

KFK-23

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

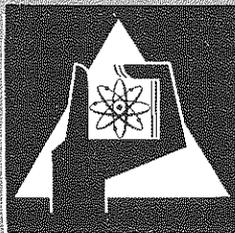
JUNI 1960

KFK 23

INSTITUT FÜR NEUTRONENPHYSIK UND REAKTORTECHNIK

EIN EINFACHER "ZEIT-ZU-HÖHEN-KONVERTER"  
FÜR LAUFZEITEXPERIMENTE MIT LANGSAMEN NEUTRONEN

K. H. BECKURTS



KERNREAKTOR

BAU- UND BETRIEBS-GESELLSCHAFT M. B. H.

KARLSRUHE



**KERNREAKTOR**  
Bau- und Betriebs-Gesellschaft m. b. H.  
Zentralbücherei

## Ein einfacher „Zeit-zu-Höhen-Konverter“ für Laufzeitexperimente mit langsamen Neutronen

8. SEP. 1960

Von K. H. BECKURTS

(Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik, Kernforschungszentrum Karlsruhe)

Mit 4 Textabbildungen

(Eingegangen am 25. März 1960)

**Zusammenfassung.** Es wird über den Aufbau eines einfachen Gerätes berichtet, das in Verbindung mit einem kommerziellen Impulshöhenanalysator als Zeitanalysator für Neutronenexperimente Verwendung finden kann.

### 1. Einleitung

Bei vielen Neutronenexperimenten — z. B. bei Energiemessungen nach der Laufzeitmethode oder bei Lebensdauermessungen nach der Methode der gepulsten Quelle — besteht die Notwendigkeit, Meßsignale bezüglich ihrer zeitlichen Verzögerung gegenüber einem „Nullsignal“ einzuordnen und zu registrieren. Hierzu bedient man sich im allgemeinen digital arbeitender Zeitanalysatoren, das sind Geräte, bei denen durch einen elektronischen Schalter nacheinander eine Reihe von Registrierkanälen für jeweils gleiche Zeit für das Eingangssignal empfindlich gemacht werden, (multichannel time analyser, vgl. z. B. [1]). Während z. B. für Lebensdauermessungen mit gepulsten Quellen die Verwendung eines solchen digitalen Geräts zur Ausschöpfung der bei diesem Meßverfahren erreichbaren Genauigkeit besonders vorteilhaft ist, hat sich für viele Zwecke ein anderes Verfahren bewährt: Die Meßsignale werden durch eine geeignete Schaltung in Impulse einer Amplitude verwandelt, die der Verzögerungszeit zwischen Nullsignal und Meßsignal proportional ist. Die Weiterverarbeitung erfolgt in einem Vielkanal-Impulshöhenanalysator. Diese Methode des „Time-to-Height-Converters“ hat zunächst im Bereich extrem kurzer Zeiten, in dem digitale Zeitanalysatoren nicht mehr funktionieren, Bedeutung bekommen [2]. Da in neuerer Zeit viele Laboratorien über kommerziell erhältliche Impulshöhenanalysatoren verfügen, hat sie auch bei Messungen in anderen zeitlichen Bereichen Verwendung gefunden [3]. Das Prinzip der Geräte ist meistens folgendes: Durch ein Nullsignal wird die lineare Aufladung eines Kondensators in einem Miller- oder Bootstrap-Kreis gestartet, durch das erste Meßsignal innerhalb des Zyklus wird sie abgebrochen und der resultierende Sägezahnimpuls, dessen Höhe der Verzögerung Nullsignal — Meßsignal entspricht, dem Impulshöhenanalysator angeboten. Es kann pro Zyklus nur ein Meßsignal registriert werden, was in den meisten Fällen wegen der geringen Intensitäten ohne größere Korrekturen tragbar ist; im übrigen haben viele Impulshöhenanalysatoren eine so große Totzeit, daß ein anderes Vorgehen auch gar nicht sinnvoll ist. Steht jedoch ein verhältnismäßig schneller Impulshöhenanalysator wie der „Argonne-256-Analyzer“ [4] zur Verfügung, sind die verfügbaren Inten-

sitäten hinreichend groß und die zu untersuchenden Vorgänge langsam — z. B. bei Laufzeitmessungen mit thermischen Neutronen — so lohnt ein etwas anderes Verfahren, das im folgenden beschrieben werden soll. Auch bei diesem Gerät erfolgt die Umwandlung über einen Sägezahn, jedoch können pro Zyklus grundsätzlich beliebig viele Impulse verarbeitet werden.

### 2. Blockschaltbild

Abb. 1 zeigt das Blockschaltbild des hier verwendeten Gerätes. Durch das Nullsignal wird der sog. Toggle von der Stellung „0“ in die Stellung „1“ geworfen. Dadurch wird der lineare Sägezahn-generator

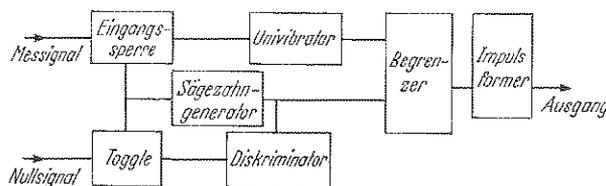


Abb. 1. Blockschaltbild

gestartet. Erreicht die Spannung des Sägezahn-generators ein bestimmtes Spannungsniveau, so wird durch den Diskriminator ein Endsignal an den Toggle gegeben, der dadurch in Stellung „0“ zurückspringt. Dadurch wird der Sägezahn-generator abgeschaltet, seine Ausgangsspannung kehrt zum Anfangswert zurück. Der Zyklus ist damit beendet und das Gerät zur Aufnahme des nächsten Nullsignals bereit. Die Länge des Zyklus ist eine Funktion der Anstiegs-geschwindigkeit des Sägezahns sowie seines Anfangs- und End-potentials. Alle diese drei Größen können unabhängig in weiten Grenzen verändert werden.

Meßsignale können durch die Eingangssperre dann und nur dann hindurchtreten, wenn der Toggle sich in Stellung „1“ befindet. (Dadurch wird die falsche Eingruppierung von Meßimpulsen, die während des Rücklaufs des Sägezahn-generators eintreffen, vermieden.) Sie stoßen anschließend einen Univibrator an, der positive Impulse normierter Höhe liefert. Diese Impulse gelangen anschließend zu einem Begrenzer, wo sie bei jeweils der Höhe abgeschnitten werden, die der Sägezahn gerade erreicht hat. Die den Begrenzer verlassenden Impulse haben eine Höhe, die der Verzögerung Nullsignal — Meßsignal proportional ist, sie

werden noch in einem *Impulsformer* in eine für die Weiterverarbeitung im Impulshöhenanalysator geeignete Form gebracht.

### 3. Gesamtschaltbild

Abb. 2 zeigt das Gesamtschaltbild des Gerätes. Der *Toggle* (V1) ist ein gewöhnlicher bistabiler Multivibrator, der von beiden Seiten aus getrennt angestoßen werden kann. Die Anstoßimpulse sind negativ und etwa 30 V hoch. An der Anode der

eingestellte Potential überschreitet, wird der Strom durch das andere System übernommen; dabei entsteht an der Anode dieses Systems ein negativer Impuls, der als Rückstellimpuls zum *Toggle* läuft.

Die *Eingangssperre* (V8) ist ein Doppelkathodenfolger, dessen eines Gitter direkt mit einer Anode des *Toggles* verbunden ist. Das (negative) Eingangssignal erscheint nur dann an der Kathode, wenn der *Toggle* in Stellung „1“ ist. Die Eingangssignale laufen dann weiter zu einem *Univibrator* (V9), der Rechtecksignale von etwa 4  $\mu$ s Länge und 100 V Höhe liefert.

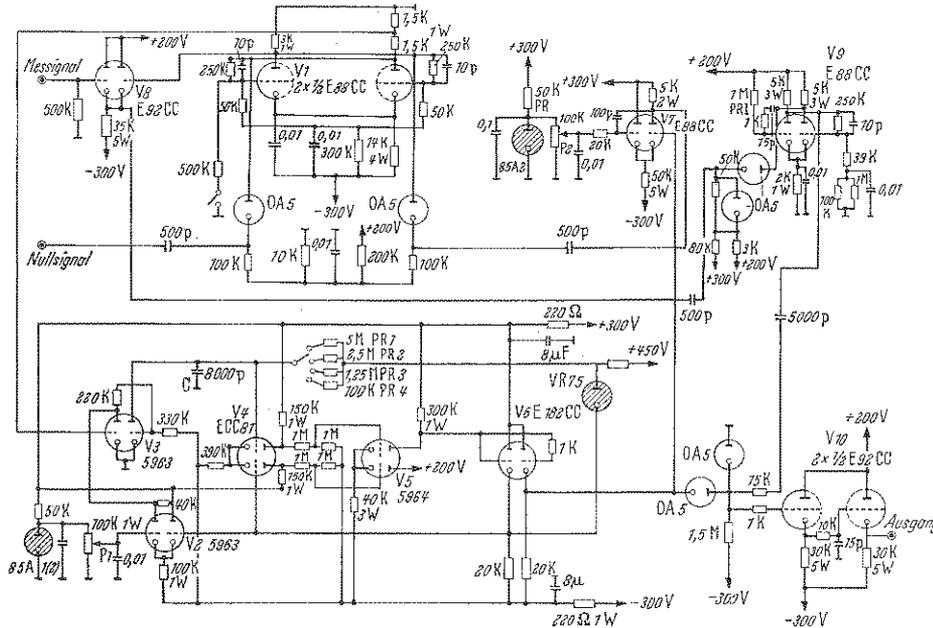


Abb. 2. Gesamtschaltbild

jeweils leitenden Röhre entsteht ein Spannungssprung von 40 V, der zum Ansteuern des Sägezahngenerators und zum Öffnen bzw. Schließen der Eingangssperre dient.

Der *Sägezahngenerator* (V2 bis V6) ähnelt dem Sägezahngenerator im Analog-to-digital-converter des Argonne 256-Analysators [4] und braucht nicht weiter

Der *Begrenzer* ist in Abb. 3 schematisch noch einmal herausgezeichnet. Punkt *P* liegt normalerweise auf einem durch R1 und D2 definierten Potential von etwa -0,1 V; D1 ist gesperrt. Wenn vom *Univibrator* ein positives Signal kommt, folgt *P* zunächst, D2 wird gesperrt. *P* kann aber nur solange im Potential steigen, bis D1 leitend wird. Dann wird er sehr niederohmig an dem Potential des Sägezahngenerators (Kathodenfolgerausgang!) festgehalten, bis er schließlich mit dem *Univibrator*-impuls wieder zurückfällt. Voraussetzung für gutes Funktionieren dieser Clampschaltung ist, daß die Diode

D1 in Sperrichtung einen Widerstand  $\gg R2$ , in Leitrichtung  $\ll R2$  hat. Dies ist relativ gut mit der Germaniumdiode OA 5 und  $R2 = 15 \text{ k}\Omega$  erfüllt.

Die Impulse aus dem *Begrenzer* gelangen über einen Kathodenfolger (V10) zu einem Integrierglied, wo ihre Anstiegszeit auf 0,4  $\mu$ sec festgelegt wird, und passieren anschließend einen weiteren Kathodenfolger.

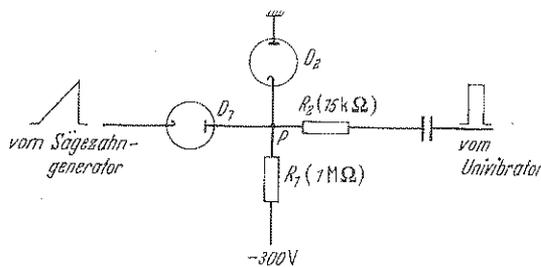


Abb. 3. Begrenzer

beschrieben zu werden. Das Potential, von dem aus der Generator startet, kann direkt durch das Helipot-Potentiometer P1 festgelegt werden. Durch den Schalter *S* lassen sich verschiedene Anstiegsgeschwindigkeiten (hier etwa 100, 10, 5, 2,5 V/msec) einstellen. Um eine gute Langzeitstabilität dieser Anstiegsgeschwindigkeiten zu gewährleisten, sind PR 1-4 als Präzisionswiderstände und C als Styroflex-Zwillingskondensator ausgeführt. Der *Diskriminator* (V7) erhält ein durch das Helipot-Potentiometer P2 einstellbares Potential am Gitter des normalerweise leitenden Systems. Sowie die Sägezahnspannung das

### 4. Betriebserfahrungen

Ein derartiges Gerät in Verbindung mit einem RCL 256-Impulshöhenanalysator (Mod. 2603 der Radiation Counter Laboratories Inc. Skokie/Ill.) wurde für einige Monate bei einem Experiment zur Bestimmung von Neutronenspektren nach einer Laufzeitmethode benutzt und hat sich gut bewährt. Nach Inbetriebnahme wurden zunächst eingehende Tests über Linearität und Stabilität angestellt.

a) Prüfung der Linearität „im Großen“. Wir betrachten als Beispiel einen Test im Bereich „III“ der Anstiegszeit des Sägezahns (etwa 5 V/msec). Die Zykluslänge wird auf etwa 9 msec eingestellt, und als Nullmarken werden aus einem Präzisions-Zeitmarkengeber Signale mit je 10 msec Abstand verwendet. Als Meßsignale werden aus dem gleichen Zeitmarkengeber Zeitmarken mit je 1 msec Abstand benutzt; die jeweils erste einer Folge von 10 Zeitmarken fällt mit der Nullmarke zusammen. Der Analysator zählt dann gleichmäßig in einzelnen Kanälen, deren Nummern dem Abstand Nullmarke-Zeitmarke proportional sind. Abb. 4 zeigt den für Bereich III erhaltenen Zusammenhang

TA

Zeitmarkennummer/Kanalnummer. Man erkennt, daß dieser sehr gut linear ist, Abweichungen lassen sich nicht wahrnehmen. Die mittlere zeitliche Breite eines Kanals ergibt sich einfach aus der Steigung der in Abb. 4 eingezeichneten Geraden.

b) Prüfung der Linearität „im Kleinen“. Aus dem unter a) beschriebenen Test folgt zwar, daß die zeitliche Breite der einzelnen Kanäle im Mittel gut konstant ist, jedoch kann die Größe der mittleren Abweichungen der einzelnen Kanalbreiten vom Mittelwert nicht bestimmt werden. Diese wurde auf folgende Weise überprüft: Als Nullsignale wurden wiederum periodische Signale aus einem Zeitmarkengeber benutzt. Als Meßsignale dienten statistische Impulse aus einem Geiger-Zähler, die sich in keinerlei zeitlicher Korrelation mit dem Zyklus des Konverters befinden. Unter diesen Umständen muß der Analysator in allen Kanälen mit gleicher Rate zählen.

Bei einem nach dem Wilkinson-Prinzip arbeitenden Impulshöhenanalysator hängt bekanntlich die zur Verarbeitung eines Signals erforderliche Zeit  $\tau_n$  (Totzeit) von der Nummer  $n$  des Kanals ab, in der dieses Signal gespeichert wird; für den RCL 256 gilt  $\tau_n = 20 + n/2$  [ $\mu\text{sec}$ ]. Bei der konventionellen Anwendung des Analysators zur Impulsspektroskopie spielt diese Kanalabhängigkeit der Totzeit keine Rolle, da keine zeitliche Korrelation zwischen Impulsen, die in benachbarte Kanäle gelangen, besteht. Sofern überhaupt Totzeitkorrekturen angebracht werden müssen, erfolgen sie mit einer mittleren Totzeit. Dagegen gelangen bei der Verwendung des Analysators in Verbindung mit dem Zeit-zu-Höhen-Konverter in aufeinanderfolgende Kanäle zeitlich aufeinanderfolgende Signale. Man hat daher bei der Auswertung der Messungen die Kanalabhängigkeit der Totzeit zu berücksichtigen. Insbesondere zählt der Analysator bei Eingabe von statistischen Signalen nicht gleichmäßig, sondern entsprechend den steigenden Totzeitverlusten in den höheren Kanälen langsamer. Dies wurde experimentell überprüft und die Gültigkeit

der Beziehung  $Z'_n = \frac{Z_n}{1 - Z_n \tau_n}$  für verschieden hohe Zählraten bewiesen. Um für weitere Tests der „Linearität im Kleinen“ von den Totzeitkorrekturen freizukommen, wurde zwischen die Quelle der stat. Impulse (Geiger-Zähler) und den Zeit-zu-Höhen-Konverter ein Trigger mit einer Totzeit von etwa 150  $\mu\text{sec}$  geschaltet; dadurch werden alle Totzeitverluste im Analysator vermieden.

Die Totzeitverluste im Analysator setzen eine Grenze für die maximal verarbeitbare Intensität, bei Totzeitkorrekturen  $>20\%$  dürfte die Genauigkeit der Meßresultate zweifelhaft sein. Außerdem ergeben sie eine untere Grenze der zeitlichen Auflösung des Gesamtsystems, da man fordern muß, daß die Totzeit kurz ist gegen die zeitliche Länge des gesamten Zyklus.

Es wurden Messungen bei verschiedenen Impulshäufigkeiten angestellt, dabei zeigte sich eine gute Übereinstimmung der Zählraten in den einzelnen Kanälen. Die relative mittlere Abweichung der

Einzelzählraten vom Mittelwert ist stets um etwa 0,4% größer, als auf Grund der Statistik zu erwarten ist. Daraus folgt, daß die Kanalbreite auf  $\pm 0,4\%$  konstant ist. Die Linearität der Apparatur ist damit für die meisten Anwendungen ausreichend.

c) Prüfung der Stabilität.

Es wurden Messungen der Kanalbreite über einen Zeitraum von mehreren Wochen angestellt; die mittlere Kanalbreite schwankte in diesem Zeitraum um

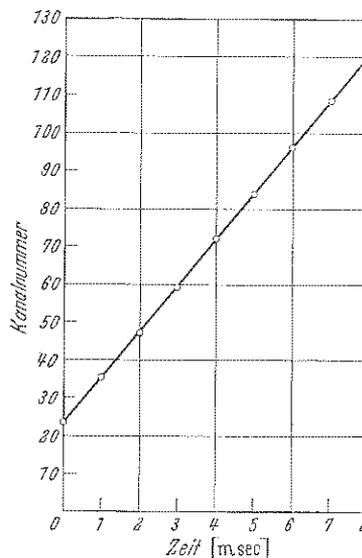


Abb. 4. Zur Eichung des Analysators

weniger als  $\pm 0,5\%$ . Weniger gut ist die Stabilität der Nulllinie des Geräts; es tritt eine Drift der Nulllinie um etwa  $1/2$  Kanal/Tag auf. Bei länger andauernden Messungen muß daher die Nulllinie gelegentlich nachjustiert werden. Eine Möglichkeit zur Vermeidung dieser Drift dürfte bestehen, das Startpotential der beiden Sägezahngeneratoren (im Zeit-zu-Höhen-Konverter und im Analog-to-digital-converter) durch die gleiche Spannungsquelle festzulegen.

Herrn A. SCHMIDT danke ich für anregende Diskussionen, Herrn D. WEIDNER für den sauberen Aufbau des Gerätes.

Literatur: [1] HIGINBOTHAM, W.A.: Genf 1955, P/806. — [2] MOODY, N.F.: Electr. Engng. 24, 289 (1952). — [3] SEN, S.K., u. W. HUMBACH: Nukleonik 1, 195 (1959). — [4] SCHUMANN, R.W., and J.P. McMAHON: Rev. Sci. Instrum. 27, 675 (1956).