

Gitter 2 Spannung der Tetrode im Leistungs- verstärker

**Mitteilungen aus dem Institut
für Umwelttechnik
Nonnweiler-Saar
Dr. rer. nat. Schau
DL3LH**

1. Vorwort

In Leistungsverstärkern für den KW- und UKW Bereich werden Trioden, Tetroden, Beam-Tetroden und Pentoden eingesetzt. Während bei der Kleinsignalverstärkung Steilheit, Durchgriff und Innenwiderstand wichtige Größen und durch die Barkhausen Beziehung $SDR_i = 100$ miteinander verknüpft sind, spielen diese Größen bei der Großsignalverstärkung absolut keine Rolle. Bei Leistungsstufen steht der Wirkungsgrad unter bestimmten Nebenbedingungen, wie maximale Anodenverlustleistung oder maximaler Anodenstrom im Vordergrund. Um ein hohen Wirkungsgrad zu erreichen, wird die Röhre daher immer bis zur Grenzgeraden R_{iL} durchgesteuert /1/. Die optimale Umsetzung von Gleichleistung in hochfrequente Wechselleistung steht immer im Vordergrund aller Berechnungen und Bemühungen /1/. Besonders der Einseitenbandbetrieb stellt hohe Anforderungen an die Linearität der Senderendstufe. Zur Erzielung hoher Verzerrungsfreiheit werden Röhren in der Betriebsart AB_2 betrieben. Dabei werden vorzugsweise Tetroden verwendet, da diese sich durch einen niedrigen Verstärkungsfaktor und fast gitterstromfreien Betrieb bei relativ großen Ausgangsleistungen und kleinen Steuerleistungen auszeichnen. Der etwas geringere Wirkungsgrad bei AB_2 Betrieb wird dabei in Kauf genommen.

2. Grundsätzliches

Für Senderendstufen werden auch Leistungs-Trioden eingesetzt. Sie haben in der Kathodengrundsaltung den Nachteil einer erheblichen Rückwirkung der Anodenwechselspannung auf die steuernde Gitterwechselspannung durch die Gitter-Anodenkapazität. Dieser Nachteil kann gemindert werden durch das Einfügen eines weiteren Gitters zwischen Steuergitter und Anode, welches als Schirmgitter g_2 bezeichnet wird. Man bezeichnet diese Röhre mit einem zusätzlichen Gitter zwischen Steuergitter und Anode als Tetrode. Sinn des Schirmgitters ist es, die Rückwirkung der in Gegenphase befindlichen Anodenwechselspannung auf die Gitterwechselspannung am Steuergitter (g_1) zu vermindern. Diese Rückwirkung, beschrieben durch den „Durchgriff“ D verkleinert die steuernde Gitterwechselspannung und verringert die Verstärkung und den Innenwiderstand der Röhre. Das Schirmgitter der Tetrode wird mit einer gegenüber der Kathode möglichst konstanten, positiven Spannung belegt. Dadurch ist der Anodenstrom der Tetrode nahezu unabhängig von der momentan herrschenden Anodenwechselspannung.

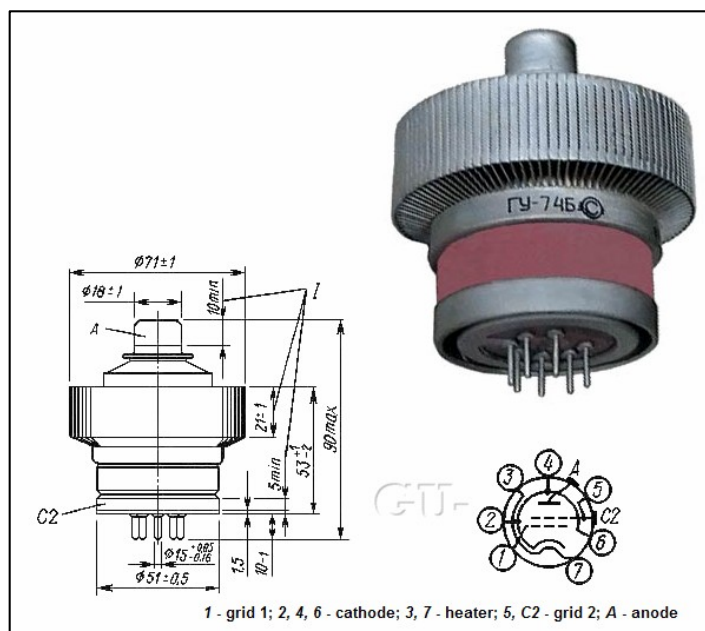


Bild 1 zeigt als Beispiel die in Amateurkreisen verwendete Tetrode GU 74b aus russischer Herstellung. Das Schirmgitter ist mit C2 bezeichnet. Die maximale Schirmgitter-Spannung wird vom Hersteller mit $U_{g_2} = 300$ V angegeben. Die maximale Verlustleistung des Schirmgitters ist nur $P = 15$ W.

Das Schirmgitter hat also die Aufgabe konstante Feldbedingungen innerhalb der Röhre zu gewährleisten. Es beschleunigt den Elektronenstrom in Richtung Anode unabhängig von der momentanen Anodenspannung. Die verringerte Rückwirkung der Anodenspannung auf das Steuergitter führt zu einer höheren Verstärkung und erhöht den Innenwiderstand der Röhre, was sich im Ausgangskennliniefeld durch nahezu zur x-Achse parallele Kennlinien zeigt.

Die Tetrode hat einen wesentlichen Nachteil, was zur Entwicklung der Beam-Tetrode und der Pentode führte. Wird bei der Tetrode die Anodenwechselspannung bei Aussteuerung kleiner als die Schirmgitterspannung, so werden die Elektronen, die vom Hauptanodenstrom aus der Anode herausgeschlagen werden, vom Schirmgitter angezogen und gelangen nicht mehr zur Anode zurück. Sie gehen dem Anodenstrom verloren. Das zeigt sich in einer charakteristischen „Delle“ des Anodenstromes im Kennliniefeld /Bild 2/. Der Anodenstrom nimmt ab, obwohl die Anodenspannung zunimmt. Das entspricht einem negativen, differentiellen Widerstand und wird nach Albert Hall als Dynatron bezeichnet. Diese Dynatron-Kennlinie kann bei falscher Dimensionierung der Leistungsstufe zu partiellen Schwingungen, wie bei einem Oszillator, führen. Bei Großsignalaussteuerung wird der Bereich der „Delle“ fast immer durchlaufen und erzeugt Verzerrungen im Anodenstrom, da der Strom von der Kathode zur Anode in diesem Bereich nicht mehr der Gitterwechselspannung am Steuergitter folgt. Der zusätzliche Elektronenstrom in Rückwärtsrichtung belastet das filigrane Schirmgitter (g_2) thermisch.

Elektrische Parameter der GU 74 b, Maximalwerte	
Heizspannung, V	11.9 - 13.3
Heizstrom, A	3.3 - 3.9
Input Kapazität, pF	50
Ausgangskapazität, pF	9 - 13
Maximale CW Anodenspannung (V_a), KV	2
Maximal momentane Anodenspannung (V_a), KV	4
Maximale Gittervorspannung, (V_{g1}), V	- 150
Maximale Schirmgitterspannung (V_{g2}), V	300
CW Kathodenstrom, (I_c), A	0.75
Spitzen-Kathodenstrom, (I_c), A	2.5
Anoden-Verlustleistung, W	600
Schirmgitter-Verlustleistung, W	15
Steuergitter-Verlustleistung, W	2
Frequenzbereich in MHz	<250

Tab. 1: Als Beispiel die elektrischen Maximalwerte der GU 74 b

Ein anderer Effekt ist die Sekundäremission von Elektronen aus dem Schirmgitter, das auf einem niederen Potential wie die Anode liegt. Das niedrigere Potential ist notwendig um die aus der Kathode ausgetretenen Elektronen zur Anode hin zu beschleunigen. Nicht alle Elektronen durchqueren das Schirmgitter auf dem Weg zur Anode, sondern einige, langsamere Elektronen werden vom Schirmgitter abgefangen. Beim Auftreffen auf das filigrane Schirmgitter werden daher Elektronen mit geringer Energie aus der Oberfläche des Schirmgitters herausgeschlagen und emittiert. Werden diese langsamen Sekundärelektronen vom Schirmgitter wieder angezogen, fallen diese zum Schirmgitter zurück. Da sich diese Sekundärelektronenwolke aber auch im Bereich zwischen Schirmgitter und Anode befindet ist es wahrscheinlich, dass diese auch zu dem höheren Potential zur Anode streben. Das Ergebnis ist ein Strom vom Schirmgitter zur Anode. Während eines Arbeitszyklus der Röhre ist es daher möglich, dass mehr Elektronen das Schirmgitter verlassen als erreichen. In diesem Fall zeigt ein DC-Amperemeter einen Rückwärtsstrom. Wenn im Mittel mehr Elektronen das Gitter erreichen als verlassen, dann zeigt das Strommessgerät den bekannten Vorwärtsstrom.

Bei High-Power-Tetroden ist der Rückwärtsstrom normal immer vorhanden. Der Erbauer einer Endstufe mit Tetroden muss daher einen niederohmigen Weg für diesen Rückwärtsstrom vorsehen.

Ist die Impedanz der Schirmgittersversorgung für den Rückwärtsstrom zu hoch, steigt die Schirmgitterspannung und läuft in Richtung Anodenspannung. Elektronen laufen dann von der Anode über die Außenbeschaltung zur Kathode zurück. Steigt die Schirmgitterspannung, erhöht sich auch der Sekundärstrom und der Anodenstrom. Die Röhre befindet sich in diesem Moment in einem nicht kontrollierten Zustand.

Den Rückstrom vom Schirmgitter zur Anode muss die Spannungsversorgung für das Schirmgitter zulassen, d.h. das Netzteil muss niederohmig in Rückwärtsrichtung ausgelegt sein. Stabilisierte Netzteile sind zwar niederohmig in Vorwärtsrichtung, aber hochohmig in Rückwärtsrichtung. Einfach ein stabilisiertes Netzteil zur Spannungsversorgung des Schirmgitters zu verwenden ist daher der falsche Weg und führt zu starken Intermodulationsprodukten und ohne Gegenmaßnahmen zu Oszillationen.

Erst durch eine besondere Schaltungstechnik wird erreicht, dass ein Rückstrom fließen kann. Da der Bau von Endstufen in Amateurreisen immer noch große Bedeutung hat, sei in diesem Beitrag auf die Besonderheiten der Beschaltung am Schirmgitter hingewiesen. Als Beispiel ist nach Tab. 1 bei einer robusten Röhre aus russischer Produktion die maximal zulässige Verlustleistung am Schirmgitter lediglich $P = 15 \text{ W}$. Diese Grenzwerte dürfen keinesfalls überschritten werden. Das gilt auch für die Spannungen an der Röhre bei kalter Kathode und besonders für das empfindliche Schirmgitter, wenn es über einen Serienwiderstand versorgt wird (siehe Beispiel).

Bild 2 zeigt die „Delle“ im Anodenstrom, wenn die Schirmgitterspannung die Anodenspannung unterläuft.

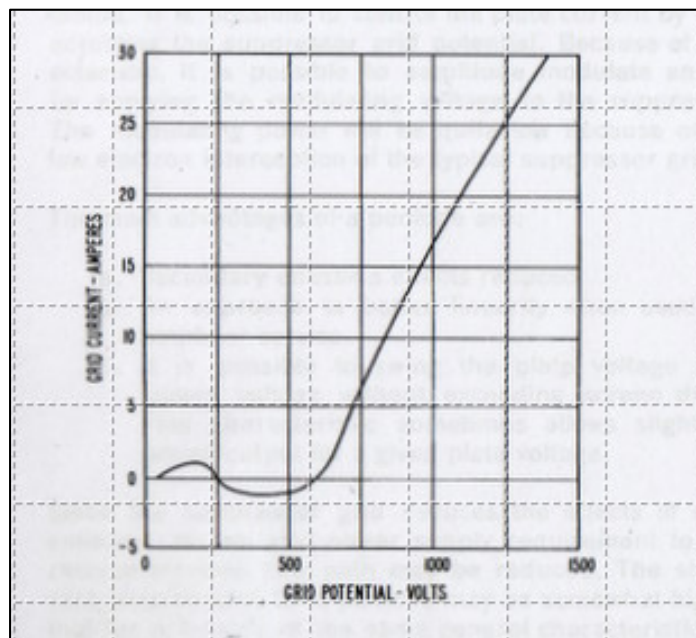


Bild 2: Anodenstrom als Funktion der Schirmgitter-Spannung einer Tetrode bei konstanter Anodenspannung U_{ao}

3. Spannungen und Ströme an der Tetrode

Um die Stromverhältnisse, besonders den Rückwärtsstrom an einer HF-Leistungsstufe mit Tetrode übersehen zu können, nehmen wir die Prinzipschaltung nach Bild 3. Angenommen die Gleichspannung der Schirmgitterspannungsquelle habe eine Spannung von $U_2 = 400\text{ V}$.

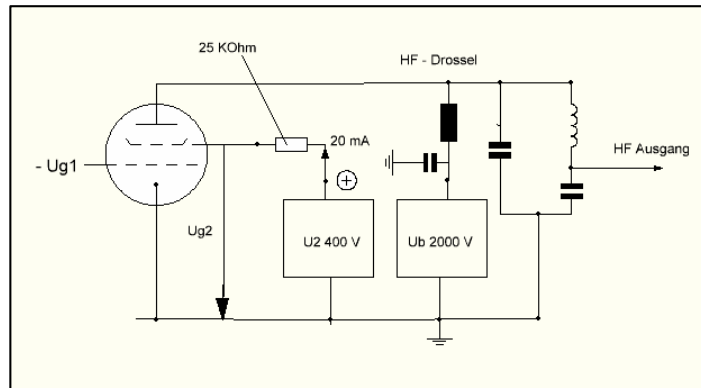


Bild 3: Prinzipschaltung einer Leistungsendstufe mit Tetrode in Parallelspeisung. Das Bild zeigt die Gleich-Spannungsversorgung des Schirmgitters und der Anode ohne Trennkondensator zur Antenne

Bei einem angenommenen Rückstrom am Schirmgitter von 20 mA , die über das Netzteil nicht fließen kann, fällt an dem Vor-Widerstand von $25\text{ k}\Omega$ eine Spannung von $\Delta U = 500\text{ V}$ ab. Die Spannung am Schirmgitter steigt daher momentan auf $U_{g2} = 900\text{ V}$ an.

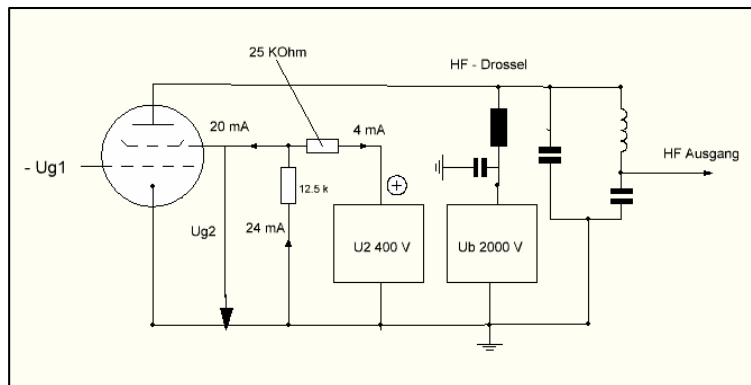


Bild 4: Prinzipschaltung einer Leistungsendstufe mit Tetrode in Parallelspeisung und einem Rückstrom von 4 mA über das Netzteil der Schirmgitterversorgung bei voller Aussteuerung bis zur Grenzkennlinie

Durch das Einfügen eines Spannungsteilerwiderstandes von $R_q = 12.5\text{ k}\Omega$ und einem angenommenen Rückstrom über das Netzteil von $I_r = -4\text{ mA}$ fließt über diesen Widerstand ein Strom von $I_q = (400\text{ V} - 4\text{ mA} * 25\text{ k}\Omega) : 12.5\text{ k}\Omega = 300\text{ V} / 12.5\text{ k}\Omega = 24\text{ mA}$. Der Rückstrom Schirmgitter-Anode ist nach Kirchhoff $I_r = 24\text{ mA} - 4\text{ mA} = 20\text{ mA}$ - wie angenommen. Die Schirmgitterverlustleistung ist $P_{v,g2} = 300\text{ V} * 20\text{ mA} = 6\text{ W}$.

Anhang:

AB₂ Betrieb: Die Gitter werden hierbei in den positiven Gitterstrombereich gesteuert, wodurch während einer positiven Halbschwingung Gitterstrom fließt. Bei diesem Betrieb ist eine größere Gittervorspannung erforderlich als beim A oder AB₁ Betrieb. Der Vorteil ist, dass die Anodenspannung höher gewählt werden kann. Damit erhöht sich die Ausgangsleistung und ein wenig der Wirkungsgrad gegenüber dem A oder AB₁ Betrieb.



DL3LH, Walter
wa-schau@t-online.de
www.heide-holst.de

Literatur auf www.3610khz.de unter AFu-Wiki

- /1/ Leistungsstufen mit Röhren und Transistoren
- /2/ Die Antenne macht die Musik
- /3/ Messungen an Leistungsstufen

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.