das integrierte Ladungsflußsignal die Schwellenspannung erreicht, gibt der Komparator an seinem Ausgang einen Impuls ab. Dieser Impuls gelangt über den Addierer **4** zum D-Flip-Flop **3**. Das D-Flip-Flop **3** ändert seinen Zustand, d. h. die Signale an seinen Ausgängen Q bzw. $\overline{Q}$ werden jeweils invertiert. Hierdurch wird das bisher geöffnete Schaltelement durchgeschaltet, das bisher durchgeschaltete Schaltelement geöffnet und der zugehörige Integrator zurückgesetzt. Die Rücksetzung erfolgt hierbei sofort; das Aufheben der Rücksetzung erfolgt jedoch erst kurze Zeit (typischer Wert: 50 ns) nach der Durchschaltung des betreffenden Zweiges. Hierzu sind Verzögerungselemente **15, 15'** vorgesehen, die verhindern, daß ein beim Durchschalten des betreffenden Zweiges auftretender Stromstoß durch den Integrator **10, 10'** aufintegriert wird und die Messung verfälscht.

Nun setzt sich der oben beschriebene Ablauf im anderen Zweig fort, während der bisher aktive Zweig ruht.

Die beiden Zweige liefern also abwechselnd Impulse an den Addierer **4**, so daß am Abgriff **42** eine Impulsfolge über der Zeit entsteht, deren Frequenz den eingangsseitigen Ladungsfluß pro Zeit repräsentiert.

Die Auflösung dieser Schaltung liegt bei 10 pC/Impuls, der Ladungsfluß liegt bei 25 μC/s. Mit dieser Schaltung können bereits Ausgangssignale mit Frequenzen bis zu 1 MHz für Strahlintensitäten von 10^6 bis 10^8 Teilchen pro Sekunde erzeugt werden. Die Fehlerrate bleibt hierbei unter 3%.

Die Fehlerrate kann noch weiter gesenkt werden, wenn die Umschaltung zwischen den beiden Zweigen seltener erfolgt. Dies wird mit einer Schaltung gemäß **Fig.** 2A, B erreicht. **Fig.** 2A zeigt den Aufbau eines Ladungs-Frequenz-Wandlers als Blockschaltbild gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Diese Schaltung ist gegenüber der Schaltung der **Fig.** 1 um jeweils eine Komponente **50, 60** bzw. **50', 60'** zur Erzeugung verschiedener Schwellenspannungswerte erweitert. Die Schwellenspannungswerte werden erzeugt, indem verschiedene Widerstände **51–54** bzw. **51'–54'** an den Eingang von Operationsverstärkern **60, 60'** aufgeschaltet werden. Die Aufschaltung eines der Schwellenspannungswerte erfolgt durch Binärzählerbausteine **50, 50'**, die jeweils durch die Impulse des Ausgangssignale der Komparatoren **30, 30'** ausgelöst werden. Mit den vier Widerständen **51–54** bzw. **51'–54'** können also jeweils 16 verschiedene Schwellenspannungswerte (oder Treppenspannungen) erzeugt werden. Bei einem Widerstandsverhältnis zweier benachbarter Widerstände von 2 : 1 kann somit der Meßbereich um das 15fache erweitert werden. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel sind die beiden Zweige Z, Z' schaltungstechnisch identisch dimensioniert.

Wie beim ersten Ausführungsbeispiel wird das zu messende Ladungsflußsignal durch Takten der beiden Schaltelemente **40, 40'** einem der beiden Zweige zugeführt. Abweichend von dem ersten Ausführungsbeispiel werden die beiden Zweige hier jedoch nicht exakt im Gegentakt zueinander durchgeschaltet, sondern zeitlich geringfügig überlappend, d. h., die Schließzeiten der beiden Schaltelemente überlappen sich zu Beginn und Ende eines jeden Taktes.

Es sei nun angenommen, der Zweig Z sei der aktive Zweig. Zu Taktbeginn des aktiven Zweiges ist der Integrator **10** auf null gesetzt, und am Komparator **30** liegt der niedrigste Schwellenspannungswert an. Wenn das vom Verstärker **20** gelieferte integrierte Ladungsflußsignal größenmäßig den ersten Schwellenspannungswert erreicht hat, dann wird – wie beim ersten Ausführungsbeispiel – ein Impuls an den Ausgang abgegeben. Abweichend von dem Ladungs-Frequenz-Wandler des ersten Ausführungsbeispiels wird jedoch der Integrator nicht zurückgesetzt und auch keines der Schaltelemente geschaltet, d. h. der Zweig Z ist weiterhin aktiv. Es wird nun der Binärzähler **50** angesteuert, der sodann durch Durchschalten einer anderen Kombination aus den Widerständen **51–54** den nächsthöheren Schwellenspannungswert erzeugt und an den Eingang des Komparators **30** legt. Der Integrationsvorgang wird fortgesetzt, bis das integrierte Ladungsflußsignal größenmäßig den aktuellen Schwellenspannungswert erreicht. Dann wird wiederum ein Impuls abgegeben, und der Zyklus beginnt von neuem. Dieser Zyklus wiederholt sich, bis der letzte der 16 Schwellenspannungswerte erreicht ist; erst dann wird der aktive Zweig Z abgeschaltet und der Integrator **10** zurückgesetzt.

Der andere Zweig Z' wird jedoch nicht erst bei Erreichen des letzten Schwellenspannungswertes des anderen Zweiges Z durchgeschaltet, sondern schon beim Erreichen des vorletzten Schwellenspannungswertes. Somit sind während der letzten Meßphase beide Zweige Z, Z' aktiv. Damit kann auch der Meßfehler, der durch die Verzögerung beim Durchschalten eines Schaltelementes zu Beginn eines Zweigtaktes entsteht, eliminiert werden.

Der oben beschriebene Zyklus wiederholt sich nun für den Zweig Z' in gleicher Weise.

Fig. 3 zeigt ein Schaltbild für den analogen Teil des Ladungs-Frequenz-Wandlers, der beiden Ausführungsbeispielen der Erfindung gemeinsam ist. Der Integrator **10, 10'** ist jeweils durch einen Operationsverstärker (OPAMP) mit kapazitiver Rückkopplungsbeschaltung **15, 15'** realisiert, der zugeführte Ladungsfluß wird über Schaltelemente **40, 40'** auf den invertierenden Eingang geschaltet. Die Verstärker **20, 20'** sowie die Komparatoren **30, 30'** sind durch weitere OPAMPs mit entsprechender Beschaltung realisiert.

Fig. 4 zeigt ein Schaltbild für den digitalen Teil des Ladungs-Frequenz-Wandlers sowie die Schwellenspannungsgeneratoren gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Der Schwellenspannungsgenerator kann prinzipiell auf verschiedene Weise aufgebaut sein. Wichtig ist hierbei, daß er mit jedem Impuls (bis hinunter auf ca. 10 ns) innerhalb von weniger als 100 ns zuverlässig eine neuen Spannungsimpuls am Ausgang erzeugt. Selbstverständlich kann auch eine andere Anstufung der Schwellenspannungen realisiert werden. Dann enthält der Schwellenspannungsgenerator entsprechend mehr oder weniger Widerstände und einen Zähler mit entsprechend angepaßter Stellenzahl.

Anstelle eines Binärzählers kann auch eine andere Schaltung eingesetzt werden, mit der Treppenspannungen nacheinander ausgewählt werden können.

Anstelle der Erzeugung der verschiedenen Spannungswerte durch Aufschalten verschiedener Widerstandswerte auf den Operationsverstärker **60, 60'** kann der Schwellenspannungsgenerator **50, 50'; 60, 60'** auch mittels eines Digitalanalog-Konverters realisiert sein, der eine Binärzahl in einen Spannungswert umsetzt. **Fig.** 2B zeigt das dahingehend abgewandelte Ausführungsbeispiel der **Fig.** 2A.

Mit einer Schaltung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel unter Verwendung der in **Fig.** 3 und

Fig. 4 angegebenen Bauelementen können Ladungsflüsse von 10^{-14} bis 10^{-4} C/s gemessen werden.

Fig. 5 zeigt ein Kennliniendiagramm für den Ladungs-Frequenz-Wandler gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel. Über die horizontale Zeitachse aufgetragen sind im unteren Diagramm die Spannungsverläufe an den beiden Eingängen des Komparators **30** im Zweig Z, im mittleren Diagramm die Spannungsverläufe an den beiden Eingängen des Komparators **30'** im Zweig Z' und darüber das an den Ausgang **4** gelieferte Ausgangssignal. Die Schwellenspannungswerte liegen treppenförmig äquidistant zwischen –4 V und 4 V. Das den Komparatoren zugeführte integrierte Spannungssignal Uout1 bzw. Uout2 repräsentiert hier einen über die Zeit konstanten Ladungsfluß am Eingang **1**. Jedem