



FERNSEH G.M.B.H.

Hausmitteilungen aus Forschung und Betrieb der Fernseh G.m.b.H., Berlin

Verantwortlich für den Inhalt: Dr. Rolf Möller und Dr. Ing. Georg Schubert

2. Band

Heft 3

November 1941

Der Schrot bei Photozellen mit Sekundäremissionsvervielfachung.

Von Werner Hartmann und Alfred Rothe.

1. Einleitung.

Durch die Möglichkeit der Verstärkung photoelektrisch ausgelöster Elektronenströme mit Hilfe der Sekundäremissionsvervielfachung ist der Nachweis geringster Lichtintensitäten nur infolge des grundsätzlich nicht vermeidbaren Schrots begrenzt. Es ist dabei von besonderem Interesse, den von der Vervielfachung herrührenden Anteil am Schrot des Ausgangsstroms zu kennen.

Die Messungen wurden an mehreren hundert Photozellen mit SE-Vervielfacher (Abb. 1) durchgeführt, die von der Fernseh G.m.b.H. (1) hergestellt worden sind. Bei diesem Photozellentyp werden die an der Kathode der Zelle ausgelösten Elektronen in einem 18stufigen Vervielfacher in ihrer Zahl vermehrt, so daß sich bei einer Gesamtspannung von etwa 2000 Volt Verstärkungen bis zu mehreren Millionen ergeben. Bei einer mittleren Kathodempfindlichkeit von $40 \mu\text{A/L}$ (gemessen bei einer Farbtemperatur von 2370°K) lassen sich Ausgangsempfindlichkeiten von 80 A/L und mehr erzielen.

2. Die Berechnung des Schroteffekts.

Nach der Schottky'schen Theorie gilt für den mittleren Schrotstrom eines Stromes i_0 im Frequenzbereich Δf

$$(1) \quad i_{\text{schrot}} = F \sqrt{2 e \cdot i_0 \cdot \Delta f} \quad e = 1.59 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb.}$$

Da bei der Anwendung der Zellen der primäre Photostrom, der die wesentliche Schrotquelle darstellt, gesättigt ist, hat der die Schrotschwächung durch Raumladung berücksichtigende Faktor F den Wert 1.

Der primäre Photostrom i_0 wird durch den Sekundäremissionsvervielfacher v mal verstärkt; da die Verstärkung in weitem Bereich linear (1) ist, beträgt der Ausgangsphotostrom $i_{a \text{ phot}}$ also

$$i_{a \text{ phot}} = v \cdot i_0$$

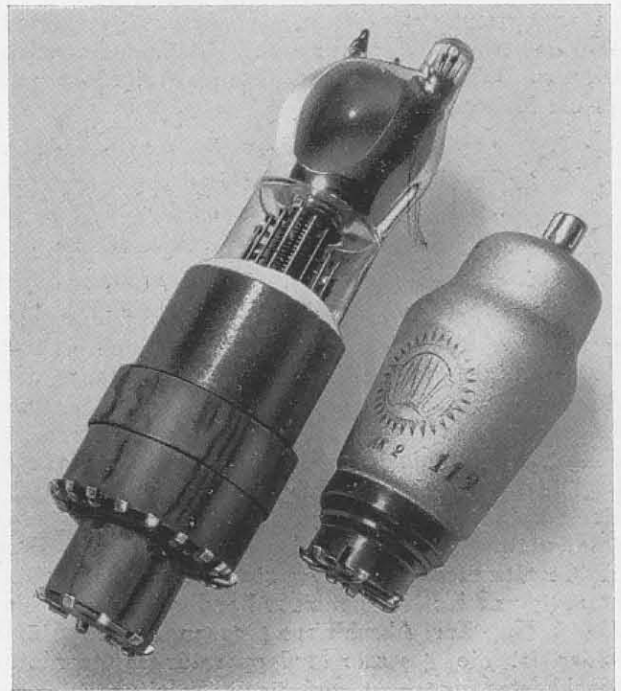


Abb. 1: Photozelle mit Sekundärelektronenverstärker Type LS 4/1 im Größenvergleich mit einer Rundfunkröhre.

Da auch die Schrotamplituden der Verstärkung unterliegen, ergibt sich zunächst für den Ausgangschrotstrom

$$(2) \quad i_{a \text{ schrot}} = v \cdot |2 \cdot e \cdot i_0 \Delta f| + 2e \cdot i_{a \text{ phot}} \cdot v \cdot \Delta f$$

Diese Ableitung hat aber nur unter Voraussetzung idealer Sekundäremission Gültigkeit, d. h. es ist angenommen, daß jedes auf eine Sekundäremissionskathode auftreffende Primärelektron genau die gleiche Zahl γ Sekundärelektronen auslöst ($\gamma = 1, 2, 3$ usw.). In Wirklichkeit liegt dieser Fall aber prak-

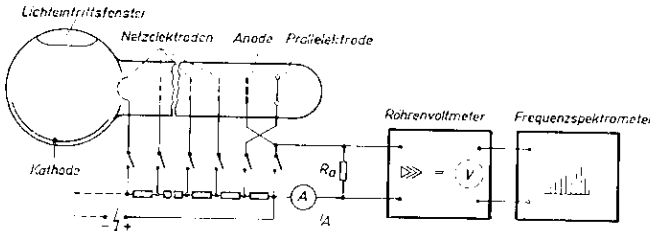


Abb. 2: Aufbau der Meßapparatur.

tisch niemals vor und unter Berücksichtigung der Ausbeuteverteilung wird ein Korrekturfaktor $\alpha < 1$, der also die Schroterhöhung durch den Vervielfacher angibt, einzuführen (2) sein. Damit wird aus Gleichung (2)

$$(3) \quad i_{a \text{ schrot}} = v \cdot \alpha \cdot |2e \cdot i_0 \cdot \Delta f| + \alpha \cdot |2e \cdot i_{a \text{ phot}} \cdot v \cdot \Delta f|$$

3. Die Meßanordnung.

Da die Rauschströme sehr klein sind, müssen sie so weit verstärkt werden, bis sie mit geeigneten Wechselstrom-Meßinstrumenten bestimmt werden können. Dabei ergeben sich folgende Anforderungen an die Meßapparatur (3):

1. Unempfindlichkeit gegen äußere Störfelder,
2. gegen die zu messende Rauscheinströmung kleines Eigenrauschen,
3. gut ablesbare Anzeige der Effektivwerte,
4. genaue Begrenzung des Frequenzbandes.

Die auf Grund dieser Forderungen benutzte Apparatur ist in Abb. 2 dargestellt. Im Anodenkreis der Photozelle liegt in Reihe mit dem zur Messung des Anodengleichstroms dienenden Amperemeter der Außenwiderstand $R_a = 10 \text{ k}\Omega$, dessen thermische Schrotspannung in der Größenordnung von $1 \mu\text{V}$ liegt. An ihm ruft der Schrotwechselstrom $i_{a \text{ schrot}}$ eine Wechselspannung hervor, die mit einem parallelschalteten Röhrenvoltmeter gemessen wird. Der Meßbereich dieses Effektivwerte anzeigenden Geräts beträgt 5 mV bis 10 V bei einer Bandbreite von 20 bis $20\,000 \text{ Hz}$. Zur Abschirmung gegen äußere Störfelder ist die gesamte Meßapparatur in geerdete Blechkästen eingebaut, und für die Zuleitungen werden abgeschirmte Kabel benutzt. Für die Rauscheinströmung $i_{a \text{ schrot}}$ durch den Außenwiderstand R_a gilt somit

$$i_{a \text{ schrot}} = \frac{U_{\text{schrot}}}{R_a}$$

Zur spektralanalytischen Untersuchung des Schrots wird die verstärkte Rauschamplitude auf ein Tonfrequenzspektrometer gegeben, dessen Frequenzband so in verschiedene aneinander anschließende Bereiche aufgeteilt ist, daß die mittleren Frequenzen zweier Filter die Beziehung $\lg \frac{f_{n+1}}{f_n} = 0,1$ erfüllen. Zur quantitativen Auswertung wurde das Spektrometer mit einem Schwebungssumierer geeicht.

4. Meßergebnisse.

In Tabelle 1 sind für mehrere Zellen, deren Vervielfacher, wie schon erwähnt, aus 17 Netzlektroden und einer Prallplatte besteht und mit einer Gesamtspannung von 2300 Volt betrieben wird, Kathodempfindlichkeit, Sekundärelektronenvervielfachung, Anodenphotostrom und der Rauschstrom eingetragen. Stellt man den letzteren als Funktion der Wurzel aus dem Anodenphotostrom dar, so ergibt sich, wie nach Gleichung 3 zu erwarten, eine Gerade mit einem zu $\alpha \cdot v$ proportionalen Anstieg (Abb. 3).

Tabelle 1.

$i_a \mu\text{A}$	$i_{a \text{ schrot}} \mu\text{A}$			
	967	806	642	628
30	0.174	0.378	0.768	0.721
90	0.29	0.838	0.125	1.3
150	0.407	1.08	1.65	1.75
300	0.64	1.65	2.28	2.44
450	0.87	2.0	2.79	2.96
600	1.00	2.3	3.14	3.43
750	1.03	2.44	3.5	3.78
900	1.045	2.68	3.95	4.18
1000	1.07	2.79	4.07	4.3
$E_0 \mu\text{A} \cdot L$	40	45.3	54.3	44
$v \cdot 10^{-5}$	0.75	4.4	10.4	14
γ	1.79	1.98	2.1	2.12
α	1.83	1.73	1.61	1.48

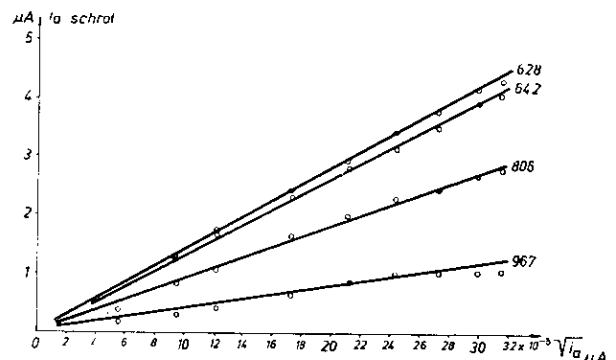


Abb. 3: Abhängigkeit des Rauschstroms vom Anodenstrom für Photozellen verschiedener Empfindlichkeit.

In der letzten Reihe von Tab. 1 sind die daraus errechneten Werte von α eingetragen, aus denen sich eine Abhängigkeit von α vom Sekundäremissionsfaktor δ der Stufen ergibt. Diese Abhängigkeit ist leicht einzusehen und steht in Übereinstimmung mit Messungen von Zworykin, Morton und Malter (4) an Vervielfachern mit 1, 2 und 3 Stufen. Auch der Absolutwert von α (es wurden nur einige Messungen als Beispiel angeführt, auch die übrigen an mehreren hundert Röhren durchgeführten ergeben gleiche Werte) entspricht theoretischen Abschätzungen (5).

In Abb. 4 ist ein mit dem Tonfrequenzspektrometer aufgenommenes Oszillogramm für $i_{a0} = 1 \text{ mA}$ wiedergegeben. Die Linien stellen die Rauschamplituden in einem durch ein Filter bestimmten Bereich dar. Da die Durchlaßbreiten der aneinander anschließenden Filter nicht untereinander gleich sind, sondern mit steigender Frequenz größer werden, ergibt sich eine mit steigender Frequenz wachsende Schrotamplitude. Wertet man das Spektrogramm durch Darstellung $i_{a \text{ schrot}} = f(\sqrt{\Delta f})$ aus, so ergibt sich (Abb. 5) ein linearer Verlauf, d. h. der Schrot ist in dem untersuchten Frequenzbereich konstant. Die Genauigkeit beträgt nur etwa 20%, da im Gegensatz zur Messung mit dem Röhrenvoltmeter die Form der Durchlaßkurven der einzelnen Filter in das Meßergebnis eingeht.

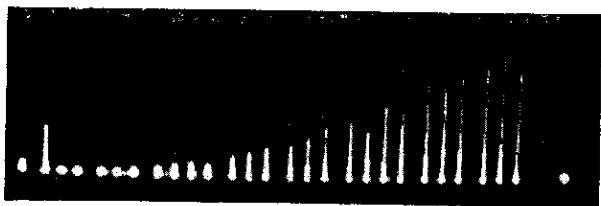


Abb. 4: Mit dem Tonfrequenzspektrometer aufgenommenes Oszillogramm.

5. Zusammenfassung.

Der theoretisch nach der ja vielfältig bestätigten Gleichung von Schottky ermittelte und der empirisch gefundene Schrotstrom einer Photozelle mit Sekun-

däremissionsvervielfacher werden einander gegenübergestellt. Die über den Schrot des primären Photostroms hinaus auftretende Erhöhung des Ausgangsschrotstroms beträgt, je nach dem Sekundäremissionsfaktor, 50 bis 80% und ist damit in guter Übereinstimmung mit ähnlichen Messungen und Berechnungen anderer Verfasser. Durch spektrale Zer-

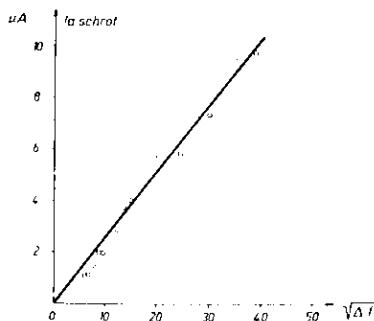


Abb. 5: Rauschstrom in Abhängigkeit von der Breite des untersuchten Frequenzbandes.

legung des Schrotstroms wird die Konstanz des Schrots im untersuchten Frequenzbereich nachgewiesen.

Die Messungen wurden am Lehrstuhl für Gerätetechnik der Wehrtechnischen Fakultät der Technischen Hochschule Berlin von Herrn Dr. A. Rothe, der auch an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. H. Winkhaus für die Unterstützung der Arbeit durch Gewährung von Mitteln dankt, durchgeführt.

Literaturverzeichnis.

- (1) W. Hartmann, Über Photozellen mit Sekundärelektronenvervielfachern, Fernseh-Hausmitt. 1, 1939, 226.
- (2) W. Engbert, Das Rauschen bei Sekundäremission. Die Telefunkenröhre, Heft 13, 1938, 127.
- (3) H. Jacoby und W. Kirchgeßner, Die Raumladungsschwächung des Schrotreffekts III, Meßergebnisse, Wiss. Veröff. Siemens-Werk XVI, Band 1937, 42.
- (4) Zworykin, Morton and Malter, The secondary emission multiplier — a new electronic device, Proc. Inst. Rad. Eng. 24 (1936) 351.
- (5) W. Flechsig und M. Sandhagen, Über Elektronenverstärkeröhren mit statischer Sekundäremissionsvervielfachung, Fernseh-Hausmitt. 2, 1940, 16.