

# AfuTUB-Kurs

## Technik Klasse A 07: Oszillator und Hochfrequenzverstärker

DL0XK  
Amateurfunk Forschungs Gruppe der TU Kaiserslautern

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

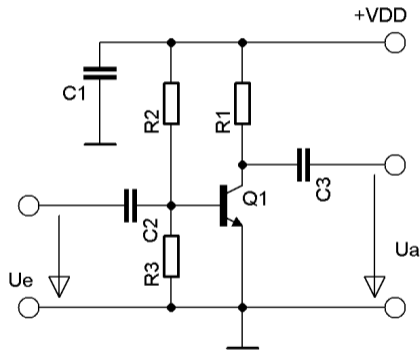


This work is licensed under the *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License*.

Amateurfunkgruppe der Technische Universität Kaiserslautern, DL0XK, Stand: Thu May 9 16:08:10 2019 +0200  
basierend auf dem Kurs der Amateurfunkgruppe der Technische Universität Berlin (AfuTUB), DKØTU

# Verstärker Wiederholung

Um was für eine Transistorschaltung handelt es sich?



[5]

Abb. 1: Transistorschaltung

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

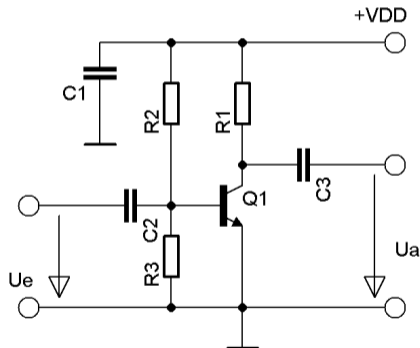
HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

# Verstärker Wiederholung

Emitterschaltung, da der Emitter auf dem gemeinsamen Potential liegt.  
Phasendrehung von  $180^\circ$



[5]

Abb. 2: Transistorschaltung

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

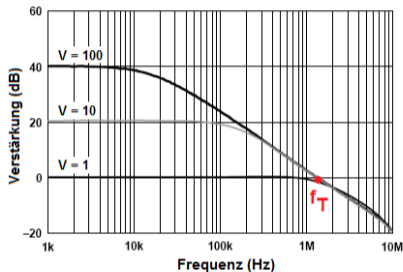
Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

# Verstärkungsbandbreiteprodukt



[6]

Abb. 3:

- Aufgrund von Kapazitäten im Transistor geringer Wechselstromwiderstand und somit geringe Verstärkung
- Mit sinkender Verstärkung vergrößert sich die Bandbreite

# Ersatzschaltbild MOSFET mit Kapazitäten

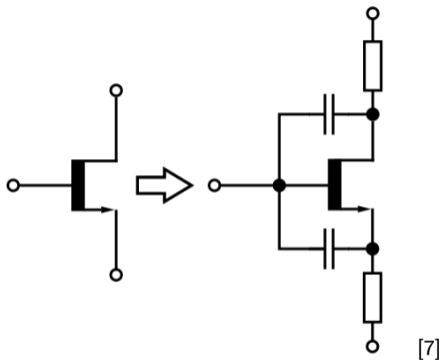


Abb. 4:

Probleme mit Kapazitäten im MOSFET (Gate und Drain/Source, wie Kapazitätsdioden)

## Breitbandverstärker

Wiederholung

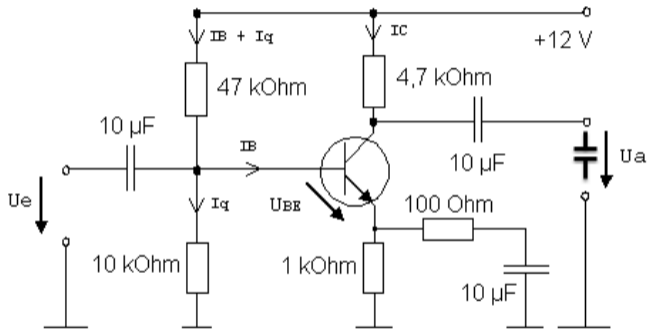
Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

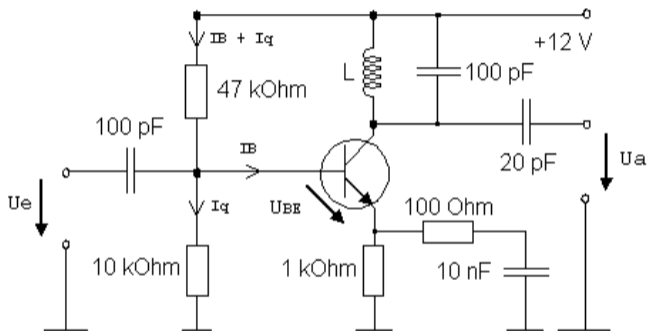
Referenzen



[8]

Abb. 5: Breitbandverstärker mit Transistor

# Selektiver Verstärker / Schmalbandverstärker



[9]

Abb. 6: Selektiver Verstärker mit Transistor

Ausgangslast Teil des Schwingkreises

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

# Rückgekoppelte Systeme / Schwingbedingungen

AfuTUB-Kurs

Technik A 07

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen



[10]

Abb. 7: Lawine

Eine Mitkopplung des Schnees → Ein wenig Schnee beginnt und reißt immer mehr mit



# Rückgekoppelte Systeme / Schwingbedingungen

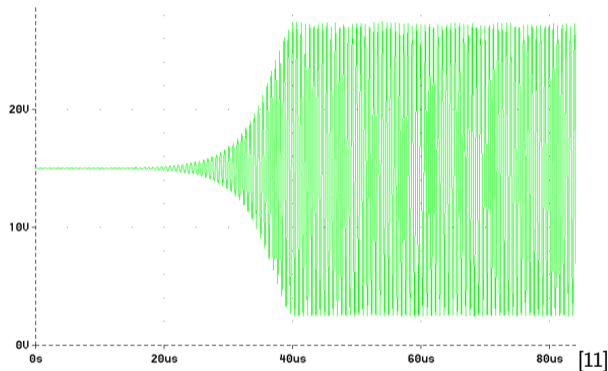
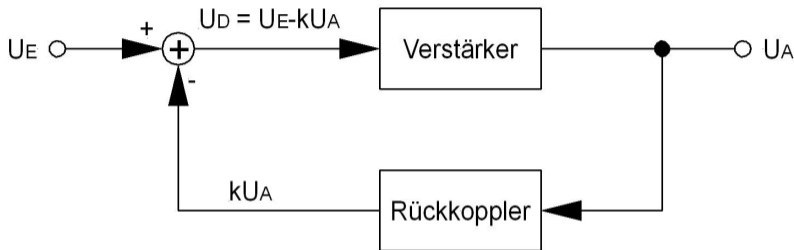


Abb. 8: Oszillogramm: Exponentieller Amplitudenanstieg eines schwach rückgekoppelten Oszillators. Nach  $40\mu\text{s}$  setzt die Amplitudenbegrenzung wegen der nichtlinearen Kennlinie ein

Anschwingen eines Oszillators

# Rückgekoppelte Systeme / Schwingbedingungen



[12]

Abb. 9: Blockschaltbild eines Rückkopplungskreises mit Gegenkopplung

- Für Mitkopplung muss Signal phasengleich sein
- Für Gegenkopplung muss Signal um  $(2n - 1) \cdot 180^\circ$  verschoben sein
- Rückkopplung muss Verluste ausgleichen
- Zum Anschwingen Rückkopplung größer

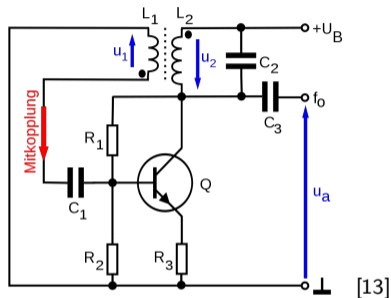


Abb. 10: Meißner-Oszillator

- Benannt nach Alexander Meißner, der 1913 patentierte
- Rückkopplung über Transformator
- $180^\circ$  Transistor +  $180^\circ$  Spule =  $360^\circ$  verschoben

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

## Hartley

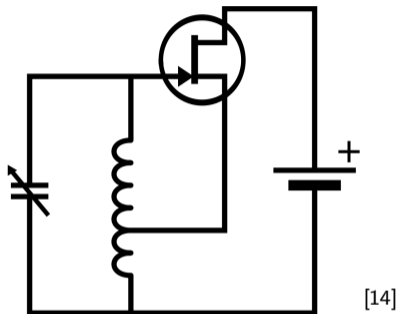


Abb. 11: Hartley-Oszillator

- Benannt nach Ralph Hartley, der 1920 patentierte
- Rückkopplung über Spule, die wie Trafo wirkt
- Spannung am Gate bewirkt Strom aus Source

## Colpitts

Wiederholung

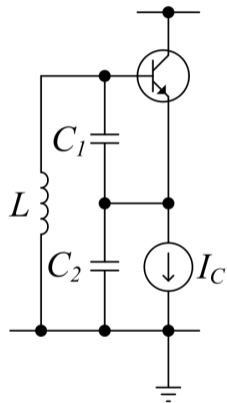
Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen



- Benannt nach Edwin H. Colpitts, der 1918 patentierte
- Rückkopplung über Kondensator
- Keine Phasenverschiebung da Kollektorschaltung

[15]

Abb. 12: Colpitts-Oszillator

## Colpitts Beispiel

Wiederholung

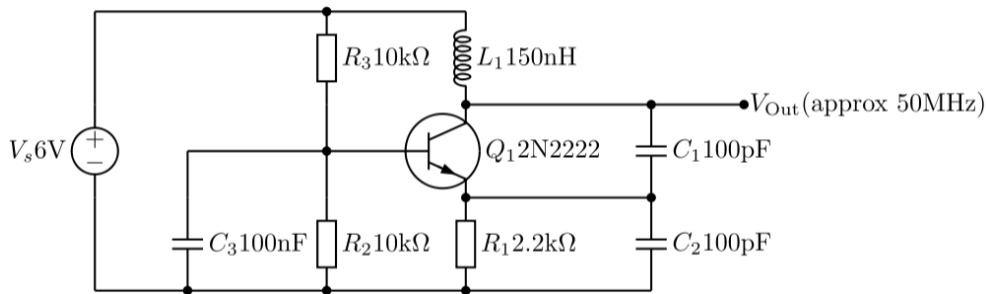
Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen



[16]

Abb. 13: Colpitts-Oszillator in Basisschaltung

# Zusammenfassung Dreipunkt-Schaltungen

- Alle Oszillatoren möglich als Basis-, Kollektor- oder Emitter-Schaltung
- Benannt nach Erfinder und unterschiedliche Rückkopplungen
- Colpitts sehr verbreitet da simple Spule

AfuTUB-Kurs

Technik A 07

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

# Quarzoszillator

Wiederholung

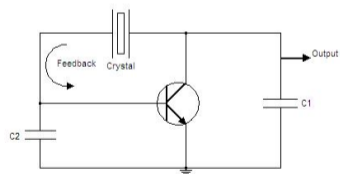
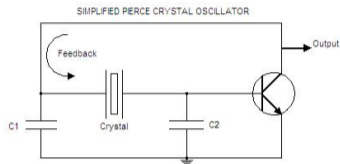
Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen



Both the above diagrams represent exactly the same circuit

- Quarzoszillator in Basis und Kollektorschaltung

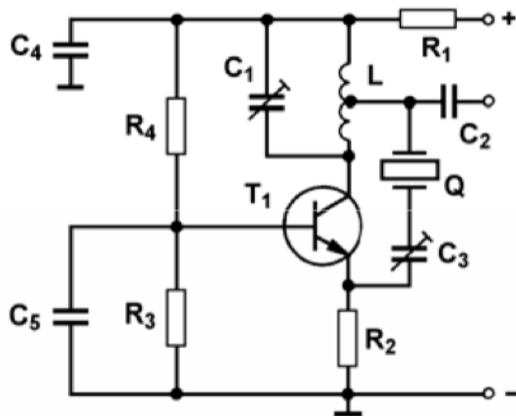
Abb. 14: Quarzoszillator in Basis und Kollektorschaltung

[17]



# Quarzoszillator Besonderheiten

- Sehr frequenzstabil
- Betrieb in Oberschwingung mit Sperrkreis möglich
- Oberschwingungen sind ein Vielfaches der Grundfrequenz des Quarzes



[18]

Abb. 15: Oberschwingung (TD606)

# Blockschaltbild Verstärkung

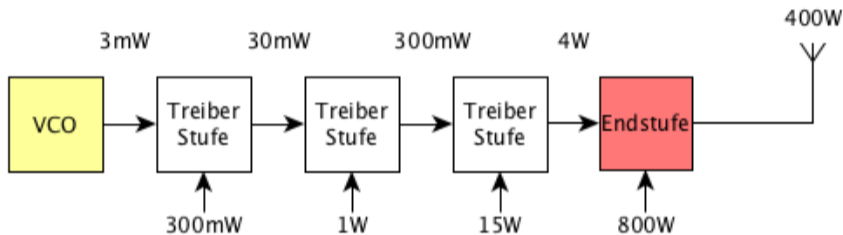


Abb. 16: Verstärkung in einzelnen Stufen

- Verstärkung der Leistung in Stufen
- Meist höchstens 10dB Verstärkung in den Treiberstufen

# Wirkungsgrad

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

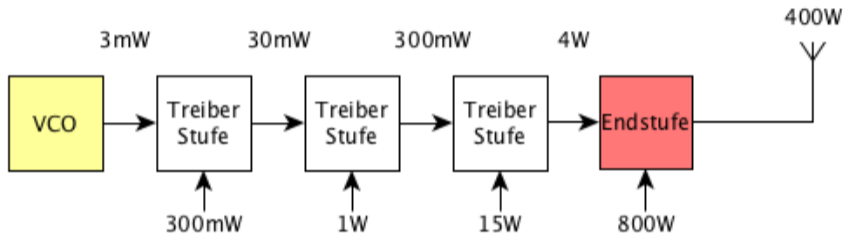


Abb. 17: TRX Stufen

## Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{\text{Ausgang}}}{P_{\text{Versorgung}}}$$

# Betriebsart Transistor

Wiederholung

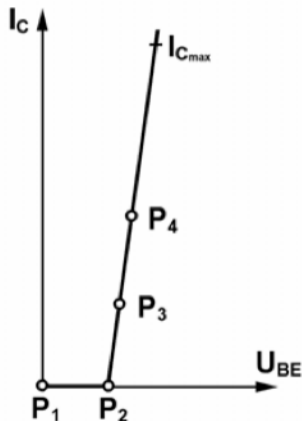
Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen



- ①  $P_1$ : C-Betrieb
- ②  $P_2$ : B-Betrieb
- ③  $P_3$ : AB-Betrieb
- ④  $P_4$ : A-Betrieb

Abb. 18: Betriebsarten eines Transistors  
(TD419)

[19]

# Betriebsart Röhre

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

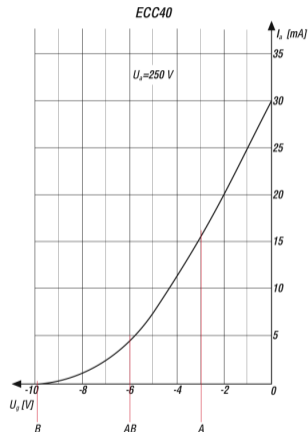


Abb. 19: Kennlinie mit Arbeitspunkten bei der Röhre ECC40

## A-Betrieb

Wiederholung

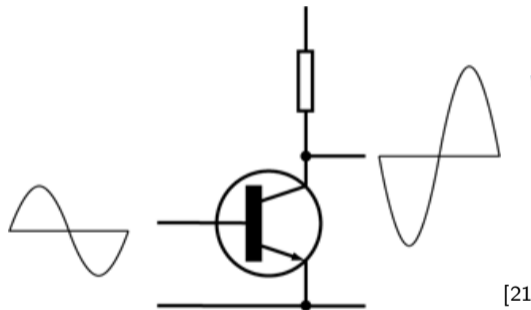
Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

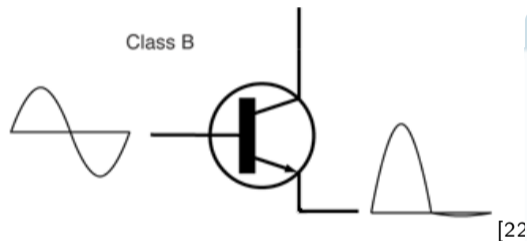


## A-Betrieb

- ① Beide Halbwellen werden verstärkt
- ② Hoher Verluststrom
- ③ Kaum Signalverzerrung
- ④ Einfacher Aufbau
- ⑤ Um 40% Wirkungsgrad

Abb. 20: Verstärker in A-Betrieb

# B-Betrieb

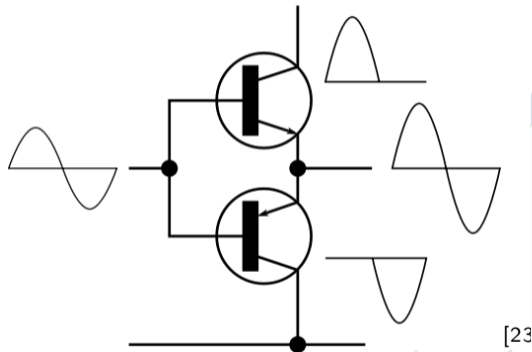


## B-Betrieb

- ① Nur die obere Halbwelle wird verstärkt
- ② Geringer Verluststrom
- ③ Signalverzerrung
- ④ Einfacher Aufbau
- ⑤ Bis 80% Wirkungsgrad

Abb. 21: Verstärker in B-Betrieb

# AB-Betrieb



## AB-Betrieb

- ① Ein Transistor pro Halbwelle
- ② Akzeptabler Verluststrom
- ③ Minimale Signalverzerrung
- ④ Komplizierter Aufbau
- ⑤ Bis 75% Wirkungsgrad

[23]

Abb. 22: Verstärker in AB-Betrieb (Push-pull amplifier)



## C-Betrieb

Wiederholung

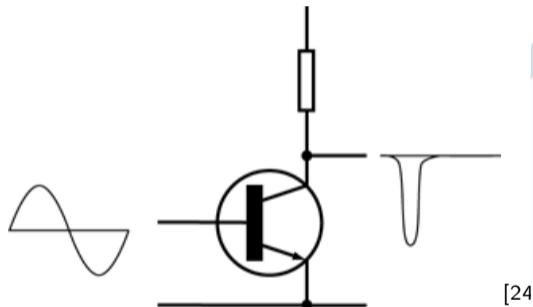
Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen



## C-Betrieb

- ① Nur Signalspitze wird verstärkt
- ② Quasi kein Verluststrom
- ③ Starke Signalverzerrung
- ④ Einfacher Aufbau
- ⑤ Bis 87.5% Wirkungsgrad

Abb. 23: Verstärker in C-Betrieb

# HF-Verstärkerschaltung

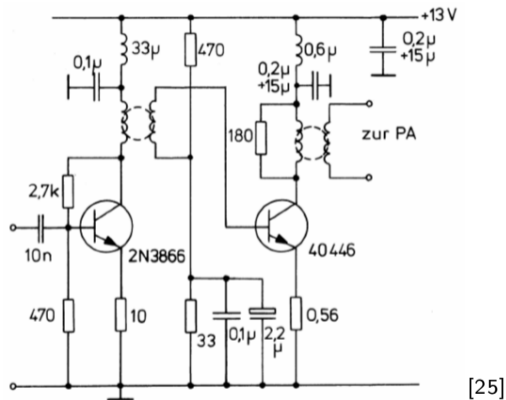


Abb. 24: HF-Verstärkerschaltung (TG237–TG240)

Breitband HF-Verstärker aus 2 Stufen

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

# HF-Verstärkerschaltung Fragen

Wiederholung

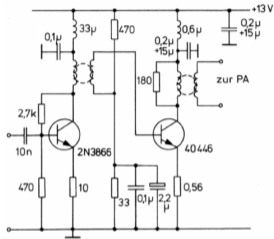
Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen



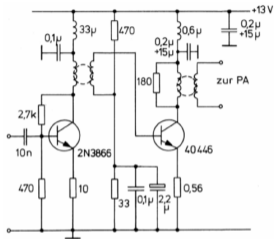
[25]

TG238

Ist die Schaltung um den 2N3866 eine Basis, Emitter oder Kollektor Schaltung? Und wozu dient der Transformator?

Abb. 25: HF-Verstärkerschaltung (TG237–TG240)

# HF-Verstärkerschaltung Fragen



[25]

## TG238

Ist die Schaltung um den 2N3866 eine Basis, Emitter oder Kollektor Schaltung? Und wozu dient der Transformator?

Wiederholung

Verstärkung vs Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungsverstärker

Leistungsangaben

Referenzen

Abb. 25: HF-Verstärkerschaltung (TG237–TG240)

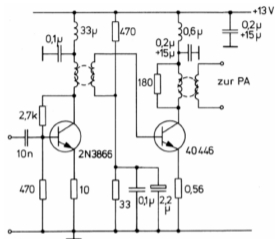
## Antwort

Es handelt sich um eine Emitterschaltung. Der Transformator dient der Anpassung des Ausgangswiderstandes an den Eingang der folgenden Schaltung.

# HF-Verstärkerschaltung Fragen

AfuTUB-Kurs

Technik A 07



[25]

TG239

Warum sind oft zwei Kondensatoren parallel gegen Masse geschaltet?

Wiederholung

Verstärkung vs Bandbreite

Oszillator

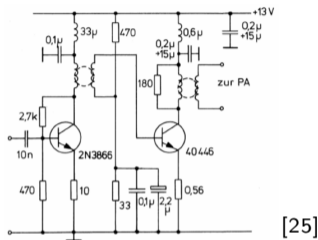
HF-Leistungsverstärker

Leistungsangaben

Referenzen

Abb. 26: HF-Verstärkerschaltung (TG237–TG240)

# HF-Verstärkerschaltung Fragen



## TG239

Warum sind oft zwei Kondensatoren parallel gegen Masse geschaltet?

Wiederholung

Verstärkung vs Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungsverstärker

Leistungsangaben

Referenzen

Abb. 26: HF-Verstärkerschaltung (TG237–TG240)

## Antwort

Der Kondensator mit der geringen Kapazität dient zum Abblocken der hohen und der Kondensator mit der hohen Kapazität zum Abblocken der niedrigen Frequenzen.

# FM-Verstärkerschaltung

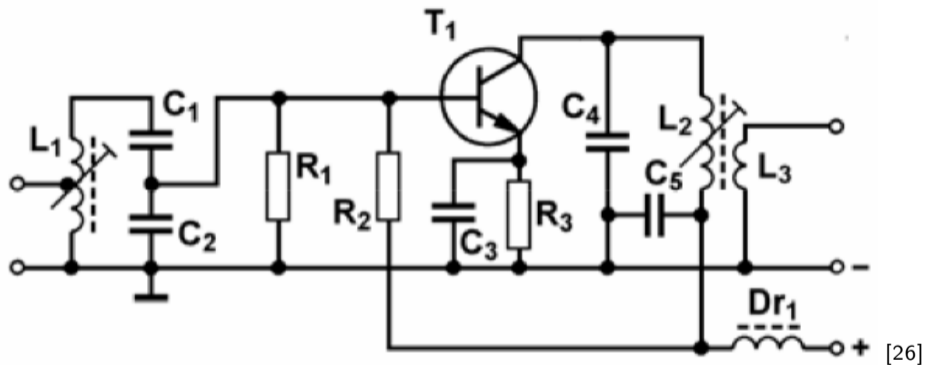


Abb. 27: FM-Verstärkerschaltung (TG222–TG225)

2m FM-Endstufe

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

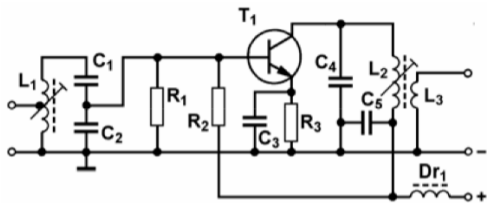
Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

# FM-Verstärkerschaltung Fragen



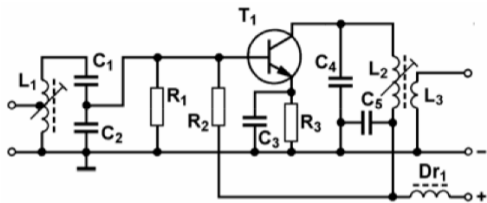
TG224

Welchem Zweck dient die Anzapfung an  $L_1$  in der folgenden Schaltung?

Abb. 28: FM-Verstärkerschaltung  
(TG222–TG225)<sup>[26]</sup>



# FM-Verstärkerschaltung Fragen



TG224

Welchem Zweck dient die Anzapfung an  $L_1$  in der folgenden Schaltung?

Abb. 28: FM-Verstärkerschaltung  
(TG222–TG225)<sup>[26]</sup>

Antwort

Sie dient zur Anpassung der Eingangsimpedanz der Stufe.

# FM-Verstärkerschaltung Fragen

Wiederholung

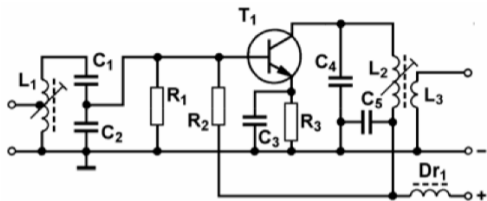
Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

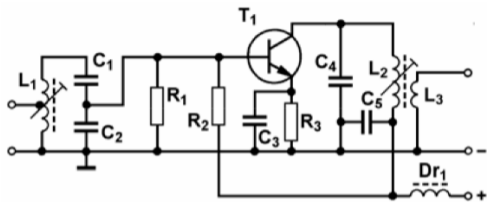


TG225

Welchem Zweck dient  $C_2$  in der  
Schaltung?

Abb. 29: FM-Verstärkerschaltung  
(TG222–TG225)<sup>[26]</sup>

# FM-Verstärkerschaltung Fragen



TG225

Welchem Zweck dient  $C_2$  in der  
Schaltung?

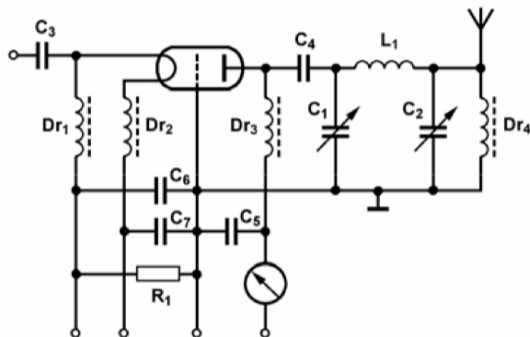
Abb. 29: FM-Verstärkerschaltung  
(TG222–TG225)<sup>[26]</sup>

Antwort

Zur Festlegung der HF-Kopplung

*Merke: Bei Fragen mit Kondensatoren immer die HF-Antwort*

# HF-Verstärker mit Röhren



[27]

Abb. 30: HF-Verstärkerschaltung mit Röhren (TG313–TG318)

Röhrenendstufe mit Pi-Filter ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $L_1$ ) am Ausgang zur Anpassung an die Antenne

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

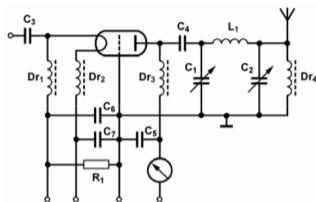
Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

# Röhrenverstärker abstimmen



[27]

Abb. 31: HF-Verstärkerschaltung mit Röhren (TG313–TG318)

## TG315

Welche Bedeutung und Funktion haben  $C_1$ ,  $C_2$  und  $L_1$ ? Wie sind die Bedienknöpfe der beiden Kondensatoren an einer Endstufe wahrscheinlich beschriftet?

Wiederholung

Verstärkung vs Bandbreite

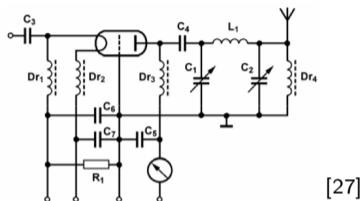
Oszillator

HF-Leistungsverstärker

Leistungsangaben

Referenzen

# Röhrenverstärker abstimmen



[27]

Abb. 31: HF-Verstärkerschaltung mit Röhren (TG313–TG318)

## TG315

Welche Bedeutung und Funktion haben  $C_1$ ,  $C_2$  und  $L_1$ ? Wie sind die Bedienknöpfe der beiden Kondensatoren an einer Endstufe wahrscheinlich beschriftet?

### Antwort

An dem Drehknopf für  $C_1$  steht  $C_{Plate}$  oder "Plate", an dem für  $C_2$  steht  $C_{Load}$  oder "Load". Die drei Bauelemente  $C_1$ ,  $C_2$  und  $L_1$  bilden zusammen einen so genannten Pi-Tankkreis zur Anpassung der Ausgangsimpedanz der Röhre an die Antennenimpedanz.

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

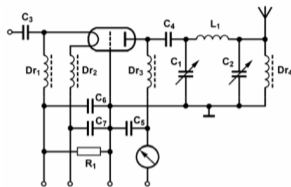
Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

# Röhrenverstärker abstimmen



[27]

Abb. 32: HF-Verstärkerschaltung mit Röhren (TG313–TG318)

## TG316

Wie wird die folgende Endstufe richtig auf die Sendefrequenz abgestimmt?

AfuTUB-Kurs

Technik A 07

Wiederholung

Verstärkung vs Bandbreite

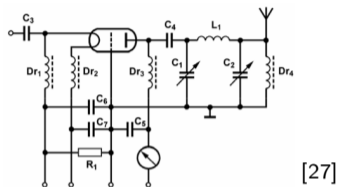
Oszillator

HF-Leistungsverstärker

Leistungsangaben

Referenzen

# Röhrenverstärker abstimmen



[27]

Abb. 32: HF-Verstärkerschaltung mit Röhren (TG313–TG318)

## TG316

Wie wird die folgende Endstufe richtig auf die Sendefrequenz abgestimmt?

AfuTUB-Kurs

Technik A 07

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

## Antwort

Zum Abstimmen  $C_1$  und  $C_2$  auf maximale Kapazität stellen.  $C_1$  auf Dip im Anodenstrom (Resonanz) stellen, dann mit  $C_2$  einen etwas höheren Anodenstrom einstellen (Leistung auskoppeln). Vorgang mit  $C_1$  und  $C_2$  wechselseitig mehrmals wiederholen bis die maximale Ausgangsleistung erreicht ist. Nach dem Abstimmvorgang sollte ein Dip von etwa 10% verbleiben.



Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen



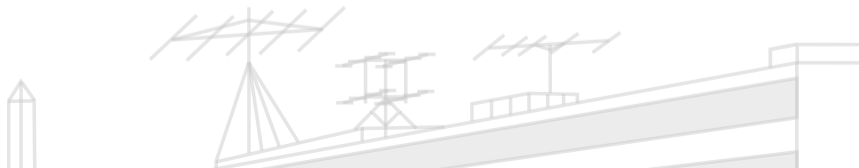
[28]

Abb. 33: Röhrenverstärker

# Senderleistung

## Ausgangsleistung eines Senders

Die Ausgangsleistung eines Senders ist die unmittelbar nach dem Senderausgang messbare Leistung, bevor sie Zusatzgeräte (z.B. Anpassgeräte) durchläuft.



# Spitzenleistung

## Spitzenleistung (engl. peak envelope power, PEP)

PEP bezeichnet die mittlere hochfrequente Leistung am Ausgang einer Sendeendstufe, während das modulierende Signal seinen Spitzenwert hat. Wird meist bei SSB angegeben.

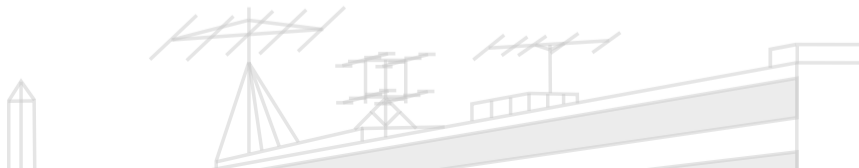
# Strahlungsleistung

## ERP

Leistung aus der Antenne im Vergleich zu Dipol

## EIRP

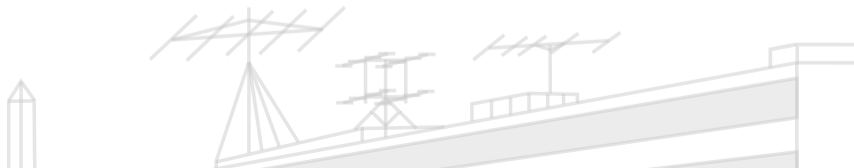
Leistung aus der Antenne im Vergleich zu Isotroper Kugelstrahler



# Mittlere Leistung

## Mittlere Leistung

Durchschnittliche Leistung, die ein Sender unter normalen Betriebsbedingungen während eines Zeitintervalls als HF-Leistung abgibt.



# Signalverzerrung

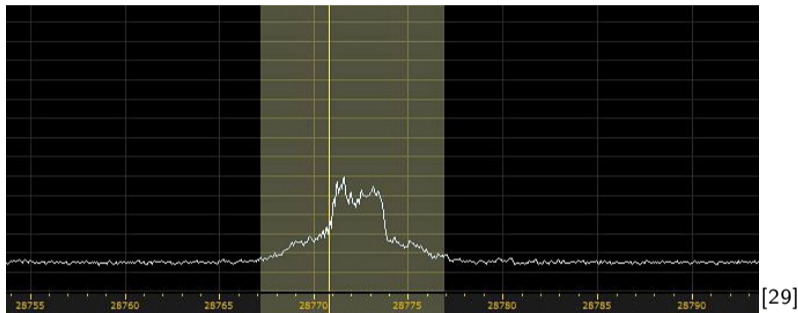


Abb. 34: Splatter

Zu starke Verstärkung führt zu unlinearer Verstärkung, also Verzerrung des Signals und Splatter

10dB pro Dekade. Normales SSB-Signal 3kHz, dieses 9kHz

# Referenzen/Links

- [1] DARC Online-Lehrgang Lektion A07:  
<https://www.darc.de/der-club/referate/ajw/lehrgang-ta/a07/>
- [2] Wikipedia - Die freie Enzyklopädie: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gleichrichter>
- [3] 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)
- [4] Freie Inhalte (DK0TU): [https://www.dk0tu.de/Projekte/Freie\\_Inhalte/Abbildungen/](https://www.dk0tu.de/Projekte/Freie_Inhalte/Abbildungen/)
- [5] Transistorschaltung:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>
- [6] Bandbreite:   
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Closed\\_loop\\_gain.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Closed_loop_gain.png)
- [7] Ersatzschaltbild FET:   
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HF-Ersatzschaltbild.svg>
- [8] Breitbandverstärker:   
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Breitbandverstärker.GIF>

- [9] Selektiver Verstärker:   
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Selektiver\\_Verstärker.GIF](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Selektiver_Verstärker.GIF)
- [10] Lawine:   
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lawine.jpg>
- [11] Anschwingverhalten:   
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oszillator\\_Anschwingen.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oszillator_Anschwingen.png)
- [12] Rückkopplungskreis:   
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gegenkopplung.png>
- [13] Meißner-Oszillator:   
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meissner\\_oszi.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meissner_oszi.svg)
- [14] Hartley-Oszillator:   
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hartley\\_osc.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hartley_osc.svg)
- [15] Colpitts-Oszillator:   
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cc\\_colp2.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cc_colp2.png)
- [16] Colpitts-Oszillator in Basisschaltung:   
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NPN\\_Colpitts\\_oscillator\\_collector\\_coil.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NPN_Colpitts_oscillator_collector_coil.svg)
- [17] Quarzoszillator:   
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PIERCE\\_CRYSTAL\\_OSCILLATOR.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PIERCE_CRYSTAL_OSCILLATOR.jpg)



- [18] Oberschwingung:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>
- [19] Betriebsarten:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>
- [20] Kennlinie ECC40:   
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ia-Ug-Kennlinie-ECC40.png>
- [21] A-Betrieb:   
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electronic\\_Amplifier\\_Class\\_A.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electronic_Amplifier_Class_A.png)
- [22] B-Betrieb:   
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electronic\\_Amplifier\\_Class\\_B\\_fixed.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electronic_Amplifier_Class_B_fixed.png)
- [23] AB-Betrieb:   
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electronic\\_Amplifier\\_Push-pull.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electronic_Amplifier_Push-pull.svg)
- [24] C-Betrieb:   
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electronic\\_Amplifier\\_Class\\_C.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electronic_Amplifier_Class_C.png)
- [25] HF-Verstärkerschaltung:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>
- [26] FM-Verstärkerschaltung:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>

[27] HF-Verstärkerschaltung mit Röhren:

<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>

[28] Röhrenverstärker: 

<http://dc4lw.de>

[29] Splatter: Quelle Unbekannt

AfuTUB-Kurs

Technik A 07

Wiederholung

Verstärkung vs  
Bandbreite

Oszillator

HF-Leistungs-  
verstärker

Leistungsangaben

Referenzen

