

# Afu-Kurs

## Technik Klasse A 17: Schaltungstechnik

DL0XK  
AmateurfunkForschungsGruppe der TU Kaiserslautern

<https://www.amateurfunk.uni-kl.de/home/>



This work is licensed under the *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License*.

Amateurfunkgruppe der Technische Universität Kaiserslautern, DL0XK, Stand: Wed Jul 3 00:38:15 2019 +0200  
basierend auf dem Kurs der Amateurfunkgruppe der Technische Universität Berlin (AfuTUB), DKØTU

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2

Schaltnetzteil

Mechanik &  
Sicherheit

Referenzen  
**AFG**  
AmateurfunkForschungsGruppe

HH  
DKØTU

## HF-Verstärker mit Röhren

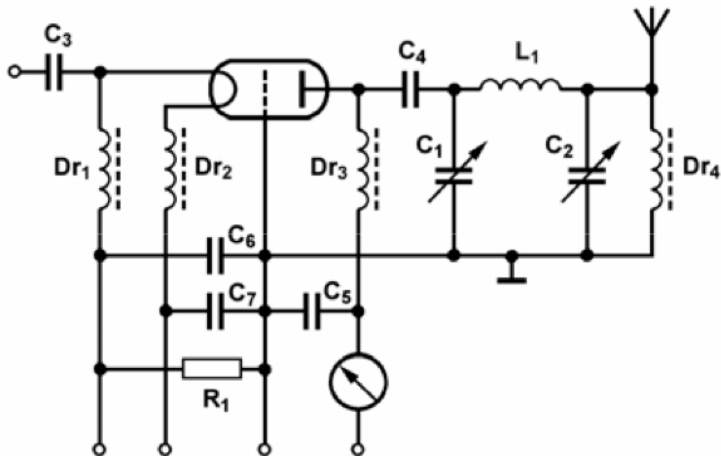


Abb. 1: TG313

[4]



[5]

Abb. 2: Röhrenverstärker

Röhren PA mit Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2

Schaltnetzteil

Mechanik & Sicherheit

# Wissenswertes zu Röhren-PAs mit Pi-Filtern

- haben höheren Wirkungsgrad als Transistorendstufen, da mit hohen Spannungen und geringen Strömen gearbeitet wird
- die meisten Verluste treten durch Ströme in den Spulen auf
- benötigt zur Arbeitspunkteinstellung am Gitter eine geringere Spannung als an der Katode
- dafür kann eine Konstantspannungsquelle oder ein Widerstand genutzt werden
- Pi-Filter dient der Impedanzanpassung

# Das Abstimmen eines Röhren-PA mit Pi-Filtern



[5]

Abb. 3: Röhrenverstärker

- $C_1$  ist für die Resonanz des Kreises verantwortlich; wird auch Abstimmkondensator, Plate oder Tune bezeichnet
- $C_2$  dient der Einstellung der Lastimpedanz (Load)
- Zuerst stellt man  $C_1$  und  $C_2$  auf max

# Das Abstimmen eines Röhren-PA mit Pi-Filtern

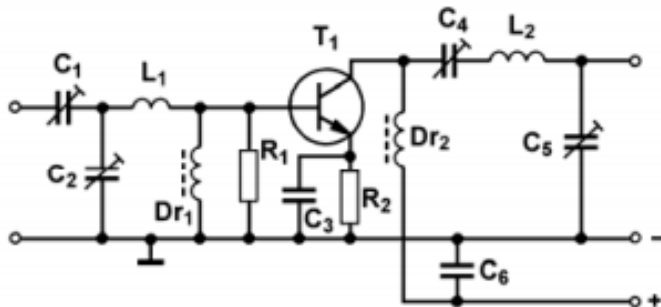


[5]

Abb. 3: Röhrenverstärker

- $C_1$  auf Dip im Anodenstrom stellen (Resonanz); Dip heißt, der Strom ist am Minimum
- Nun mit  $C_2$  einen etwas höheren Anodenstrom einstellen (Leistung auskoppeln)
- Vorgang mit  $C_1$  und  $C_2$  wechselseitig wiederholen bis maximale Ausgangsleistung erreicht ist
- Nach dem Abstimmvorgang sollte noch ein Dip von ca. 10% verbleiben

## 2m-FM Endstufe



[6]

Abb. 4: TG311-TG312

2m-FM Endstufe

## 2m-FM Endstufe abgleichen

- zum Abgleich des Verstärkers wird eine  $50\Omega$  Dummy-Load für UKW angeschlossen
- dann wird die Eingangsleistung erhöht, bis der Strom etwas ansteigt
- nun abwechselnd die Ausgangskondensatoren verstellen bis die Leistung etwa konstant bleibt
- danach wird der Vorgang mit den Eingangskondensatoren wiederholt
- dann wird die Eingangsleistung erhöht bis die Schaltung einen Strom von etwa  $2,7A$  aufnimmt (= Nennstrom der Schaltung)
- anschließend wird der Abgleich mit dem nun eingestellten Strom wiederholt
- um Eigenschwingungen zu vermindern kann man die Eingangsimpedanz des Transistors mit einem Widerstand dämpfen
- oder den Emitteranschluss mit einer Ferritperle versehen



# 2m-FM Endstufe in der Praxis

- Schaltung sollte in ein Metallgehäuse montiert werden
- am Besten noch mit Trennwand hinter dem Transistor
- Verstärker arbeitet im C-Betrieb
- kann nur CW und FM – **kein SSB**

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2

Schaltnetzteil

Mechanik &  
Sicherheit

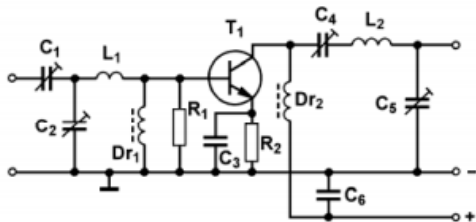
(Referenzen)  
**AFG**  
AmateurfunkForschungsGruppe



DKØTU

TG312

Welche der nachfolgenden Aussagen trifft nicht für die Schaltung zu?



- |   |                                                                                                 |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A | HF-Eingang und HF-Ausgang sind gleichspannungsfrei.                                             |
| B | $C_4$ , $C_5$ und $L_2$ passen den Transistorausgang an die niederohmigere Ausgangsimpedanz an. |
| C | $C_1$ , $C_2$ und $L_1$ passen die hochohmigere Eingangsimpedanz an den Transistoreingang an.   |
| D | $R_1$ dient zur Arbeitspunkteinstellung des Transistors $T_1$ .                                 |

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2  
SchaltnetzteilMechanik &  
Sicherheit

(Referenzen)  

  
AmateurfunkForschungsGruppe

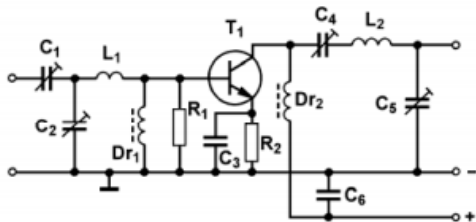


DKØTU

9

TG312

Welche der nachfolgenden Aussagen trifft nicht für die Schaltung zu?



- |     |                                                                                                 |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A   | HF-Eingang und HF-Ausgang sind gleichspannungsfrei.                                             |
| B   | $C_4$ , $C_5$ und $L_2$ passen den Transistorausgang an die niederohmigere Ausgangsimpedanz an. |
| C   | $C_1$ , $C_2$ und $L_1$ passen die hochohmigere Eingangsimpedanz an den Transistoreingang an.   |
| D ✓ | $R_1$ dient zur Arbeitspunkteinstellung des Transistors $T_1$ .                                 |

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2  
SchaltnetzteilMechanik &  
Sicherheit

(Referenzen)  

  
AmateurfunkForschungsGruppe

HH  

  
DKØTU

# Linearverstärker

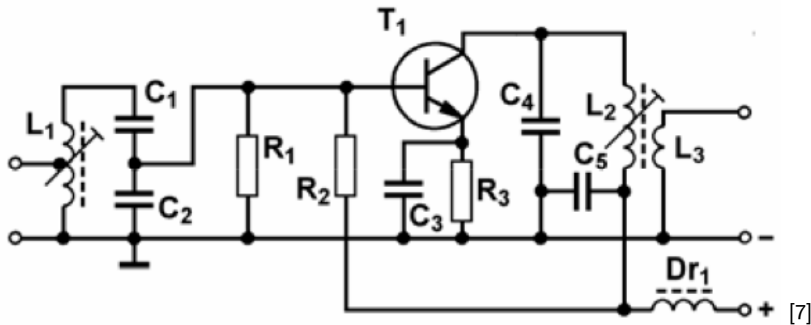
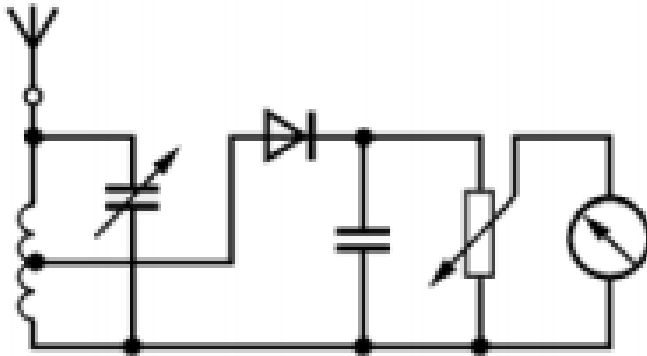


Abb. 5: TG222-TG225

# Linearverstärker

- für den SSB-Betrieb geeignet
- HF-Verstärker sollen möglichst verzerrungsfrei (linear) verstärken
- einen solchen Verstärker kann man mit zwei Transistoren im Gegentakt-B-Betrieb aufbauen
- oder mit einem Transistor im AB-Betrieb
- bei kleinen Signalen arbeitet der Transistor dann im A-Betrieb und bei größeren im B-Betrieb
- $R_1$  und  $R_2$  bestimmen den Arbeitspunkt des Transistors
- der Schwingkreis  $L_1-C_1-C_2$  schafft eine doppelte Resonanztransformation
- das Verhältnis von  $C_1$  zu  $C_2$  bestimmt die Anpassung an die Basis des Transistors
- die Mittelanzapfung an  $L_1$  erzeugt den üblichen  $50\Omega$  Eingangswiderstand
- der Ausgang wird normal transformiert über  $L_2$  zu  $L_3$

# Absorptionsfrequenzmesser



[8]

Abb. 6: TJ601

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2

Schaltnetzteil

Mechanik &  
Sicherheit

(Referenzen)  
  
 AmateurfunkForschungsGruppe

HH  
 DKØTU

# Absorptionsfrequenzmesser

- kann zur Bestimmung der Frequenz eines Oszillators verwendet werden
- das Oszillatorsignal wird induktiv über den Schwingkreis eingekoppelt
- das Eingangssignal wird anschließend über die Diode gleichgerichtet
- der Schwingkreis wird über den Drehkondensator abgestimmt bis ein Spannungsmaximum erreicht ist
- aus der Resonanzfrequenz des Schwingkreises kann nun die Oszillatorfrequenz bestimmt werden
- der Abstimmbare teil des Schwingkreises ist meist mit einer Skala versehen

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2

Schaltnetzteil

Mechanik &  
Sicherheit

(Referenzen)  
**AFG**  
AmateurfunkForschungsGruppe



DKØTU

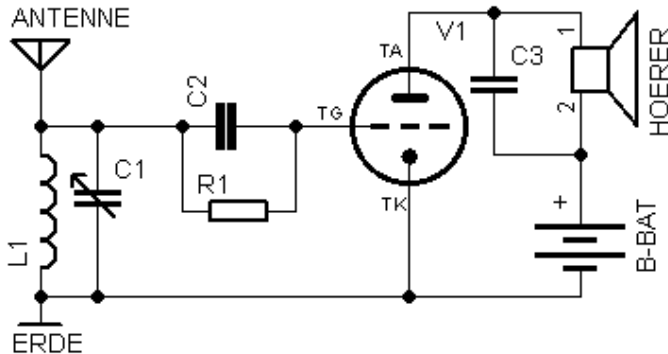
13

# Aufbau von Oszillatoren

- Spulen und Kondensatoren sind temperaturabhängig
- Spulen dehnen sich aus, dadurch steigt ihr Querschnitt und die Induktivität
- deshalb nutzt man dafür Kondensatoren mit negativen Temperaturkoeffizienten, wie z.B. Styroflexkondensatoren
- dies alles beeinflusst die Frequenz
- also, Oszillatoren weg von Wärmequellen!
- extra stabilisierte Spannungsversorgung verhindert ein Verzerren der Frequenz durch den Transistor (Chirp)
- und immer gut schirmen



# Audionschaltung



[8]

Abb. 7: Audion

# Audionschaltung

- in der Anfangszeit des Rundfunks weit verbreitete Empfängerschaltung
- geradeausempfänger es findet im Gegensatz zum Superhet keine Mischung statt
- demodulation und Verstärkung an der gekrümmten Kennlinie einer Röhre oder eines Transistors
- oft mit Rückkopplung zum Eingangsschwingkreis versehen
- durch Rückkopplung steigt die Empfindlichkeit und Trennschärfe
- bei zu starker Rückkopplung beginnt die Schaltung als Oszillator zu arbeiten

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2  
SchaltnetzteilMechanik &  
Sicherheit

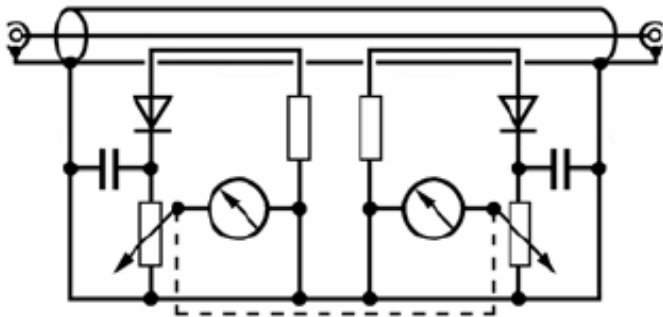

Referenzen  
**AFG**  
AmateurfunkForschungsGruppe



DKØTU

16

# SWR-Meter (Reflektometer, Richtkoppler)



[9]

Abb. 8: TJ401

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2  
SchaltnetzteilMechanik &  
Sicherheit

(Referenzen)  

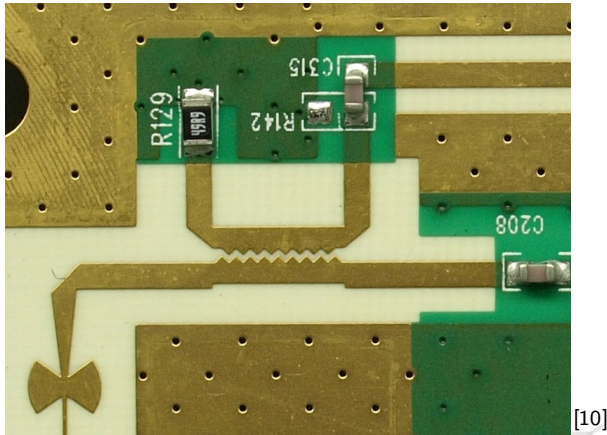
  
 AmateurfunkForschungsGruppe



DKØTU

17

# Stripline-Richtkoppler



[10]

Abb. 9: Microstrip Sawtooth Directional Coupler

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2

Schaltnetzteil

Mechanik &  
Sicherheit

# Die Dummy-Load



[11]

Abb. 10: "Cantenna" für bis zu 1kW

- im Prinzip ist die Dummy-Load ein Widerstand für hohe Frequenzen und Leistungen
- dabei soll sie wenig kapazitive und – noch wichtiger – wenig induktive Anteile haben
- gut eignen sich Schichtwiderstände
- Aufbau als Widerstandskaskade mit  $50\Omega$

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

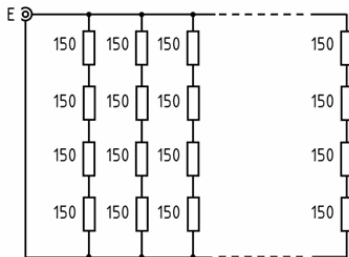
Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2  
Schaltnetzteil

Mechanik &  
Sicherheit

TJ708

Für den Bau einer Dummy Load wurden Schichtwiderstände von  $150\ \Omega$  /  $1\ \text{Watt}$  verwendet. Jeweils vier Widerstände wurden in Serie geschaltet und durch Parallelschaltung dieser Serienschaltungen wurden zirka  $50\ \Omega$  erreicht. Wie viele Widerstände wurden insgesamt benötigt und welche Dauerleistung verträgt die Dummy Load?



- A gesamt 48 Widerstände, 12 Watt  
 B gesamt 48 Widerstände, 48 Watt  
 C gesamt 12 Widerstände, 48 Watt  
 D gesamt 16 Widerstände, 16 Watt

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2

Schaltnetzteil

Mechanik &  
Sicherheit

(Referenzen)  
**AFG**  
 AmateurfunkForschungsGruppe

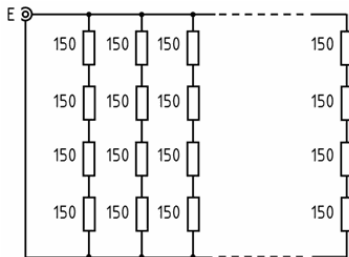


DKØTU

20

TJ708

Für den Bau einer Dummy Load wurden Schichtwiderstände von  $150\ \Omega$  /  $1\ \text{Watt}$  verwendet. Jeweils vier Widerstände wurden in Serie geschaltet und durch Parallelschaltung dieser Serienschaltungen wurden zirka  $50\ \Omega$  erreicht. Wie viele Widerstände wurden insgesamt benötigt und welche Dauerleistung verträgt die Dummy Load?



- |     |                                |
|-----|--------------------------------|
| A   | gesamt 48 Widerstände, 12 Watt |
| B ✓ | gesamt 48 Widerstände, 48 Watt |
| C   | gesamt 12 Widerstände, 48 Watt |
| D   | gesamt 16 Widerstände, 16 Watt |

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2

Schaltnetzteil

Mechanik &  
Sicherheit

(Referenzen)  
  
 AmateurfunkForschungsGruppe



DKØTU

20

# Netzteil und Stabilisierung

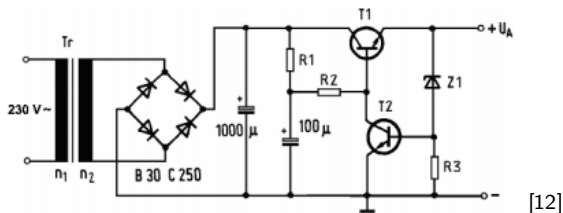


Abb. 11: Netzteil aus TD306

Wie funktioniert das?

- Die Ausgangsspannung wird als Vergleich zur Transistorsteuerung genommen
- Fixe Ausgangsspannung = Z-Diodenspannung +  $0,6V U_{BE}$  für  $T_2$
- $U_A$  sinkt (bei höherer Belastung)  $\rightarrow I_{B,T2}$  sinkt (und leitet weniger)  $\rightarrow U_{R_1,R_2}$  sinkt (durch verminderten Kollektorstrom an  $T_2$ )  $\rightarrow U_{B,T1}$  steigt  $\rightarrow T_1$  leitet besser  $\rightarrow U_A$  steigt

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2

Schaltnetzteil

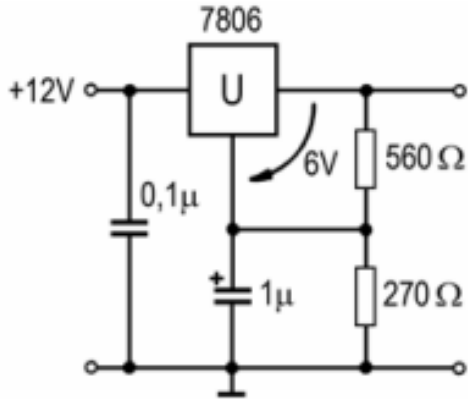
Mechanik &  
Sicherheit

Referenzen  
**AFG**  
AmateurfunkForschungsGruppe





# Festspannungsregler

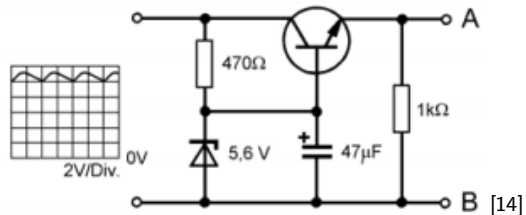


[13]

- viel freundlicher im Umgang als z.B. die Z-Diodenschaltung
- benötigen nur noch Kondensatoren drum herum
- brauchen etwa 15% mehr Eingangsspannung als sie stabilisieren sollen
- sollte der Regler mal zu wenig Strom liefern, kann er mit einem Transistor erweitert werden
- Bauteil: 78xx-Serie (und 79xx für negative Spannungen)

Abb. 12: TD319

# Festspannungsregler



- Basis liegt auf  $V_{out} + 0.6V$
- Ausgangsspannung is also: 5V

Abb. 13: TD319

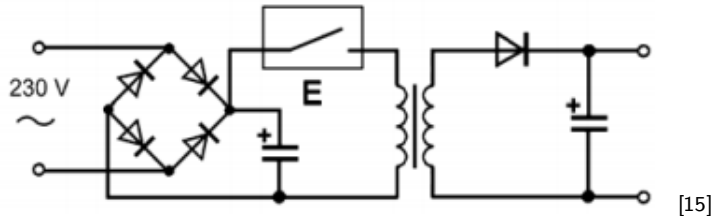


Abb. 14: Schaltnetzteil aus TD317

- will man den Trafo in einem Netzteil verkleinern, braucht man höhere Spannungen
- Lösung des Problems: man richtet die Wechselspannung gleich, zerhackstückelt diese dann per elektronischen Schalter, transformiert sie dann und richtet sie wieder gleich
- Schaltfrequenzen gehen bis in den MHz-Bereich
- erzeugt dafür aber Oberwellen, die auf KW stören können

# Was für die Bastler

- **Immer an die Abschirmung denken!**
- am besten Metallgehäuse nutzen
- braucht das Gerät Netzspannung, muss das gesamte Gehäuse geerdet werden (Auch Deckel/Klappen!)
- bei HF-Verstärkern in der Versorgung auch noch die HF rausfiltern

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2

Schaltnetzteil

Mechanik &  
Sicherheit

(Referenzen)  

**AFG**  
 AmateurfunkForschungsGruppe




DKØTU

25

# Referenzen/Links

- [1] DARC Online-Lehrgang Lektion A17:  
<https://www.darc.de/der-club/referate/ajw/lehrgang-ta/a17/>
- [2] Fragenkatalog Bundesnetzagentur Technik Klasse A: [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Amateurfunk/Fragenkatalog/TechnikFragenkatalogKlasseAf252rId9014pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Amateurfunk/Fragenkatalog/TechnikFragenkatalogKlasseAf252rId9014pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3)
- [3] Freie Inhalte (DK0TU): [https://www.dk0tu.de/Projekte/Freie\\_Inhalte/](https://www.dk0tu.de/Projekte/Freie_Inhalte/)

Abbildungen:

- [4] TG313:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>
- [5] Röhrenverstärker:   
<http://dc4lw.de>
- [6] TG311-TG312:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>
- [7] TG222-TG225:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2

Schaltnetzteil

Mechanik &  
Sicherheit

 AFG  
 AmateurfunkForschungsGruppe


DK0TU

25

- [8] TJ601:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>
- [9] TJ401:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>
- [10] Directional Coupler:   
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Microstrip\\_Sawtooth\\_Directional\\_Coupler.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Microstrip_Sawtooth_Directional_Coupler.jpg)
- [11] Antenna:   
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cantenna.JPG>
- [12] TD306:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>
- [13] TD319:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>
- [14] TD312:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>
- [15] TD317:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>
- [16] Audion:  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gitterkombinationaudion.png>

Afu-Kurs

Technik A 17

Röhren PA mit  
Pi-Filter

2m-FM Endstufe

Linearverstärker

Absorptionsfrequenz

Oszillatoren

Audion

SWR-Meter

Dummy-Load

Netzteil und  
Stabilisierung

Festspannungsregler

Festspannungsregler Nr. 2

Schaltnetzteil

Mechanik &  
Sicherheit  
AmateurfunkForschungsGruppe

DKØTU

25