

KFK-308

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

November 1964

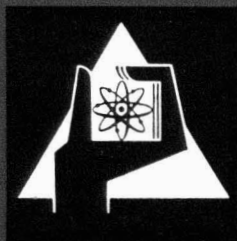
KFK 308

Zyklotron-Laboratorium

*Gesellschaft für Kernforschung m. b. H.
Zentralbücherei*

Ein rauscharmer ladungsempfindlicher Vorverstärker
für Halbleiterdetektoren

H. J. Langmann, O. Meyer



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

EIN RAUSCHARMER LADUNGSEMPFINDLICHER VORVERSTÄRKER FÜR HALBLEITERDETEKTOREN

H.J. LANGMANN und O. MEYER

Zyklotron-Laboratorium im Kernforschungszentrum, Karlsruhe

Eingegangen am 13. April 1964

A charge sensitive low noise preamplifier is described. The amplifier alone showed a rms noise corresponding to a charge of 195 ion pairs. A comparison of the signal of merit of various input valves showed the type EC 1000 to be the most promising. A measure of the conversion electrons of Cs¹³⁷ with a semiconductor detector made of 8 000 ohm-cm, n-silicon (surface

barrier detector) gave a resolution of the 625 keV electrons of 2.9 keV. Pulses of a generator simulating nearly the same charge as corresponding to the 625 keV electrons showed a fwhm of 2.7 keV. This measurement is an indication, that the Fano-factor of the ionization noise of semiconductor detectors must be lower than that of gas ionization devices.

Rauscharme Vorverstärker sind für den Einsatz von Halbleiterzählern von großer Bedeutung. In vielen Fällen wird die erreichbare Energieauflösung durch das Rauschen des Vorverstärkers begrenzt. Durch die Verwendung neuer Röhrentypen ist es in den letzten Jahren gelungen, relativ rauscharme Vorverstärker zu bauen. Erst kürzlich wurde ein Röhrenverstärker beschrieben, dessen Rauschen — gemessen als quadratischer Mittelwert (rms) — etwa 180 Ionenpaaren entspricht¹⁾. Mit gekühlten Feld-Effekt-Transistoren als Verstärkereingangsstufe läßt sich auch ein sehr kleines Rauschen erreichen (220 Ionenpaare, rms²⁾).

Theoretische Untersuchungen^{3,4)} ergeben, daß es für die Auswahl der ersten Röhre des Verstärkers bzw. des 1. Transistors außer auf einen niedrigen Eingangsstrom auf ein niedriges Schroteffektrauschen und auf eine möglichst kleine Eingangskapazität ankommt. Besonders wichtig ist es, daß die gesamte für das Rauschen wirksame Kapazität klein ist. Wenn man die Ladungsimpulse eines Halbleiterzählers mit einem Röhrenverstärker verstärkt, so kann man zeigen, daß unter bestimmten Umständen das Rausch/Signal-Verhältnis proportional $(R_{aq}C^3)^{\frac{1}{2}}$ ist. $R_{aq} \sim 2.5/S$ (bei Trioden) bedeutet den äquivalenten Rauschwiderstand der ersten Verstärkerröhre, C die Eingangskapazität der Röhre nebst der Schaltkapazität und der Kapazität der Zuleitung vom Verstärker zum Zähler.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über das Produkt $R_{aq}C^3$ bei einigen Röhrentypen, die für die

TABELLE I

Vergleich verschiedener Eingangsröhren für Vorverstärker. Die Pentoden sind dabei als Trioden geschaltet. C_1 ist die Kapazität der gesockelten Röhre im warmen Zustand bei den angegebenen Betriebswerten. Alle Messungen sind jeweils nur an einem Exemplar vorgenommen worden.

| | U_a (V) | I_a (mA) | S mA/V | C_1 (pF) | $2.5/S$ (Ohm) | $(C_1 + 2)^3 \times 2.5/S$ |
|---------|--------------|---------------|-------------|---------------|------------------|----------------------------|
| D 3a | 150 | 20 | 36 | 18 | 70 | 560 000 |
| E 810F | 150 | 20 | 40 | 22.6 | 60 | 900 000 |
| E 280F | 150 | 20 | 30 | 15.8 | 85 | 475 000 |
| 417A | 150 | 10 | 15 | 14 | 165 | 680 000 |
| E 83F | 150 | 10 | 11 | 11 | 230 | 510 000 |
| E 88CC | 150 | 10 | 10 | 6.4 | 250 | 150 000 |
| | 65 | 7.5 | 10 | 7.2 | 250 | 195 000 |
| EC 1000 | 60 | 7.5 | 11 | 7.4 | 230 | 190 000 |

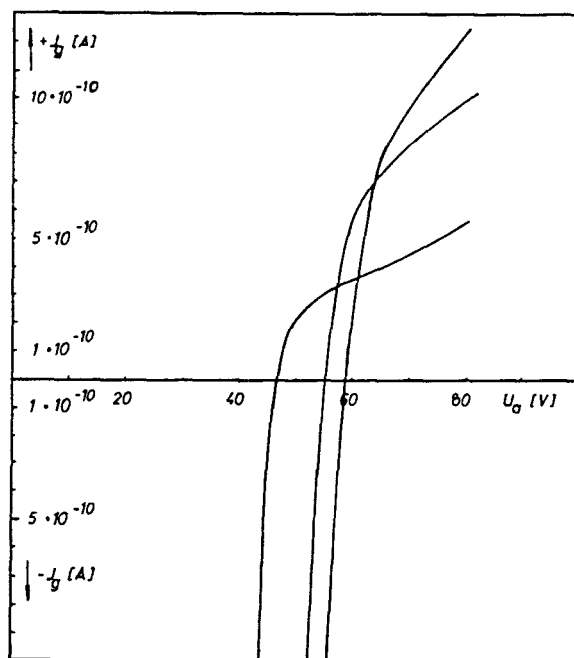


Abb. 1. Gitterstromkennlinien der EC 1000 bei $J_a = 7.5$ mA, $U_t = 6.3$ V. (drei verschiedene Röhren).

Eingangsstufe in Frage kommen. C ist dabei die gemessene Eingangskapazität C_1 der gesockelten Röhre im warmen Zustand $+2\text{ pF}$ für die am Gitter angeschlossenen Schaltelemente und die Verbindungsleitung zum Zähler. Die Werte sind jeweils nur an einem Exemplar gemessen worden, stimmen aber recht gut mit den aus den Datenblättern ermittelten Werten überein.

Die Tabelle zeigt, daß die Röhrentypen EC 1000 und E 88 CC als Eingangsröhren besonders geeignet

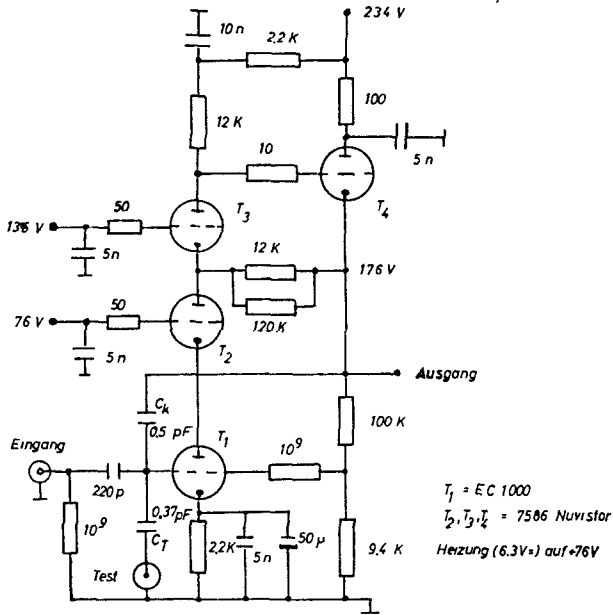


Abb. 2. Schaltschema des Verstärkers.

sein sollten. Die EC 1000 ist wegen ihres geometrischen Aufbaus und ihrer Kleinheit für den Einbau eines Verstärkers in ein Vakuumssystem besonders geeignet. Die Abb. 1 zeigt den gemessenen Gitterstrom von einigen Exemplaren der EC 1000. Der Gitterstrom der E 88 CC ist etwa so groß, wie der der EC 1000.

Die Abb. 2 zeigt die Schaltung eines Vorverstärkers, der mit der EC 1000 als Eingangsröhre betrieben wird. In der Schaltung wird ein erstmals von J. Hahn und R. Mayer⁵⁾ angegebenes Prinzip verwendet, um eine möglichst hohe Leerlaufverstärkung zu erreichen. Der Verstärker hat folgende Eigenschaften:

- Für das Rauschen wirksame elektronische Eingangskapazität (bei $I_a = 7.5\text{ mA}$) einschl. Zuleitung zum Zähler, Arbeitswiderstand und Koppelkapazität: 9.4 pF

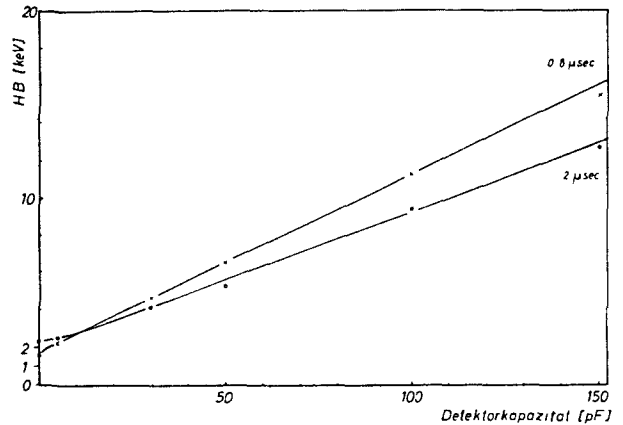


Abb. 3. Rauschen des Verstärkers nach Abb. 2. Anstelle des Detektors sind Kapazitäten zwischen 0 und 150 pF an den Eingang angeschlossen. Die Rauschspannung ist umgerechnet auf Halbwertsbreite in keV eines Siliziumzählers. Die beiden Kurven unterscheiden sich durch die eingestellte Zeitkonstante für die Impulsformung im Nachverstärker.

Anstiegszeit des Verstärkers

- ohne Zähler: ca. 30 nsec
- Volumen des Verstärkers: $2 \times 8 \times 6\text{ cm}^3$
- Rauschen des Verstärkers einschl. Zuleitung zum Zähler usw., aber ohne angeschlossenen Zähler: 195 Ionenpaare (rms)

Das Rauschen wurde dabei mit einem quadratischen Mittelwertsanzeiger (Hewlett-Packard 400 D) nach Fairstein⁶⁾ gemessen. Die Impulsformung geschah mit je einem RC-Glied für die Differentiation und Integration von ca. $1\text{ }\mu\text{sec}$. Der Anteil des Nachverstärkers am Rauschen war dabei nicht abgezogen.

Die Abb. 3 zeigt das Rauschen mit einer Kapazität am Eingang des Verstärkers für 2 Zeitkonstanten der Impulsformung ($0.8\text{ }\mu\text{sec}$ und $2\text{ }\mu\text{sec}$).

Mit einem selbstgefertigten Zähler (20 mm^2 Zählfläche) aus n -leitendem Silizium ($8000\text{ ohm}\cdot\text{cm}$) wurde die Halbwertsbreite der Konversionselektronen von Cs^{137} gemessen. Das Ergebnis zeigt die Abb. 4. Die Betriebsspannung des Zählers betrug 600 V, die Kapazität 5 pF (gemessen). Die Halbwertsbreite der Konversionselektronen war nicht größer als 2.9 keV, das Rauschen von Testimpulsen eines Impulsgenerators von nahezu der gleichen Ladungsmenge bei angeschlossenem Zähler 2.7 keV. Diese Messung zeigt als Nebenergebnis, daß der sog. Fano-Faktor bei Halbleiterzählern sehr klein sein muß. Er dürfte zwischen 0.1 und 0.15 liegen. Daraus folgt, daß bis zu Elektronenenergien von mindestens 2 MeV das Auf-

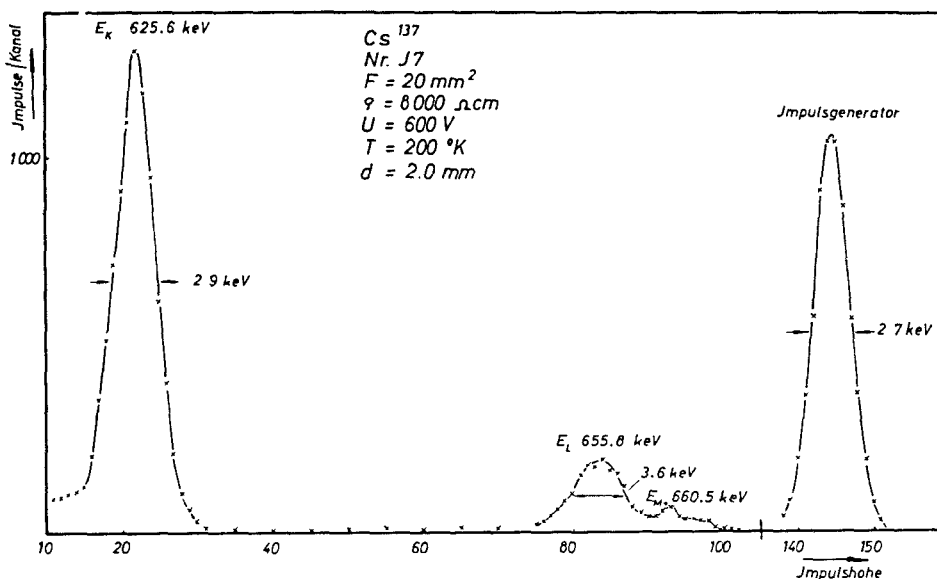


Abb. 4. Impulshöhenspektrum der Konversionselektronen von Cs^{137} , gemessen mit einem gekühlten Siliziumzähler.

lösungsvermögen nur durch das elektronische Rauschen (Schroteffekt der ersten Verstärkerröhre, Stromrauschen sowohl von Gitterstrom der ersten Verstärkerröhre wie auch vom Sperrstrom der Zählodiode, thermisches Rauschen von Widerständen) begrenzt wird. Erst bei höheren Energien werden die statistischen Schwankungen der Ionisation überwiegen.

Wir danken Herrn M. Baumgärtner für die Hilfe bei den Messungen. Den Zähler hat Frl. G. Korde angefertigt.

Literatur

- 1) J. L. Blankenship, Proc. 9th Scintill. and Semi-cond. Counter Symp., Feb. 1964.
- 2) T. V. Blalock, Proc. 9th Scintill. and Semicond. Counter Symp., Feb. 1964.
- 3) A. B. Gillespie, *Signal, noise and resolution in nuclear counter amplifiers*, (Pergamon Press Ltd. London, (1953)).
- 4) C. Cottini, E. Gatti, G. Gianelli and G. Rossi, Nuovo Cimento 3 (1956) 473.
- 5) J. Hahn und R. Mayer, IRE Trans. on Nucl. Science, NS 9 (1962) Nr. 4.
- 6) E. Fairstein, IRE Trans. on Nucl. Science, NS 9 (1961) Nr. 1.