die Einstellung und Regelung der Hochspannung wird durch Änderung der Betriebsspannung  $V_{CE0}$  vorgenommen, die in einem weiteren, konventionellen Schaltnetzteil 5 erzeugt wird, dessen Eingangssignal durch Vergleich mit der Hochspannung gewonnen wird.

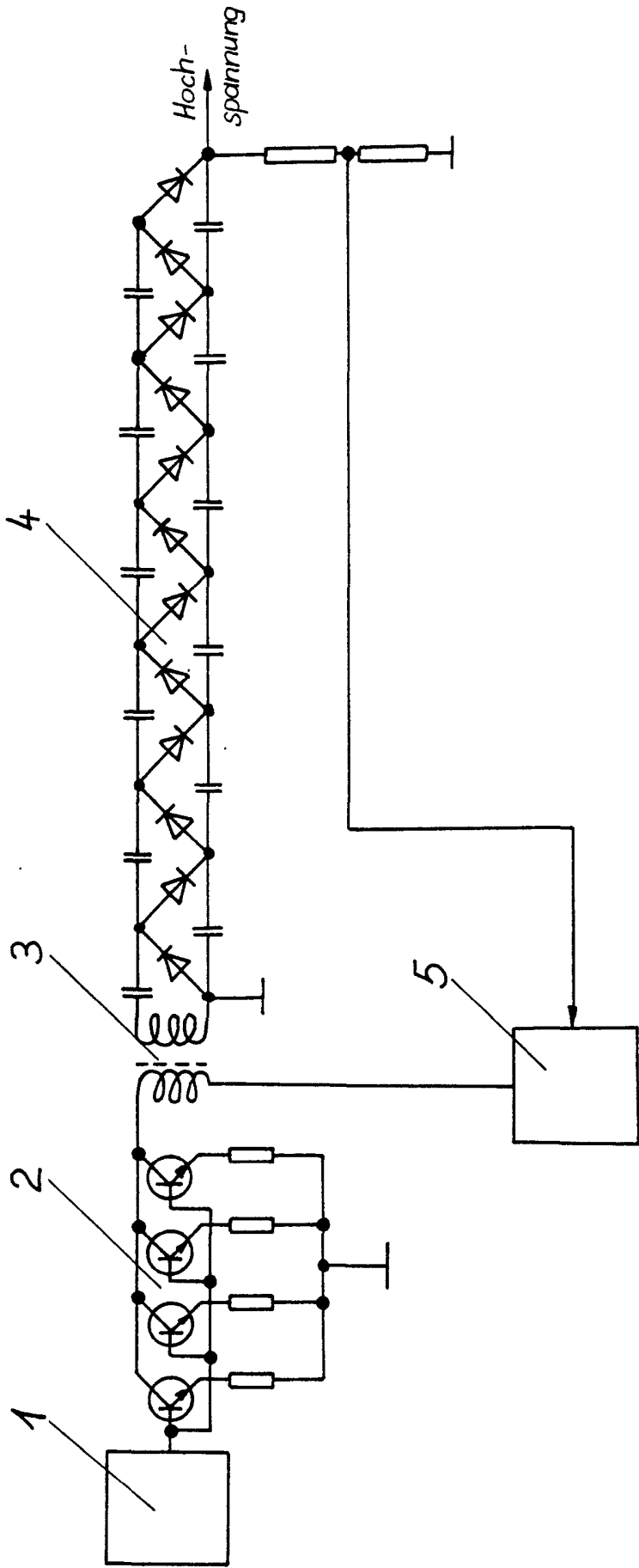


Fig. 1

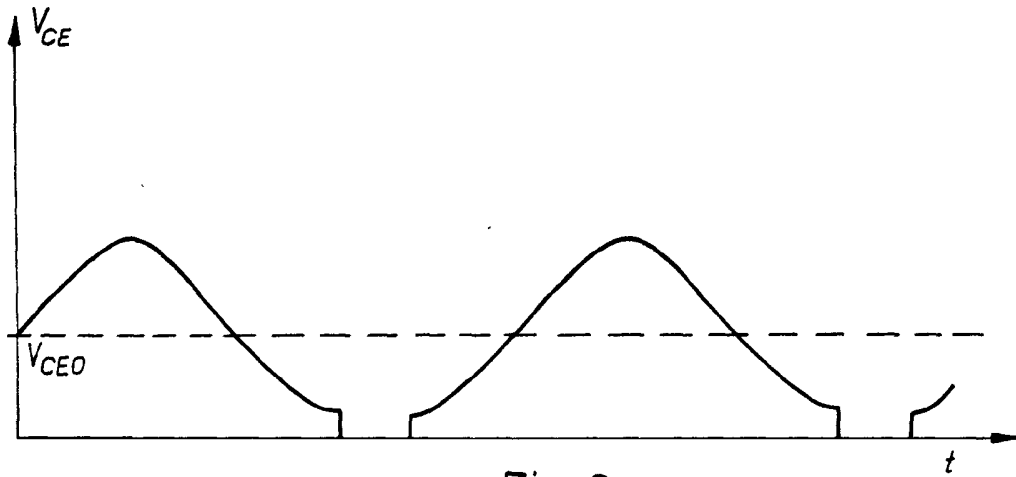


Fig. 2a

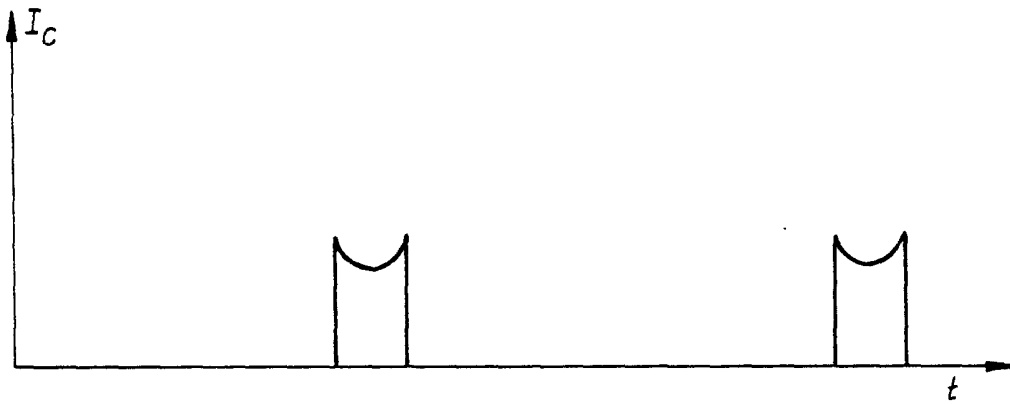


Fig. 2b