

Unselbstständige Gasentladung: Vergleich zwischen dem Ladungstransport in einer Gas- und einer Hochvakuum-Triode

Versuchsziele

- Aufnahme und Vergleich der Strom-Spannungskennlinien einer Hochvakuum- und einer gasgefüllten Triode
- Bestimmung der Polarität der Ladungsträger in einer gasgefüllten Triode

Grundlagen

Eine Röhrentriode besteht aus einem luftdicht abgeschlossenen, evakuierten Gefäß, das drei Elektroden enthält: eine Elektronen emittierende Glühkathode, eine Anode und dazwischen ein Gitter. Sowohl zwischen Anode und Kathode als auch zwischen Gitter und Kathode können Spannungen („Anodenspannung“ und „Gitterspannung“) angelegt werden. Bei geeigneter Anodenspannung gelangen Elektronen von der Kathode durch das Gitter hindurch zur Anode. Dieser Elektronenstrom kann durch Variation der Gitterspannung gesteuert werden. Dies wurde in Experimenten mit der Demonstrations-Triode (555 612) untersucht.

Neben evakuierten werden auch gasgefüllte Röhrentrioden (sog. Thyratrons) eingesetzt. Als Gase werden u.a. Wasserstoff oder Edelgase eingesetzt; der Gasdruck liegt im Bereich einiger hPa. Zwischen Anode und Kathode wird eine Spannung angelegt. Eine Zündung des Füllgases kann verhindert werden, indem an das Gitter eine negative Spannung angelegt wird. Bei ausreichend positivem Gitterpotential kommt es zur Zündung des Füllgases. Das Gas wird ionisiert. Die dadurch zusätzlich verfügbaren Elektronen tragen maßgeblich zum Stromfluss durch die Röhre bei. Die Gasentladung kann durch das Gitter nicht wieder gestoppt werden. Hierzu muss die Spannung zwischen Anode und Kathode reduziert werden.

Beim Zünden der Gasentladung steigt der Stromfluss sprunghaft an. Die Strom-Spannungskennlinie ist stark nicht-linear. Dies ermöglicht das schnelle Schalten auch von sehr hohen Strömen, Jedoch können gasgefüllte Trioden im Gegensatz zu Vakuum-Trioden nicht zur Verstärkung von Signalen werden.

Thyratrons wurden bis in die 1960er Jahre zur Realisierung von steuerbaren Gleichrichtern und Phasenanschnittsteuerungen verwendet. Sie sind inzwischen fast vollständig durch Halbleiterbauelemente (u.a. Thyristoren und Triacs) ersetzt worden. Heute werden sie noch zur schnellen Schaltung sehr hoher Leistungen (z.B. bei Hochleistungslasern) eingesetzt.

Im Versuch werden Strom-Spannung-Kennlinien einer Hochvakuum- und eine He-Gastriode aufgenommen. Der Aufbau der Röhren ist identisch; sie unterscheiden sich nur durch die Gasfüllung der He-Gastriode. Der Vergleich zeigt,

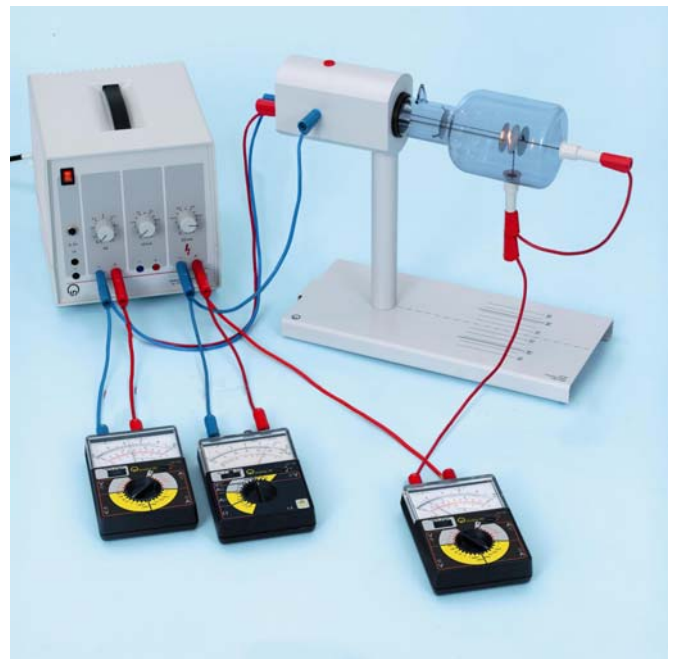


Abb. 1: Versuchsaufbau

dass in einer Gastriode durch die Zündung einer Gasentladung zusätzliche Ladungsträger erzeugt werden. Ein Teil der Ladungsträger gelangt zum Gitter der Gastriode und wird dort zur Bestimmung der Polarität mit einem empfindlichen Strommesser nachgewiesen.

Geräte

1 Gas-Triode.....	555 614
1 Demonstrations-Triode	555 612
1 Röhrenständer.....	555 600
1 Röhrennetzgerät 0...500 V	521 65
1 Vielfach-Messgerät LDanalog 30.....	531 130
2 Vielfach-Messgerät LDanalog 20.....	531 120
6 Sicherheitskabel, 100 cm, rot	500 641
4 Sicherheitskabel, 100 cm, blau.....	500 642

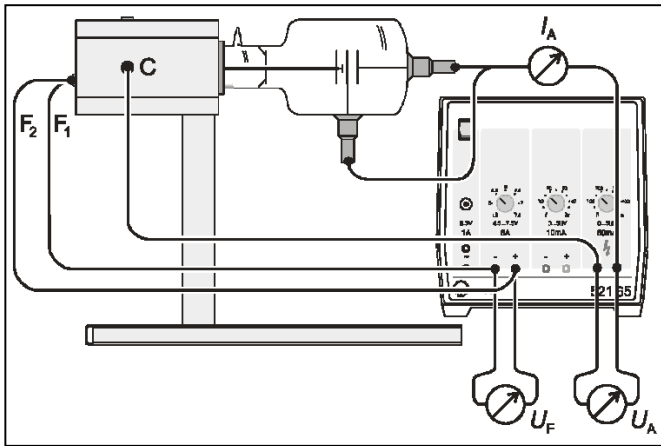


Abb. 2: Schaltskizze zu den Versuchsteilen a und b

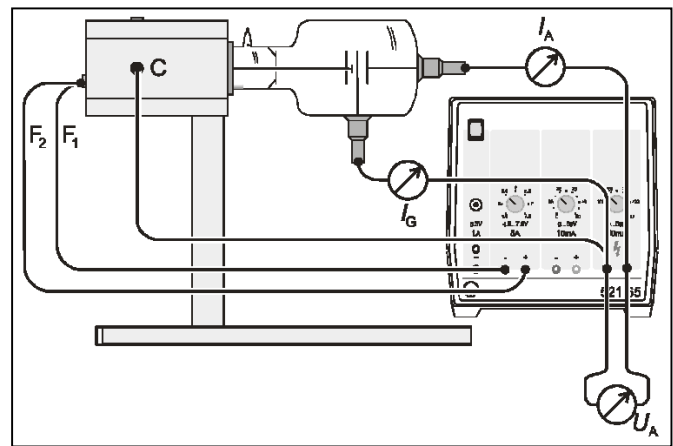


Abb. 3: Schaltskizze zu Versuchsteil c

Sicherheitshinweis:

Bei der Gas-Triode und der Demonstrations-Triode handelt es sich um dünnwandige evakuierte Glaskolben, es besteht Implosionsgefahr!

- Röhren keinen mechanischen Belastungen aussetzen.

Beim Betrieb der Gas-Triode und der Demonstrations-Triode werden u. U. berührungsgefährliche Spannungen angelegt:

- Röhren nur mit Sicherheitskabeln beschalten.
- Beschaltungen nur bei ausgeschalteten Versorgungsgeräten vornehmen.

Gebrauchsanweisungen zur Gas-Triode (555 614), zur Demonstrations-Triode (555 612) und zum Röhrenständer (555 600) beachten.

Aufbau

Der Versuchsaufbau zu den Versuchsteilen a und b ist in Abb. 2 skizziert. Zum Aufbau sind folgende Schritte nötig:

- Die Demonstrations-Triode vorsichtig in den Röhrenhalter einsetzen.
- Das Röhren-Netzgerät ans Netz anschließen.
- Die Heizspannungseingänge F_1 und F_2 des Röhrenständers an den Heizspannungsausgang 4,5...7,5 V anschließen.
- Anodenanschluss und Gitteranschluss verbinden.
- Zur Messung des Anodenstroms I_A den Anodenanschluss der Demonstrations-Triode an die Minus-Buchse des Amperemeters (531 120) anschließen und die Plus-Buchse des Amperemeters mit dem Plus-Pol des 500-V-Ausganges verbinden.
- Den Minus-Pol des 500-V-Ausganges mit dem Anschluss C (Kathode) am Röhrenständer verbinden.
- Zur Messung der Heizspannung U_H und der Anodenspannung U_A das Voltmeter (531 120) an den Heizspannungsausgang 4,5...7,5 V und das Voltmeter (531 130) an den 500-V-Ausgang anschließen.
- Röhren-Netzgerät einschalten. Der Heizdraht der Triode P sollte jetzt direkt anfangen, rötlich zu glühen.
- Heizspannung $U_H = 5,0$ V einstellen.

Durchführung

a) Aufnahme der Strom-Spannungskennlinien einer Hochvakuum-Triode für verschiedene Heizspannungen:

- Mit dem Drehpotentiometer des 500-V-Ausganges schrittweise (bis ca. 40 V in 5V-Schritten, darüber hinaus in größeren Abständen) die Anodenspannung steigern und Anodenstrom am Amperemeter ablesen.
- Messung für verschiedene Heizspannungen wiederholen.

b) Aufnahme der Strom-Spannungskennlinien einer Gas-Triode für verschiedene Heizspannungen

- Drehpotentiometer des 500-V-Ausganges auf Null stellen, Röhrennetzgerät ausschalten.
- Demonstrations-Triode gegen Gas-Triode austauschen.
- Messungen aus a) für die Gas-Triode wiederholen.

c) Bestimmung der Polarität der Ladungsträger in einer Gas-Triode

Der Versuchsaufbau zum Versuchsteil c ist in Abb. 3 dargestellt.

- Drehpotentiometer des Heizspannungsausganges auf 7,5 V, Drehpotentiometer des 500-V-Ausganges auf Null stellen, Röhrennetzgerät ausschalten.
- Voltmeter vom Heizspannungsausgang entfernen.
- Verbindung zwischen Anodenanschluss und Gitteranschluss trennen.
- Zur Messung des Gitterstroms I_G den Gitteranschluss der Demonstrations-Triode an die Minus-Buchse des Amperemeters (531 120) anschließen und die Plus-Buchse des Amperemeters mit dem Minus-Pol des 500-V-Ausganges verbinden. Am Amperemeter Einstellung „Messpunkt Mitte“ wählen.
- Mit dem Drehpotentiometer des 500-V-Ausganges sukzessive (bis ca. 25 V in 5V-Schritten, darüber hinaus in größeren Schritten) die Anodenspannung steigern und Anodenstrom und Gitterstrom am Amperemeter ablesen. Messbereich des Amperemeters ggf. anpassen.

Messbeispiel

a + b) Aufnahme der Strom-Spannungskennlinien für verschiedene Heizspannungen

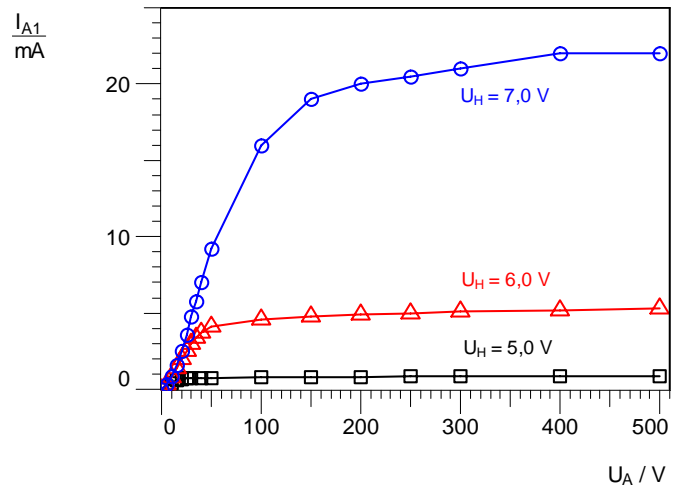
$U_H =$	Hochvakuum-Triode			Gas-Triode		
	5,0 V	6,0 V	7,0 V	5,0 V	6,0 V	7,0 V
$\frac{U_A}{V}$	$\frac{I_A}{mA}$	$\frac{I_A}{mA}$	$\frac{I_A}{mA}$	$\frac{I_A}{mA}$	$\frac{I_A}{mA}$	$\frac{I_A}{mA}$
0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
5	0,20	0,30	0,34	0,06	0,08	0,11
10	0,42	0,77	0,86	0,17	0,24	0,26
15	0,58	1,4	1,6	0,28	0,43	0,48
20	0,68	2,0	2,5	0,34	0,70	0,85
25	0,71	2,5	3,6	0,38	1,0	1,2
30	0,72	3,0	4,8	0,44	2,8	17
35	-	3,4	5,8	0,48	3,2	20
40	0,74	3,7	7,0	0,51	3,4	22
50	0,75	4,1	9,2	0,56	3,6	23
100	0,78	4,6	16	0,75	4,8	28
150	0,80	4,8	19	0,87	5,4	31
200	0,82	4,9	20	0,96	5,9	32
250	0,84	5,0	21	1,05	6,4	33
300	0,85	5,1	21	1,1	6,7	33
400	0,86	5,2	22	1,2	7,1	34
500	0,88	5,3	22	1,3	7,2	34

c) Bestimmung der Polarität der Ladungsträger in einer Gas-Triode

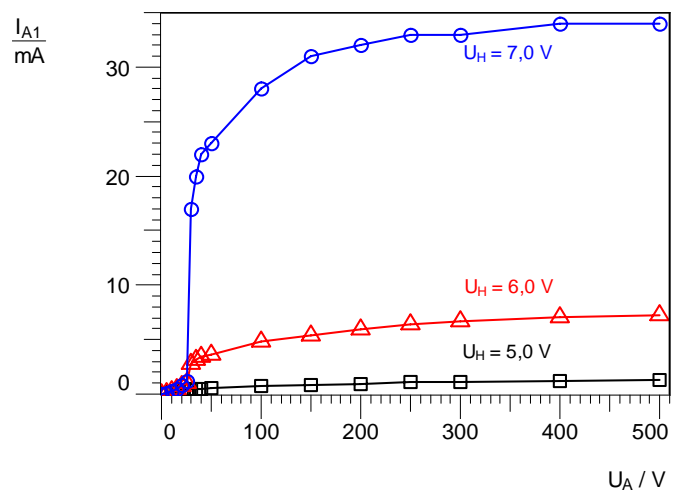
$\frac{U_A}{V}$	$\frac{I_G}{mA}$	$\frac{I_A}{mA}$
0	0,005	0,006
5	0,004	0,006
10	0,004	0,010
15	0,004	0,012
20	0,004	0,015
25	0,004	0,019
30	0,005	0,046
35	0,003	0,130
40	-4,6	38
50	-6,5	43
60	-8,6	48

Auswertung

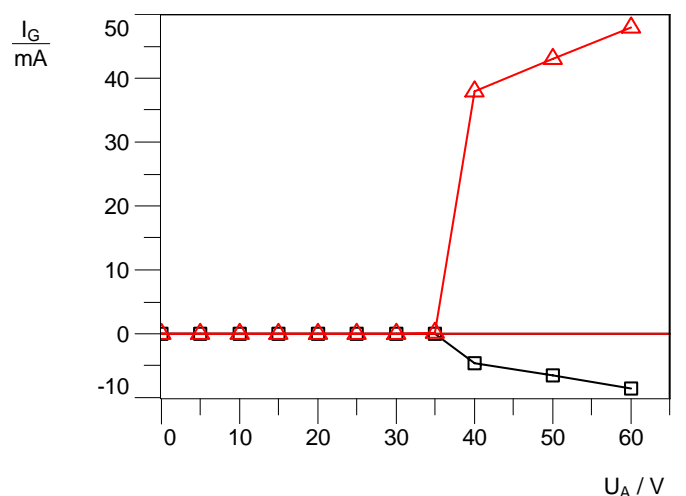
a) Strom-Spannungskennlinien einer Hochvakuum-Triode für verschiedene Heizspannungen



b) Strom-Spannungskennlinien einer Gas-Triode für verschiedene Heizspannungen



c) Bestimmung der Polarität der Ladungsträger in einer Gas-Triode



Ergebnisse

Bei der Hochvakuum-Triode steigt der Anodenstrom mit wachsender Anodenspannung kontinuierlich an und geht bei Anodenspannungen über 50 – 100 V in Sättigung. Schon geringe Änderungen der Heizspannung führen zu großen Änderungen des Anodenstroms.

Bei der Gas-Triode steigt der Anodenstrom bei wachsender Anodenspannung zunächst langsamer an als in der Hochvakuum-Triode. Das umgebende Gas führt zu einer Abkühlung der Glühwendel; daher emittiert die Katode bei gleicher angelegter Spannung weniger Elektronen, was zu einem geringeren Strom führt.

Bei einer Anodenspannung U_A von etwa 30 V setzt ein von einer blauen Leuchterscheinung begleiteter plötzlicher Anstieg des Anodenstroms I_A ein. Die Energie der Elektronen reicht aus, um Heliumatome zu ionisieren (Stoßionisation). Die dadurch zusätzlich verfügbaren Elektronen tragen zum Stromfluss durch die Röhre bei. Der Stromfluss steigt sprunghaft an.

Der Gitterstrom I_G der Gas-Triode ist bei Spannungen < 35 V positiv und sehr klein. Zum Strom tragen hier nur die von der Katode emittierten Elektronen bei. Ab 35 V wird der Gitterstrom negativ und liegt im Bereich einiger mA. Die Ladungsträger sind positiv geladene He-Ionen, die durch Stoßionisation entstehen.