

KFK-327

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

März 1965

~~Gesellschaft für Kernforschung m. B. H.~~

KFK 327

20. Aug 1965

Zyklotron-Laboratorium

Ein rauscharmer ladungsempfindlicher Vorverstärker
mit Feld-Effekt-Transistoren

O. Meyer



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

EIN RAUSCHARMER LADUNGSEMPFINDLICHER VORVERSTÄRKER MIT FELD-EFFEKT-TRANSISTOREN

O. MEYER

Zyklotron-Laboratorium, Kernforschungszentrum, Karlsruhe

Eingegangen am 20. Januar 1965

Das hohe Auflösungsvermögen von Halbleiterzählern erfordert sehr rauscharme Vorverstärker. Zur Zeit dürfte das beste erreichte Auflösungsvermögen eines Röhrenverstärkers mit den auf dem Markt befindlichen Röhrentypen bei etwa 175 Ionenpaare rms liegen^{1,2}). Dieses Auflösungsvermögen sollte sich mit Feldeffekttransistoren noch weiter verbessern lassen³⁻⁵). Der beste bisher berichtete Wert beträgt etwa 190 Ionenpaare rms⁶) (FET-Typ 2 N 2500, $T = 125$ K, $C_E = 25$ pF)

Vergleicht man die für das Rauschen maßgebenden Eigenschaften von Elektronenröhren mit den heute auf dem Markt befindlichen Feldeffekttransistoren (FET), so ergibt sich folgendes:

Bei Zimmertemperatur haben die FET keine wesentlichen Vorteile vor Elektronenröhren. Kühlt man die Transistoren jedoch auf etwa 135 K ab, so ist ihr Gitterstrom etwa um 2-3 Größenordnungen niedriger als der von rauscharmen Elektronenröhren. Zwar sind der für das Schroteffektrauschen repräsentative äquivalente Rauschwert und die effektive Eingangskapazität größer als bei den in Frage kommenden Elektronenröhren. Da jedoch wegen des sehr niedrigen Gitterstromes der FET die impulsformende Zeitkonstante länger sein kann als bei Röhren, fällt dieser Effekt nicht so ins Gewicht. Insgesamt zeigt ein quan-

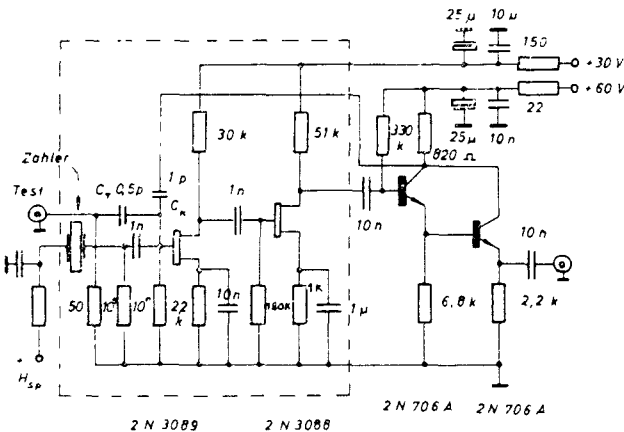


Fig 1 Schaltbild des Verstärkers mit angeschlossenem Halbleiterzähler

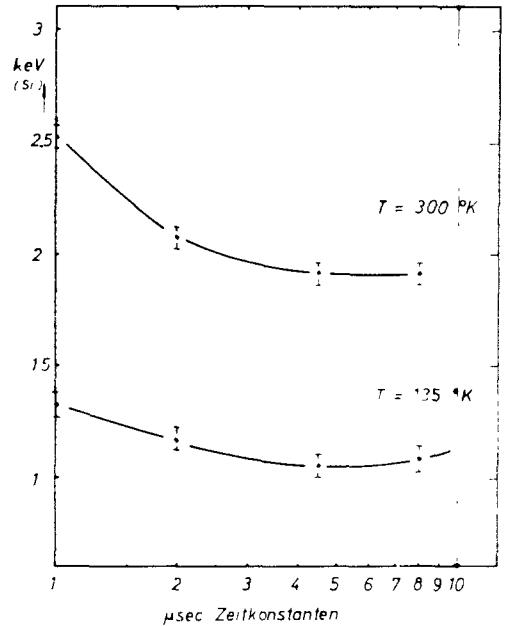


Fig 2 Halbwertsbreite des Verstärkerrauschens in keV (bez. auf Si) als Funktion der Zeitkonstante für die Impulsformung bei 300° K und 135° K.

titativer Vergleich, daß FET als Eingangselement von rauscharmen Vorverstärkern Vorteile gegenüber Elektronenröhren haben sollten. Mit kapazitätsarmen FET sollte der Vorteil noch ausgeprägter sein und man könnte damit auch wieder kürzere Zeitkonstanten verwenden. Die Vorteile von FET lassen sich natürlich nur dann voll ausnützen, wenn die Halbleiterdetektoren selber gekühlt werden und dadurch ihr Sperrstrom nicht wesentlich höher als der Gitterstrom von FET ist.

Wir haben deshalb die Verwendung von rauscharmen (die im Datenblatt angegebenen Rauschwerte werden eingehalten) FET vom Typ 2 N 3088 und 2 N 3089 in einem rauscharmen Vorverstärker untersucht.

Da die Eingangskapazität mit wachsender Gittervorspannung abnimmt, wurde zunächst die für das Signal-Rauschverhältnis optimale Gittervorspannung U_{Gkopt} bestimmt. Ebenso wurde die für das Signal-Rauschverhältnis optimale Anodenspannung U_{Akopt} gemessen; U_{Gkopt} wurde dabei konstant gehalten.

TABELLE I

	1. FET 2N 3089	2. FET 2N 3088
Temperatur	300° K	
Anodenspannung U_{AK}	12.1 V	9.1 V
Gitterspannung U_{GK}	1.25 V	0.39 V
Steilheit S	0.50 mA/V	0.51 mA/V
Eingangskapazität C_E	16 pF	
Leerlaufverstärkung	280	
Anstiegszeit	6 μ s ohne,	2 μ s mit Gegenkopplung
Äquivalente Rauschladung (rms) bei optimalen Zeitkonstanten von 8 μ s	230	Ionenpaare
Temperatur	135° K	
Anodenspannung U_{AKopt}	7 V	5 V
Gittervorspannung U_{GKopt}	1.46 V	0.475 V
Steilheit S	0.79 mA/V	0.80 mA/V
Eingangskapazität C_E	11 pF	
Leerlaufverstärkung	670	
Äquivalente Rauschladung (rms) bei optimalen Zeitkonstanten von 4.5 μ s	120	Ionenpaare

Fig. 1 zeigt den Aufbau des Vorverstärkers. Er besteht im wesentlichen aus zwei hintereinandergeschalteten konventionellen Verstärkerstufen an die ein doppelstufiger Emitterfolger anschließt.

Die Kennlinien der FET haben Pentodencharakter, daher kann auf eine Kaskodeschaltung verzichtet werden. Der Anodenstrom der FET ändert sich bei Abkühlung auf 130 K um etwa einen Faktor 2. Die Verstärkerstufen wurden deshalb gleichstrommäßig gegengekoppelt. Außerdem wurden die Widerstände so eingestellt, daß U_{GKopt} und U_{AKopt} bei 130° K erreicht wurden. Beide FET werden gekühlt; mehrmaliges Abkühlen brachte bisher keine Veränderung der Transistoreigenschaften. Die Verstärkerdaten werden in Tabelle I zusammengestellt.

Die Rauschspannung des Verstärkers wurde mit einem quadratischen Mittelwertanzeiger (Hewlett Packard D 400) gemessen; zusätzlich wurde eine bekannte Ladungsmenge über eine in der Schaltung geeichte Testkapazität auf den Verstärkereingang gegeben.

Fig. 2 zeigt das aus der gemessenen Rauschspannung errechnete Auflösungsvermögen für einen Halbleiterzähler aus Silizium in Abhängigkeit der impulsformenden Zeitkonstante (gleich große Integrations- und Differentiationskonstante). Die Temperatur ist dabei als Parameter aufgetragen. Bei Zimmertemperatur wird

das beste Auflösungsvermögen mit langen Zeitkonstanten erreicht (etwa 10 μ s). Bei Abkühlung auf 135° verschiebt sich das Minimum zu kürzeren Zeitkonstanten (5 μ s). An sich wäre das Gegenteil zu erwarten weil der Gitterstrom durch das Kühlen stark abnimmt. In der vorliegenden Schaltung überdeckt das Rauschen des Eingangswiderstandes (5×10^8 ohm) das Gitterstromrauschen. Für ein optimales Signal-Rauschverhältnis müßte dieser Widerstand größer sein. Werden zusätzliche Kapazitäten an den Eingang gelegt, dann verschlechtert sich die Auflösung mit 0.065 keV/pF (bei 135° und 4.5 μ s).

Für die Konversionselektronen des Cs¹³⁷ wurde eine Halbwertsbreite von etwa 2.0 keV erreicht (Fig. 3). Mit Testimpulsen eines Impulsgenerators wurde bei geschlossenem Detektor eine Halbwertsbreite von 1.65 keV, ohne Detektor eine von 1.05 keV gemessen. Die Ladungsmenge der Testimpulse entsprach dabei genau der im Zähler von den Elektronen erzeugten Ionenzahl. Um das Auflösungsvermögen des Impulshöhenanalysators zu korrigieren, müssen alle Meßwerte zusätzlich mit einem Faktor 0.95 multipliziert werden. Die Kapazität des Detektors betrug 4.05 pF, der Sperrstrom etwa 1×10^{-10} A.

Aus diesen Werten kann man errechnen, daß durch das Zuschalten des Zählers an den Verstärker die

Rauschspannung um den Faktor 1.5 sich erhöhen muß, was mit der Messung übereinstimmt. Man kann diesem Versuch entnehmen, daß der sog. Fano-Faktor bei Halbleiterzählern zwischen 0.1 und 0.15 liegen muß²⁾.

Den Zähler hat Fräulein Korde angefertigt.

Herr M. Baumgärtner hat die Versuchsanordnung aufgebaut und wesentlich bei den Messungen mitgeholfen.

Literatur

- 1) J. L. Blankenship, IEEE NS-11, no. 3 (1964).
- 2) H. J. Langmann und O. Meyer, Nucl. Instr. and Meth. 30 (1964) 135
- 3) V. Radeka, Proc. Monterey Conf. on Instr. Techniques in Pulse Analysis, Nat. Acad. Sci. USA, Nucl. Sci. Ser. Rep no. 40.
- 4) A. J. Smith, Harwell A.E.R.E. Rep. 4379 (July 1963).
- 5) T. V. Blalock, IEEE NS-11, no. 3 (1964).
- 6) A. Van der Ziel, Proc. I.R.E. (1962).

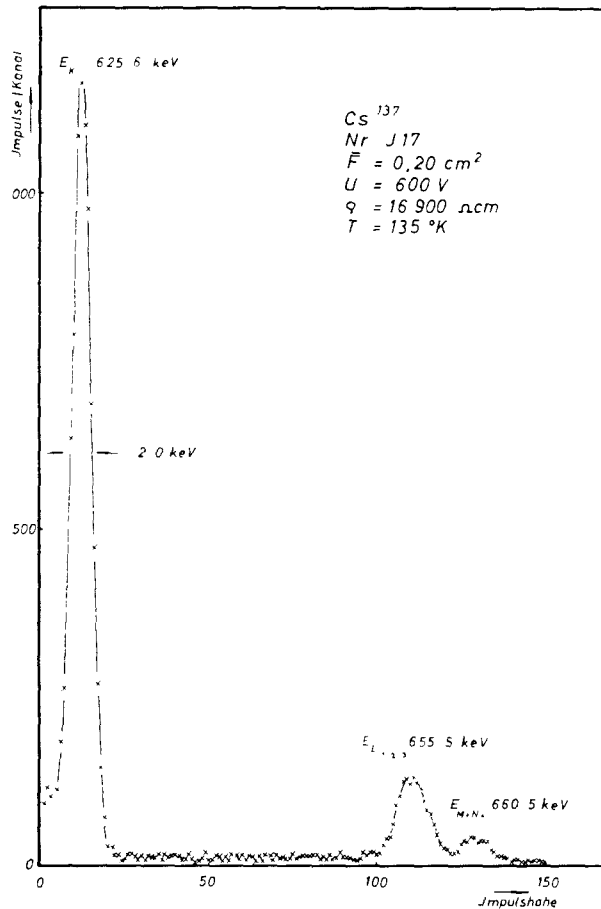


Fig. 3. Impulshöhenspektrum der Konversionselektronen von Cs^{137} , gemessen mit einem gekühlten Siliziumzähler.