



(10) **DE 10 2017 125 386 B4** 2019.12.24

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 125 386.6**
(22) Anmeldetag: **30.10.2017**
(43) Offenlegungstag: **02.05.2019**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **24.12.2019**

(51) Int Cl.: **H03K 3/335 (2006.01)**
H03K 3/57 (2006.01)
H03K 3/64 (2006.01)
A61B 6/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, dieses vertreten durch den Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, DE

(74) Vertreter:
Gramm, Lins & Partner Patent- und Rechtsanwälte PartGmbB, 30173 Hannover, DE

(72) Erfinder:
Beev, Nikolai, Collonges, FR; Keller, Jonas, Dr., 64739 Höchst, DE; Mehlstäubler, Tanja, Dr., 38102 Braunschweig, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

FR 2 615 337 A1
US 2012 / 0 139 604 A1

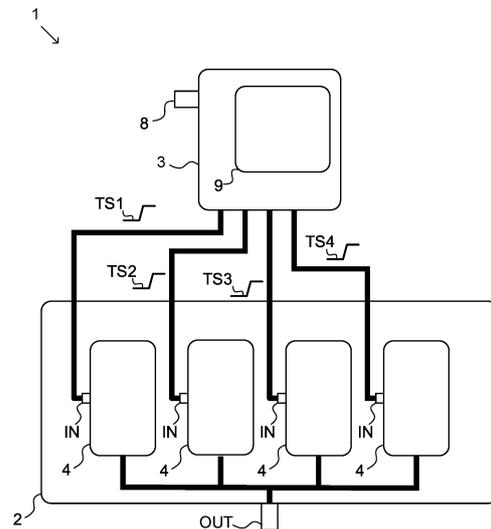
LEWIS D. G., MARS P.: Measurement of the avalanche breakdown characteristics of bipolar transistors; International Journal of Electronics; Vol. 29; 1970; Nr. 6; S. 575-579

(54) Bezeichnung: **Impulsgenerator und bildgebendes System**

(57) Hauptanspruch: Impulsgenerator (1) zur Erzeugung von Impulsen mit hoher Wiederholfrequenz, der eine Impulserzeugungseinheit (2) und eine Steuereinheit (3) aufweist, wobei die Impulserzeugungseinheit (2) einen mit einer Last verbindbaren Ausgangsanschluss (OUT) und eine Mehrzahl von Impulserzeugungsabschnitten (4) aufweist und jeder Impulserzeugungsabschnitt (4)

- einen Steuereingang (IN) aufweist, dem ein Triggersignal (TS, TS1, TS2, TS3, TS4) zugeführt werden kann,
- eine Ladeschaltung (5) aufweist, die mit einer Versorgungsspannung verbindbar ist und die mindestens ein zum Speichern einer elektrischen Ladung eingerichtetes Ladungsspeicherelement (C3, TL) aufweist, und
- eine zwischen die Ladeschaltung (5) und den Ausgangsanschluss (OUT) der Impulserzeugungseinheit (2) geschaltete Transistoranordnung (6) aufweist, die einen gesperrten und einen leitenden Zustand einnehmen kann und mindestens einen Lawinentransistor (T1, T2) umfasst, wobei
- die Ladeschaltung (5) dazu eingerichtet ist, das Ladungsspeicherelement (C3, TL) mit einer elektrischen Ladung aufzuladen, wenn die Ladeschaltung (5) mit der Versorgungsspannung verbunden ist und die Transistoranordnung (6) einen gesperrten Zustand eingenommen hat, und
- die Transistoranordnung (6) dazu eingerichtet ist, von dem gesperrten Zustand in den leitenden Zustand überzugehen, wenn dem Steuereingang (IN) das Triggersignal (TS, TS1,

TS2, TS3, TS4) zugeführt wird, und in dem leitenden Zustand durch Entladen des Ladungsspeicherelementes ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Impulsgenerator zur Erzeugung von Impulsen mit hoher Wiederholfrequenz.

[0002] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Prüfverfahren zum Bestimmen einer Durchbruchspannung eines Bipolartransistors, insbesondere eines Lawinentransistors, sowie ein Auswahlverfahren zum Auswählen von übereinstimmende Durchbruchspannungen aufweisenden Bipolartransistoren, insbesondere Lawinentransistoren.

[0003] Die Erfindung betrifft außerdem ein bildgebendes System, das einen Impulsgenerator aufweist.

[0004] Die von dem Impulsgenerator erzeugten Impulse können insbesondere Impulse einer elektrischen Spannung (Spannungsimpulse) oder Impulse eines elektrischen Stroms (Stromimpulse) sein.

[0005] Impulsgeneratoren zur Erzeugung von sehr kurzen Impulsen, insbesondere Spannungsimpulsen oder Stromimpulsen, mit einer Impulsdauer in der Größenordnung von Nanosekunden werden für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt. Hierzu gehören insbesondere vielfältige Anwendungs- und Einsatzmöglichkeiten in Verbindung mit elektrooptischen Geräten in verschiedenen bildgebenden Systemen (Imaging Systems). Ein bildgebendes System ist ein System, mit dem ein bildgebendes Verfahren ausgeführt wird.

[0006] Des Weiteren werden derartige Impulsgeneratoren bspw. verwendet, um Diodenlaser, Pockelszellen, elektrooptische Modulatoren und Bildverstärker zu steuern.

[0007] Ein Bildverstärker kann als lichtverstärkender nicht-linearer Modulator angesehen werden. In dem bspw. die Fotokathode eines Bildverstärkers mit Spannungsimpulsen hinreichend großer Amplitude gesteuert wird, ist es möglich, einen schnellen, elektronisch steuerbaren Verschluss bereitzustellen. Das Verstärkungszeitfenster des Bildverstärkers, d.h. das Zeitfenster, innerhalb dessen der Bildverstärker das an seinem Eingang empfangene optische Signal verstärkt, wird dabei über einen Gate-Eingang des Bildverstärkers, dem ein Spannungsimpuls zugeführt wird, gesteuert. Diese Technik wird als Time Gating bezeichnet. Die optische Verstärkung des Bildverstärkers kann dabei vorteilhaft für die Bildgebung oder Bilderfassung von Objekten oder Prozessen, die sehr geringe Lichtintensitäten erzeugen, genutzt werden.

[0008] Durch das Time Gating wird die Anzahl von Photonen, die pro Zeiteinheit erfasst werden können, weiter reduziert. Um Bilder mit hinreichender

Qualität erzeugen zu können, können aus diesem Grund mehrere Gating-Zyklen notwendig sein. Daher ist eine Synchronisierung der dem Gate-Eingang des Bildverstärkers zugeführten Impulse (sogenannte Gating-Impulse) mit einer externen Referenz notwendig, um bildgebende Verfahren für sich wiederholende dynamische Prozesse realisieren zu können.

[0009] Anwendungen solcher Bildverstärker, die ein kurzes Verstärkungszeitfenster aufweisen (sogenannte fast-gated Bildverstärker) liegen bspw. im Bereich der medizinischen Bildgebungsverfahren wie der diffusen optischen Tomographie, der diffusen Fluoreszenztomographie, der Fluoreszenz-Molekular-Tomographie und der zeitaufgelösten Fluoreszenzlebensdauer-Bildgebung. In der Physik liegen Anwendungen derartiger Bildverstärker bspw. auf dem Gebiet der zeitaufgelösten Spektroskopie, der Bildgebung gefangener Ionen und der Plasmadynamik.

[0010] All diese Anwendungen erfordern die Erzeugung von Impulsen mit hinreichend großer Amplitude, kurzer Impulsdauer sowie kurzer Anstiegs- und Abfallzeit, d.h. hoher Flankensteilheit.

[0011] Zur Erzeugung von Impulsen mit derartigen Eigenschaften ist aus dem Stand der Technik die Verwendung von Lawinentransistoren, die auch als Avalanche-Transistoren (Avalanche Transistors) bezeichnet werden, bekannt. Unter einem Lawinentransistor wird im Rahmen der vorliegenden Anmeldung ein Bipolartransistor verstanden, der dazu bestimmt und/oder geeignet ist, im Lawinen-Durchbruchbereich, insbesondere im Lawinen-Durchbruchbereich der Kollektor-Basis-Diode (p-n-Übergang zwischen Kollektor und Basis), betrieben zu werden. In dem Lawinen-Durchbruchbereich tritt ein Lawineneffekt auf, durch den die Anzahl freier Ladungsträger im Leitungsband lawinenartig ansteigt. Dieser Effekt wird in Lawinentransistoren genutzt, um sehr kurze Impulse mit großer Amplitude und sehr geringen Anstiegs- und Abfallzeiten zu erzeugen. Die aus dem Stand der Technik bekannten, auf Lawinentransistoren basierenden Schaltungen weisen dabei in der Regel ein Ladungsspeicherelement auf, was dazu eingerichtet ist, eine elektrische Ladung zu speichern. Dieses Ladungsspeicherelement wird mit sehr großer Geschwindigkeit entladen, wenn der Lawinentransistor auslöst, d.h. von einem gesperrten Zustand in einen leitenden Zustand übergeht.

[0012] Unter einem gesperrten Zustand eines Transistors oder einer Transistoranordnung wird im Rahmen dieser Anmeldung ein Zustand verstanden, in dem die Kollektor-Emitter-Strecken des Transistors bzw. der oder die Kollektor-Emitter-Strecke(n) der Transistoranordnung einen hohen Widerstand aufweisen. Unter einem leitenden Zustand eines Transistors bzw. einer Transistoranordnung wird ein Zu-

stand verstanden, in dem die Kollektor-Emitter-Strecken des Transistors bzw. der oder die Kollektor-Emitter-Strecke(n) der Transistoranordnung einen sehr niedrigen Widerstand aufweisen.

[0013] Beispielsweise ist aus der US 3,555,301 A eine Vorrichtung zur Erzeugung von Impulsen mit variabler Verzögerung bekannt, die mehrere parallel geschaltete Lawinentransistoren mit zugehörigen Ladungsspeicherelementen in Form von Kondensatoren aufweist, um Stromimpulse mit einer großen Amplitude bereitstellen zu können. Dabei ist vorgesehen, dass die am Kollektor des jeweiligen Lawinentransistors anliegende Vorspannung individuell einstellbar ist, um zu erreichen, dass die parallel geschalteten Lawinentransistoren trotz individuell verschiedener Durchbruchspannungen gleichzeitig auslösen, d. h. von einem gesperrten Zustand in einen leitenden Zustand übergehen, wenn den Basen der Lawinentransistoren ein Triggerimpuls zugeführt wird.

[0014] Des Weiteren ist aus der FR 2 615 337 A1 ein Impulsgenerator bekannt, bei dem zur Erzeugung von Stromimpulsen mit großer Amplitude eine Parallelschaltung von mehreren Zellen vorgesehen ist, die jeweils einen Lawinentransistor aufweisen.

[0015] Aus der US 2012 / 0 139 604 A1 ist außerdem eine Impulsgeneratorschaltung mit einer Mehrzahl parallel geschalteter Schaltkreise unter Verwendung von MOSFETs und Thyristoren bekannt. Die parallel geschalteten Schaltkreise werden dabei sequentiell von einer Ansteuerschaltung angesteuert, um am Ausgang der Impulsgeneratorschaltung eine Impulssequenz zu erzeugen.

[0016] Impulsgeneratoren der zuvor erläuterten Art, die auf Lawinentransistoren basieren, sind allerdings nur eingeschränkt geeignet, um Impulse mit hoher Wiederholfrequenz zu erzeugen.

[0017] Dies liegt zum einen darin begründet, dass die Wiederholfrequenz, mit der in Schaltungen, die auf Lawinentransistoren basieren, Impulse erzeugt werden können, durch die Geschwindigkeit begrenzt wird, mit der das zugehörige Ladungsspeicherelement (konzentrierte oder verteilte Kapazität) mit der zur Erzeugung des Impulses notwendigen elektrischen Ladung geladen werden kann. Diese Lade-geschwindigkeit ist begrenzt und stellt daher in den aus dem Stand der Technik bekannten, auf Lawinentransistoren basierenden Impuls-generatoren einen limitierenden Faktor für die Wiederholfrequenz der Impulserzeugung dar.

[0018] Zum anderen wird die Wiederholfrequenz der Impulserzeugung in den aus dem Stand der Technik bekannten, auf Lawinentransistoren basierenden Schaltungen begrenzt durch die Verlustleistung der Transistoren, die zu einer Erwärmung der Transis-

toren und der zugehörigen Schaltung führt. Wird eine maximal zulässige Verlustleistung überschritten, kann dies infolge der starken Erwärmung zu einer Beschädigung oder Zerstörung der Transistoren führen, sodass die Wiederholfrequenz der Impulserzeugung nicht beliebig erhöht werden kann. Diesem Problem kann zwar in begrenztem Maße durch die Verwendung von Kühlkörpern entgegengewirkt werden, die realisierbaren Wiederholfrequenzen der Impulserzeugung bleiben aber dennoch in der Praxis auf wenige MHz im kontinuierlichen Betrieb begrenzt.

[0019] Ein weiteres Problem in aus dem Stand der Technik bekannten, auf Lawinentransistoren basierenden Impuls-generatoren liegt darin begründet, dass die eingesetzten Lawinentransistoren wegen nicht vermeidbarer Fertigungstoleranzen auch dann sich deutlich voneinander unterscheidende Eigenschaften, d.h. Kennwerte und Kennlinien, insbesondere sich deutlich voneinander unterscheidende Durchbruchspannungen, aufweisen, wenn der Transistortyp der eingesetzten Lawinentransistoren identisch ist. Dies führt dazu, dass die Parameter der erzeugten Impulse, insbesondere deren Amplitude, Impulsdauer, Anstiegs- und Abfallzeit, in Abhängigkeit der in der Regel unbekanntenen Eigenschaften der eingesetzten Lawinentransistoren unvorhersehbar variieren.

[0020] Ausgehend hiervon ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Impuls-generator bereitzustellen, der die zuvor beschriebenen Nachteile überwindet und die Erzeugung von Impulsen, insbesondere Spannungs- und/oder Stromimpulsen, die eine große Amplitude, sehr kurze Impulsdauer sowie kurze Anstiegs- und Abfallzeiten aufweisen, mit hoher Wiederholfrequenz ermöglicht.

[0021] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung liegt darin, ein bildgebendes System anzugeben, dass die Vorteile des erfindungsgemäßen Impuls-generators nutzt, um das bildgebende System und das dadurch realisierte bildgebende Verfahren zu verbessern.

[0022] Die erstgenannte Aufgabe wird gelöst durch einen Impuls-generator zur Erzeugung von Impulsen mit hoher Wiederholfrequenz mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0023] Vorgeschlagen wird ein Impuls-generator zur Erzeugung von Impulsen mit hoher Wiederholfrequenz, der eine Impulserzeugungseinheit und eine Steuereinheit aufweist. Die Impulserzeugungseinheit weist einen mit einer Last verbindbaren Ausgangsanschluss und eine Mehrzahl von Impulserzeugungsabschnitten, d.h. mindestens zwei Impulserzeugungsabschnitte, auf.

[0024] Mindestens zwei dieser Impulserzeugungsabschnitte oder jeder der Impulserzeugungsabschnitte sind bzw. ist dabei so aufgebaut, dass der Impulserzeugungsabschnitt einen Steuereingang aufweist, dem ein Triggersignal zugeführt werden kann, und eine Ladeschaltung aufweist, die mit einer Versorgungsspannung verbindbar ist und die mindestens ein zum Speichern einer elektrischen Ladung eingerichtetes Ladungsspeicherelement aufweist. Darüber hinaus weist der Impulserzeugungsabschnitt eine zwischen die Ladeschaltung und den Ausgangsanschluss der Impulserzeugungseinheit geschaltete Transistoranordnung auf. Die verschiedenen Impulserzeugungsabschnitte des Impulsgenerators können dabei insbesondere am Ausgangsanschluss der Impulserzeugungseinheit miteinander verbunden sein. Die Transistoranordnung des Impulserzeugungsabschnitts kann einen gesperrten und einen leitenden Zustand einnehmen und umfasst mindestens einen Lawinentransistor.

[0025] Dabei ist die Ladeschaltung dazu eingerichtet, das Ladungsspeicherelement mit einer elektrischen Ladung aufzuladen, wenn die Ladeschaltung mit der Versorgungsspannung verbunden ist und die Transistoranordnung einen gesperrten Zustand eingenommen hat. Darüber hinaus ist die Transistoranordnung dazu eingerichtet, von dem gesperrten Zustand in den leitenden Zustand überzugehen, wenn dem Steuereingang das Triggersignal zugeführt wird, und dazu eingerichtet, in dem leitenden Zustand durch Entladen des Ladungsspeicherelementes unter Ausnutzung eines in dem mindestens einen Lawinentransistor auftretenden Lawineneffektes einen Ausgangsimpuls am Ausgangsanschluss der Impulserzeugungseinheit zu erzeugen.

[0026] Die Steuereinheit ist mit jedem Impulserzeugungsabschnitt der Impulserzeugungseinheit über den Steuereingang des Impulserzeugungsabschnitts signaltechnisch verbunden. Die Steuereinheit ist dazu eingerichtet, eine Triggersignalfrequenz, die eine Mehrzahl zeitlich zueinander versetzter Triggersignale umfasst, zu erzeugen. Die Steuereinheit ist des Weiteren dazu eingerichtet, die einzelnen zeitlich zueinander versetzten Triggersignale sequentiell verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten zuzuführen, sodass die Impulserzeugungseinheit an ihrem Ausgangsanschluss eine Ausgangsimpulssequenz erzeugt. Die Ausgangsimpulssequenz umfasst dabei eine Mehrzahl zeitlich zueinander versetzter und von unterschiedlichen Impulserzeugungsabschnitten erzeugter Ausgangsimpulse. Der Steuereingang des Impulserzeugungsabschnitts, dem ein Triggersignal zugeführt werden kann, kann insbesondere mit der Basis mindestens eines oder genau eines Lawinentransistors des Impulserzeugungsabschnitts signaltechnisch verbunden sein, um durch Ansteuerung der Basis das Auslösen des Lawinentransistors oder der gesamten Transistoranordnung,

d.h. dessen bzw. deren Übergang von dem gesperrten Zustand in den leitenden Zustand, hervorzurufen.

[0027] Durch die mit der Ladeschaltung verbundene Versorgungsspannung kann zum einen die für das Laden des Ladungsspeicherelementes notwendige elektrische Ladung bereitgestellt werden. Zum anderen kann durch die mit der Ladeschaltung verbundene Versorgungsspannung eine Vorspannung am Kollektor mindestens eines oder genau eines Lawinentransistors des Impulserzeugungsabschnitts bereitgestellt werden, durch die erreicht wird, dass der Lawinentransistor auslöst, wenn seine Basis durch Zuführung des Triggersignals angesteuert wird, d. h. wenn die Basis getriggert wird. Die Ladeschaltung kann zu diesem Zweck zwischen den Kollektor des Lawinentransistors, der mit der Vorspannung beaufschlagt werden soll, und einem Anschluss zum Verbinden mit der Versorgungsspannung geschaltet sein, d.h. zwischen den Kollektor und die Versorgungsspannung geschaltet sein.

[0028] Das Ladungsspeicherelement kann eine konzentrierte Kapazität (lumped capacitance), z.B. in Form eines Kondensators, und/oder eine verteilte Kapazität (distributed capacitance), z.B. in Form einer Verzögerungsleitung (delay line) aufweisen. Das Ladungsspeicherelement wird mit einer elektrischen Ladung geladen, wenn die Ladeschaltung mit der Versorgungsspannung verbunden ist und die Transistoranordnung einen gesperrten Zustand eingenommen hat.

[0029] Wenn dem Steuereingang das Triggersignal zugeführt wird, kommt es zu einem Auslösen des mindestens einen Lawinentransistors, wobei die Basis-Emitter-Diode (p-n-Übergang zwischen Basis und Emitter) des mindestens einen Lawinentransistors von einem gesperrten in einen leitenden Zustand übergeht. Durch Ausnutzung eines in der Basis-Kollektor-Diode des mindestens einen Lawinentransistors auftretenden Lawineneffektes ist dabei ein sehr schneller Anstieg des durch den mindestens einen Lawinentransistor fließenden Kollektor- und Emitterstroms zu verzeichnen, wodurch das Ladungsspeicherelement entladen und am Ausgangsanschluss der Impulserzeugungseinheit ein Ausgangsimpuls erzeugt wird.

[0030] Der mindestens eine Lawinentransistor der Impulserzeugungsabschnitte kann bspw. ein Bipolartransistor vom Typ 2N2369 sein.

[0031] Die Transistoranordnung übernimmt die Funktion einer Entladeschaltung. Die Transistoranordnung kann daher auch als Entladeschaltung bezeichnet werden.

[0032] Die Transistoranordnung kann im einfachsten Fall aus nur einem einzigen Lawinentransistor

bestehen. Die Transistoranordnung kann aber auch mehrere Lawinentransistoren und/oder Widerstände und/oder Kondensatoren und/oder andere Bauelemente aufweisen.

[0033] Wenn die Versorgungsspannung über einen bestimmten Wert hinaus erhöht wird, kommt es zu einer Selbstausslösung des mindestens einen Lawinentransistors der Transistoranordnung, d.h. die Transistoranordnung geht von dem gesperrten Zustand in den leitenden Zustand über und der Impulsgenerator erzeugt an dem Ausgangsanschluss der Impulserzeugungseinheit Impulse, ohne dass dem Steuereingang das Triggersignal zugeführt wird. Dieser Wert der Versorgungsspannung, der zu einer Selbstausslösung führt, wird als Selbstausslösungs-Versorgungsspannung bezeichnet. Um eine solche unerwünschte Selbstausslösung des mindestens einen Lawinentransistors zu vermeiden und gleichzeitig sicherzustellen, dass es zu einer Auslösung des mindestens einen Lawinentransistors kommt, wenn dem Steuereingang das Triggersignal zugeführt wird, kann die Versorgungsspannung vorteilhaft so gewählt werden, dass sie einen geringfügig niedrigeren Wert aufweist als die Selbstausslösungs-Versorgungsspannung.

[0034] Die Steuereinheit des Impulsgenerators ist mit jedem Impulserzeugungsabschnitt der Impulserzeugungseinheit über den Steuereingang des jeweiligen Impulserzeugungsabschnitts signaltechnisch verbunden, um jedem Impulserzeugungsabschnitt Triggersignale zuführen zu können, sodass die Transistoranordnung des jeweiligen Impulserzeugungsabschnitts getriggert wird. Die Steuereinheit erzeugt eine Triggersignalsequenz, die mehrere zeitlich zueinander versetzte Triggersignale umfasst. Die einzelnen zeitlich zueinander versetzten Triggersignale werden sequentiell, d.h. zeitlich nacheinander verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten zugeführt, sodass die Transistoranordnungen der verschiedenen Impulserzeugungsabschnitte sequentiell getriggert werden. Dies führt dazu, dass die Impulserzeugungseinheit an ihrem Ausgangsanschluss eine Ausgangsimpulssequenz erzeugt. Diese Ausgangsimpulssequenz umfasst mehrere zeitlich zueinander versetzte Ausgangsimpulse, die von unterschiedlichen, mit dem Ausgangsanschluss verbundenen Impulserzeugungsabschnitten erzeugt werden.

[0035] Es ist somit erfindungsgemäß vorgesehen, dass die verschiedenen Impulserzeugungsabschnitte sequentiell, d.h. zeitlich nacheinander, Ausgangsimpulse erzeugen, die am Ausgangsanschluss der Impulserzeugungseinheit einer Ausgangssignalsequenz zeitlich zueinander versetzter Ausgangsimpulse ergeben. So ist es bspw. denkbar, dass die Impulserzeugungseinheit die Triggersignale den verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten so zuführt, dass zunächst ein erster Impulserzeugungsabschnitt einen Ausgangsimpuls erzeugt, dann ein

zweiter Impulserzeugungsabschnitt einen Ausgangsimpuls erzeugt, dann ein dritter Impulserzeugungsabschnitt einen Ausgangsimpuls erzeugt usw., bis der letzte Impulserzeugungsabschnitt der Impulserzeugungseinheit einen Ausgangsimpuls erzeugt. Vorteilhaft kann bspw. die Reihenfolge der Impulserzeugung anschließend wieder beim ersten Impulserzeugungsabschnitt beginnen.

[0036] Die Erfindung erlaubt durch den Einsatz von Lawinentransistoren die Erzeugung von Impulsen mit großer Amplitude, sehr kurzer Impulsdauer und sehr kurzen Anstiegs- und Abfallzeiten. Werden beispielsweise als Lawinentransistoren Bipolartransistoren vom Typ 2N2369 verwendet, so ist es mit dem erfindungsgemäßen Impulsgenerator problemlos möglich, als Ausgangsimpulse Spannungsimpulse mit einer Anstiegszeit von 2 ns, einer Halbwertsbreite von 10 ns und einer Amplitude von mehreren zehn Volt zu erzeugen.

[0037] Darüber hinaus liegt ein wesentlicher Vorteil der Erfindung gegenüber dem Stand der Technik darin, dass durch die Verwendung mehrerer Impulserzeugungsabschnitte und durch die sequentielle Ansteuerung dieser Impulserzeugungsabschnitte mit Triggersignalen (d. h. das sequentielle Triggern) eine Erzeugung derartiger Impulse mit sehr hoher Wiederholfrequenz möglich ist.

[0038] Die Impulserzeugung wird durch die Nutzung mehrerer Impulserzeugungsabschnitte und deren sequentielle Ansteuerung parallelisiert. Erfindungsgemäß können dadurch vorteilhaft die oben genannten limitierenden Faktoren, nämlich die maximale Ladegeschwindigkeit der Ladungsspeicherelemente und die maximal zulässige Leistungsaufnahme der Lawinentransistoren, umgangen werden.

[0039] Durch die Verwendung mehrerer Impulserzeugungsabschnitte und deren sequentielle Ansteuerung wird nämlich zum einen erreicht, dass bei gegebener Wiederholfrequenz der Impulserzeugung die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Impulserzeugungsvorgängen eines bestimmten Impulserzeugungsabschnitts vervielfacht wird, sodass zwischen zwei Impulserzeugungsvorgängen eines bestimmten Impulserzeugungsabschnitts eine längere Zeitspanne zum Laden des Ladungsspeicherelementes des Impulserzeugungsabschnitts zur Verfügung steht. Zum anderen verteilt sich die Leistungsaufnahme der Lawinentransistoren bei Verwendung mehrerer Impulserzeugungsabschnitte und deren sequentieller Ansteuerung auf die verschiedenen Impulserzeugungsabschnitte, sodass sich pro Impulserzeugungsabschnitt eine deutlich geringere Leistungsaufnahme ergibt. Dies hat eine geringere Erwärmung der einzelnen Lawinentransistoren zur Folge, sodass deren Beschädigung oder Zerstörung vermieden werden kann.

[0040] Auf diese Weise ist es vorteilhaft möglich, deutlich höhere Wiederholffrequenzen der Impulserzeugung zu realisieren, ohne dass die durch die Ladegeschwindigkeit der Ladungsspeicherelemente oder die Leistungsaufnahme der Lawinentransistoren vorgegebenen Grenzen erreicht werden. Weist die Impulserzeugungseinheit beispielsweise acht Impulserzeugungsabschnitte auf, so ist es mit dem erfindungsgemäßen Impulsgenerator problemlos möglich, Spannungsimpulse der zuvor genannten Art, d. h. Spannungsimpulse mit einer Anstiegszeit von 2 ns, einer Halbwertsbreite von 10 ns und einer Amplitude von mehreren zehn Volt, mit einer Wiederholffrequenz von 25 MHz zu erzeugen.

[0041] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Impulsgenerators liegt in seiner theoretisch unbegrenzten Skalierbarkeit. Um höhere Wiederholffrequenzen der Impulserzeugung zu realisieren, kann die Anzahl der Impulserzeugungsabschnitte des Impulsgenerators theoretisch beliebig erhöht werden.

[0042] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann der Impulsgenerator mindestens eine Kühleinheit aufweisen, die dazu eingerichtet ist, den Impulsgenerator zu kühlen. Eine solche Kühleinheit kann bspw. ein Lüfter, d.h. ein Kühlventilator, sein. Der Lüfter kann dabei bspw. über den Impulserzeugungsabschnitten, insbesondere über den Transistoranordnungen, angeordnet sein.

[0043] Eine solche Kühleinheit bietet den Vorteil, dass eine unzulässig hohe Erwärmung der Lawinentransistoren vermieden werden kann und sich auf diese Weise ceteris paribus größere Wiederholffrequenzen der Impulserzeugung realisieren lassen.

[0044] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist die Impulserzeugungseinheit keinen mit den Transistoranordnungen der Impulserzeugungsabschnitte verbundenen Kühlkörper auf. Ein solcher Kühlkörper kann grundsätzlich als Wärmesenke genutzt werden, um der Erwärmung der Transistoranordnungen entgegenzuwirken. Vorteilhaft ist es aber, auf einen solchen Kühlkörper zu verzichten, da auf diese Weise die parasitären Kapazitäten an den Transistoranschlüssen reduziert werden können.

[0045] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Steuereinheit dazu eingerichtet ist, den verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten die zeitlich zueinander versetzten Triggersignale sequentiell und zyklisch zuzuführen. Dabei wird in jedem Zyklus jedem Impulserzeugungsabschnitt mindestens ein Triggersignal zugeführt. Vorteilhaft kann dabei insbesondere in jedem Zyklus jedem Impulserzeugungsabschnitt dieselbe Anzahl von Triggersignalen zugeführt werden. Vorteilhaft kann dabei in jedem Zyklus jedem Impul-

serzeugungsabschnitt insbesondere genau ein Triggersignal zugeführt werden.

[0046] Es wird somit vorgeschlagen, dass sich die Abfolge der Impulserzeugung durch die einzelnen Impulserzeugungsabschnitte zyklisch wiederholt. Weist bspw. der Impulsgenerator N Impulserzeugungsabschnitte auf, so können die am Ausgangsanschluss der Impulserzeugungseinheit erzeugten Ausgangsimpulse durch die verschiedenen Impulserzeugungsabschnitte bspw. in der folgenden Abfolge erzeugt werden: Impulserzeugungsabschnitt 1, Impulserzeugungsabschnitt 2, Impulserzeugungsabschnitt 3, ..., Impulserzeugungsabschnitt N, Impulserzeugungsabschnitt 1, Impulserzeugungsabschnitt 2 usw.

[0047] Eine solche zyklische Zuführung der Triggersignale zu den Impulserzeugungsabschnitten bewirkt demnach eine zyklische Erzeugung der Ausgangsimpulse durch die verschiedenen Impulserzeugungsabschnitte. Dies bietet den Vorteil, dass mit einer begrenzten Anzahl von Impulserzeugungsabschnitten eine unendlich lange Ausgangsimpulssequenz erzeugt werden kann. Darüber hinaus bietet die vorgesehene gleichmäßige Verteilung der Triggersignale auf die verschiedenen Impulserzeugungsabschnitte den Vorteil, dass die Last der Impulserzeugung, insbesondere die damit verbundene Leistungsaufnahme der Lawinentransistoren und die für das Aufladen der Ladungsspeicherelemente benötigte Zeit, ebenfalls gleichmäßig auf die verschiedenen Pulserzeugungsabschnitte verteilt wird, sodass deren Leistungsfähigkeit optimal ausgenutzt werden kann.

[0048] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Impulserzeugungsabschnitte zueinander parallel geschaltet sind.

[0049] Eine solche Parallelschaltung der Impulserzeugungsabschnitte kann bspw. dadurch erfolgen, dass die Impulserzeugungsabschnitte zwischen einem Versorgungsspannungsanschluss, über den die Ladeschaltung mit der Versorgungsspannung verbindbar ist, und dem Ausgangsanschluss der Impulserzeugungseinheit parallel geschaltet sind.

[0050] Eine solche Parallelschaltung der Impulserzeugungsabschnitte bietet den Vorteil, dass sich mit einer vergleichsweise einfachen Schaltungsstruktur die Parallelisierung der Impulserzeugung im Sinne der vorliegenden Erfindung, d.h. die Verwendung mehrerer Impulserzeugungsabschnitte und deren sequentielle Ansteuerung durch die Steuereinheit, realisieren lässt.

[0051] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Ladungsspeicherelement einen Kondensator umfasst. In einer einfachen Ausführungsform der Erfindung kann

das Ladungsspeicherelement insbesondere aus einem einzigen Kondensator bestehen.

[0052] Eine solche Realisierung des Ladungsspeicherelementes als Kondensator bietet den Vorteil einer kompakten Bauform und erlaubt vorteilhaft die Erzeugung kurzer, nadelförmiger Ausgangsimpulse durch eine schnelle Entladung des Kondensators.

[0053] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Ladungsspeicherelement eine Verzögerungsleitung (Delay Line) umfasst. Das Ladungsspeicherelement kann dabei insbesondere einen Leitungsabschnitt einer elektrischen Leitung umfassen. Insbesondere kann das Ladungsspeicherelement einen Leitungsabschnitt einer Koaxialleitung, einen Leitungsabschnitt einer Streifenleitung und/oder einen Leitungsabschnitt eines sonstigen elektrischen Wellenleiters umfassen.

[0054] In einer einfachen Ausführungsform dieser Weiterbildung der Erfindung besteht das Ladungsspeicherelement nur aus einer einzigen Verzögerungsleitung der genannten Art.

[0055] Der Leitungsabschnitt der jeweiligen Art hat dabei jeweils die Funktion eines elektrischen Energiespeichers.

[0056] Der Leitungsabschnitt hat dabei außerdem die Funktion einer Verzögerungsleitung (Delay Line), die auch als Laufzeitleitung bezeichnet wird. Der Leitungsabschnitt der elektrischen Leitung kann daher auch als Verzögerungsleitung, Laufzeitleitung oder Delay Line bezeichnet werden.

[0057] Der Leitungsabschnitt der elektrischen Leitung kann insbesondere ein am Ende offener Leitungsabschnitt, bspw. ein am Ende offener Koaxialleitungsabschnitt oder ein am Ende offener Streifenleitungsabschnitt, sein.

[0058] Eine solche Ausführungsform des erfindungsgemäßen Impulsgenerators, bei der das Ladungsspeicherelement eine Verzögerungsleitung umfasst oder aus einer Verzögerungsleitung besteht, bietet den Vorteil, dass auf diese Weise die Erzeugung von Ausgangsimpulsen mit einer definierten Impulsdauer, insbesondere die Erzeugung von rechteckförmigen Ausgangsimpulsen mit einer definierten Impulsdauer, möglich ist. Die Impulsdauer wird dabei durch die Länge der Verzögerungsleitung und die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Welle auf der Verzögerungsleitung bestimmt.

[0059] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Impulserzeugungsabschnitte jeweils eine zwischen den Steuereingang und die Transistoranordnung geschaltete

Ansteuerschaltung zum Ansteuern der Transistoranordnung aufweisen.

[0060] Die Ansteuerschaltung kann dabei einen Abschlusswiderstand aufweisen. Der Abschlusswiderstand schließt eine Verbindungsleitung, über welche die Steuereinheit mit dem Steuereingang des Impulserzeugungsabschnitts signaltechnisch verbunden ist, mit dem Leitungswellenwiderstand dieser Verbindungsleitung ab. Dies bietet den Vorteil, dass eine Reflexion des dem Steuereingang von der Steuereinheit zugeführten Triggersignals vermieden werden kann.

[0061] Alternativ oder ergänzend hierzu kann die Ansteuerschaltung einen Koppelkondensator aufweisen, der eine kapazitive Kopplung zwischen dem Steuereingang und der Transistoranordnung herstellt. Dies bietet den Vorteil, dass die unerwünschte Übertragung einer Gleichspannungskomponente von der Steuereinheit zum Impulserzeugungsabschnitt verhindert werden kann.

[0062] Alternativ oder ergänzend hierzu kann die Ansteuerschaltung einen Signaltransformator aufweisen, der den Steuereingang galvanisch von der Transistoranordnung trennt. Dies bietet den Vorteil, dass die elektromagnetische Verträglichkeit des Impulsgenerators verbessert werden kann, da elektromagnetische Interferenzen, die durch gemeinsame Impedanzen des Impulserzeugungsabschnitts mit der Steuereinheit verursacht werden, reduziert werden können.

[0063] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist die Ladeschaltung einen Ladewiderstand auf, der zwischen einen Versorgungsspannungsanschluss, über den die Ladeschaltung mit der Versorgungsspannung verbindbar ist, und die Transistoranordnung geschaltet ist. Mit einem solchen Ladewiderstand kann durch dessen geeignete Dimensionierung vorteilhaft die Stromstärke des Stroms, mit dem das Ladungsspeicherelement geladen wird, auf einen geeigneten Wert eingestellt werden. Darüber hinaus kann durch den Ladewiderstand vorteilhaft verhindert werden, dass es zu einer Selbstauslösung des mindestens einen Lawinentransistors der Transistoranordnung kommt, indem der Kollektorstrom durch den Ladewiderstand begrenzt wird.

[0064] Der Impulsgenerator kann insbesondere Eingabemittel aufweisen, mit denen die Steuereinheit des Impulsgenerators programmiert und/oder konfiguriert werden kann.

[0065] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Eingabemittel des Impulsgenerators von den übrigen Komponenten des Impulsgenerators, insbesondere von der Steuereinheit und der Impulserzeugungseinheit, galvanisch getrennt sind. Die Eingabemittel können dabei bei-

spielsweise durch einen Optokoppler, insbesondere einen digitalen Optokoppler, und/oder durch eine kapazitive Kopplung und/oder durch eine induktive Kopplung galvanisch getrennt sein. Eine solche galvanische Trennung bietet den Vorteil, dass Interferenzen verringert und die elektromagnetische Verträglichkeit des Impulsgenerators verbessert werden können.

[0066] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Transistoranordnung eine Reihenschaltung von Lawinentransistoren und/oder eine Parallelschaltung von Lawinentransistoren und/oder eine aus Lawinentransistoren aufgebaute Marx-Schaltung aufweist.

[0067] Eine Reihenschaltung mehrerer Lawinentransistoren bietet den Vorteil, dass die Gesamtdurchbruchspannung der Transistoranordnung erhöht werden kann, da die in Reihe geschalteten Lawinentransistoren einen Spannungsteiler bilden. Dadurch ist es vorteilhaft möglich, am Ausgangsanschluss der Impulserzeugungseinheit Impulse mit einer größeren Amplitude, insbesondere Spannungsimpulse mit einer größeren Amplitude, zu erzeugen.

[0068] In ähnlicher Weise kann durch eine Parallelschaltung mehrerer Lawinentransistoren vorteilhaft eine Vergrößerung der durch den Impulserzeugungsabschnitt gelieferten Stromstärke und damit ebenfalls eine Vergrößerung der Amplitude der am Ausgangsanschluss der Impulserzeugungseinheit erzeugten Ausgangsimpulse herbeigeführt werden.

[0069] Durch eine aus mehreren Lawinentransistoren aufgebaute Marx-Schaltung ist es vorteilhaft möglich, die Vorteile der zuvor beschriebenen Reihenschaltung mehrerer Lawinentransistoren zu nutzen und auf diese Weise Ausgangsimpulse mit einer größeren Amplitude zu erzeugen. Die Marx-Schaltung bietet dabei gegenüber der Reihenschaltung der Vorteil, dass sie eine geringere Versorgungsspannung zum Laden der Ladungsspeicherelemente erfordert.

[0070] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Impulserzeugungsabschnitte miteinander identisch sind. Die Impulserzeugungsabschnitte können dabei insbesondere eine identische Struktur und/oder Bauelemente des gleichen Typs aufweisen.

[0071] Eine solche Ausführungsform des erfindungsgemäßen Impulsgenerators, bei dem die Impulserzeugungsabschnitte miteinander identisch sind, bietet den Vorteil, dass die von den verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten erzeugten Ausgangsimpulse im Wesentlichen gleiche Eigenschaften, insbesondere im Wesentlichen gleiche Amplituden, Impulsdauern, Anstiegs- und Abfallzeiten, auf-

weisen. Des Weiteren erleichtert diese Ausführungsform die Erzeugung von Ausgangsimpulsen mit einheitlichen zeitlichen Abständen am Ausgangsanschluss der Impulserzeugungseinheit. Darüber hinaus bietet diese Ausführungsform den Vorteil, dass ein Impulsgenerator mit einer besonders einfachen Schaltungsstruktur und daraus resultierenden geringen Herstellungskosten bereitgestellt werden kann.

[0072] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Impulserzeugungseinheit mindestens vier oder mindestens sechs oder mindestens acht oder mindestens zehn oder mindestens zwölf oder mindestens 16 oder mindestens 20 oder mindestens 100 Impulserzeugungsabschnitte aufweist. Eine höhere Anzahl von Impulserzeugungsabschnitten bietet dabei den Vorteil, dass eine besonders hohe Wiederholfrequenz der Impulserzeugung realisiert werden kann.

[0073] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Triggersignal ein Triggerimpuls ist. Der Triggerimpuls kann insbesondere ein Spannungsimpuls sein. Der Triggerimpuls kann insbesondere ein rechteckförmiger Spannungsimpuls sein. Eine solche Form eines Triggersignals bietet den Vorteil, dass das Triggersignal besonders einfach bereitgestellt werden kann, bspw. durch ein FPGA oder einen einfachen Signalgenerator.

[0074] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Impulserzeugungseinheit einen mit dem Ausgangsanschluss verbundenen Lastwiderstand aufweist, über dem ein Spannungsimpuls als Ausgangsimpuls abgegriffen werden kann. Dies bietet den Vorteil, dass auf einfache Art und Weise am Ausgangsanschluss Spannungsimpulse bereitgestellt werden können, wie sie für eine Vielzahl von Anwendungen, bspw. zur Steuerung von Bildverstärkern, benötigt werden.

[0075] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Steuereinheit einen Synchronisierungseingang aufweist und die Steuereinheit dazu eingerichtet ist, die Erzeugung der Triggersignale der Triggersignalfrequenz zu einem dem Synchronisierungseingang zugeführten Referenzsignal zu synchronisieren. Das Referenzsignal kann dabei insbesondere ein Hochfrequenz-Referenzsignal (HF-Referenzsignal) sein.

[0076] Eine solche Synchronisierung der Steuereinheit lässt sich z.B. durch eine Clock-Recovery-Schaltung realisieren, die ein HF-Referenzsignal in ein Digitalsignal, bspw. ein CMOS-Digitalsignal, konvertiert, das als Clock-Eingangssignal (Takt-Eingangssignal) für die Erzeugung der Triggersignale in der Steuereinheit genutzt werden kann.

[0077] Eine solche Möglichkeit zur Synchronisierung der Steuereinheit zu einem Referenzsignal bietet den Vorteil, dass sie den Einsatz des Impulsgenerators zur Untersuchung sich wiederholender dynamischer Prozesse erlaubt. Wird der Impulsgenerator bspw. zur Ansteuerung eines Bildverstärkers als Teil eines bildgebenden Systems verwendet, so wird durch das Time Gating des Bildverstärkers die Anzahl von Photonen, die pro Zeiteinheit erfasst werden, reduziert. Um Bilder mit hinreichender Qualität erzeugen zu können, können aus diesem Grund mehrere Gating-Zyklen notwendig sein. Die Synchronisierung der Steuereinheit des Impulsgenerators zu einem Referenzsignal erlaubt dabei vorteilhaft eine Synchronisierung der dem Gate-Eingang des Bildverstärkers zugeführten Impulse (sogenannte Gating-Impulse) zu dem externen Referenzsignal. Auf diese Weise ist es möglich, Bilder aus mehreren Gating-Zyklen zu erzeugen, indem phasengleiche Bilder des sich wiederholenden dynamischen Prozesses in verschiedenen Wiederholungen des Prozesses erfasst und auf diese Weise die erfassten Lichtstärken kumuliert werden. Dies ist insbesondere von Vorteil, wenn Bilder von Objekten oder Prozessen erfasst werden sollen, die sehr geringe Lichtintensitäten oder Lichtstärken erzeugen.

[0078] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Steuereinheit ein konfigurierbares Verzögerungsglied aufweist, mit dem die Phasenverschiebung zwischen dem Referenzsignal und den Triggersignalen der Triggersequenz konfiguriert werden kann. Dies bietet bspw. bei der Verwendung des Impulsgenerators in Zusammenhang mit einem bildgebenden System den Vorteil, dass die Erfassung statischer Bilder möglich wird, die verschiedene Phasen der zeitlichen Entwicklung eines beobachteten dynamischen Prozesses wiedergeben, d.h. verschiedene Phasen des dynamischen Prozesses können durch das bildgebende System erfasst werden, indem das bildgebende System mit einer entsprechend konfigurierten Verzögerung des Impulsgenerators angesteuert wird.

[0079] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Lawinentransistoren der verschiedenen Impulserzeugungsabschnitte übereinstimmende elektrische Parameter, insbesondere übereinstimmende Durchbruchspannungen, aufweisen. Dies bietet den Vorteil, dass auf diese Weise die Erzeugung einer Ausgangsimpulssequenz möglich ist, die Ausgangsimpulse mit einheitlichen zeitlichen Abständen aufweist und/oder Ausgangsimpulse mit einem besonders gleichförmigem Erscheinungsbild aufweist, d. h. Ausgangsimpulse mit in besonders hohem Maße übereinstimmenden Eigenschaften (z.B. Amplitude, Impulsdauer, Anstiegs- und Abfallzeiten) aufweist.

[0080] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Versorgungsspannungen der Impulserzeugungsabschnitte unterschiedlich sind. Alternativ oder ergänzend hierzu können die Versorgungsspannungen der Impulserzeugungsabschnitte unabhängig voneinander konfigurierbar sein. Alternativ oder ergänzend hierzu können die Versorgungsspannungen der Impulserzeugungsabschnitte jeweils an eine Durchbruchspannung des mindestens einen Lawinentransistors des jeweiligen Impulserzeugungsabschnitts angepasst sein.

[0081] Diese vorteilhaften Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Impulsgenerators bieten den Vorteil, dass durch die unterschiedlichen bzw. konfigurierbaren bzw. angepassten Versorgungsspannungen individuell verschiedene elektrische Parameter, insbesondere individuell verschiedene Durchbruchspannungen, der Lawinentransistoren der verschiedenen Impulserzeugungsabschnitte kompensiert werden können. So ist es auf diese Weise vorteilhaft möglich, trotz unterschiedlicher elektrischer Parameter der Lawinentransistoren der verschiedenen Impulserzeugungsabschnitte die Erzeugung einer Ausgangsimpulssequenz von Ausgangsimpulsen mit einheitlichen zeitlichen Abständen und einer einheitlichen Erscheinungsform im Hinblick auf ihre Eigenschaften, d.h. insbesondere Amplitude, Impulsdauer, Anstiegs- und Abfallzeiten der Impulse, herbeizuführen.

[0082] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Steuereinheit ein FPGA aufweist. Dies bietet den Vorteil, dass aufgrund der Vielseitigkeit eines FPGAs verschiedene Funktionalitäten der Steuereinheit im FPGA implementiert werden können. Hierzu gehören bspw. die Erzeugung eines Taktsignals (Clock), die Bereitstellung fester und einstellbarer Verzögerungen sowie die Erzeugung der Triggersignale, bspw. in Form von Triggerimpulsen.

[0083] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Impulsgenerator dazu eingerichtet ist, die Ausgangsimpulse der Ausgangsimpulssequenz mit einer Wiederholfrequenz von mindestens 10 MHz oder von mindestens 20 MHz oder von mindestens 25 MHz zu erzeugen. Dies bietet den Vorteil, dass der Impulsgenerator auch für Anwendungszwecke, welche die Bereitstellung von Impulssequenzen mit einer besonders hohen Wiederholfrequenz erfordern, eingesetzt werden kann.

[0084] Darüber hinaus kann es von Interesse sein, Verfahren zum Bestimmen der Durchbruchspannung von Bipolartransistoren, insbesondere von Lawinentransistoren, sowie zum Auswählen solcher Transistoren bereitzustellen, mit deren Hilfe es möglich ist, auf einfache Weise die Durchbruchspannung der für

die Impulserzeugung eingesetzten Transistoren zu bestimmen und Transistoren mit übereinstimmenden Durchbruchspannungen auszuwählen.

[0085] Hierzu kann ein Prüfverfahren zum Bestimmen einer Durchbruchspannung eines Bipolartransistors eingesetzt werden, das im Folgenden beschrieben wird. Der Bipolartransistor kann dabei insbesondere ein Lawinentransistor sein.

[0086] In Schritt a) des Prüfverfahrens wird eine Testschaltung bereitgestellt.

[0087] Die Testschaltung weist einen mit der Basis des Bipolartransistors verbindbaren Basisanschluss, einen mit dem Kollektor des Bipolartransistors verbindbaren Kollektoranschluss und einen mit dem Emitter des Bipolartransistors verbindbaren Emitteranschluss auf.

[0088] Die Testschaltung weist darüber hinaus eine einstellbare Spannungsquelle auf, die eine einstellbare Testspannung liefert.

[0089] Des Weiteren weist die Testschaltung eine zwischen den Kollektoranschluss und die einstellbare Spannungsquelle geschaltete Ladeschaltung auf. Die Ladeschaltung weist dabei mindestens ein zum Speichern einer elektrischen Ladung eingerichtetes Ladungsspeicherelement auf, das mit einer von der einstellbaren Spannungsquelle bereitgestellten elektrischen Ladung aufladbar ist.

[0090] Die Testschaltung weist außerdem eine mit dem Emitteranschluss verbundene Lastwiderstandsanordnung auf, die mindestens einen Lastwiderstand umfasst.

[0091] Die Testschaltung weist darüber hinaus eine mit dem Basisanschluss verbundene Ansteuerschaltung auf. Die Ansteuerschaltung weist dabei einen Signalgenerator auf und ist so eingerichtet, dass dem Basisanschluss eine von dem Signalgenerator erzeugte Sequenz von Triggersignalen zugeführt wird. Die Triggersignale haben dabei die Form von Spannungsimpulsen.

[0092] Die Testschaltung weist des Weiteren eine Spannungsmesseinrichtung auf, die dazu eingerichtet ist, den zeitlichen Verlauf einer über der Lastwiderstandsanordnung abfallenden Ausgangsspannung zu messen und anzuzeigen. Eine solche Spannungsmesseinrichtung kann bspw. ein Oszilloskop sein.

[0093] In Schritt b) des Prüfverfahrens ist vorgesehen, dass ein zu prüfender Bipolartransistor bereitgestellt wird. Der zu prüfende Bipolartransistor kann dabei insbesondere ein Lawinentransistor sein.

[0094] In Schritt c) des Prüfverfahrens ist vorgesehen, dass der zu prüfende Bipolartransistor mit der Testschaltung verbunden wird. Dabei werden die Basis des Bipolartransistors mit dem Basisanschluss der Testschaltung, der Emitter des Bipolartransistors mit dem Emitteranschluss der Testschaltung und der Kollektor des Bipolartransistors mit dem Kollektoranschluss der Testschaltung verbunden.

[0095] In Schritt d) des Prüfverfahrens ist vorgesehen, dass die einstellbare Testspannung, die von der einstellbaren Spannungsquelle geliefert wird, erhöht wird, bis die Spannungsmesseinrichtung als zeitlichen Verlauf der Ausgangsspannung eine beständige Spannungsimpulsfolge anzeigt.

[0096] Unter einer beständigen Spannungsimpulsfolge wird dabei eine Folge von Spannungsimpulsen verstanden, die eine konstante Amplitude aufweisen, wobei für jedes dem Basisanschluss zugeführte Triggersignal ein Spannungsimpuls erzeugt wird. Eine konstante Amplitude der Spannungsimpulse kann dabei bspw. durch Grenzwerte definiert werden. Bspw. kann die Amplitude der Spannungsimpulse dann als konstant betrachtet werden, wenn die Amplitude der Spannungsimpulse um weniger als $\pm 0,4$ V und/oder um weniger als ± 1 % variiert.

[0097] Während des Prüfvorgangs führt die Ansteuerschaltung dem Basisanschluss kontinuierlich die von dem Signalgenerator erzeugte Sequenz von Spannungsimpulsen zu. Dadurch wird der mit dem Basisanschluss verbundene zu prüfende Bipolartransistor in regelmäßigen Abständen getriggert.

[0098] Wenn die Spannungsmesseinrichtung eine beständige Spannungsimpulsfolge anzeigt, so kann daraus abgeleitet werden, dass der zu prüfende Bipolartransistor in Folge der seiner Basis zugeführten Triggersignale in regelmäßigen Abständen auslöst, d.h. von einem gesperrten Zustand in einen leitenden Zustand übergeht und dadurch in regelmäßigen Abständen Spannungsimpulse an der Lastwiderstandsanordnung erzeugt.

[0099] Die beständige Spannungsimpulsfolge zeigt also an, dass die eingestellte Testspannung ausreichend groß ist, um ein Auslösen des Bipolartransistors herbeizuführen, wenn dessen Basis durch das Triggersignal getriggert wird. Gleichzeitig lässt die beständige Spannungsimpulsfolge erkennen, dass die eingestellte Testspannung nicht so groß ist, dass eine Selbstauslösung des zu prüfenden Bipolartransistors, d.h. ein Auslösen ohne Zuführung eines Triggersignals, herbeigeführt wird. Die eingestellte Testspannung ist demnach dazu geeignet, in der für einen Einsatz des Bipolartransistors in einem Impulsgenerator gewünschten Weise einen Übergang des Bipolartransistors von dem gesperrten Zustand in den leitenden Zustand herbeizuführen, wenn der Basis

des zu prüfenden Bipolartransistors das Triggersignal zugeführt wird.

[0100] In Schritt e) des Prüfverfahrens wird daher die zuletzt eingestellte Testspannung als Durchbruchspannung des zu prüfenden Bipolartransistors bestimmt. Die als Ergebnis des Prüfverfahrens ermittelte Durchbruchspannung des zu prüfenden Bipolartransistors ergibt sich somit als die zuletzt eingestellte Testspannung.

[0101] Wie eingangs bereits erläutert wurde, können die für Impulsgeneratoren eingesetzten Bipolartransistoren, insbesondere Lawinentransistoren, wegen schwer vermeidbarer Fertigungstoleranzen auch dann deutlich voneinander abweichende Eigenschaften, d.h. Kennwerte und Kennlinien, aufweisen, wenn der Transistortyp der eingesetzten Transistoren identisch ist. Dies führt dazu, dass die Eigenschaften der mit Hilfe dieser Transistoren erzeugten Impulse unvorhersehbar variieren.

[0102] Das Prüfverfahren bietet daher den Vorteil, dass es eine Bestimmung der Durchbruchspannung des zu prüfenden Bipolartransistors ermöglicht, sodass die Parameter des Impulsgenerators, insbesondere der Wert der Versorgungsspannung und die Amplitude der Triggerimpulse, an die mit Hilfe des Prüfverfahrens bestimmte Durchbruchspannung des Transistors angepasst werden können. Darüber hinaus ist es mit Hilfe des Prüfverfahrens vorteilhaft möglich, aus einer Menge von Bipolartransistoren, insbesondere Lawinentransistoren, diejenigen Transistoren auszuwählen, die übereinstimmende Durchbruchspannungen aufweisen, oder zumindest diejenigen Transistoren auszusortieren, deren Durchbruchspannung deutlich von der Durchbruchspannung der übrigen Transistoren abweicht.

[0103] Vorteilhaft kann das Prüfverfahren somit insbesondere dazu verwendet werden, die Durchbruchspannung von Lawinentransistoren eines Impulsgenerators, insbesondere eines erfindungsgemäßen Impulsgenerators der zuvor beschriebenen Art, zu bestimmen.

[0104] Darüber hinaus kann ein Auswahlverfahren zum Auswählen von Bipolartransistoren, die übereinstimmende Durchbruchspannungen aufweisen, eingesetzt werden. Die Bipolartransistoren können dabei insbesondere Lawinentransistoren sein.

[0105] In einem ersten Schritt des Auswahlverfahrens ist vorgesehen, dass eine Anzahl zu prüfender Bipolartransistoren desselben Typs bereitgestellt wird. Die Bipolartransistoren können dabei insbesondere Lawinentransistoren desselben Typs sein. Die Bipolartransistoren können dabei bspw. Lawinentransistoren vom Typ 2N2369 sein.

[0106] In einem weiteren Schritt des Auswahlverfahrens ist vorgesehen, dass die Durchbruchspannung jedes zu prüfenden Bipolartransistors durch ein Prüfverfahren der zuvor beschriebenen Art bestimmt wird.

[0107] In einem weiteren Schritt des Auswahlverfahrens ist vorgesehen, dass diejenigen Bipolartransistoren ausgewählt werden, für die im zuvor beschriebenen Schritt übereinstimmende Durchbruchspannungen bestimmt wurden.

[0108] Das Auswahlverfahren bietet die vorteilhafte Möglichkeit, dass für einen Impulsgenerator, insbesondere für einen Impulsgenerator der zuvor beschriebenen Art, Lawinentransistoren mit übereinstimmenden Durchbruchspannungen ausgewählt werden können. Dadurch ist es vorteilhaft möglich, negative Auswirkungen auf die Impulserzeugung, die dadurch entstehen, dass die in dem Impulsgenerator eingesetzten Lawinentransistoren aufgrund von Fertigungstoleranzen unterschiedliche Durchbruchspannungen aufweisen, zu vermeiden. Werden die Lawinentransistoren des Impulsgenerators mit dem Auswahlverfahren ausgewählt, so ist es vorteilhaft möglich, mit dem Impulsgenerator eine Ausgangsimpulssequenz zu erzeugen, deren Ausgangsimpulse einheitliche zeitliche Abstände und/oder ein besonders gleichförmiges Erscheinungsbild, d.h. in besonders hohem Maße übereinstimmende Eigenschaften (z.B. Amplitude, Impulsdauer, Anstiegs- und Abfallzeiten), aufweisen.

[0109] Vorteilhaft kann das Auswahlverfahren daher dazu verwendet werden, Lawinentransistoren mit übereinstimmenden Durchbruchspannungen für einen auf Lawinentransistoren basierenden Impulsgenerator, insbesondere für einen erfindungsgemäßen Impulsgenerator der zuvor beschriebenen Art, auszuwählen.

[0110] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung des zuvor beschriebenen erfindungsgemäßen Impulsgenerators ist daher vorgesehen, dass die Lawinentransistoren der verschiedenen Impulserzeugungsabschnitte der Impulserzeugungseinheit des Impulsgenerators übereinstimmende Durchbruchspannungen aufweisen und durch ein Auswahlverfahren der zuvor beschriebenen Art ausgewählt worden sind.

[0111] Im Hinblick auf die Vorteile einer solchen Weiterbildung des erfindungsgemäßen Impulsgenerators kann auf die obigen Ausführungen zu den Vorteilen des Prüfverfahrens und des Auswahlverfahrens verwiesen werden.

[0112] Die zweite eingangs genannte Aufgabe wird gelöst durch ein bildgebendes System mit den Merkmalen des Patentanspruchs 18. Das bildgebende

System weist einen erfindungsgemäßen Impulsgenerator der zuvor beschriebenen Art und einen Bildverstärker mit einem steuerbaren Verstärkungszeitfenster auf.

[0113] Das Verstärkungszeitfenster des Bildverstärkers ist dabei das Zeitfenster, innerhalb dessen der Bildverstärker das an seinem Eingang empfangene optische Signal verstärkt. Das am Eingang des Bildverstärkers empfangene optische Signal kann dabei die Form von Licht, d. h. die Form von Photonen, haben, das auf eine Fotokathode des Bildverstärkers auftrifft.

[0114] Der Bildverstärker des erfindungsgemäßen bildgebenden Systems weist mindestens einen Gate-Eingang auf. Über eine an dem Gate-Eingang anliegende Spannung ist das Verstärkungszeitfenster des Bildverstärkers steuerbar. Das Verstärkungszeitfenster des Bildverstärkers kann demnach insbesondere dadurch gesteuert werden, dass dem Gate-Eingang ein Spannungsimpuls zugeführt wird. Diese Technik wird als Time Gating bezeichnet.

[0115] Der Ausgangsanschluss der Impulserzeugungseinheit des Impulsgenerators des erfindungsgemäßen bildgebenden Systems ist mit dem Gate-Eingang des Bildverstärkers verbunden, um dem Bildverstärker von dem Impulsgenerator erzeugte Ausgangsimpulse zuzuführen und dadurch das Verstärkungszeitfenster des Bildverstärkers in der zuvor beschriebenen Art und Weise zu steuern.

[0116] Die Länge des Verstärkungszeitfensters wird dabei durch die Impulsdauer der von dem Impulsgenerator erzeugten Ausgangsimpulse bestimmt. Eine kurze Impulsdauer erlaubt daher die Erzeugung von Bildern mit einer besonders hohen zeitlichen Auflösung. Dies ist insbesondere für den Einsatz von bildgebenden Verfahren im Zusammenhang mit dynamischen Prozessen relevant.

[0117] Die Anstiegs- und Abfallzeiten der von dem Impulsgenerator erzeugten Ausgangsimpulse, die dem Bildverstärker zugeführt werden, müssen deutlich kürzer sein als die Impulsdauer, um sicherzustellen, dass das resultierende Verstärkungszeitfenster eine klar definierte Länge aufweist.

[0118] Die Wiederholfrequenz, mit welcher der Impulsgenerator die dem Bildverstärker zugeführten Ausgangsimpulse erzeugt, bestimmt die Gesamterfassungszeit, die notwendig ist, um ein Bild eines sich wiederholenden dynamischen Prozesses über eine Mehrzahl von Gating-Zyklen zu erfassen. Je höher die Wiederholfrequenz der Impulserzeugung des Impulsgenerators ist, desto geringer ist die erforderliche Gesamterfassungszeit.

[0119] Das erfindungsgemäße bildgebende System weist einen erfindungsgemäßen Impulsgenerator auf, der, wie oben bereits erläutert wurde, die Erzeugung von Ausgangsimpulsen großer Amplitude mit sehr kurzer Anstiegszeit, sehr geringer Impulsdauer und sehr hoher Wiederholfrequenz ermöglicht. Das erfindungsgemäße bildgebende System bietet daher den Vorteil, dass Bilder mit hoher zeitlicher Auflösung und klar definierten Verstärkungszeitfenstern mit einer geringen Gesamterfassungszeit erzeugt werden können.

[0120] Im Idealfall entspricht die Wiederholfrequenz der Impulserzeugung einer Anregungsfrequenz, mit der ein physikalischer Prozess angeregt wird, sodass der Impulsgenerator einen Ausgangsimpuls je Periodendauer der Anregung des physikalischen Prozesses erzeugt. Mit dem erfindungsgemäßen bildgebenden System ist es möglich, diesen Idealfall auch für physikalische Prozesse zu realisieren, die mit einer sehr hohen Anregungsfrequenz angeregt werden.

[0121] Das erfindungsgemäße bildgebende System bietet daher im Hinblick auf die notwendige Gesamterfassungszeit erhebliche Vorteile insbesondere dann, wenn Bilder von Objekten oder Prozessen erfasst werden sollen, die sehr geringe Lichtintensitäten oder Lichtstärken erzeugen. Solche Anwendungen umfassen beispielsweise die Bildgebung gefangener Ionen in einer Ionenfalle, die Auflösung kleiner Konzentrationen von Fluoreszenzmarkern, die Wiedergewinnung von Informationen aus stark gedämpften optischen Signalen oder die Bildgebung in schwach beleuchteten Szenen.

[0122] In einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen bildgebenden Systems ist vorgesehen, dass der Gate-Eingang des Bildverstärkers mit einer inversen Vorspannung beaufschlagt wird. Die inverse Vorspannung ist dabei eine Vorspannung, die im Vergleich zu der Spannung des Spannungsimpulses, der dem Bildverstärker von dem Impulsgenerator zur Steuerung des Verstärkungszeitfensters zugeführt wird, ein umgekehrtes Vorzeichen aufweist. Wird bspw. das Verstärkungszeitfenster des Bildverstärkers über einen negativen Spannungsimpuls gesteuert (d.h. der Bildverstärker verstärkt, wenn seinem Gate-Eingang eine negative Spannung zugeführt wird), so weist die invertierte Vorspannung ein positives Vorzeichen auf. Wird hingegen das Verstärkungszeitfenster des Bildverstärkers durch einen positiven Spannungsimpuls gesteuert (d.h. der Bildverstärker verstärkt, wenn seinem Gate-Eingang eine positive Spannung zugeführt wird), so weist die invertierte Vorspannung ein negatives Vorzeichen auf.

[0123] Ein solches Beaufschlagen des Gate-Eingangs des Bildverstärkers mit einer invertierten Vorspannung bietet den Vorteil, dass kapazitiven Effekten des Bildverstärkers, die eine verringerte Flanken-

steilheit der abfallenden Flanke des von dem Impuls-generator dem Bildverstärker zugeführten Ausgangsimpulses zur Folge haben, entgegengewirkt werden kann. Dadurch ist es vorteilhaft möglich, die zeitliche Auflösung des bildgebenden Systems zu verbessern.

[0124] In einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen bildgebenden Systems ist vorgesehen, dass der Impuls-generator des bildgebenden Systems ein Impuls-generator der zuvor beschriebenen Art ist, dessen Steuereinheit einen Synchronisierungseingang aufweist, wobei die Steuereinheit dazu eingerichtet ist, die Erzeugung der Triggersignale der Triggersignalfrequenz zu einem Referenzsignal zu synchronisieren, das dem Synchronisierungseingang zugeführt ist. Das Referenzsignal kann dabei insbesondere ein Hochfrequenz-Referenzsignal sein. Das Referenzsignal kann außerdem insbesondere ein periodisches elektrisches Signal sein, bspw. in Form eines sinusförmigen Signals oder einer Impulsfolge.

[0125] Darüber hinaus weist das bildgebende System in dieser vorteilhaften Weiterbildung eine Referenzsignalquelle auf, die ein Referenzsignal erzeugt.

[0126] Darüber hinaus weist das bildgebende System in dieser vorteilhaften Weiterbildung eine Treibereinheit auf, die dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit des Referenzsignals einen physikalischen Prozess und/oder ein physikalisches Objekt zur Erzeugung eines primären optischen Signals anzuregen. Die Treibereinheit kann bspw. ein elektrischer Leistungsverstärker oder eine Lichtquelle, bspw. ein Laser, sein. Die Treibereinheit dient dabei als Mittel zur Konditionierung zwischen der Referenzsignalquelle und dem physikalischen Prozess bzw. dem physikalischen Objekt. Der physikalische Prozess und/oder das physikalische Objekt ist dabei ein Prozess bzw. ein Objekt, das als Reaktion auf eine Anregung, die bspw. in Form eines elektrischen oder optischen Signals erfolgen kann, ein optisches Signal (das primäre optische Signal) erzeugt.

[0127] Zu diesem Zweck ist die Referenzsignalquelle mit der Treibereinheit signaltechnisch verbunden, um der Treibereinheit das Referenzsignal zuzuführen.

[0128] Des Weiteren ist in dieser vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen bildgebenden Systems die Referenzsignalquelle mit dem Synchronisierungseingang der Steuereinheit des Impuls-generators signaltechnisch verbunden, um der Steuereinheit das Referenzsignal zuzuführen. Dadurch wird erreicht, dass die Impulserzeugung durch den Impuls-generator mit der Anregung des physikalischen Prozesses bzw. des physikalischen Objektes synchronisiert werden kann.

[0129] Darüber hinaus ist der Bildverstärker in dieser vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen bildgebenden Systems dazu eingerichtet, in Abhängigkeit der dem Bildverstärker von dem Impuls-generator zugeführten Ausgangsimpulse das primäre optische Signal innerhalb des Verstärkungszeitfensters zu einem sekundären optischen Signal zu verstärken. Das Verstärkungszeitfenster des Bildverstärkers wird demnach in der zuvor beschriebenen Art und Weise (Time Gating) durch die von dem Impuls-generator erzeugten Ausgangsimpulse gesteuert.

[0130] Des Weiteren weist das bildgebende System in dieser vorteilhaften Weiterbildung eine Kamera auf, die dazu eingerichtet ist, das sekundäre optische Signal zu erfassen und daraus ein Bild zu erzeugen. Die Kamera kann dabei insbesondere dazu dienen, die in mehreren Gating-Zyklen erfassten Photonen und damit die in mehreren Gating-Zyklen erfassten Lichtstärken über die Bilderfassungszeit der Kamera zu kumulieren, d.h. über die Zeit zu integrieren.

[0131] Die optische Verstärkung des Bildverstärkers dient dabei insbesondere dazu, eine durch das Grundrauschen der Kamera bedingte Limitierung ihrer Lichtempfindlichkeit zu überwinden. Dies ist insbesondere in Anwendungen vorteilhaft, die besonders geringe Lichtstärken bis in den Bereich einzelner Photonen aufweisen.

[0132] Dadurch, dass sowohl der Impuls-generator als auch die Anregung des physikalischen Prozesses auf dasselbe Referenzsignal synchronisiert werden, kann das Verstärkungszeitfenster des Bildverstärkers mit dem Zeitverhalten des physikalischen Prozesses synchronisiert werden.

[0133] Darüber hinaus ist es mit dem erfindungsgemäßen bildgebenden System vorteilhaft möglich, die Erzeugung der Ausgangsimpulse durch die Impulserzeugungseinheit des Impuls-generators durch eine Verzögerung definierter Länge zu verzögern, indem ein konfigurierbares Verzögerungsglied der Steuereinheit des Impuls-generators entsprechend konfiguriert wird. Dadurch ist es vorteilhaft möglich, eine definierte Phasenverschiebung zwischen der Anregung des physikalischen Prozesses bzw. des physikalischen Objekts und den dem Bildverstärker zugeführten Ausgangsimpulsen herbeizuführen. Durch Konfiguration unterschiedlicher Verzögerungen können dabei mehrere statische Bilder erzeugt werden, die unterschiedliche Phasen einer zeitlichen Entwicklung eines dynamischen physikalischen Prozesses bzw. eines dynamischen Verhaltens eines physikalischen Objekts wiedergeben.

[0134] Auf diese Weise ist es mit Hilfe des erfindungsgemäßen bildgebenden Systems beispielsweise möglich, Bilder zu erzeugen, die Informationen über die Bewegung von gefangenen Ionen in ei-

ner Ionenfalle enthalten. In einem weiteren Anwendungsbeispiel können Informationen über die Konzentration eines spezifischen Fluoreszenzmarkers in einer Probe oder in einem biologischen Gewebe durch Fluoreszenzlebensdauer-Bildgebung gewonnen werden.

[0135] Die über die Dynamik des Prozesses gewonnene Information ist dabei nicht in einem einzelnen Bild, sondern vielmehr in der Differenz zwischen mindestens zwei Bildern enthalten, die bezogen auf die durch das Referenzsignal vorgegebene Zeitdifferenz zu unterschiedlichen Zeitpunkten erzeugt wurden.

[0136] Die Erfindung soll im Folgenden anhand der in den beigefügten Zeichnungen schematisch dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Impulsgenerators mit einer Impulserzeugungseinheit und einer Steuereinheit;

Fig. 2 eine schematische Darstellung zeitlich zueinander versetzter Triggersignale;

Fig. 3 ein schematisches Schaltbild eines Impulserzeugungsabschnitts;

Fig. 4 ein schematisches Schaltbild einer Impulserzeugungseinheit mit zueinander parallel geschalteten Impulserzeugungsabschnitten;

Fig. 5 ein schematisches Schaltbild einer Testschaltung zur Durchführung der Prüf- und Auswahlverfahren;

Fig. 6 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen bildgebenden Systems.

[0137] Die **Fig. 1** zeigt in einer schematischen Darstellung ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Impulsgenerators **1**. Der Impulsgenerator **1** weist eine Impulserzeugungseinheit **2** und eine Steuereinheit **3** auf. Die Impulserzeugungseinheit **2** weist einen mit einer Last verbindbaren Ausgangsanschluss **OUT** und eine Mehrzahl von Impulserzeugungsabschnitten **4** auf. In diesem Ausführungsbeispiel weist die Impulserzeugungseinheit **2** insgesamt vier Impulserzeugungsabschnitte **4** auf, die miteinander identisch sind.

[0138] Jeder Impulserzeugungsabschnitt **4** weist jeweils einen Steuereingang **IN** auf, dem ein Triggersignal **TS1**, **TS2**, **TS3**, **TS4** zugeführt werden kann.

[0139] Die Steuereinheit **3** weist einen FPGA **9** auf. Der FPGA **9** implementiert verschiedene Funktionalitäten der Steuereinheit **3**, darunter die Erzeugung eines Taktsignals (Clock), die Bereitstellung eines konfigurierbaren Verzögerungsgliedes sowie die Erzeugung der Triggersignale **TS1**, **TS2**, **TS3**, **TS4**, die

in diesem Ausführungsbeispiel als Triggerimpulse in Form von rechteckförmigen Spannungsimpulsen realisiert sind.

[0140] Die Steuereinheit **3** ist mit jedem Impulserzeugungsabschnitt **4** der Impulserzeugungseinheit **2** über den jeweiligen Steuereingang **IN** des Impulserzeugungsabschnitts **4** signaltechnisch verbunden. Die Steuereinheit **3** ist des Weiteren dazu eingerichtet, eine Triggersignalfrequenz, die eine Mehrzahl zeitlich zueinander versetzter Triggersignale **TS1**, **TS2**, **TS3**, **TS4** umfasst, zu erzeugen. Des Weiteren ist die Steuereinheit **3** dazu eingerichtet, die einzelnen zeitlich zueinander versetzten Triggersignale **TS1**, **TS2**, **TS3**, **TS4** sequentiell, d.h. zeitlich nacheinander, den verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten **4** zuzuführen, sodass die Impulserzeugungseinheit **2** an ihrem Ausgangsanschluss **OUT** eine Ausgangsimpulssequenz erzeugt, die eine Mehrzahl zeitlich zueinander versetzter und von unterschiedlichen Impulserzeugungsabschnitten **4** erzeugter Ausgangsimpulse umfasst.

[0141] Die Steuereinheit **3** des Impulsgenerators **1** weist darüber hinaus einen Synchronisierungseingang **8** auf und ist dazu eingerichtet, die Erzeugung der Triggersignale **TS1**, **TS2**, **TS3**, **TS4** der Triggersignalsequenz zu einem dem Synchronisierungseingang **8** zugeführten Hochfrequenz-Referenzsignal zu synchronisieren.

[0142] Mit Hilfe des in dem FPGA **9** der Steuereinheit **3** implementierten konfigurierbaren Verzögerungsgliedes kann eine Phasenverschiebung zwischen dem Referenzsignal und den Trägersignalen **TS1**, **TS2**, **TS3**, **TS4** der Trägersignalsequenz konfiguriert werden.

[0143] Die **Fig. 2** zeigt schematisch die vier Trägersignale **TS1**, **TS2**, **TS3**, **TS4** in Form von rechteckförmigen Spannungsimpulsen der Spannung U (t). Dabei ist das Trägersignal **TS1** das Trägersignal, das dem ersten Impulserzeugungsabschnitt **4** zugeführt wird, das Trägersignal **TS2** ist das Trägersignal, das dem zweiten Impulserzeugungsabschnitt zugeführt wird, das Trägersignal **TS3** ist das Trägersignal, das dem dritten Impulserzeugungsabschnitt zugeführt wird und das Trägersignal **TS4** ist das Trägersignal, das dem vierten Impulserzeugungsabschnitt der Impulserzeugungseinheit **2** des Impulsgenerators **1** zugeführt wird.

[0144] Durch das jeweilige Trägersignal wird dabei der jeweilige Impulserzeugungsabschnitt **4** getriggert, d.h. die Transistoranordnung des Impulserzeugungsabschnitts **4** geht von einem gesperrten Zustand in einen leitenden Zustand über, so dass ein Ausgangsimpuls erzeugt wird. Das Triggern erfolgt dabei mit der ansteigenden Flanke des rechteck-

förmigen Spannungsimpulses, der das Triggersignal **TS1**, **TS2**, **TS3**, **TS4** bildet.

[0145] Die Darstellung der **Fig. 2** lässt erkennen, dass die Triggersignale **TS1**, **TS2**, **TS3**, **TS4** zeitlich zueinander versetzt sind und den verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten **4** sequentiell, d.h. zeitlich nacheinander, von der Steuereinheit **3** zugeführt werden. Die zeitlich zueinander versetzten Triggersignale **TS1**, **TS2**, **TS3**, **TS4** werden den verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten **4** in diesem Ausführungsbeispiel außerdem zyklisch zugeführt, wobei in jedem Zyklus jedem der vier Impulserzeugungsabschnitte **4** genau ein Triggersignal zugeführt wird.

[0146] Die vier Impulserzeugungsabschnitte **4** werden dadurch sequentiell und zyklisch getriggert, so dass die von dem Impulsgenerator **1** erzeugten Ausgangsimpulse sequentiell und zyklisch von den verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten **4** erzeugt werden. Dies geschieht in dem in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsbeispiel in der folgenden Abfolge: erster Impulserzeugungsabschnitt, zweiter Impulserzeugungsabschnitt, dritter Impulserzeugungsabschnitt, vierter Impulserzeugungsabschnitt, erster Impulserzeugungsabschnitt, zweiter Impulserzeugungsabschnitt usw.

[0147] Die **Fig. 3** zeigt ein schematisches Schaltbild eines Ausführungsbeispiels eines Impulserzeugungsabschnitts **4** der Impulserzeugungseinheit **2** des Impulsgenerators **1**.

[0148] Der Impulserzeugungsabschnitt **4** weist einen Steuereingang **IN** auf, dem ein Triggersignal **TS** zugeführt werden kann.

[0149] Darüber hinaus weist der Impulserzeugungsabschnitt **4** eine Ladeschaltung **5** auf, die mit einem Versorgungspotential **+Vs** einer Versorgungsspannung über einen Versorgungsspannungsanschluss verbindbar ist und die ein zum Speichern einer elektrischen Ladung eingerichtetes Ladungsspeicherelement **TL** aufweist. Das Ladungsspeicherelement **TL** besteht dabei aus einer Verzögerungsleitung in Form eines Leitungsabschnitts einer Koaxialleitung. Die Koaxialleitung ist in diesem Ausführungsbeispiel vom Typ RG-58 und der Leitungsabschnitt der Koaxialleitung hat eine Länge von 90 cm. Durch die Verzögerungsleitung ist vorteilhaft die Erzeugung von rechteckförmigen Ausgangsimpulsen mit einer definierten Impulsdauer, welche sich durch die Länge der Verzögerungsleitung **TL** und die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Welle auf der Verzögerungsleitung **TL** bestimmt, möglich.

[0150] Die Ladeschaltung **5** weist darüber hinaus einen zwischen den Versorgungsspannungsanschluss und die Transistoranordnung **6** geschalteten Ladewiderstand **R1** auf, über den das Ladungsspeicher-

element **TL** geladen wird. Der Ladewiderstand **R1** kann beispielsweise einen Wert von 2 k Ω aufweisen. Durch den Ladewiderstand **R1** wird die Stromstärke des Stroms, mit dem das Ladungsspeicherelement **TL** geladen wird, auf einen geeigneten Wert eingestellt. Darüber hinaus begrenzt der Ladewiderstand **R1** den Kollektorstrom, der in den Kollektor des Lawinentransistors **T1** fließt, und verhindert so, dass es zu einer Selbstausslösung des Lawinentransistors **T1** kommt.

[0151] Die Ladeschaltung **5** weist außerdem einen Filterkondensator **C1** auf, der die positive Versorgungsspannung nahe am Ladewiderstand **R1** filtert und auf diese Weise dazu dient, die elektromagnetische Verträglichkeit zu verbessern und Interferenzen, insbesondere Crosstalk, zwischen verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten **4** über eine den verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten **4** gemeinsame Versorgungsspannungsleitung zu vermeiden. Der Filterkondensator **C1** ist zu diesem Zweck zwischen den Versorgungsspannungsanschluss, an dem das Versorgungspotential **+Vs** anliegt, und einen Bezugspotentialanschluss **GND**, an dem ein Bezugspotential anliegt, geschaltet.

[0152] Der Impulserzeugungsabschnitt **4** weist außerdem eine zwischen die Ladeschaltung **5** und den Ausgangsanschluss **OUT** der Impulserzeugungseinheit **2** geschaltete Transistoranordnung **6** auf. Die Transistoranordnung **6** besteht aus einer Reihenschaltung von zwei Lawinentransistoren **T1** und **T2**, die npn-Bipolartransistoren sind. Die Lawinentransistoren **T1**, **T2** sind in diesem Ausführungsbeispiel vom Typ 2N2369. Die Transistoranordnung **6** kann einen gesperrten Zustand und einen leitenden Zustand einnehmen. In dem gesperrten Zustand der Transistoranordnung **6** weisen die Kollektor-Emitter-Strecken beider Lawinentransistoren **T1**, **T2** einen hohen Widerstand auf. Im leitenden Zustand der Transistoranordnung **6** weisen die Kollektor-Emitter-Strecken beider Lawinentransistoren **T1**, **T2** einen sehr geringen Widerstand auf, so dass ein schnelles Entladen des Ladungsspeicherelementes **TL** möglich ist. Ein Auslösen des Lawinentransistors **T1** bewirkt dabei auch ein Auslösen des Lawinentransistors **T2**, sodass die Transistoranordnung **6** insgesamt auslöst, d. h. vom gesperrten in den leitenden Zustand übergeht, wenn der Transistor **T1** auslöst.

[0153] Die Ladeschaltung **5** ist dazu eingerichtet, das Ladungsspeicherelement **TL** mit einer elektrischen Ladung aufzuladen, wenn die Ladeschaltung **5** mit der Versorgungsspannung, d.h. mit dem Versorgungspotential **+Vs**, verbunden ist, und die Transistoranordnung **6** einen gesperrten Zustand eingenommen hat. In dem gesperrten Zustand der Transistoranordnung **6** fließt nämlich nur ein sehr geringer Strom durch die Transistoranordnung **6**, so dass kein nennenswerter Ladungstransport über die Tran-

sistoranordnung **6** stattfindet und das Ladespeicherelement **TL** durch die Versorgungsspannung geladen werden kann.

[0154] Die Transistoranordnung **6** ist dazu eingerichtet, von dem gesperrten Zustand in den leitenden Zustand überzugehen, d.h. auszulösen, wenn dem Steuereingang **IN** das Triggersignal **TS** zugeführt wird, und in dem leitenden Zustand durch Entladen des Ladungsspeicherelementes **TL** einen Ausgangsimpuls am Ausgangsanschluss **OUT** der Impulserzeugungseinheit **2** zu erzeugen. Dabei werden in den Lawinentransistoren **T1**, **T2** auftretende Lawineneffekte ausgenutzt, die ein besonders schnelles Entladen des Ladungsspeicherelementes **TL** erlauben. Dadurch ist es möglich, Ausgangsimpulse mit großer Amplitude, sehr kurzer Impulsdauer und sehr kurzen Anstiegs- und Abfallzeiten zu erzeugen.

[0155] Die **Fig. 3** lässt des Weiteren erkennen, dass die Impulserzeugungseinheit **2**, deren Bestandteil der gezeigte Impulserzeugungsabschnitt **4** ist, einen mit dem Ausgangsanschluss **OUT** der Impulserzeugungseinheit **2** verbundenen Lastwiderstand **RL** aufweist. Über dem Lastwiderstand **RL** kann ein Spannungsimpuls als Ausgangsimpuls abgegriffen werden. Der Lastwiderstand **RL** ist zu diesem Zweck zwischen den Emitter des Lawinentransistors **T2** und den Bezugspotentialanschluss **GND** geschaltet.

[0156] Das in **Fig. 3** gezeigte Ausführungsbeispiel eines Impulserzeugungsabschnitts **4** weist darüber hinaus eine zwischen den Steuereingang **IN** und die Transistoranordnung **6** geschaltete Ansteuerschaltung **7** zum Ansteuern der Transistoranordnung **6** auf. Die Ansteuerschaltung **7** weist dabei einen Abschlusswiderstand **R2** auf, der eine Verbindungsleitung, über welche die Steuereinheit **3** mit dem Steuereingang **IN** des Impulserzeugungsabschnitts **4** signaltechnisch verbunden ist, mit dem Leitungswellenwiderstand der Verbindungsleitung abschließt. Der Abschlusswiderstand **R2** hat in diesem Ausführungsbeispiel einen Wert von 200 Ω . Die Ansteuerschaltung **7** weist darüber hinaus einen Koppelkondensator **C2** auf, der eine kapazitive Kopplung zwischen dem Steuereingang **IN** und der Transistoranordnung **6** herstellt. Der Koppelkondensator **C2** hat in diesem Ausführungsbeispiel eine Kapazität von 10 nF.

[0157] Die Ansteuerschaltung **7** weist außerdem einen Signaltransformator **TR1** auf. Der Signaltransformator **TR1** trennt den Steuereingang **IN** galvanisch von der Transistoranordnung **6**.

[0158] Die Versorgungsspannung, d.h. die Potentialdifferenz zwischen dem Versorgungspotential **+Vs** und dem Bezugspotentialanschluss **GND**, beträgt vorzugsweise zwischen 100 V und 110 V. Die Spannung der als Triggersignale **TS** dienenden Span-

nungsimpulse kann zwischen 1,3 V und 3,5 V betragen. Vorzugsweise beträgt die Spannung der als Triggersignale dienenden Spannungsimpulse näherungsweise 2 V.

[0159] Mit dem in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsbeispiel eines Impulserzeugungsabschnitts ist es möglich, als Ausgangsimpulse Spannungsimpulse mit einer Anstiegszeit von 2 ns, einer Halbwertsbreite von 10 ns und einer Amplitude von mehreren 10 V zu erzeugen.

[0160] Die **Fig. 4** zeigt ein schematisches Schaltbild eines Ausführungsbeispiels einer Impulserzeugungseinheit **2**, die insgesamt vier Impulserzeugungsabschnitte **4** aufweist. Die einzelnen Impulserzeugungsabschnitte **4** entsprechen dabei dem in der **Fig. 3** gezeigten Ausführungsbeispiel. Die vier Impulserzeugungsabschnitte **4** sind demnach miteinander identisch. Sie weisen sowohl eine identische Struktur als auch identische Bauelemente, d.h. Bauelemente des gleichen Typs, auf.

[0161] Das in der **Fig. 4** gezeigte Ausführungsbeispiel lässt außerdem erkennen, dass die vier Impulserzeugungsabschnitte **4** zueinander parallel geschaltet sind. Die Parallelschaltung der Impulserzeugungsabschnitte **4** ist dabei dadurch realisiert, dass die Impulserzeugungsabschnitte **4** zwischen einem gemeinsamen Versorgungsspannungsanschluss, an dem das Versorgungspotential **+Vs** anliegt, und dem Ausgangsanschluss **OUT** der Impulserzeugungseinheit **2** parallel geschaltet sind. Dadurch lässt sich auf besonders einfache Weise die Parallelisierung der Impulserzeugung im Sinne der vorliegenden Erfindung, d.h. die Verwendung mehrerer Impulserzeugungsabschnitte **4** und deren sequentielle Ansteuerung durch die Steuereinheit **2**, realisieren.

[0162] Alle vier Transistoranordnungen **6** der vier Impulserzeugungsabschnitte **4** sind zwischen die Ladeschaltung **5** des jeweiligen Impulserzeugungsabschnitts **4** und den Ausgangsanschluss **OUT** der Impulserzeugungseinheit **2** geschaltet. Zu diesem Zweck sind die Emitter der Lawinentransistoren **T2** der Transistoranordnungen **6** in einem gemeinsamen Verbindungspunkt mit dem Ausgangsanschluss **OUT** der Impulserzeugungseinheit **2** verbunden. Über dem mit dem Ausgangsanschluss **OUT** verbundenen Lastwiderstand **RL** können Spannungsimpulse als von den Impulserzeugungsabschnitten **4** erzeugte Ausgangsimpulse abgegriffen werden.

[0163] Da die Steuereinheit **3** des Impulsgenerators **1** die einzelnen zeitlich zueinander versetzten Triggersignale **TS1**, **TS2**, **TS3**, **TS4** den vier verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten **4** sequentiell zuführt, erzeugt die Impulserzeugungseinheit **2** an ihrem Ausgangsanschluss **OUT** eine Ausgangsimpulssequenz, die eine Mehrzahl zeitlich zueinan-

der versetzter und von unterschiedlichen Impulserzeugungsabschnitten **4** erzeugter Ausgangsimpulse in Form von Spannungsimpulsen umfasst.

[0164] Mit dem in **Fig. 4** gezeigten Ausführungsbeispiel einer Impulserzeugungseinheit **2**, die vier Impulserzeugungsabschnitte **4** aufweist, ist es möglich, Spannungsimpulse mit den zuvor genannten Eigenschaften (Anstiegszeit von 2 ns, Halbwertsbreite von 10 ns und Amplitude von mehreren 10 V) mit einer Wiederholfrequenz von 12,5 MHz zu erzeugen. Wird die Anzahl der Impulserzeugungsabschnitte **4** der Impulserzeugungseinheit **2** von vier auf acht erhöht, so erhöht sich die realisierbare Wiederholfrequenz auf 25 MHz. Die realisierbare Wiederholfrequenz der Impulserzeugung skaliert somit linear mit der Anzahl der Impulserzeugungsabschnitte. Dadurch ist vorteilhaft die Realisierung einer Impulserzeugung mit sehr hohen Wiederholfrequenzen möglich.

[0165] Die **Fig. 5** zeigt ein schematisches Schaltbild eines Ausführungsbeispiels einer Testschaltung **10** zur Durchführung des Prüfverfahrens zum Bestimmen einer Durchbruchspannung eines Bipolartransistors sowie zur Durchführung des Auswahlverfahrens zum Auswählen von übereinstimmenden Durchbruchsspannungen aufweisenden Bipolartransistoren.

[0166] Die Testschaltung **10** weist einen mit der Basis des Bipolartransistors **T3** verbindbaren Basisanschluss **11**, einen mit dem Kollektor des Bipolartransistors **T3** verbindbaren Kollektoranschluss **12** und einen mit dem Emitter des Bipolartransistors **T3** verbindbaren Emitteranschluss **13** auf. Der zu prüfende Bipolartransistor **T3**, der in diesem Ausführungsbeispiel ein Lawinentransistor vom Typ 2N2369 ist, ist in dem in **Fig. 5** gezeigten Ausführungsbeispiel bereits mit der Testschaltung verbunden.

[0167] Darüber hinaus weist die Testschaltung **10** eine einstellbare Spannungsquelle **14** auf, die eine einstellbare Testspannung **Ut** liefert.

[0168] Zwischen den Kollektoranschluss **12** und die einstellbare Spannungsquelle **14** ist eine Ladeschaltung **19** geschaltet. Die Ladeschaltung **19** weist ein zum Speichern einer elektrischen Ladung eingerichtetes Ladungsspeicherelement **C3** in Form eines Kondensators auf, das mit einer von der einstellbaren Spannungsquelle **14** bereitgestellten elektrischen Ladung aufladbar ist. Das Ladungsspeicherelement **C3** wird dabei über die Ladewiderstände **R3** und **R4**, die zwischen das Ladungsspeicherelement **C3** und die einstellbare Spannungsquelle **14** geschaltet sind, geladen. Die Ladeschaltung **19** weist außerdem einen Filterkondensator **C5** auf, der zur Verbesserung der elektromagnetischen Verträglichkeit dient, indem die Spannungsquelle **14** lokal entkoppelt und parasitä-

re Induktivitäten der Verbindungsleitungen zur Spannungsquelle abgeschwächt werden.

[0169] Die Testschaltung **10** weist des Weiteren eine mit dem Emitteranschluss **13** verbundene Lastwiderstandsanordnung **15** auf. Die Lastwiderstandsanordnung **15** besteht in diesem Ausführungsbeispiel aus vier parallel geschalteten Lastwiderständen **R5**, **R6**, **R7**, **R8**. Über dieser Lastwiderstandsanordnung **15** wird durch die Testschaltung **10** eine Spannungsimpulsfolge erzeugt.

[0170] Die in der **Fig. 5** gezeigte Testschaltung **10** weist außerdem eine mit dem Basisanschluss **11** verbundene Ansteuerschaltung **16** auf. Die Ansteuerschaltung **16** weist einen Signalgenerator **17** auf, der in diesem Ausführungsbeispiel ein Arbiträrgenerator ist, und ist so eingerichtet, dass dem Basisanschluss **11** eine von dem Signalgenerator **17** erzeugte Sequenz von Triggersignalen in Form von Spannungsimpulsen zugeführt wird. Der Signalgenerator **17** erzeugt zu diesem Zweck eine Sequenz von gleichartigen, rechteckförmigen Spannungsimpulsen in regelmäßigen Abständen, um den zu prüfenden Lawinentransistor **T3** in regelmäßigen Abständen zu triggern.

[0171] Die Ansteuerschaltung **16** weist außerdem eine schnelle Diode **D1** auf, die dazu dient, den Signalgenerator **17** vor einer von dem zu prüfenden Lawinentransistor **T3** verursachten Rückschlagspannung zu schützen. Die Ansteuerschaltung **16** weist außerdem zwei Abschlusswiderstände **R9** und **R10** auf, welche als Abschluss der Übertragungsleitung dienen und Leitungsreflexionen verhindern. Die Ansteuerschaltung **16** weist außerdem einen Koppelkondensator **C4** auf, der dazu dient, einen Gleichspannungsanteil auszufiltern, d.h. zu blocken.

[0172] Die Testschaltung **10** weist darüber hinaus eine Spannungsmesseinrichtung **18** auf, die dazu eingerichtet ist, den zeitlichen Verlauf der über der Lastwiderstandsanordnung **15** abfallenden Ausgangsspannung zu messen und anzuzeigen. Die Spannungsmesseinrichtung **18** ist in dem in **Fig. 5** gezeigten Ausführungsbeispiel ein Oszilloskop. Um die über der Lastwiderstandsanordnung **15** abfallende Ausgangsspannung messen und anzeigen zu können, ist die Spannungsmesseinrichtung **18** zu der Lastwiderstandsanordnung **15** parallel geschaltet.

[0173] Auf diese Weise kann die Spannungsmesseinrichtung **18** als zeitlichen Verlauf der Ausgangsspannung eine beständige Spannungsimpulsfolge anzeigen, die über der Lastwiderstandsanordnung **15** erzeugt wird, wenn der zu prüfende Lawinentransistor **T3** bei jedem Triggersignal auslöst und dadurch einen Ausgangsimpuls erzeugt. Die von der Spannungsmesseinrichtung **18** angezeigte beständige Spannungsimpulsfolge zeigt an, dass die einge-

stellte Testspannung **Ut** die Durchbruchspannung erreicht hat.

[0174] Die **Fig. 6** zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen bildgebenden Systems **30**. Das bildgebende System **30** weist einen erfindungsgemäßen Impulsgenerator **1** der zuvor beschriebenen Art und einen Bildverstärker **31** mit einem steuerbaren Verstärkungszeitfenster auf.

[0175] Der Impulsgenerator **1** weist eine Impulserzeugungseinheit **2** mit vier Impulserzeugungsabschnitten und eine Steuereinheit **3** auf, die mit jedem Impulserzeugungsabschnitt der Impulserzeugungseinheit **2** signaltechnisch verbunden ist. Die Impulserzeugungseinheit **2** weist einen Ausgangsanschluss **OUT** auf, an dem eine Ausgangsimpulssequenz erzeugt wird, die eine Mehrzahl zeitlich zueinander versetzter und von unterschiedlichen Impulserzeugungsabschnitten erzeugter Ausgangsimpulse in Form von rechteckförmigen Spannungsimpulsen umfasst. Die Steuereinheit **2** des Impulsgenerators **1** weist einen Synchronisierungseingang **8** auf und ist dazu eingerichtet, die Erzeugung der Triggersignale, die den Impulserzeugungsabschnitten der Impulserzeugungseinheit **2** zugeführt werden, zu einem dem Synchronisierungseingang **8** zugeführten Hochfrequenz-Referenzsignal zu synchronisieren.

[0176] Der Bildverstärker **31** weist einen Gate-Eingang **32** auf. Über einer an dem Gate-Eingang **32** anliegenden Spannung ist das Verstärkungszeitfenster des Bildverstärkers **31** steuerbar. Der Ausgangsanschluss **OUT** der Impulserzeugungseinheit **2** des Impulsgenerators **1** ist mit dem Gate-Eingang **32** des Bildverstärkers **31** verbunden, um dem Bildverstärker **31** von dem Impulsgenerator erzeugte Ausgangsimpulse in Form von Spannungsimpulsen zuzuführen und dadurch das Verstärkungszeitfenster des Bildverstärkers **31** zu steuern.

[0177] Das bildgebende System **30** des in **Fig. 6** gezeigten Ausführungsbeispiels weist außerdem eine Referenzsignalquelle **33** auf, die ein Hochfrequenz-Referenzsignal erzeugt. Des Weiteren weist das bildgebende System **30** eine Treibereinheit **34** auf, die dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit des Hochfrequenz-Referenzsignals einen physikalischen Prozess **35** zur Erzeugung eines primären optischen Signals **36** anzuregen.

[0178] Die Referenzsignalquelle **33** ist mit der Treibereinheit **34** signaltechnisch verbunden, um der Treibereinheit **34** das Hochfrequenz-Referenzsignal zuzuführen. Des Weiteren ist die Referenzsignalquelle **33** mit dem Synchronisierungseingang **8** der Steuereinheit **3** des Impulsgenerators **1** signaltechnisch verbunden, um der Steuereinheit **3** ebenfalls das Hochfrequenz-Referenzsignal zuzuführen. Der Bild-

verstärker **31** ist dazu eingerichtet, in Abhängigkeit der dem Bildverstärker **31** von dem Impulsgenerator **1** zugeführten Ausgangsimpulse, d. h. in Abhängigkeit der Spannungsimpulse, das primäre optische Signal **36** innerhalb des Verstärkungszeitfensters zu einem sekundären optischen Signal **37** zu verstärken.

[0179] Schließlich weist das bildgebende System **30** eine Kamera **38** auf, die dazu eingerichtet ist, das sekundäre optische Signal **37** zu erfassen und daraus ein Bild zu erzeugen.

Patentansprüche

1. Impulsgenerator (1) zur Erzeugung von Impulsen mit hoher Wiederholfrequenz, der eine Impulserzeugungseinheit (2) und eine Steuereinheit (3) aufweist, wobei die Impulserzeugungseinheit (2) einen mit einer Last verbindbaren Ausgangsanschluss (OUT) und eine Mehrzahl von Impulserzeugungsabschnitten (4) aufweist und jeder Impulserzeugungsabschnitt (4)
 - einen Steuereingang (IN) aufweist, dem ein Triggersignal (TS, TS1, TS2, TS3, TS4) zugeführt werden kann,
 - eine Ladeschaltung (5) aufweist, die mit einer Versorgungsspannung verbindbar ist und die mindestens ein zum Speichern einer elektrischen Ladung eingerichtetes Ladungsspeicherelement (C3, TL) aufweist, und
 - eine zwischen die Ladeschaltung (5) und den Ausgangsanschluss (OUT) der Impulserzeugungseinheit (2) geschaltete Transistoranordnung (6) aufweist, die einen gesperrten und einen leitenden Zustand einnehmen kann und mindestens einen Lawinentransistor (T1, T2) umfasst, wobei
 - die Ladeschaltung (5) dazu eingerichtet ist, das Ladungsspeicherelement (C3, TL) mit einer elektrischen Ladung aufzuladen, wenn die Ladeschaltung (5) mit der Versorgungsspannung verbunden ist und die Transistoranordnung (6) einen gesperrten Zustand eingenommen hat, und
 - die Transistoranordnung (6) dazu eingerichtet ist, von dem gesperrten Zustand in den leitenden Zustand überzugehen, wenn dem Steuereingang (IN) das Triggersignal (TS, TS1, TS2, TS3, TS4) zugeführt wird, und in dem leitenden Zustand durch Entladen des Ladungsspeicherelementes (C3, TL) unter Ausnutzung eines in dem mindestens einen Lawinentransistor (T1, T2) auftretenden Lawineneffektes einen Ausgangsimpuls am Ausgangsanschluss (OUT) der Impulserzeugungseinheit (2) zu erzeugen, und wobei die Steuereinheit (3)
 - mit jedem Impulserzeugungsabschnitt (4) der Impulserzeugungseinheit (2) über den Steuereingang (IN) des Impulserzeugungsabschnitts (4) signaltechnisch verbunden ist,
 - dazu eingerichtet ist, eine Triggersignalsequenz, die eine Mehrzahl zeitlich zueinander versetzter Trigger-

signale (TS, TS1, TS2, TS3, TS4) umfasst, zu erzeugen,

- und dazu eingerichtet ist, die einzelnen zeitlich zueinander versetzten Triggersignale (TS, TS1, TS2, TS3, TS4) sequentiell verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten (4) zuzuführen, sodass die Impulserzeugungseinheit (2) an ihrem Ausgangsanschluss (OUT) eine Ausgangsimpulssequenz erzeugt, die eine Mehrzahl zeitlich zueinander versetzter und von unterschiedlichen Impulserzeugungsabschnitten (4) erzeugter Ausgangsimpulse umfasst.

2. Impulsgenerator (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (3) dazu eingerichtet ist, den verschiedenen Impulserzeugungsabschnitten (4) die zeitlich zueinander versetzten Triggersignale (TS, TS1, TS2, TS3, TS4) sequentiell und zyklisch zuzuführen, wobei in jedem Zyklus jedem Impulserzeugungsabschnitt (4) mindestens ein Triggersignal (TS, TS1, TS2, TS3, TS4), insbesondere genau ein Triggersignal (TS, TS1, TS2, TS3, TS4), zugeführt wird.

3. Impulsgenerator (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Impulserzeugungsabschnitte (4) zueinander parallel geschaltet sind.

4. Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ladungsspeicherelement (C3, TL) einen Kondensator (C3) umfasst.

5. Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ladungsspeicherelement (C3, TL) eine Verzögerungsleitung (TL) umfasst, insbesondere einen Leitungsabschnitt einer elektrischen Leitung umfasst, insbesondere einen Leitungsabschnitt einer Koaxialleitung, einen Leitungsabschnitt einer Streifenleitung und/oder einen Leitungsabschnitt eines sonstigen elektrischen Wellenleiters umfasst.

6. Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Impulserzeugungsabschnitte (4) jeweils eine zwischen den Steuereingang (IN) und die Transistoranordnung (6) geschaltete Ansteuerschaltung (7) zum Ansteuern der Transistoranordnung (6) aufweisen, wobei die Ansteuerschaltung (7)

- einen Abschlusswiderstand (R2) aufweist, der eine Verbindungsleitung, über welche die Steuereinheit (3) mit dem Steuereingang (IN) des Impulserzeugungsabschnitts (4) signaltechnisch verbunden ist, mit dem Leitungswellenwiderstand der Verbindungsleitung abschließt, und/oder

- einen Koppelkondensator (C2) aufweist, der eine kapazitive Kopplung zwischen dem Steuereingang (IN) und der Transistoranordnung (6) herstellt, und/oder

- einen Signaltransformator (TR1) aufweist, welcher den Steuereingang (IN) galvanisch von der Transistoranordnung (6) trennt.

7. Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Transistoranordnung (6) eine Reihenschaltung von Lawinentransistoren (T1, T2) und/oder eine Parallelschaltung von Lawinentransistoren (T1, T2) und/oder eine aus Lawinentransistoren (T1, T2) aufgebaute Marx-Schaltung aufweist.

8. Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Impulserzeugungsabschnitte (4) miteinander identisch sind.

9. Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Impulserzeugungseinheit (2) mindestens vier oder mindestens sechs oder mindestens acht oder mindestens zehn oder mindestens zwölf oder mindestens sechzehn oder mindestens zwanzig oder mindestens hundert Impulserzeugungsabschnitte (4) aufweist.

10. Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Triggersignal (TS, TS1, TS2, TS3, TS4) ein Triggerimpuls ist, insbesondere ein Triggerimpuls in Form eines Spannungsimpulses ist, insbesondere ein Triggerimpuls in Form eines rechteckförmigen Spannungsimpulses ist.

11. Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Impulserzeugungseinheit (2) einen mit dem Ausgangsanschluss (OUT) verbundenen Lastwiderstand (RL) aufweist, über dem ein Spannungsimpuls als Ausgangsimpuls abgegriffen werden kann.

12. Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (3) einen Synchronisierungseingang (8) aufweist und die Steuereinheit (3) dazu eingerichtet ist, die Erzeugung der Triggersignale (TS, TS1, TS2, TS3, TS4) der Triggersignalsequenz zu einem dem Synchronisierungseingang (8) zugeführten Referenzsignal, insbesondere einem Hochfrequenz-Referenzsignal, zu synchronisieren.

13. Impulsgenerator (1) nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (3) ein konfigurierbares Verzögerungsglied aufweist, mit dem die Phasenverschiebung zwischen dem Referenzsignal und den Triggersignalen (TS, TS1, TS2, TS3, TS4) der Triggersignalsequenz konfiguriert werden kann.

14. Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lawinentransistoren (T1, T2) der verschiedenen Impulserzeugungsabschnitte (4) übereinstimmende elektrische Parameter, insbesondere übereinstimmende Durchbruchspannungen, aufweisen.

15. Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Versorgungsspannungen der Impulserzeugungsabschnitte (4) unterschiedlich sind und/oder unabhängig voneinander konfigurierbar sind und/oder jeweils an eine Durchbruchspannung des mindestens einen Lawinentransistors (T1, T2) des jeweiligen Impulserzeugungsabschnitts (4) angepasst sind.

16. Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (3) einen FPGA (9) aufweist.

17. Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Impulsgenerator (1) dazu eingerichtet ist, die Ausgangsimpulse der Ausgangsimpulssequenz mit einer Wiederholfrequenz von mindestens 10 MHz oder von mindestens 20 MHz oder von mindestens 25 MHz zu erzeugen.

18. Bildgebendes System (30), das einen Impulsgenerator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche und einen Bildverstärker (31) mit einem steuerbarem Verstärkungszeitfenster aufweist, wobei

- der Bildverstärker (31) mindestens einen Gate-Eingang (32) aufweist und über eine an dem Gate-Eingang (32) anliegende Spannung das Verstärkungszeitfenster des Bildverstärkers (31) steuerbar ist und
- der Ausgangsanschluss (OUT) der Impulserzeugungseinheit (2) des Impulsgenerators (1) mit dem Gate-Eingang (32) des Bildverstärkers (31) verbunden ist, um dem Bildverstärker (31) von dem Impulsgenerator (1) erzeugte Ausgangsimpulse zuzuführen und dadurch das Verstärkungszeitfenster des Bildverstärkers (31) zu steuern.

19. Bildgebendes System (30) nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Impulsgenerator (1) ein Impulsgenerator (1) nach Anspruch 12 ist und

- das bildgebende System (30) eine Referenzsignalquelle (33) aufweist, die ein Referenzsignal erzeugt, und
- das bildgebende System (30) eine Treibereinheit (34) aufweist, die dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit des Referenzsignals einen physikalischen Prozess (35) und/oder ein physikalisches Objekt zur Erzeugung eines primären optischen Signals (36) anzuregen, und
- die Referenzsignalquelle (33) mit der Treibereinheit (34) signaltechnisch verbunden ist, um der Treibereinheit (34) das Referenzsignal zuzuführen, und

die Referenzsignalquelle (33) mit dem Synchronisierungseingang (8) der Steuereinheit (3) des Impulsgenerators (1) signaltechnisch verbunden ist, um der Steuereinheit (3) das Referenzsignal zuzuführen, und

- der Bildverstärker (31) dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit der dem Bildverstärker (31) von dem Impulsgenerator (1) zugeführten Ausgangsimpulse das primäre optische Signal (36) innerhalb des Verstärkungszeitfensters zu einem sekundären optischen Signal (37) zu verstärken, und

- das bildgebende System (30) eine Kamera (38) aufweist, die dazu eingerichtet ist, das sekundäre optische Signal (37) zu erfassen und daraus ein Bild zu erzeugen.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

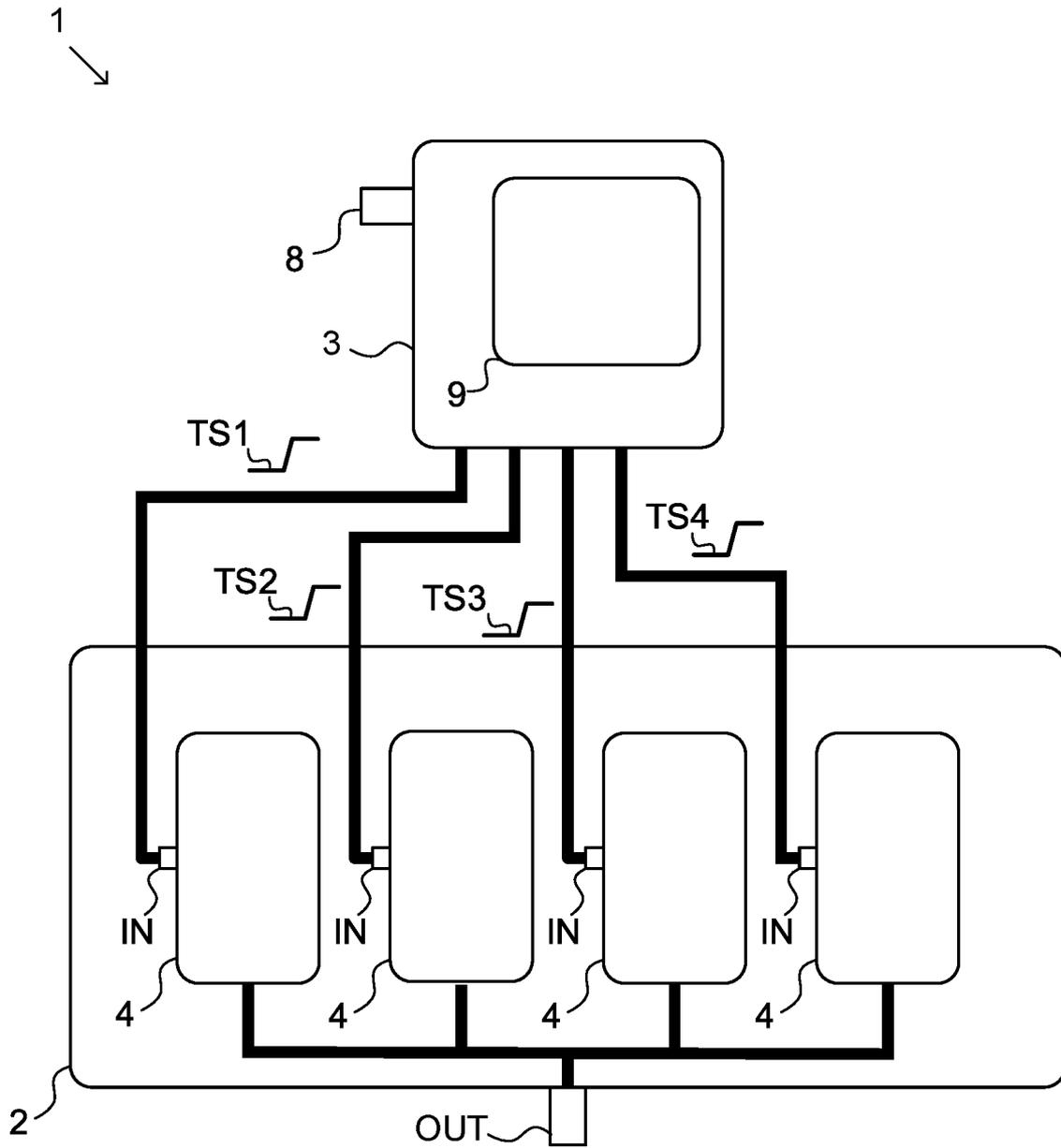


Fig. 1

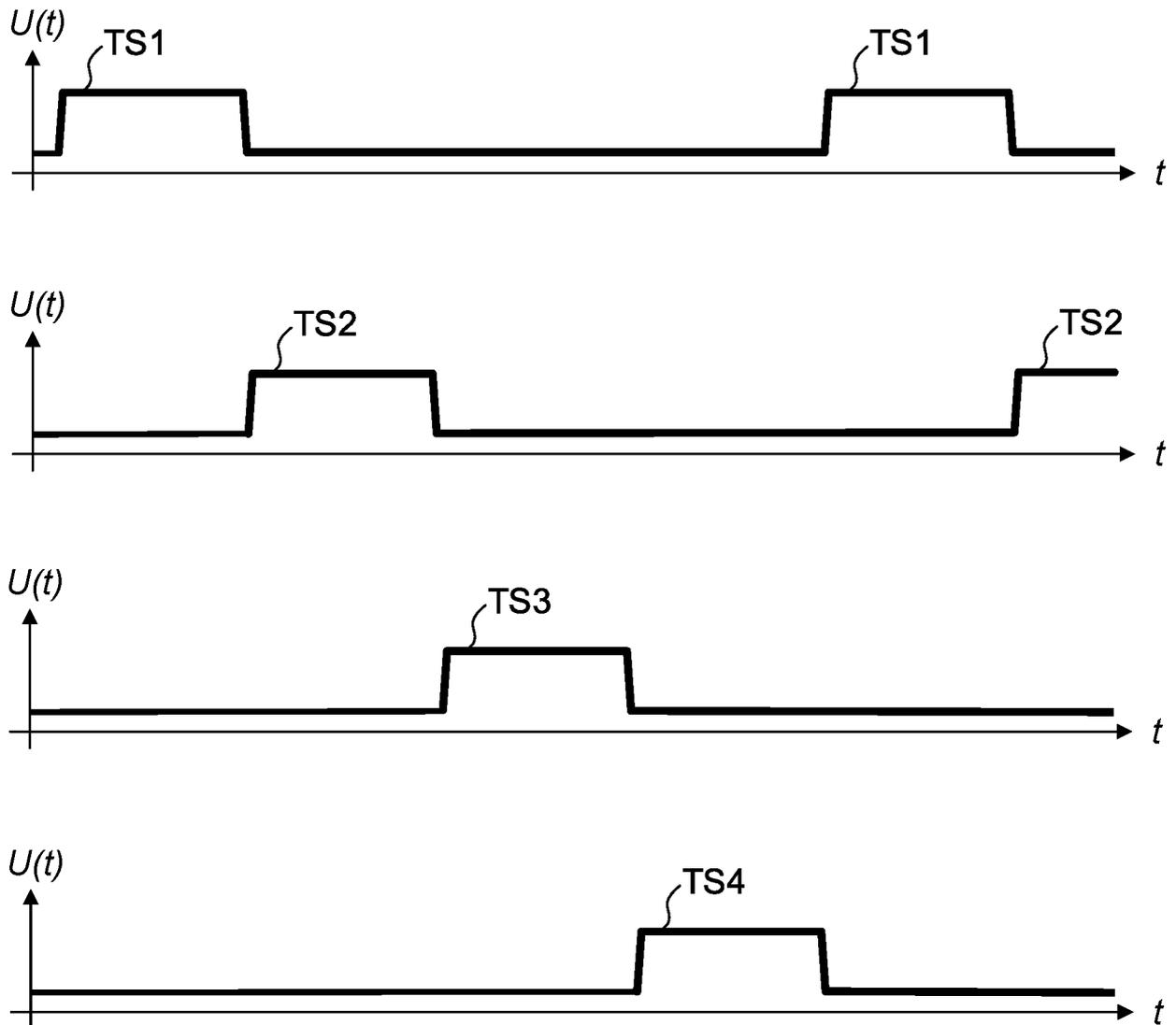


Fig. 2

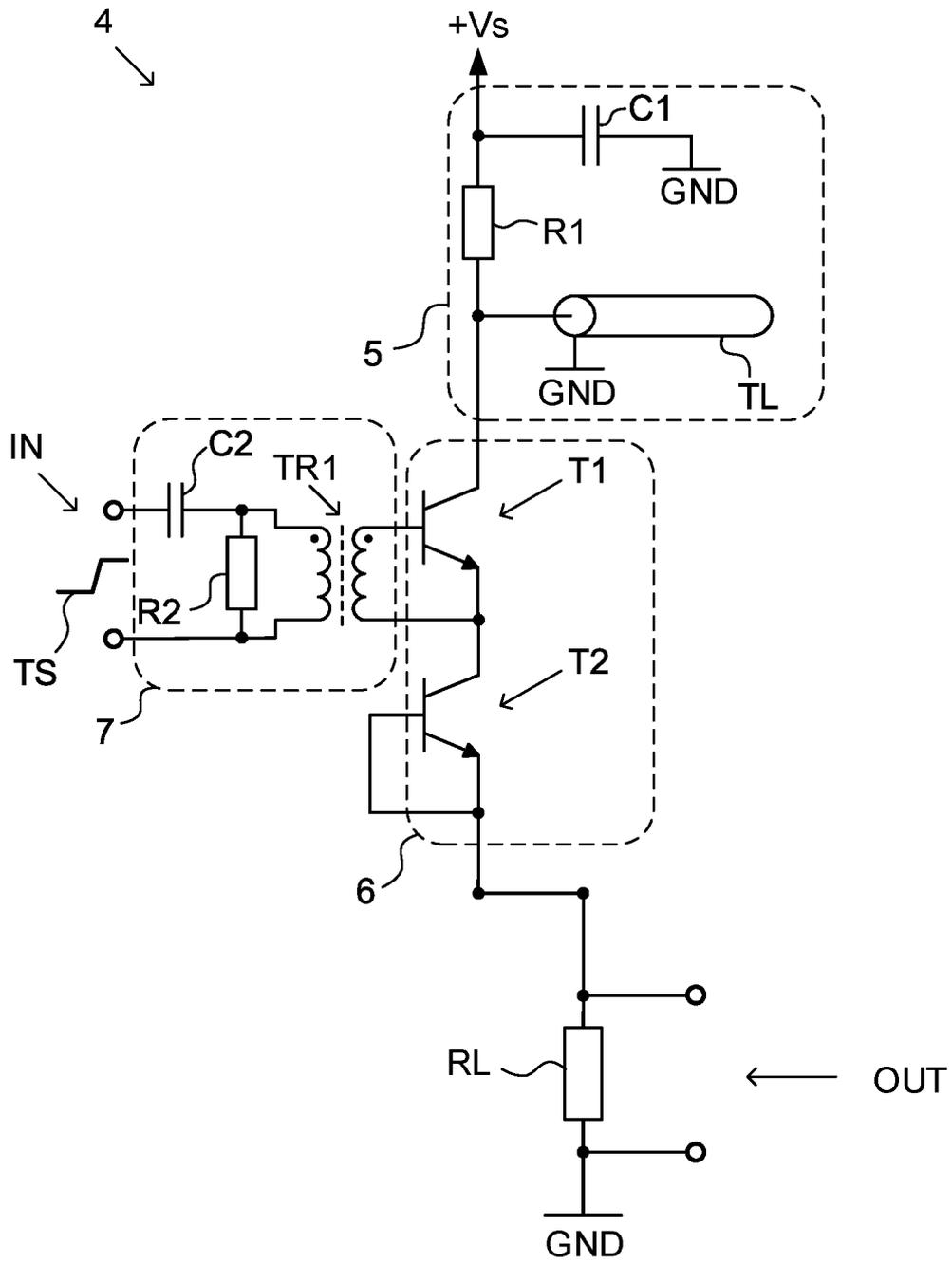


Fig. 3

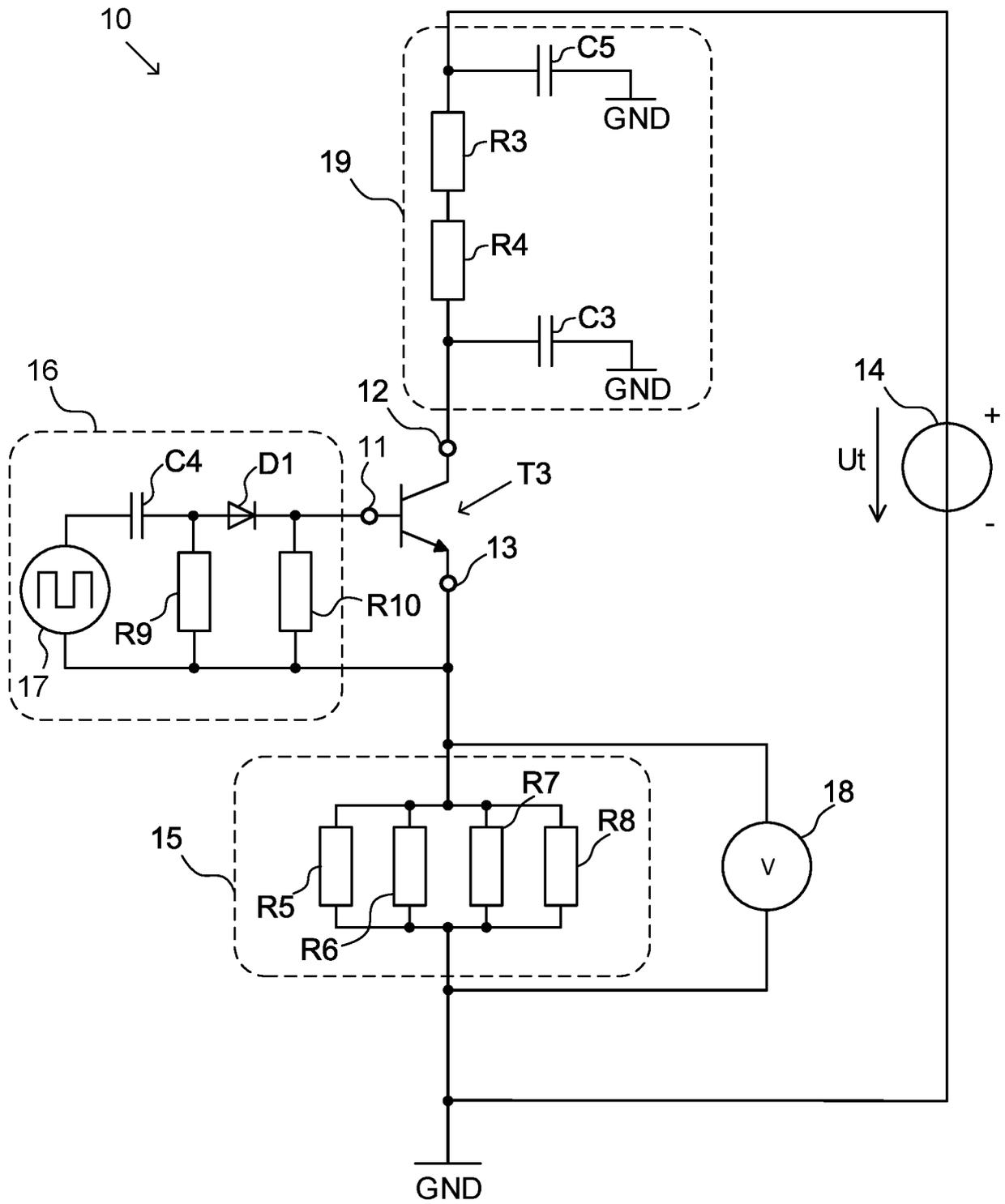


Fig. 5

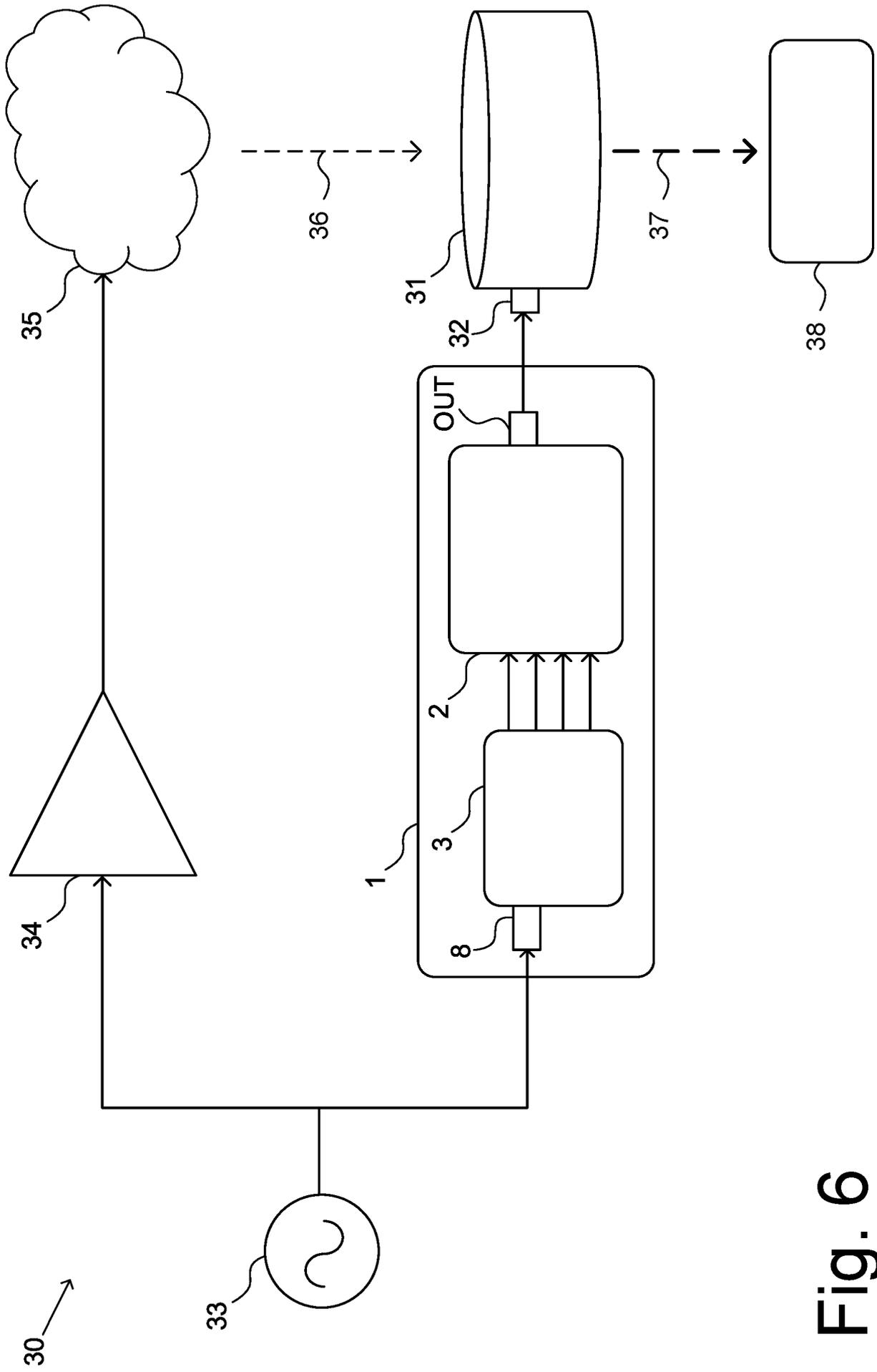


Fig. 6