

KFK-426

# KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

März 1966

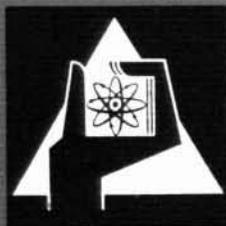
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
in der Helmholtz-Gemeinschaft  
Hauptabteilung Bibliothek und Medien

KFK 426

Institut für Experimentelle Kernphysik

Elektronische Sicherung mit  $\mu$ A-Anzeige  
für Halbleiterdetektoren

Joachim Kind



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.  
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

März 1966

KFK 426

Institut für Experimentelle Kernphysik

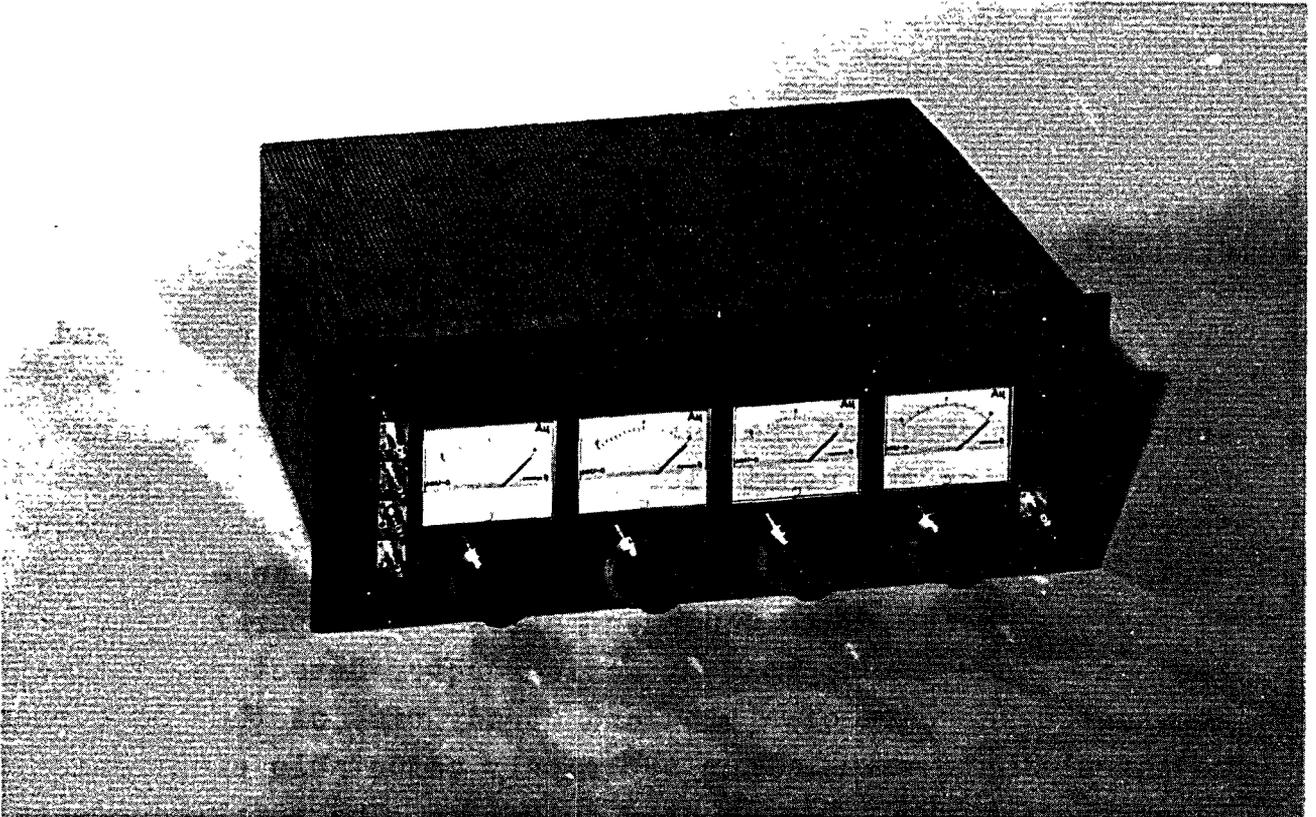
Elektronische Sicherung mit  $\mu\text{A}$ -Anzeige  
für Halbleiterdetektoren

Joachim Kind

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H.  
Karlsruhe

Abstract

The operation of semiconductor detectors requires a slow and steady rise of the current up to the final value as well as continuous control of the set current in the operating range, since exceeding the permissible current, which in many cases is only a few microamperes, may destroy the expensive semiconductor detectors. The following paper describes an electronic protective device. This equipment allows the separate simultaneous connection up to four semiconductor detectors. A time constant takes care of a slow and steady rise of the set currents to the ultimate value. Four separately adjustable electronic fuses protect the semiconductor detectors. The supply currents can be read from installed instruments.



Am Labormodell wurden folgende Daten gemessen:

1. Einstellbereich der Potentiometer: 0 bis 750 Volt
2. Einstellbereich der elektr. Sicherung: 0,5 bis 3 uA  
(Bereichsänderung durch Verändern des Widerstandes  $R_1$  möglich.)
3. Ablauf der Zeitkonstante: 15 Min. lin.  
(Zeit durch Verändern der Kapazität  $C_1$  möglich.)
4. Hochspannung: + oder - 1000 V
5. Ansprechgenauigkeit:  $\pm 0,01$  uA
6. Temperaturbereich: 20 bis 40 °C
7. Messfehler bei 40 °C: - 0,05 uA bei Vollauschlag.

## Einleitung

Halbleiterdetektoren bieten gegenüber Szintillatoren in Verbindung mit Photomultipliern wesentliche Vorteile. Ein sehr beachtlicher Vorteil ist eine weitaus bessere Energieauflösung. Die Abmessungen sind kleiner und die Stromversorgung vereinfacht. Dadurch ist auch die Unterbringung in Vakuumkammern sehr viel leichter. Ein Nachteil für Halbleiterdetektoren ist ihre Empfindlichkeit gegenüber plötzlichen Änderungen der Versorgungsspannung. Die meisten Halbleiterdetektoren arbeiten mit Strömen in der Größenordnung von 0,2 bis 2  $\mu\text{A}$ , und ein Überschreiten dieses äußerst geringen Stromes (z.B. durch Spannungsdurchschläge hervorgerufen) kann empfindliche Störungen verursachen und die kostspieligen Halbleiterdetektoren unbrauchbar machen. Ein wirkungsvoller Schutz und eine Strommessung auf direktem Wege war bisher nicht möglich, da Drehspulinstrumente zum Messen dieses geringen Stromes und auch Sicherungen nicht erhältlich sind. Aus diesen Gründen erwuchs die Aufgabe, eine elektronische Sicherung zu schaffen, die es ermöglicht, mehrere Halbleiterdetektoren zu schützen und auch deren Versorgungsströme zu messen.

Die nachfolgend beschriebene elektronische Sicherung mit Stromanzeige ist für den Betrieb von vier Halbleiterdetektoren bestimmt. Die Detektoren können durch Potentiometer mit Skalen und Arretiermöglichkeiten getrennt eingestellt werden. Sollen weniger als vier Halbleiterdetektoren betrieben werden, so werden die nichtbetriebenen Potentiometer auf null gestellt. Durch Ändern des Widerstandes  $R_1$  (1Meg Ohm) Bild 1, kann der Anzeigebereich des Meßinstrumentes und die Ansprechempfindlichkeit der Sicherung geändert werden (z.B. 100 K Ohm ergibt Stromanzeige bis 20  $\mu\text{A}$ , Sicherung bis 30  $\mu\text{A}$ ). Eine eingebaute Zeitkonstante sorgt für langsames und gleichmäßiges Ansteigen der Versorgungsspannung auf den vorgegebenen Endwert, eine für Halbleiterdetektoren sehr wichtige Maßnahme. Die Polarität ist umschaltbar, so daß Halbleiterdetektoren wahlweise mit positiver oder negativer Spannung versorgt werden können.

## Funktionsübersicht:

### Elektronische Sicherung mit uA - Anzeige

Am Widerstand R1 (1 Megohm) fällt eine vom Stromfluß abhängige Gleichspannung ab. Dieser Stromfluß wird bestimmt vom Widerstand des Detektors und kann am 500 Kilo-Ohm Potentiometer eingestellt werden. Die Kondensatoren 0,1 uF dienen zur Siebung der Gleichspannung, der Kondensator 1 uF über dem 1 Meg-Ohm Widerstand sorgt für einen gewissen Potentialausgleich beim Verstellen des Potentiometers. Bei einem Stromfluß von 1 uA fällt also am Widerstand 1 Megohm eine Gleichspannung von 1 Volt ab. Diese Spannung wird mit einem Chopper in eine Wechselspannung verwandelt. Es entsteht eine Rechteckspannung von 1 Volt s/s. Um einen guten Wirkungsgrad zu erreichen, werden die Chopper mit 400 Hz betrieben. Da die Sicherung schon bei 0,5 uA ansprechen soll, muß die folgende Eingangsstufe sehr hochohmig sein, da die Last der Eingangsstufe das erhaltene Signal verfälschen würde. Ein hochohmiger Emitterfolger mit einem Feldeffekttransistor 2N 3368 in Kaskade mit einem NPN Transistor 2N 1711 wurde als gute Lösung gefunden. Der Eingangswiderstand der Stufe wurde mit 100 Megohm gemessen. Die hier erhaltene Signalspannung wird über einen Kondensator 400 uF dem Transformator T1 zugeführt. Von der ersten Sekundärwicklung des Transformators wird die erhaltene Signalspannung über Meßgleichrichter einem Instrument zugeführt, und kann hier, da die Signalspannung proportional dem Stromfluß ist, in uA abgelesen werden. An der Sekundärseite 2 des Transformators wird die Signalspannung für die Sicherung abgegriffen. Diese Signalspannung wird über einen Brückengleichrichter zu der Basisspannung einer Kippstufe addiert. Durch Einstellung des 2 Kilo-Ohm Potentiometers wird durch Verändern der Triggerschwelle die Ansprechempfindlichkeit der Sicherung von 0,5 bis 3 uA bestimmt. Diese Kippstufe schaltet indirekt Relais Nr. 7 ab und hat die Funktion einer Sicherung.

### Die Zeitkonstante:

Der Betrieb von Halbleiterdetektoren erfordert ein gleichmäßig langsames Ansteigen der Betriebsspannung auf den vorgegebenen Endwert. Dies wird mit dem Ablauf der Zeitkonstante erreicht, die als Endspannung 750 Volt nach etwa 15 Minuten erreicht. Die Betriebsspannungen für die jeweiligen Detektoren werden an den 500K-Ohm Potentiometern eingestellt.

Bei Aufladen eines Kondensators über einen Widerstand erfolgt die Aufladung nach einer Exponentialfunktion. Soll eine gradlinige Aufladung erfolgen, so muß der Kondensator mit konstantem Strom aufgeladen werden. Als konstante Stromquelle dient der Transistor Q1. Der Transistor Q2 hat die Aufgabe, die Kapazität (150 uF) zu vervielfachen, um einen langen Zeitablauf zu erreichen. Die erhaltene Spannungsänderung wird zwischen Kollektor und Emitter der Transistoren Q1 und Q2 abgenommen und dem Gitter der Röhre ECC 82 zugeführt. Ist der Kondensator C1 völlig entladen, so ist die Kollektorspannung am Transistor Q2 der Emitterspannung nahezu gleich, damit liegt der volle Betrag der Zenerspannung (78V) zwischen Kathoden und Gitter, die Röhre sperrt. Die Zenerdioden verhindern durch Spannungsbegrenzung auf 78 Volt überschreiten der zulässigen Kollektorspannung an den Transistoren. Die Widerstände 750K-Ohm und 680K-Ohm sorgen für geringen Stromfluß zur Erreichung der Zenerspannung, solange die Röhre ECC 82 noch im Sperrzustand ist. Mit Änderung der Zeitkonstante wird auch die Gittervorspannung geringer und strebt immer mehr der Kathodenspannung zu. Die Röhre zieht mehr und mehr Strom und ändert damit auch die Spannung am oberen Punkt der 500K-Ohm Potentiometer. Beim Erreichen der Maximalspannung von etwa 750 Volt zündet die Glimmlampe, verhindert ein weiteres Ansteigen der Endspannung und hält diese stabil. Durch sichtbare Anbringung dieser Glimmlampe an die Frontplatte ermöglicht sie durch Aufleuchten gleichzeitig eine Kontrolle darüber, wann die Zeitkonstante abgelaufen ist, und eine stabile Spannung am Endpunkt der Potentiometer erreicht ist. Durch Einfügen des vierpoligen Umschalters wird durch Polaritätsumpolung ein Betreiben der Detektoren an positiver sowie an negativer Betriebsspannung ermöglicht.

Die Diode D1 schützt die Bauteile bei versehentlichem Anlegen falscher Polarität (z.B. wenn der Umschalter auf negativ steht, und es wird positive Spannung angelegt).

### Sicherungsmaßnahmen und Relaisfunktionen:

Da die Stromanzeige sowie das Ansprechen der elektronischen Sicherung auf indirekte Weise erfolgt, müssen entsprechende Sicherheitsmaßnahmen getroffen sein, um bei Störungen das Ansprechen der Sicherung zu gewährleisten und damit die hochwertigen und kostspieligen Halbleiterdetektoren zu schützen. Als Sicherungsschalter dient der Relaisschalter Re 7a, der die Betriebsspannung am oberen Punkt der vier Einstellpotentiometer abschaltet. Fällt die Hochspannung (1000 V) aus, so wird durch Abfallen des Relais Re 1 die Versorgungsspannung der Elektronik (24V) abgeschaltet (Schalter Re 1b) und die Zeitkonstante durch Entladen des Kondensators C1 (150 uF) über den Schalter Re 1a auf den Anfangswert null gebracht. Dies verhindert bei Wiedereinschalten der Hochspannung ein sofortiges Anwachsen der Betriebsspannung für die Detektoren auf den vollen Endwert. Die Glimmlampe leuchtet auf und zeigt das Vorhandensein der Hochspannung an. Bei Ausfall des 400 Hz Oszillators erhält der Transistor Q3 keine Basisspannung, das Relais Re 7 fällt ab und damit die Relaisschalter Re 7a und Re 7b. Durch Triggern einer Kippstufe fällt eines der Relais Re 2 bis Re 5 ab, schließt damit die Basisspannung am Transistor Q3 kurz und schaltet auch wieder das Relais Re 7 ab. Der Ausfall des jeweiligen Detektors wird durch Aufleuchten einer Kontrolllampe angezeigt. Durch Drücken der Rückstelltaste wird die Sicherung wieder zurückgesetzt. Bei Zurücksetzen der Sicherung läuft auch die Zeitkonstante wieder hoch und alle 4 Detektoren werden automatisch wieder auf den eingestellten Endwert gebracht.

### Konstruktionsmerkmale:

#### a) Zeitkonstante

Der Strom muß für eine genügend lange Zeitkonstante möglichst klein sein, er darf jedoch aus Stabilitätsgründen des Transistors Q1 ein Minimum nicht unterschreiten.

Als günstiger Wert wurde ein Emitterstrom von 0,3 mA gefunden. Die maximale Transistorspannung ist durch die Zenerdioden mit 78 Volt vorgegeben. Durch Ableitung aus den Formeln für Elektrizitätsmenge und Kapazität gilt für Aufladung eines Kondensators mit konstantem Strom die Formel:

$$C = \frac{I \cdot t}{U}$$

und bei Kapazitätsvervielfachung mittels Transistor

$$C_b = \frac{C_E}{hf_e}$$

Für  $t$  15 Min.

$I$  0,3 mA

$U$  (Zündsp. d. Gl. Lampe) 75V

$hf_e$  des Trans. Q2 24

beträgt die wirksame Kapazität

$$C = \frac{I \cdot t}{U} = \frac{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 60}{75} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ F}$$

und die erforderliche Kapazität an der Basis des Transistors Q 2

$$C_B = \frac{C_E}{hf_e} = \frac{3,6 \cdot 10^{-3}}{24} = 150 \text{ uF}$$

Der lineare Ablauf der Zeitkonstante ist in Bild 2 dargestellt.

#### b) 400 Hz Oszillator

Ein Phasenschieber-Oszillator ist für den unteren Frequenzbereich seines geringen Aufwandes wegen gut geeignet. Er bietet außerdem den Vorzug, daß er gegen Spannungsschwankungen unempfindlich ist, und die Frequenz stabil hält. Sein erheblicher Nachteil, bei Belastungsschwankungen die Frequenz zu ändern, wurde durch sehr hochohmiges ankoppeln von zwei Emitterfolgen in Kaskade kompensiert.

Berechnungsgrundlage:

$$f = 400 \text{ Hz}, C = 50 \text{ Tpf}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot RC \cdot \sqrt{6}}$$

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot fC \cdot \sqrt{6}} = \frac{1}{400 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-12} \cdot 2,45 \cdot 6,28} = 3,25 \text{ K-Ohm}$$

Als nächster Normwert wurden Widerstände von 3,3 K-Ohm gewählt. Die abgegebene Spannung des Oszillators darf 10 V<sup>S</sup>/s nicht überschreiten, um einen Durchschlag an der Basis der folgenden Transistoren zu vermeiden.

Damit wird die erforderliche Basisspannung

$$U_b = U_{\text{Bez.}} - (U_{\text{Sign.}} + U_{\text{Cb}})$$

$$U_b = 24 - (10 + 0,2) = 13,8 \text{ V}$$

Da der Spannungsteiler an der Basis des Transistors zugleich aber auch das letzte Glied der Phasenkette ist, muß der Parallelwiderstand von R1 und R2 den Widerstandswert 3,3 K-Ohm erreichen. Das Teilverhältnis ist

$$V = U_{\text{Bez.}} : U_b$$

$$V = 24 : 13,8 = 1,75$$

Dann ist  $R2 = R_{\text{ges.}} \cdot V$

$$R2 = 3,3 \text{ K}\Omega \cdot 1,75 = 5,8 \text{ K-Ohm}$$

$$\text{Für } R1 \quad \frac{1}{R1} = \frac{1}{Rg} - \frac{1}{R2} = \frac{1}{3,3} - \frac{1}{5,8} = 7,8 \text{ K-Ohm}$$

5,6 K-Ohm und 7,5 K-Ohm wurden als passende Normgrößen eingesetzt.

Chopper - Transformator:

Kern: EI 42

Übersetzungsverhältnis: 1:2

Luftspalt: 0,1 mm

Windungszahlen u. Drahtstärken:

Prim. 232 Wdg. 0,3 mm CuL.

Sek. 556 Wdg. 0,2 mm CuL.

### c) Eingangsstufe

Der Eingangswiderstand eines Kathodenfolgers mittels Feldeffekttransistors wird in der Hauptsache durch den Gitterableitwiderstand bestimmt, in der vorliegenden Schaltung wurde ein Eingangswiderstand von 100 Meg-Ohm gemessen. Die maximale Aussteuerung am Gitter (bei 2 uA Anzeige am Instrument) beträgt 2 Volt  $\frac{S}{s}$ . Um im geraden Bereich der Kennlinie des Feldeffekt-Transistors zu arbeiten, wurde der Arbeitspunkt bei -1 Volt = 1,2 mA festgelegt (siehe Kennlinie Bild 3).

Exemplarstreuungen der Transistoren können am Trimm-Potentiometer 2 K-Ohm kompensiert werden.

#### Daten für den Meßtransformator:

Kern: EI 30

primär: 314 Wdg. 0,1 mm CuL.

sek. 1: 785 Wdg. 0,1 mm CuL.

sek. 2: 1100 Wdg. 0,1 mm CuL.

#### Praktische Erprobung:

Das Gerät wurde über mehrere Wochen praktisch erprobt und hat sich als funktionstüchtig erwiesen. Die Anbringung eines von außen zugänglichen Meßanschlusses am oberen Punkt der Einstellpotentiometer hat sich als vorteilhaft gezeigt. Es kann dann die Spannung 1% Prozent vom Endwert während des Ablaufes der Zeitkonstante jederzeit abgelesen werden, was eine Erleichterung beim erstmaligen Inbetriebnehmen eines Halbleiterdetektors bedeutet.

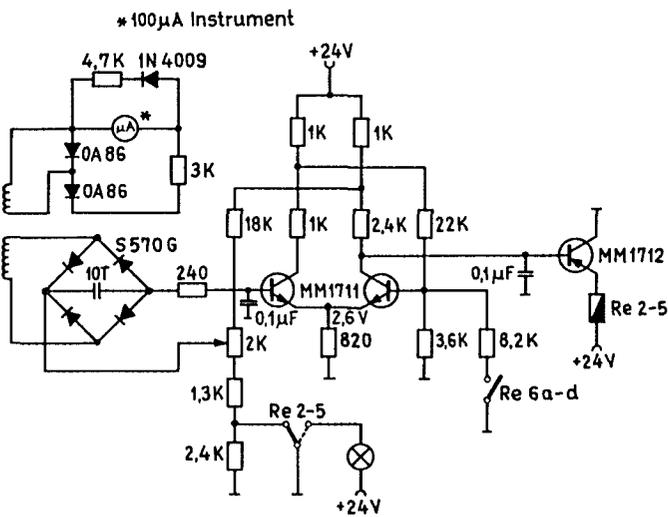
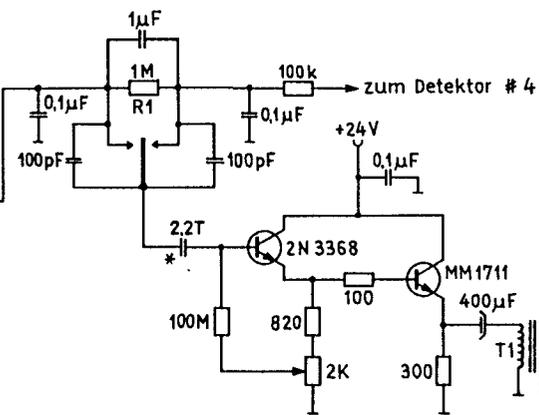
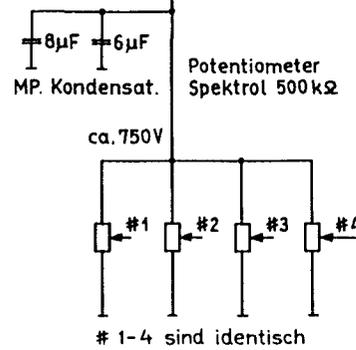
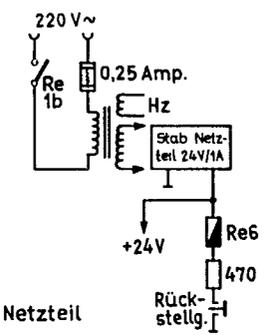
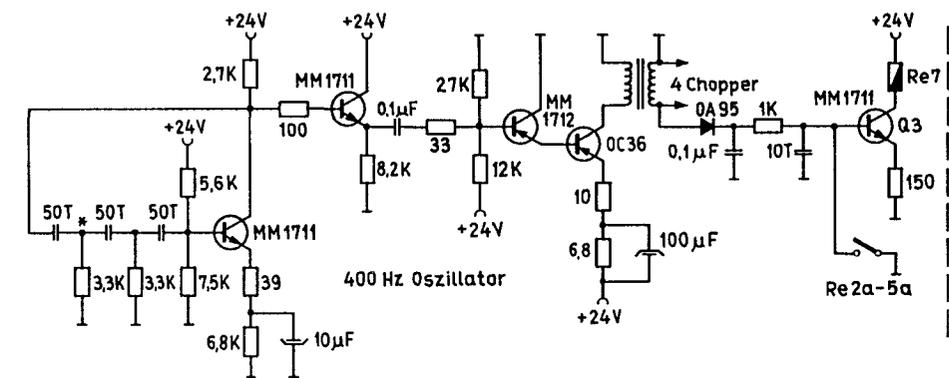
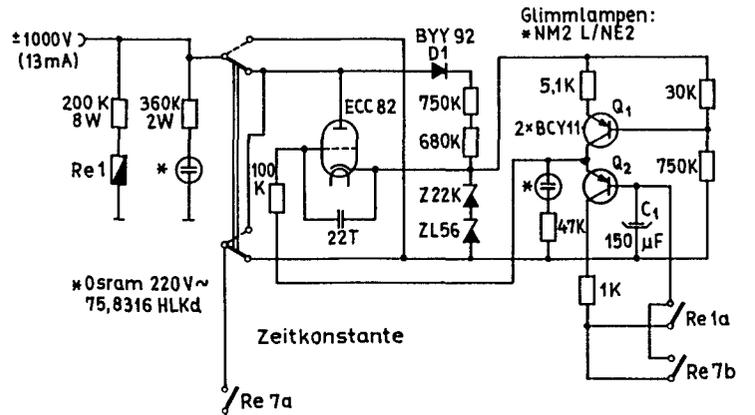
#### Nachtrag:

Zum Schutz des Feldeffekttransistors 2N 3368 wurden über den 1 Meg-Ohm Widerstand 2 gegeneinander gerichtete Zener-Dioden geschaltet, um größere Spannungsstöße abfangen zu können, und so die Basis des Transistors zu schützen. Aus dem gleichen Grunde wurde der Koppelkondensator verkleinert.

Zener-Dioden: Zweimal ZF 5,6, Koppelkondensator: 100 pf.

Die Relais-Schaltergruppe (Re2a-5a) wurde zur besseren Trennung des Abschaltens für die einzelnen Detektorausgänge an die Basis des Oszillatortransistors verlegt.

# Elektronische Sicherung 101K-EKP



\* Kond. mit niedrigem TK verwenden

\* Kondensatoren mit sehr hohem Isolationswiderstand verwenden

Schopper Kaco M 141/6,3

- Re 1 Siemens 65413/97d (16500Ω)
- Re 2-5 " 65421/97d (700Ω)
- Re 6 " 65421/93e (700Ω)
- Re 7 " 65421/97d (700Ω)

28.2.66

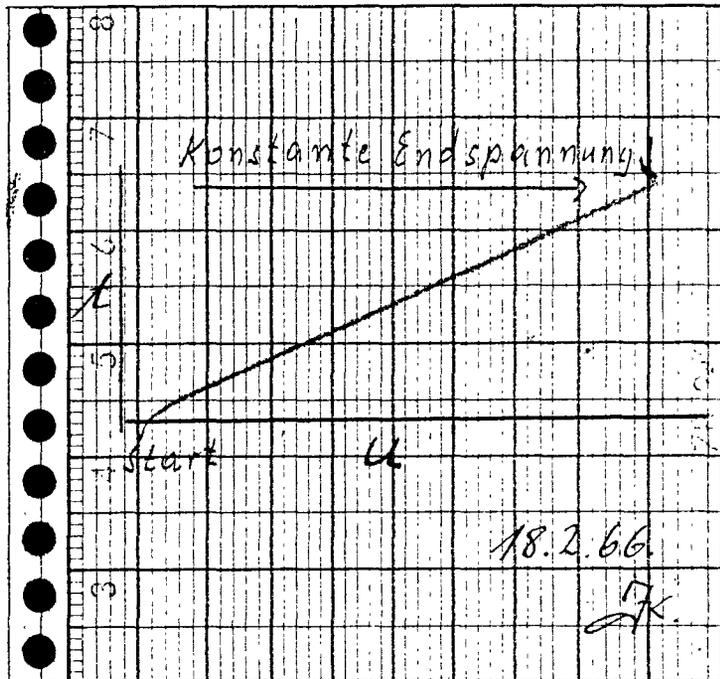


Bild 2

zeigt das Diagramm eines YX-Schreibers über den Ablauf der Zeitkonstante. Es ist ein gradliniger Ablauf erkennbar sowie der Übergang zu einer konstanten Endspannung.

Kennlinie des Feldeffekttransistors 2N 3368

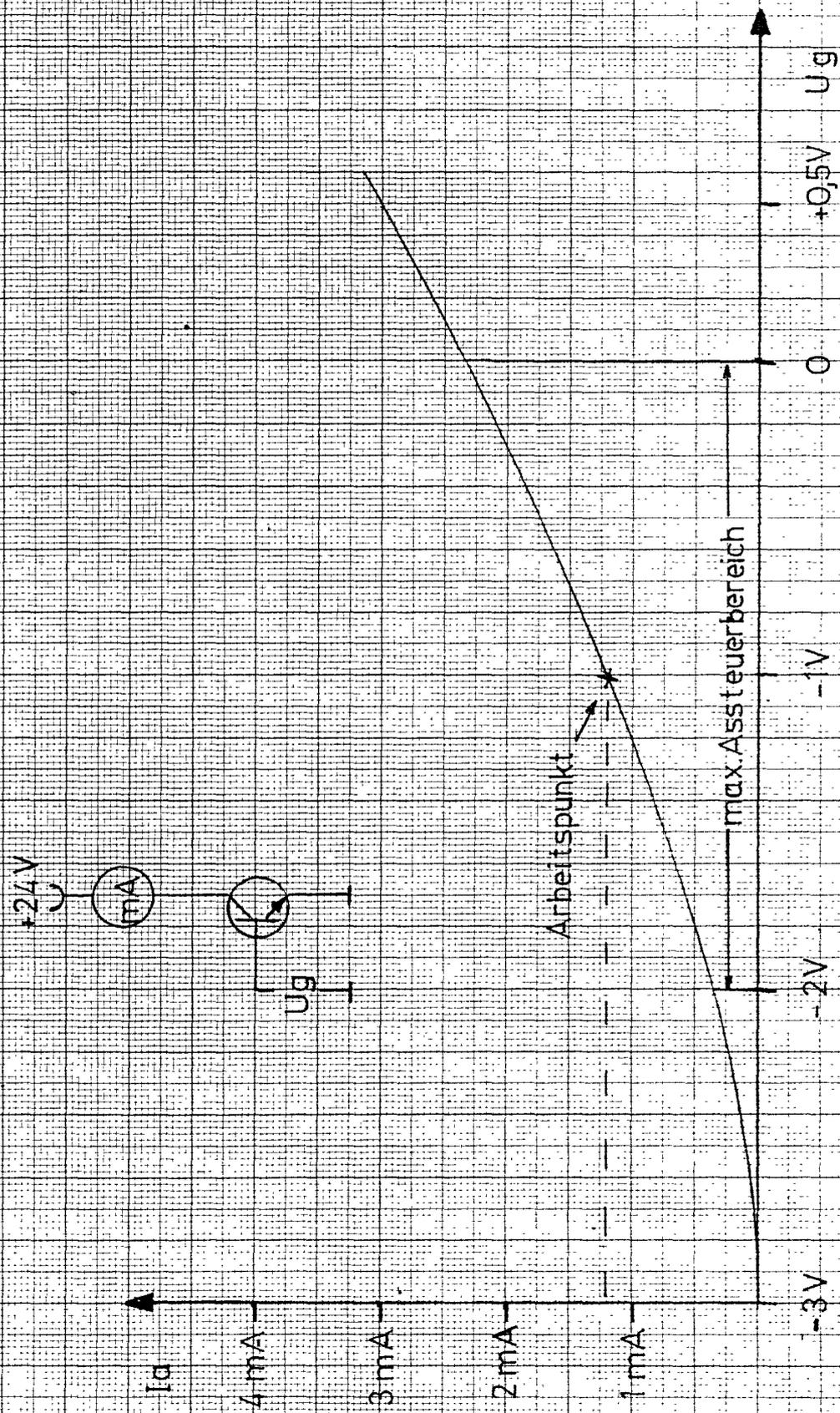
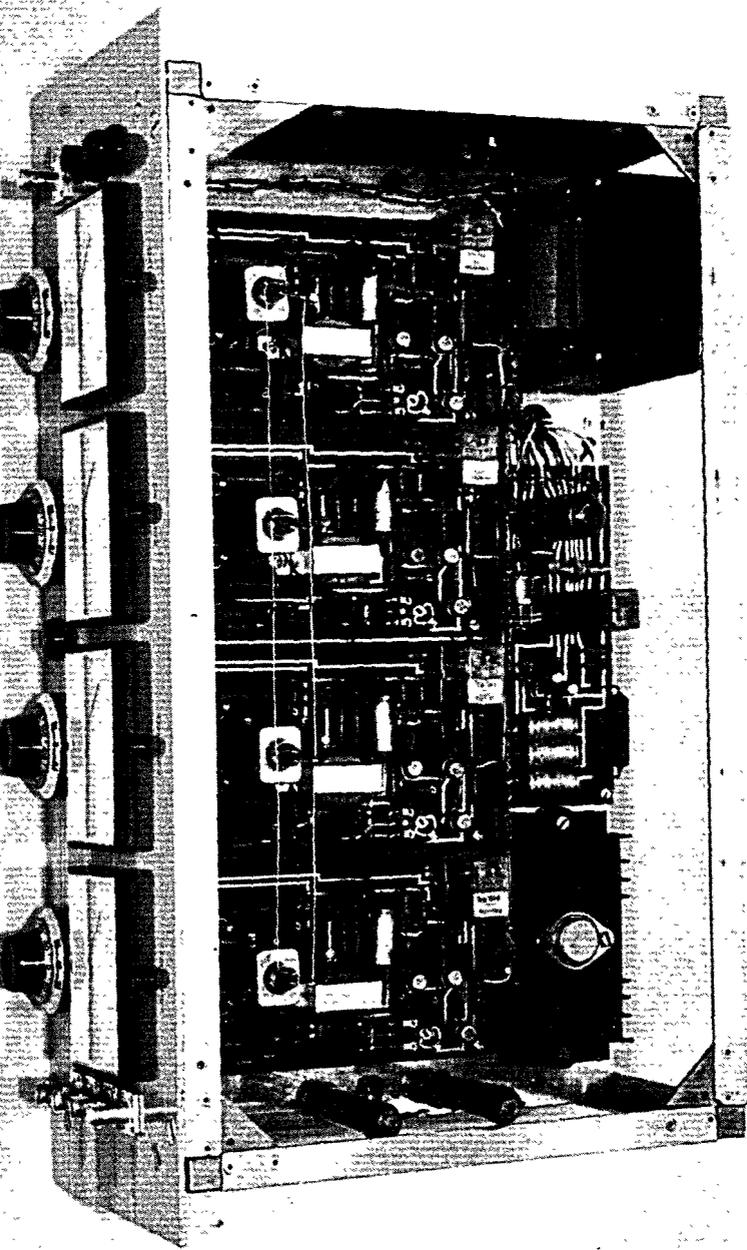


Bild 3

17.2.66.

The image shows a complex piece of electronic equipment, likely a radio receiver or transmitter, housed in a metal cabinet. The front panel features several large, rectangular meters or displays, each with a circular scale and a needle. Below these are several control knobs and switches. The interior of the cabinet is densely packed with electronic components, including vacuum tubes, capacitors, and a complex network of wires. The equipment is mounted on a metal chassis, and the overall appearance is that of a vintage, high-quality electronic device.



Vertical text on the right side of the image, possibly a page number or a reference code.