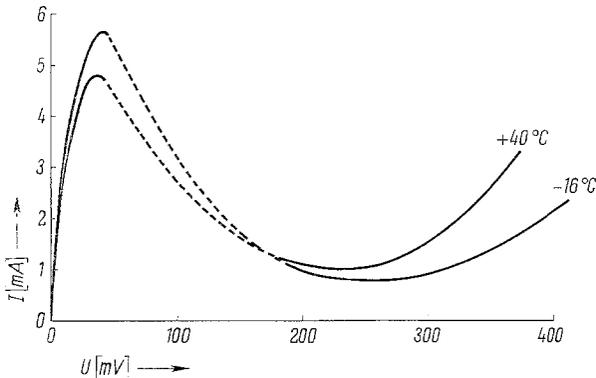


**Réunion de Printemps de la Société Suisse de Physique,  
à Winterthour les 7 et 8 Mai 1960**

*Compte rendu des communications de physique et de mathématiques appliquées*

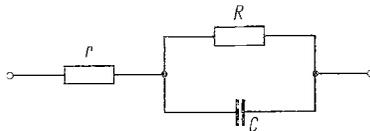
**Über das Impulsverhalten von Tunnelioden.** VON E. BALDINGER UND U. SPYCHER, Basel<sup>1)</sup>

Anfangs 1958 hat ESAKI [1]<sup>2)</sup> als erster darüber berichtet, dass bei hochdotierten Flächendioden eine Kennlinie mit einem Gebiet negativen Widerstandes erreicht werden kann. Zur Erklärung der grundsätzlichen Wirkungsweise sei auf die Arbeiten von SOMMERS [2], SKLAR [3] und HALL [4] verwiesen. Stellt man einen Arbeitspunkt im Bereich des negativen Widerstandes ein (Figur 1), so lässt sich die



Figur 1  
Statische Kennlinie einer Tunneliode

Tunneliode als Verstärker, Oszillator oder Mischstufe bis ins Gebiet der kHz verwendet [5, 6]. Für kleine Signale gilt dabei das Ersatzschema der Figur 2.



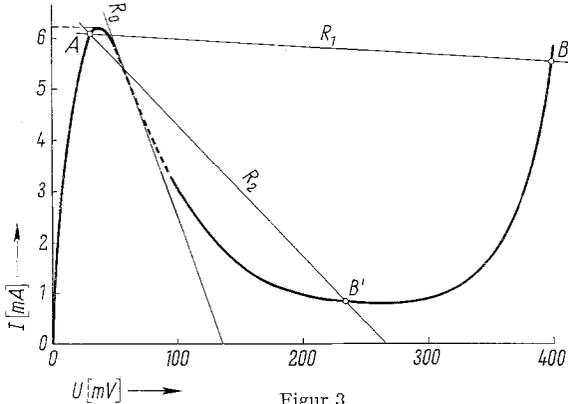
Figur 2

Ersatzschema für kleine Signale. In abgestimmten Schaltungen ist in Serie zu  $r$  noch die Induktivität von Zuleitung und Gehäuse zu berücksichtigen ( $\sim 2$  nH).

<sup>1)</sup> Anstalt für angewandte Physik der Universität.

<sup>2)</sup> Die Ziffern in eckigen Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis, Seite 521.

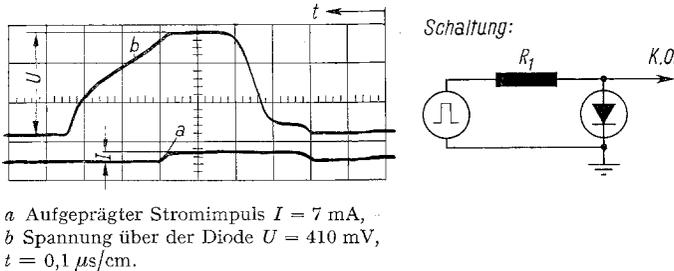
Dieses Ersatzschema kann als Näherung für die ganze Diodenkennlinie verwendet werden, wobei allerdings  $R$  sehr stark und  $C$  schwach von der Spannung abhängig sind. Ist der Widerstand des steuernden Stromkreises grösser als  $R_0$  (bzw. dem kleinsten Wert des negativen Widerstandes der Dioden-Kennlinie), so erhält man zwei stabile Zustände  $A$  bzw.  $B$  (Figur 3). Messungen im Hinblick auf eine Anwendung



Figur 3  
Aussteuerung in Kippschaltungen.

als Diskriminator ergeben bei konstanter Temperatur eine Reproduzierbarkeit des ersten Kipp-Punktes innerhalb von  $0,2 \text{ ‰}$ . Wie man aus Figur 1 ersieht, besteht bei den ausgemessenen Dioden hingegen eine starke Temperaturabhängigkeit.

Die Aussteuerung mit einem Stromimpuls, dessen Amplitude knapp über  $I_p$  liegt (Lastgerade  $R_1$  in Figur 3), ergibt einen Spannungsverlauf an der Diode nach Figur 4. Der zeitliche Verlauf dieser Spannung lässt sich qualitativ verstehen: nach



$a$  Aufgeprägter Stromimpuls  $I = 7 \text{ mA}$ ,  
 $b$  Spannung über der Diode  $U = 410 \text{ mV}$ ,  
 $t = 0,1 \text{ } \mu\text{s/cm}$ .

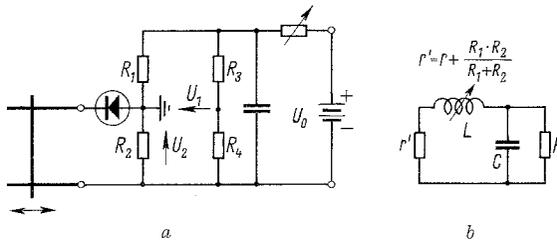
Figur 4

einem Spannungssprung an  $v$  mit der Anstiegszeit des Triggersignals muss die Kapazität auf die Kippspannung aufgeladen werden. Dann erfolgt das Umkippen mit der spannungsabhängigen Zeitkonstante  $RC$ . Die Rückflanke des Impulses ergibt zunächst wieder einen Spannungssprung über  $v$ . Anschliessend wird die Kapazität entladen (die aufgespeicherten Ladungsträger verschwinden durch Rekombination, Diffusions- und Feldstrom). Die Tunneldiode verhält sich vorerst wie eine normale  $p$ - $n$ -Diode, deren Eigenschaften von HEINLEIN und anderen beschrieben worden sind [7, 8]. Sobald das Gebiet negativen Widerstandes wieder erreicht ist, fällt die Spannung rasch auf Null zurück.

Die Dauer des langsamen Aufladens von  $C$  ist durch die Stromamplitude gegeben. Anstiegs- und Abfallzeiten sind somit in grossem Masse durch das Aufladen bzw. Entladen der Kapazität im Gebiete positiven Widerstandes bestimmt, was insbesondere bei bistabilen und monostabilen Schaltungen zu berücksichtigen ist. Die besten Resultate erreicht man durch gleichstrommässige Vorspannung der Diode über einen Lastwiderstand, der die Kennlinie möglichst nahe an den Kippunkten schneidet ( $R_2$  in Figur 3).

Die Messungen wurden an einer Diode mit relativ grosser Zeitkonstante ausgeführt. Eine Diode mit hoher Grenzfrequenz wird grundsätzlich dieselben Erscheinungen zeigen. Will man mit Tunneldioden hohe Schaltgeschwindigkeiten erreichen, so ist in erster Linie den beschriebenen Effekten Aufmerksamkeit zu schenken.

*Bestimmung der Parameter des Ersatzschemas (Figur 2).* Die Bestimmung von  $r$ ,  $R$  und  $C$  erfolgte in einer Brückenordnung [9], verbunden mit einer Lecherleitung (Figur 5a). Unter der Voraussetzung, dass die Brücke ohne Tunneldiode



Figur 5

*a* Brücke zur Bestimmung der Parameter; *b* Wechselstromersatzschema von Diode und Brücke.

gleichstrommässig abgeglichen ist, lassen sich Gleichstrom und -spannung der Diode direkt aus Spannungsmessungen bestimmen. Es gilt

$$U_d = -U_2, \quad I_d = U_1 \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}.$$

Die Lecherleitung wirkt für alle in dieser Anordnung erzeugten Schwingungen als Induktivität. Figur 5b zeigt das Wechselstromersatzschema einschliesslich Diode. Im negativen Ast regt sich eine Schwingung  $\omega$  an, wenn

$$\frac{R}{1 + \omega^2 R^2 C^2} \geq r'.$$

Für die Kreisfrequenz ergibt sich die Bestimmungsgleichung

$$\omega^2 = \frac{1}{LC \left( 1 + \frac{1}{1 + \omega^2 R^2 C^2} \right)}.$$

Die Messung von  $\omega$  liefert anhand der beiden Beziehungen die Grösse  $C$  sowie eine Kontrolle der aus den statischen Messungen bestimmten Werte von  $r$  und  $R$ .

Wir danken der Firma CLEVITE und Herrn LEUENBERGER für die Überlassung einiger Tunneldioden und dem Schweizerischen Nationalfonds für die finanzielle Unterstützung dieser Untersuchungen.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] L. ESAKI, Phys. Rev. 109, 603 (1958).
- [2] H. S. SOMMERS, Ir., Proc. IRE 47, Nr. 7, 1201 (1959).
- [3] B. SKLAR, Electronics, 32, Nr. 45, 54 (1959).
- [4] R. N. HALL, IRE Trans. Electron Devices (Jan. 1960).
- [5] K. K. N. CHANG, Proc. IRE 47, Nr. 7, 1268 (1959).
- [6] R. F. RUTZ, IBM, J. of Research, 3, Nr. 4, 372 (1959).
- [7] HEINLEIN, Arch. elektr. Übertr. 11, 387 (1957).
- [8] ECKESS und DUCKER, Electronics 33, Nr. 15, 51 (1960).
- [9] GOODMAN, Rev. sci. Instrum., 31, Nr. 3, 286 (1960).

**Signalfluss und Analogiedarstellung der Neutronenökonomie beim Abbrand von Reaktorbrandstoffen.** Von W. HÄLG, Zürich. Erschienen als Kurze Mitteilung, ZAMP 11, 433 (1960).

**Automatische Anlage zur Registrierung digitaler Messwerte.** Von E. BALDINGER, W. HÄLG und P. WEHRLI<sup>3)</sup>

*1. Arbeitsweise der Registrieranlage*

Es ist gegenwärtig in vielen Zweigen der Forschung üblich, für die Auswertung von Messdaten elektronische Digitalrechnergeräte zu verwenden. Eine solche Auswertung drängt sich besonders dann auf, wenn die Rechnungsprogramme hierfür vielfältig und zeitraubend werden oder wenn die Anzahl der Messdaten sehr gross ist. In allen diesen Fällen ist es wünschenswert, die Messresultate in einer Form zu speichern, welche deren unmittelbare Übermittlung in das Gedächtnis der Rechenmaschine erlaubt. Auf diese Weise sind Fehlerquellen, die bei der Übertragung der Daten aus einem Messprotokoll in eine dem Rechner gefällige Form entstehen, vermeidbar.

Die nachstehend in Figur 1 beschriebene Apparatur stellt eine Möglichkeit dar, diesen Anforderungen zu genügen. Sie soll hauptsächlich zur Registrierung kernphysikalischer Messergebnisse verwendet werden. Als erste Anwendungen sind die Aufzeichnungen der Messwerte von Halbwertszeitanalysen und Neutronendiffraktionsexperimenten sowie von Neutronenflussverteilungen in einem unterkritischen System vorgesehen. Die Aufzeichnung geschieht mittels eines Blattschreibers, wie er im europäischen Fernschreibnetz verwendet wird. Angebaut an den Blattschreiber ist ein Empfangslocher, der gleichzeitig im 5-Lochcode einen Papierstreifen perforiert. Ein weiterer Lochstreifensender ermöglicht die Kontrolle und eventuelle Duplizierung solcher Streifen. Während der Schreibpausen bei automatischem Betrieb können ergänzende Informationen mit Hilfe der Handtastatur dem Messprotokoll beigelegt werden. Der Blattschreiber benötigt an seinem zweidrähtigen Eingang für jedes zu schreibende Symbol<sup>4)</sup> eine Impulsfolge, die durch ein Umsetzgerät, den Zeichensender, aus den Gleichstromsymbolen der Messstellen erzeugt wird. Die Schreibgeschwindigkeit ist durch die Arbeitsweise des Zeichensenders, welcher während der Erzeugung eines Symbols und nach Ablauf desselben für die Auslösung gesperrt bleibt, auf 5 Zeichen<sup>4)</sup> pro Sekunde beschränkt.

<sup>3)</sup> Institut für angewandte Physik der Universität Basel, Eidg. Institut für Reaktorforschung, Würenlingen.

<sup>4)</sup> Unter der Bezeichnung Symbol oder Zeichen werden sowohl Buchstaben als auch Ziffern sowie Hilfszeichen wie Zwischenraum, Zeilenvorschub, Wagenrücklauf usw. verstanden.