

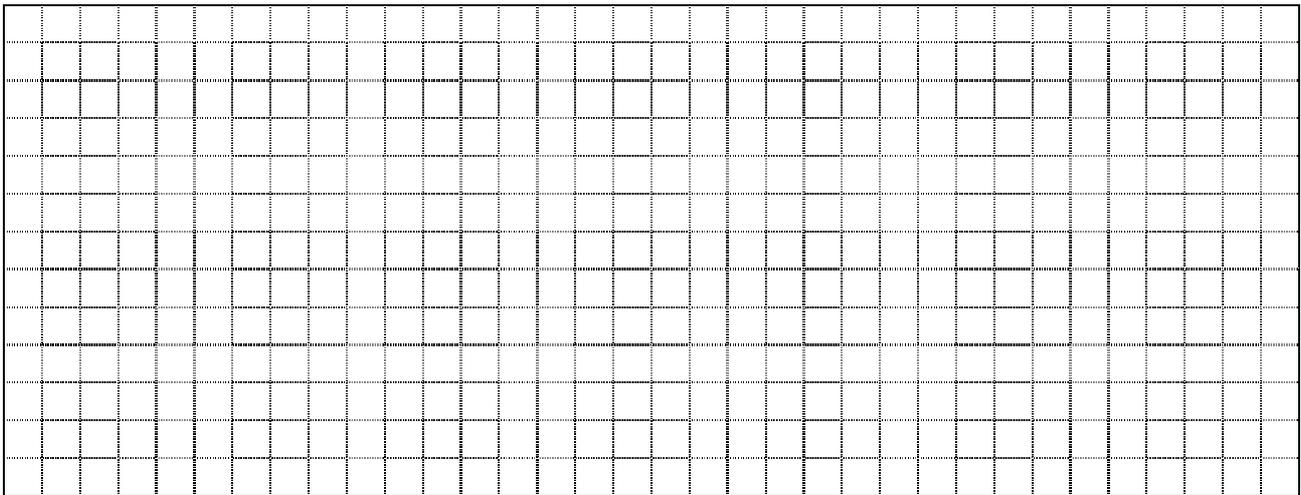
13. AM-Empfänger

(Quellen: TECAV T2EC von Gerry Neu, www.wikipedia.de)

In Praxis sind die Blockschaltbilder von Empfänger komplexer als dies im Kapitel "Grundlagen der Funktechnik" behandelt wurde. Bei der AM findet man vor allem zwei Empfängertypen:

13.1 Geradeusempfänger

Blockschaltbild eines Geradeusempfängers:



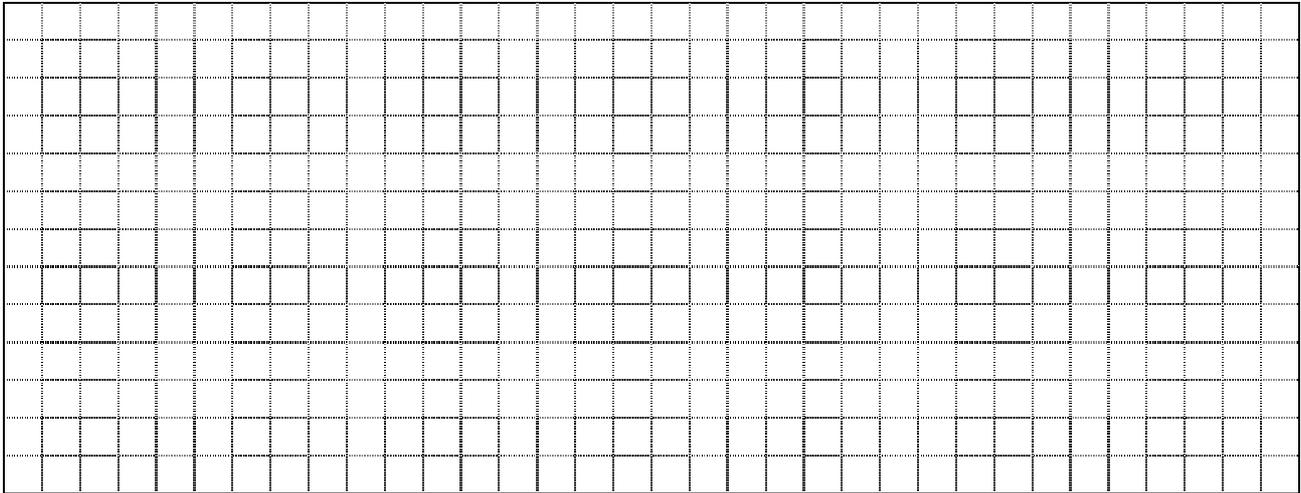
Die Antenne wandelt die empfangenen elektromagnetischen Wellen in eine hochfrequente Wechselspannung um. Diese Wechselspannung entspricht der Summe aller empfangenen elektromagnetischen Wellen. Mit Hilfe des ersten Bandpass-Filters versucht man alle Frequenzen zu unterdrücken die nicht der Stationen entsprechen die man hören möchte. Das zweite Bandpass-Filter dient dazu die Selektivität der Filterung zu erhöhen, nachdem das Signal ein erstes Mal verstärkt wurde. Die Resonanzfrequenzen der beiden Filter können mit Hilfe einer variablen Kapazität verändert werden. Die zwei dafür benötigten Drehkondensatoren sind mechanische gekoppelt um eine gleichlaufende Resonanzfrequenz zu erreichen. Nach einer zweiten Verstärkung wird das AM-Signal demoduliert.

In der Praxis zeigt es sich, dass es schwierig ist Bandpässe zu bauen die sowohl eine variable Resonanzfrequenz als auch eine hohe Güte haben. Zusätzlich ist es zurzeit nicht möglich den Gleichlauf der Resonanzfrequenzen ($f_{01} = f_{02}$) beider Filter über einen größeren Frequenzbereich zu garantieren (LW bis VHF). Aus diesem Grund findet der Geradeusempfänger fast nur Anwendung im Lang- und Mittelwellenbereich.

13.2 Der Überlagerungs- oder Superheterodynempfänger

13.2.1 Funktionsweise

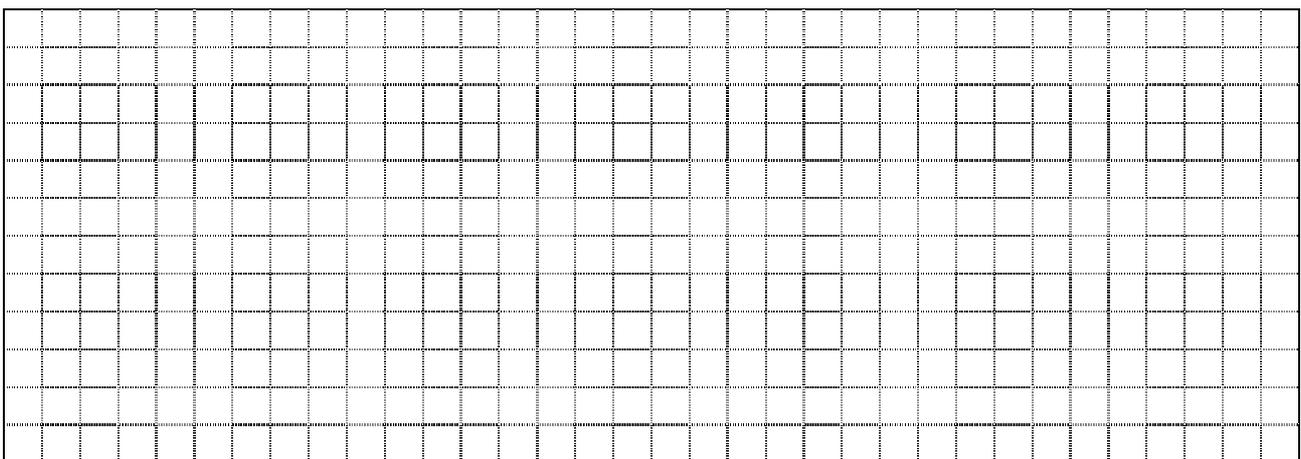
Blockschaltbild eines Überlagerungsempfängers:



Der Überlagerungsempfänger arbeitet mit einem sehr schmalbandigen Bandpass dessen Resonanzfrequenz aber unveränderlich ist. Man nennt diesen Filter Zwischenfrequenzfilter oder ZF-Filter (engl.: IF filter). Im AM-Rundfunk wurde die Zwischenfrequenz auf 460kHz festgelegt.

Die Aufgabe des Mixers ist es das Spektrum der gewünschten Station auf die Zwischenfrequenz zu verschieben.

Verschiebung des Spektrums mit Hilfe des Mixers:



Der Mixer wird mit dem modulierten Signal und einer sinusförmigen Spannung gespeist. Die Frequenz der sinusförmigen Spannung bestimmt die Verschiebung des Spektrums.

13.2.2 Der Mischer

Der einfachstmögliche Mischer ist ein Modulator.

Wiederholung:

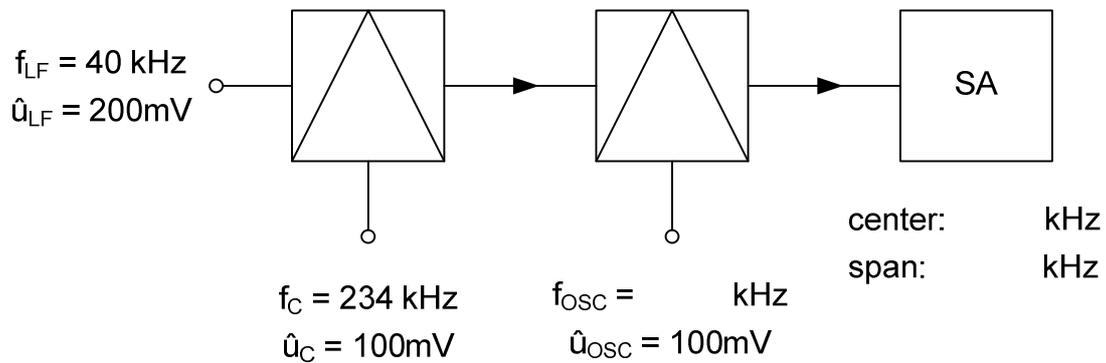


Konsequenz:



Spektrum aller beteiligter Signale:



Demoversuch zum Modulator als Mischer:**Aufgabe 1:**

- a) Bestimme die benötigten Oszillatorfrequenzen um die AM-Signale der folgenden Stationen auf die Zwischenfrequenz zu mischen.

Station	f_C	f_{IF}	f_{osc}
France Inter	162 kHz	460 kHz	
RTL (France)	234 kHz	460 kHz	
RTL (Deutschland)	1440 kHz	460 kHz	

- b) Gib die Formel an mit der man f_{osc} aus f_C und f_{IF} berechnen kann?

Aufgabe 2:

Zeichne die typischen Spektren aller wichtigen Signale in einem Überlagerungsempfänger. Das Nutzsignal sei eine sinusförmige Wechselspannung.

Spektrum des Signals am Ausgang der Antenne:



Spektrum des Signals am Ausgang des Vorfilters:



Spektrum des Signals am Ausgang des Mischers:



Spektrum des Signals am Ausgang des ZF-Filters:



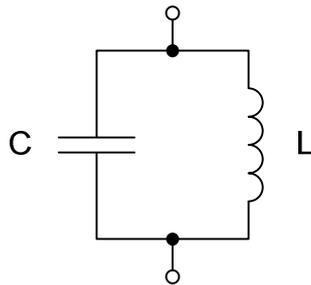
Spektrum des Signals am Ausgang des Demodulators:



13.3 Der Vorfilter

Der Vorfilter soll eine Vorselektion vornehmen. Aus dem gesamten elektromagnetischen Spektrum wählt er einen Frequenzbereich aus der auf den gewünschten Sender zentriert ist. Statt einen RLC Bandpass-Filter als Vorfilter zu benutzen kommt in der Praxis immer ein LC-Parallelschwingkreis zum Einsatz. Da dieser keinen ohmschen Widerstand enthält geht auch weniger Leistung verloren.

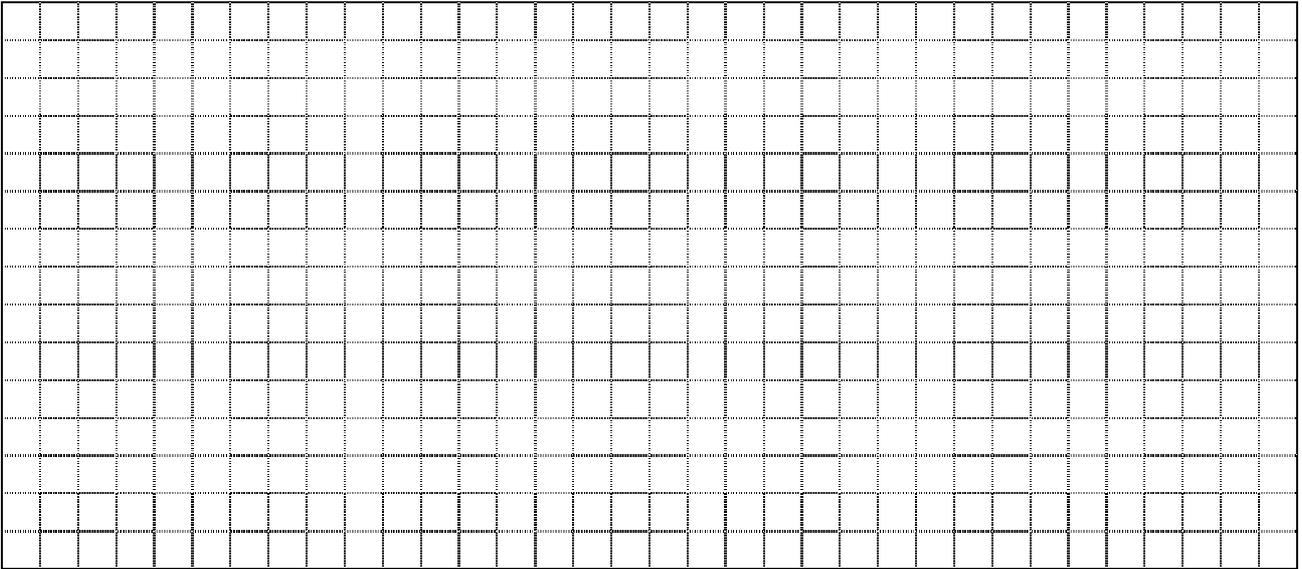
LC-Parallelschwingkreis:



Aufgabe 3:

Gegeben ist ein LC-Parallelschwingkreis.

- Bestimme den Wert der Impedanz Z wenn $f = 0\text{Hz}$, $f = f_0$ und $f \rightarrow +\infty$?
- Zeichne qualitativ die Kennlinie $Z=f(f)$ der Schaltung.
- Leite die Formel her um die Resonanzfrequenz des Filters aus den Bauteilwerten zu berechnen.

Integration des LC-Parallelschwingkreises im Empfänger:

Gegenüber den sehr tiefen und sehr hohen Frequenzen verhält sich der LC-Parallelschwingkreis wie ein Kurzschluss. Da die Antenne eine Spannungsquelle mit sehr großem Innenwiderstand ist, wird die Ausgangsspannung u_{OUT} für die genannten Frequenzen zu Null.

Aufgabe 4:

Zwischen welchen beiden Werten muss man die Kapazität C des Kondensators eines Vorfilters verändern um zwischen allen Rundfunksendern im Mittelwellenbereich (526,5 kHz bis 1606,5 kHz) auswählen zu können, wenn die Induktivität L der Spule 1 mH beträgt?

13.4 Kapazitätsdiode (Varicap)

13.4.1 Einleitung

Um eine Rundfunkstation auf einem Überlagerungsempfänger auszuwählen muss sowohl die Resonanzfrequenz f_0 des Vorfilters als auch die Oszillatorfrequenz f_{osc} angepasst werden. Dies wird für beide Frequenzen mit Hilfe von variablen Kondensatoren realisiert.

In älteren Geräten wurde die Veränderung der Kapazität mechanisch realisiert indem man zwei oder mehr Metallplatten durch eine Drehung mehr oder weniger stark überlappen lässt. Heute benutzt man eher Kapazitätsdioden, auch Varicap genannt, um den Empfänger auf den Rundfunksender abzustimmen. Die wichtigsten Vorteile des Varicaps sind:

- Varicaps sind bei gleicher Kapazität viel kleiner als Drehkondensatoren.
- Die Kapazität des Varicaps ist elektrisch und nicht mechanisch verstellbar (siehe auch folgende Kapitel).

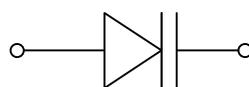
Drehkondensator



Varicap



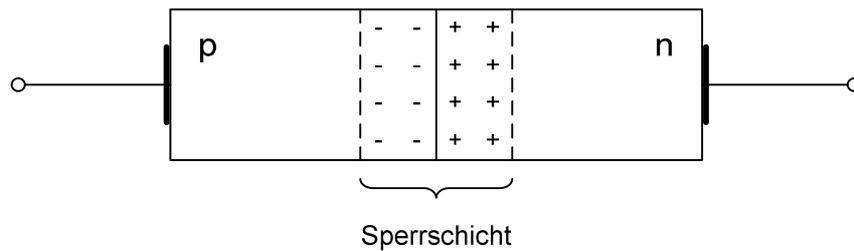
Schaltzeichen des Varicap:



13.4.2 Funktionsweise

Wiederholung zur Diode:

Bringt man einen p-dotierten Halbleiter in Kontakt mit einem n-dotierten Halbleiter so bildet sich um die Kontaktfläche eine sehr dünne nicht leitende Raumladungszone aus. Diese Sperrschicht ist gegensinnig geladen und bildet somit einen Kondensator.



Schaltet man eine Spannung in Sperrrichtung an die Diode so wird sich die Raumladungszone breiter. Dies verringert die Kapazität der Sperrschicht, da für einen Plattenkondensator bekanntlich gilt $C \sim 1/d$.

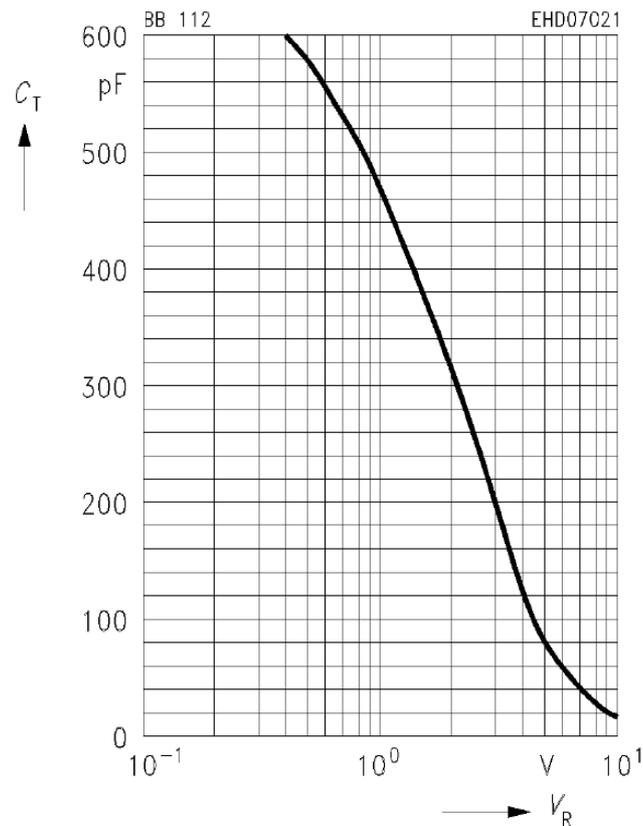
<http://olli.informatik.uni-oldenburg.de/weTEiS/weteis/diode.htm>

Varicap:

Die Kapazitätsdiode ist eine Diode die so gebaut ist, dass die Kapazität der Sperrschicht möglichst groß ist. Die Kapazität des Varicaps lässt sich nun über eine Gleichspannung die in Sperrrichtung angelegt wird verändern. Man nennt diese Spannung Abstimmspannung U_T (engl.: tuning voltage), da sie die Resonanzfrequenz f_0 des Vorfilters oder die Oszillatorfrequenz f_{OSC} auf die gewünschte Rundfunkstation abstimmt.

Ähnlich den Zener-Dioden wird auch der Varicap in Sperrrichtung betrieben.

Charakteristische Kennlinie des Varicap BB112:

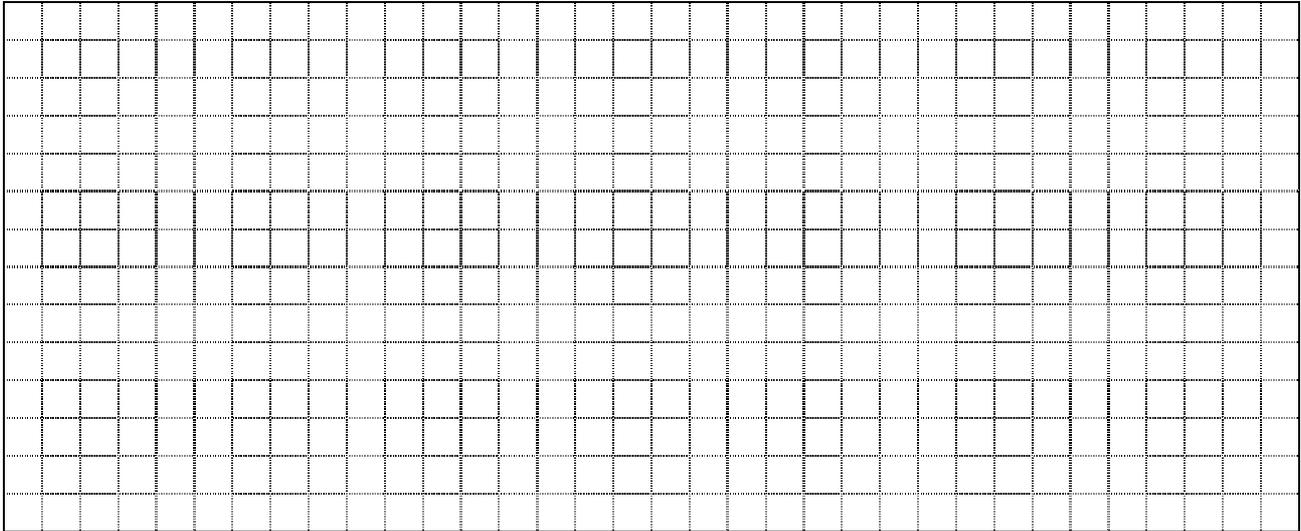


Charakteristische Kennwerte verschiedener Varicaps:

	$U_{R/V}$	C_{pF} bei	$U_{R/V}$	Anwendungen
BB 104	30	14 bis 40	30 bis 3	UKW-Abstimmung (100 MHz)
BB 105	28	2 bis 17,5	25 bis 1	VHF/UHF-Abstimmung (200 bis 800 MHz)
BB 113	32	13 bis 250	30 bis 1	LMK-Abstimmung

13.4.3 Integration des Varicap in den LC-Parallelschwingkreis

Schaltung:



Die Abstimmspannung U_T wird über den ohmschen Widerstand R_i auf den Varicap geschaltet um seine Kapazität verändern zu können. Die Wechselströme aus der Antenne passieren den Koppelkondensator C_K und fließen durch den Varicap. Der Widerstand R_i verhindert, dass die Wechselströme von der Gleichspannungsquelle kurzgeschlossen werden. Der Koppelkondensator C_K verhindert dagegen, dass die Gleichspannungsquelle von der Spule kurzgeschlossen wird.

Die Kapazität des Koppelkondensators C_K ist so groß, dass sein Blindwiderstand X_C für hochfrequente Ströme vernachlässigt werden kann. Für die empfangenen Signale ist der Varicap also parallel zum Kondensator C_F geschaltet. Die für die Berechnung der Resonanzfrequenz f_0 relevante Kapazität C_{TOT} berechnet sich also wie folgt:

$$C_{TOT} = C_V + C_F$$

Aufgabe 5:

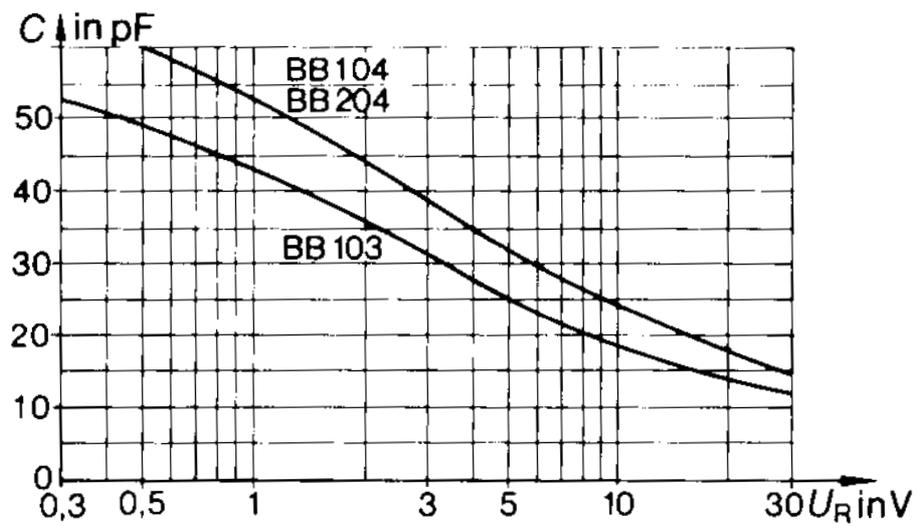
Berechne den abstimmbaren Frequenzbereich wenn gilt:

$$L = 1\text{mH}$$

$$C_F = 10\text{pF}$$

Varicap: BB204

Abstimmspannung: 1 à 30V



13.5 Oszillator

Definition:

Ein Oszillator im Kontext des Empfängers ist eine elektronische Schaltung die selbständig eine hochfrequente sinusförmige Wechselspannung erzeugt.

Schaltung des Meißner-Oszillators:

siehe Versuch

Funktionsweise:

Der Meißner-Oszillator ist eine Emitterschaltung in der man den Kollektorwiderstand R_C durch einen LC-Parallelschwingkreis ersetzt hat. Dies führt dazu, dass Schaltung vor allem Frequenzanteile um die Resonanzfrequenz verstärkt. (Siehe auch die Aufgabe über den Einfluss des Kollektorwiderstands R_C auf den Verstärkungsfaktor G_U und den Impedanzverlauf eines LC-Parallelschwingkreises.)

Die besondere Eigenschaft der Meißner-Oszillator-Schaltung ist es aber, dass sie sich durch Mitkopplung ihr eigenes Eingangssignal produziert.

Erklärung:

Im Allgemeinen versteht man unter *Rückkopplung* die Tatsache einen Teil des Ausgangssignals an den Eingang zurückzuführen und diesen Teil dort mit dem Eingangssignal zu verrechnen. Im Falle der *Gegenkopplung* wird das rückgekoppelte Signal vom Eingangssignal abgezogen. Wie im Kapitel über die Verstärker gesehen, kann man damit den Verstärkungsfaktor eines Verstärkers begrenzen aber auch seine Linearität erhöhen.

Statt das rückgekoppelte Signal vom Eingangssignal zu subtrahieren, kann man es dort auch hinzuaddieren. In diesem Fall spricht man von *Mitkopplung*. Dies bewirkt im Falle des Meißner-Oszillator zum Beispiel, dass sie die Selektivität weiter erhöht.

Direkt nach dem Einschalten des Meißner-Oszillators besteht die Eingangsspannung u_{IN} nur aus Rauschen. Zur Erinnerung: Rauschen ist ein Signal das alle Frequenzen zu gleichen Teilen enthält.

Die Frequenzanteile im Rauschen die sich um die Resonanzfrequenz f_0 des LC-Parallelschwingkreises befinden, werden vom Verstärker bevorzugt verstärkt. Ein Teil des verstärkten Signals wird an den Eingang zurückgeführt und dort zum Rauschen addiert. Dadurch verstärken sich dort die Frequenzanteile um die Resonanzfrequenz. Nun wird das neue Eingangssignal wiederum mit einer Präferenz für die Frequenzanteile um die Resonanzfrequenz verstärkt. Die-

ser Prozess wiederholt sich so lange bis das Frequenzspektrum nur noch aus einer einzigen Spektrallinie besteht deren Frequenz gleich der Resonanzfrequenz des LC-Parallelschwingkreises ist. Somit ist die Ausgangsspannung sinusförmig geworden.

Um eine Mitkopplung zu erzeugen muss das zurückgeführte Signal in Phase mit dem Eingangssignal sein. Die Emitterschaltung hat aber die Eigenschaft die Ausgangsspannung um 180° zu drehen. Aus diesem Grund wird nicht die Spannung u_{OUT} der Emitterschaltung zurückgeführt sondern die Spannung am LC-Parallelschwingkreis. Da diese Spannung aber keinen Bezug zur Masse hat, muss sie mit einem Übertrager (1:1) ausgekoppelt werden.

Die zweite Bedingung damit der Oszillator anfangen kann zu schwingen ist, dass die Amplitude der rückgekoppelten Spannung einen kritischen Wert überschreitet. (siehe auch den Versuch zu Oszillator).

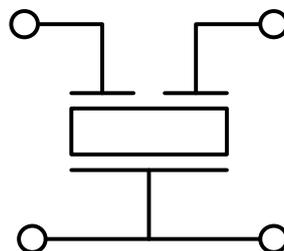
13.6 Mischer

siehe Versuch zum Mischer

13.7 ZF-Filter

Der ZF-Filter ist ein Bandpass-Filter großer Güte (=kleine Bandbreite = große Selektivität). In der Praxis ist das ZF-Filter als Keramikfilter realisiert. Dabei nutzt man die Piezoelektrizität verschiedener Keramiken.

Schaltzeichen des Keramikfilters:



Funktionsweise:

Die Wechselfspannung am Eingang des Kristalls bewirkt aufgrund des Piezoeffekts, dass sich die Keramik im Rhythmus der Spannung zusammenzieht und entspannt. Liegt die Frequenz der Erregung sehr nahe an der Resonanzfrequenz der Keramik, so setzt sich diese mechanische

Schwingung entlang des Kristalls fort. Am anderen Ende des Kristalls wird die mechanische Schwingung ebenfalls durch den Piezoeffekt wieder in eine Wechselspannung umgewandelt und liegt am Ausgang an.

Eigenschaften:

Siehe Versuch zum ZF-Filter

13.8 Automatic Gain Control (AGC)

Alle bisher behandelten Empfänger haben noch einen großen Mangel. Die Amplitude und somit auch die Lautstärke des Nutzsignals hängen sehr stark von der Amplitude des empfangenen HF-Signals ab. Dessen Amplitude kann um den Faktor 1000 von einer Rundfunkstation zur nächsten variieren abhängig von der Sendeleistung und der Distanz zum Sender.

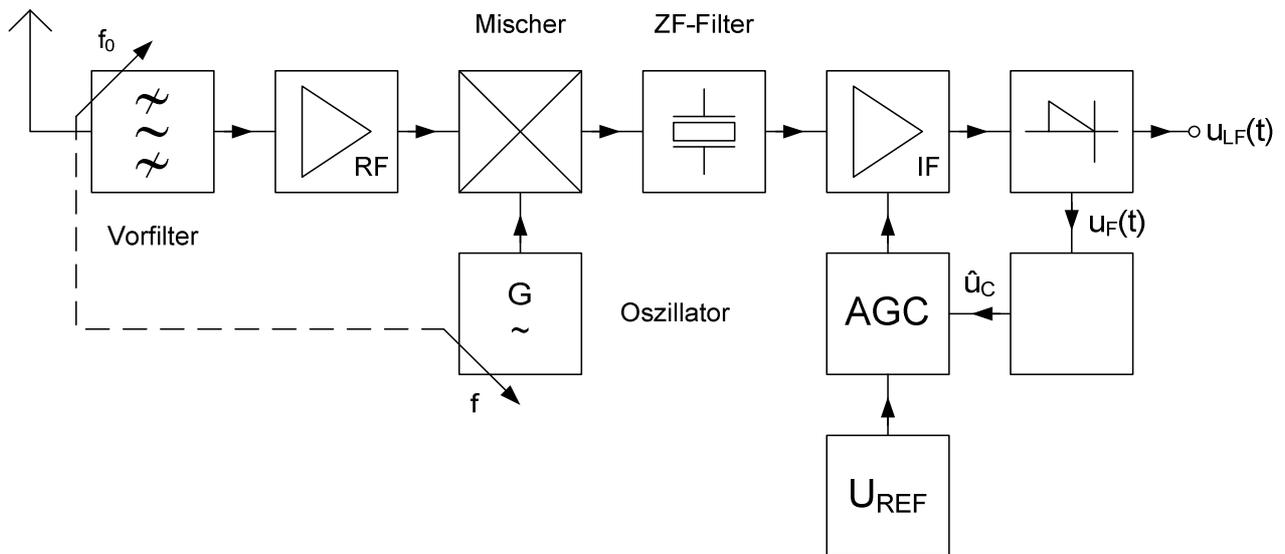
Um zu vermeiden, dass man ständig die Lautstärke anpassen muss wenn man die Rundfunkstationen wechselt, ist es zwingend notwendig eine Regelschaltung für die Lautstärke einzufügen. Diese Schaltung wird mit Automatic Gain Control bezeichnet, da sie über den Verstärkungsfaktor der HF-Verstärker die Lautstärke auf einen gewünschten Pegel einstellt.

Problem:

Um zu wissen wie er den Verstärkungsfaktor einstellen soll, muss der Regler in Form einer Gleichspannung gesagt bekommen wie groß der tatsächliche Signalpegel ist.

Lösung:

Der Gleichanteil der Spannung u_F im Hüllkurvendemodulator ist ein Indikator für die Amplitude des Trägers und somit für den Signalpegel. Diese Amplitude muss durch den Regler konstant gehalten werden.

Blockschaltbild eines Überlagerungsempfängers mit AGC:**Aufgabe 6:**

Zeichne die Schaltung die den Gleichanteil aus der Spannung u_F des Hüllkurvendemodulators extrahiert.