

# HF-Technik II

## 8 Frequenzerzeugung

8.1 Grundlagen, Einführung

8.2 Oszillatoren

8.2.1 einige Grundschaltungen

8.2.2 spezielle Oszillatoren im Mikrowellenbereich

8.2.3 frequenzbestimmende Bauelemente

8.2.4 Phase locked loop

8.2.5 digitale Frequenzsynthese

8.3 Frequenzvervielfachung

# 8 Frequenzerzeugung

## 8.1 Grundlagen, Einführung (1)

---

- „Frequenzerzeugung“ - richtiger: Erzeugung (harmonischer) HF-Schwingungen
- Irgendwoher müssen die HF-Wechselspannungen“ ja kommen.
- Unter 9.2 – Kenngrößen von Verstärkern wurde schon erwähnt, dass ein Verstärker ohne Eingangssignal ein Ausgangssignal erzeugen kann.
- Hier ist die Erzeugung einer harmonischen Wechselspannung bestimmter Frequenz das Ziel.
- Die entsprechenden Baugruppen werden üblicherweise als instabil bezeichnet. Klassisch bestehen sie immer aus der eigentlichen Schaltung zur Schwingungserzeugung. Bei einer Reihe von Oszillatoren sind weitere Schaltungen vorhanden, um eine bestimmte Arbeitsweise zu erreichen (z. B. PLL-Oszillatoren).
- Daneben gibt es neuere Verfahren, um die Schwingungen in Prozessoren zu erzeugen. Die zeitlich aufeinander folgenden Werte einer Schwingung werden praktisch in Echtzeit berechnet und aus diesen Werten ein Signalverlauf gebildet. Oft sind diese gerechneten Verläufe auch schon mit Informationssignalen beaufschlagt (siehe auch „moderne Modulationsverfahren“, in „Übertragungstechnik“).



# 8.1 Grundlagen, Einführung (2)

---

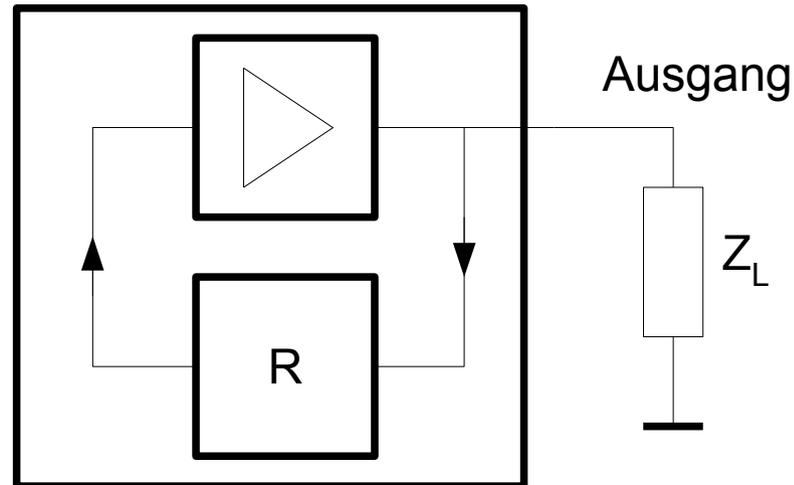
- Auswahl wichtiger Kennwerte
  - erzeugte Frequenz
  - Frequenzstabilität
    - bei Alterung
    - bei Temperaturänderung
    - bei Änderung der Betriebsspannung
  - Nebenwellenfreiheit, spektrale Reinheit, Rauschen
  - Ausgangsspannung/ -Leistung

## 8.2 Oszillatoren

### 8.2.1 Einige Grundschaltungen (1)

---

- frei schwingende Oszillatoren



Die Schleifenverstärkung muss für die gewünschte Frequenz  $f_o$  im Betrag mindestens eins und in der Phase  $0^\circ$  (oder  $360^\circ$ ) betragen.

$$|V(f_o) \cdot R(f_o)| = 1 \quad \varphi(V(f_o) \cdot R(f_o)) = 0^\circ \text{ (oder } 360^\circ \text{)}$$

Die Lastimpedanz hat praktisch immer einen Einfluss, da der Verstärker im Ausgangszweig immer einen Innenwiderstand besitzt.

Bei einem Betrag der Kleinsignal-Schleifenverstärkung  $> 1$  stellt sich durch Nichtlinearität dieser auf eins ein.

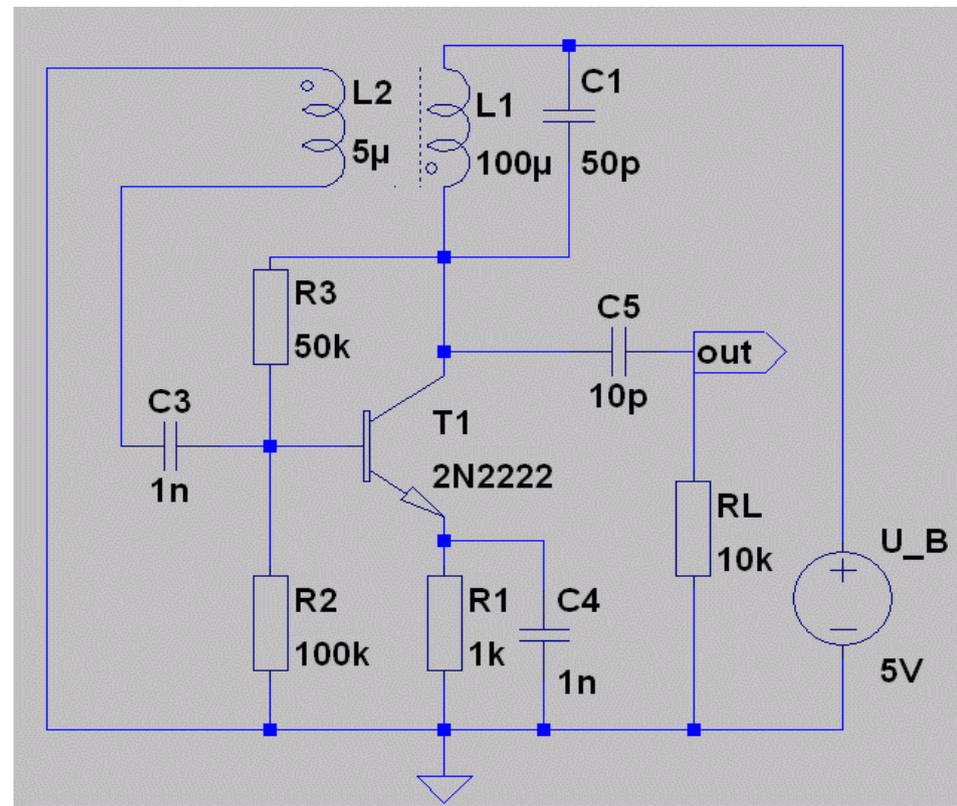
## 8.2.1 Einige Grundschaltungen (2)

---

- frei schwingende Oszillatoren
  - Es handelt sich um die eigentlichen Schaltungen, die die Wechselgrößen erzeugen.
  - Es gibt eine Reihe verschiedener Schaltungen, die üblicherweise nach ihren Erfindern benannt sind. Einige wichtige sollen nachfolgend behandelt werden.
  - Anhand der folgenden Beispiele soll die Optimierung der Schaltungen gezeigt werden.

## 8.2.1 Einige Grundschaltungen (3)

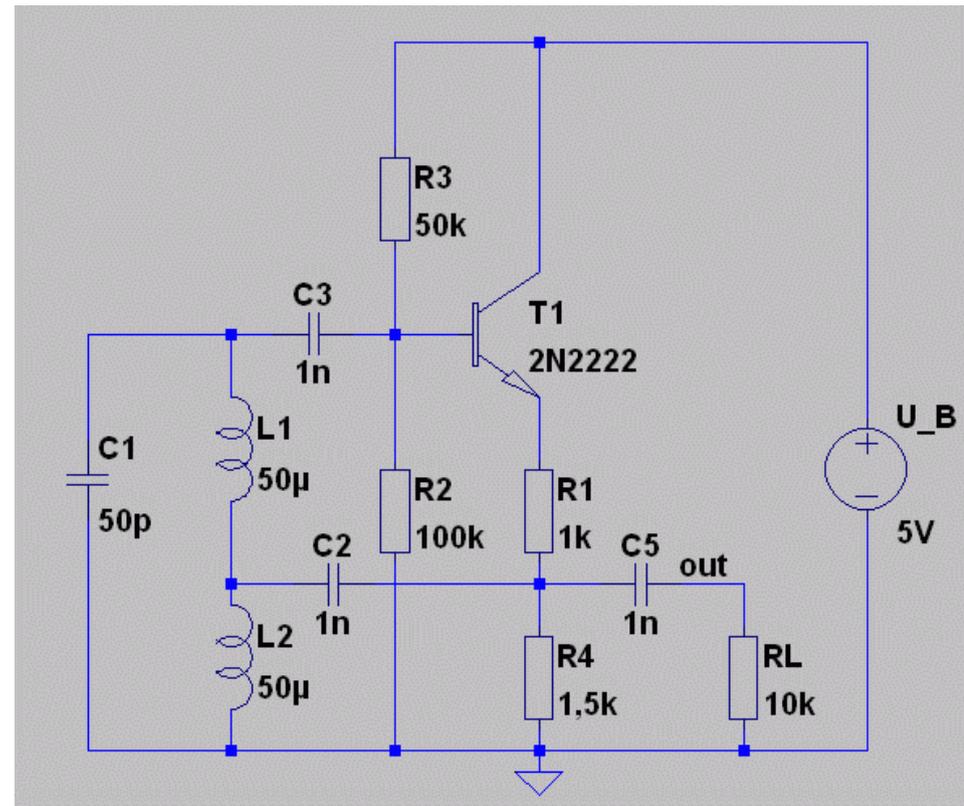
- frei schwingende Oszillatoren
  - Meißner-Schaltung: die Urschaltung



Kritische Auskopplung, aber es schwingt erst einmal.  
(Rückkopplungsschleife zeigen, Phasendrehung)

## 8.2.1 Einige Grundschaltungen (4)

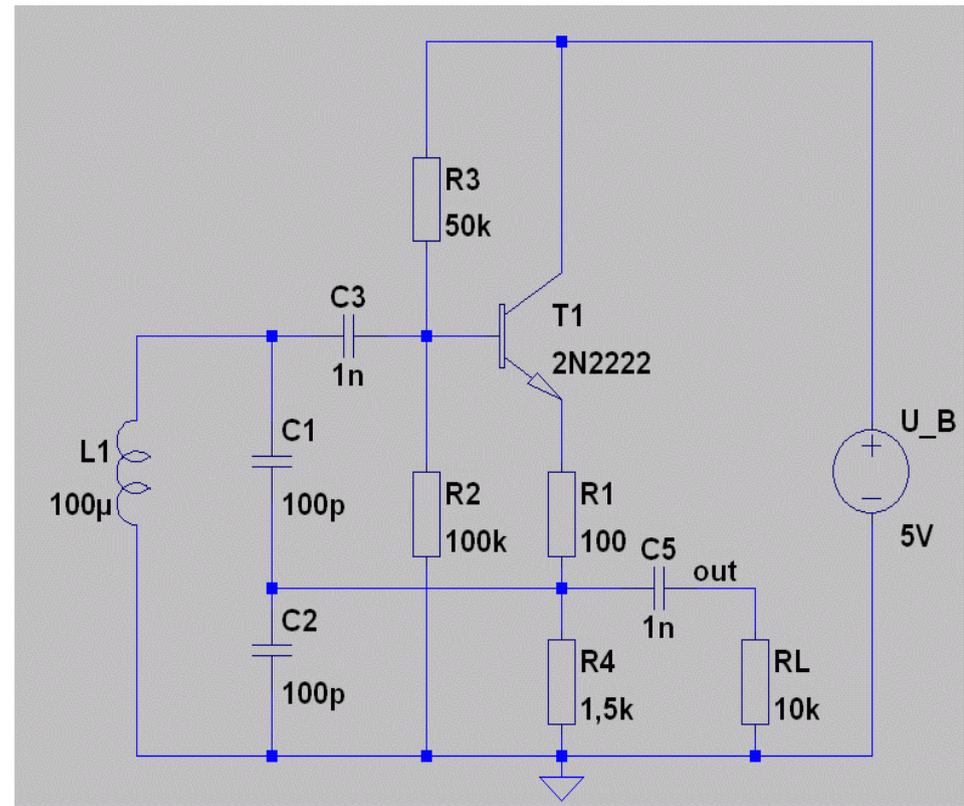
- frei schwingende Oszillatoren (2)
  - Hartley-Schaltung



- rückwirkungsarm
- nur eine Spule, allerdings mit Anzapfung  
(Rückkopplungsschleife zeigen, Phasendrehung)

## 8.2.1 Einige Grundschaltungen (5)

- frei schwingende Oszillatoren (3)
  - Colpitts-Schaltung



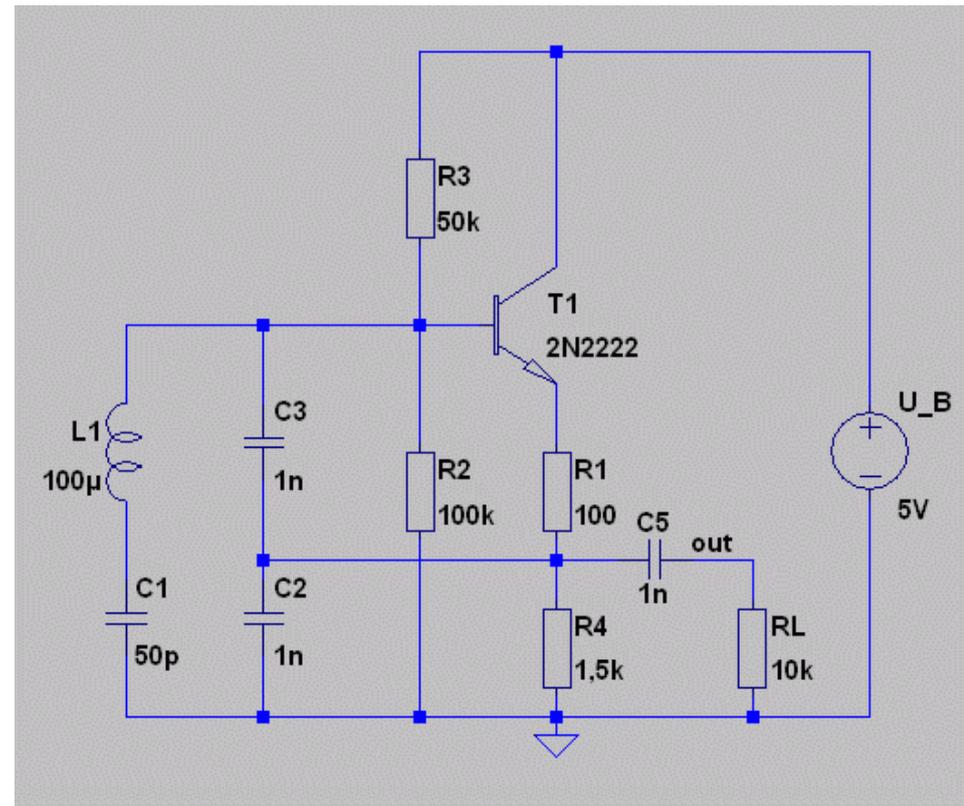
- rückwirkungsarm
- Spule ohne Anzapfung  
(Rückkopplungsschleife zeigen, Phasendrehung)

## 8.2.1 Einige Grundschaltungen (6)

- frei schwingende Oszillatoren (4)
  - Clapp-Schaltung

interessant ist die  
Rückkopplungsschaltung

interessant ist die  
Wirkung der Resonanz-  
frequenz nach der  
Thompsonschen  
Schwingungsgleichung

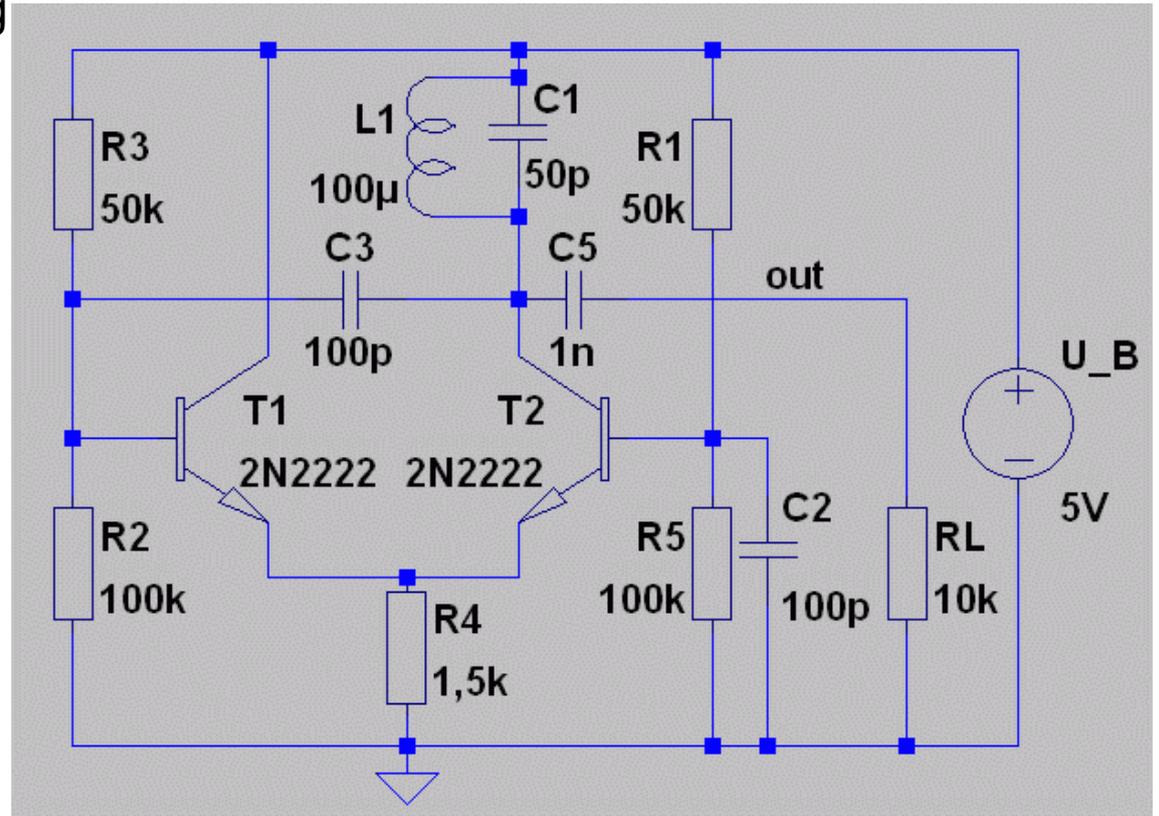


- rückwirkungsarm
- geringer Einfluß parasitärer Elemente
- Spule ohne Anzapfung

## 8.2.1 Einige Grundschaltungen (7)

- frei schwingende Oszillatoren (5)
  - Differenzverstärkerschaltung
  - moderne Schaltung

interessant ist die Rückkopplungsschaltung



- rückwirkungsarm (?)
- Spule ohne Anzapfung
- sehr gute Nebenwellenfreiheit

## 8.2.2 spezielle Oszillatoren im Mikrowellenbereich

---

- Je höher die Frequenz im Ghz-Bereich, um so schwieriger ist die Arbeit mit den bisher beschriebenen Oszillatoren.  
Es kommen dann andere Konzeptionen zum Einsatz:

Beispiel: der Gunndioden-Oszillator

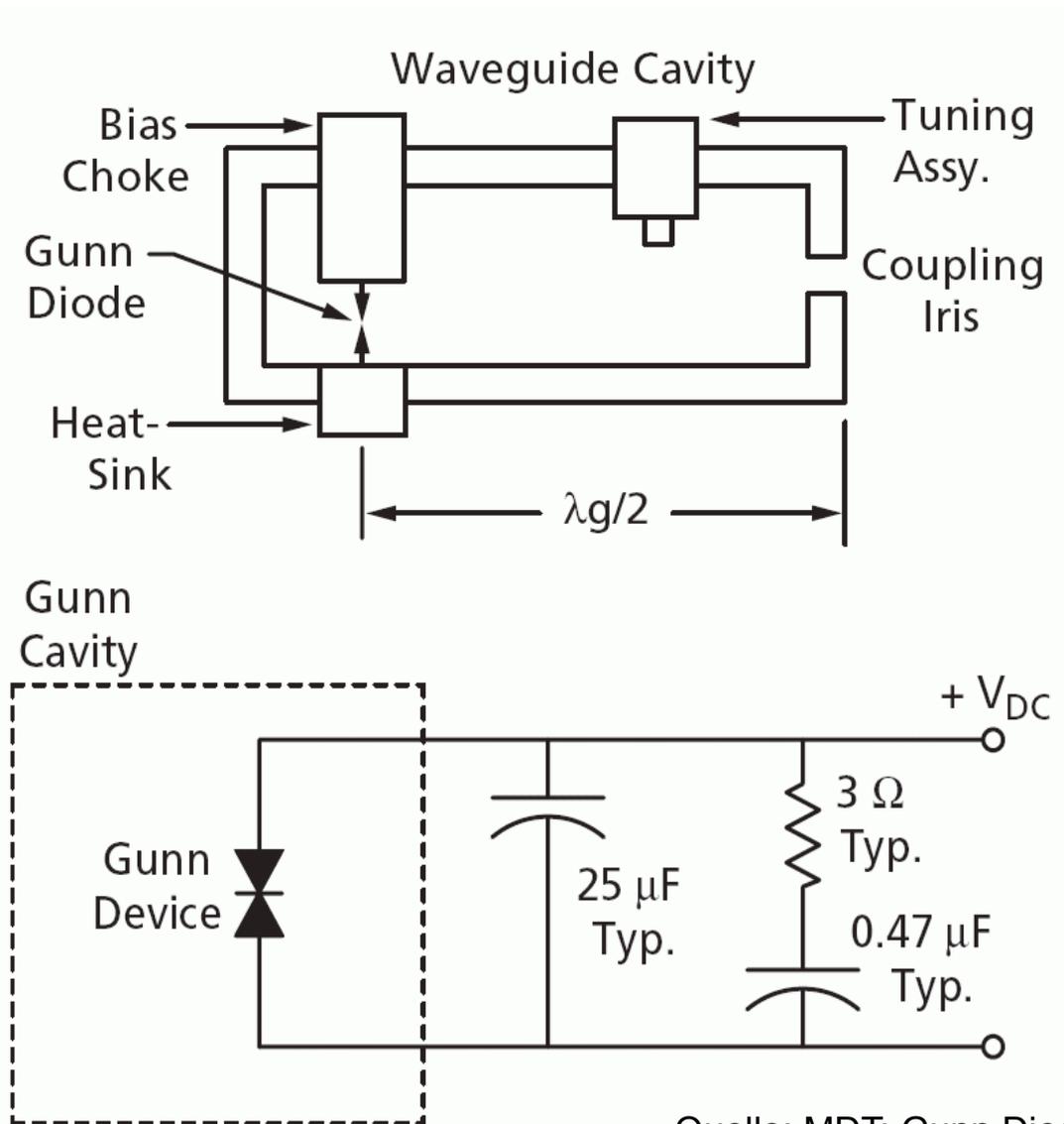
Die Gunndiode – ein Halbleiterbauelement, dessen Gleichstromkennlinie in einem bestimmten Bereich einen negativen differentiellen Widerstand aufweist

Dieser negative differentielle Widerstand kann einen Resonanzkreis entdämpfen, also eine dauernde Schwingung ermöglichen.

Oder, anders ausgedrückt, bei einer entsprechenden Beschaltung fließen die Elektronen in diesem Bauelement schubweise, oder genauer gesagt, oszillierend. Somit speist der Gleichstrom im Diodenkreis eine Wechselfeldspannungserzeugung.

## 8.2.2 spezielle Oszillatoren im Mikrowellenbereich (2)

- Gunndioden-Oszillator



Quelle: MDT: Gunn Diodes, Application Notes

## 8.2.3 Frequenzbestimmende Bauelemente

---

- frequenzbestimmende Glieder

- Rückkopplungsnetzwerk – Resonanzgebilde
- parasitäre Elemente mit frequenzabhängigen Werten (z. B. Streukapazitäten, Leitungsinduktivitäten, Kapazitäten des Transistors)

- Resonanzgebilde

- Schwingkreise aus konzentrierten Elementen (LC)

$$\left. \begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} f_p = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L C}}$$

- elektromechanische Resonatoren

- Schwingquarze

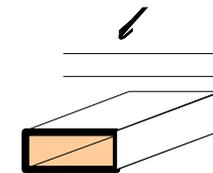
- keramische Resonatoren

- Oberflächenwellenresonatoren (SAW-, AOW-)

- Leitungsresonanzkreise (Achtung, Mehrdeutigkeiten)

- Hohlraumresonatoren (Achtung, Mehrdeutigkeiten)

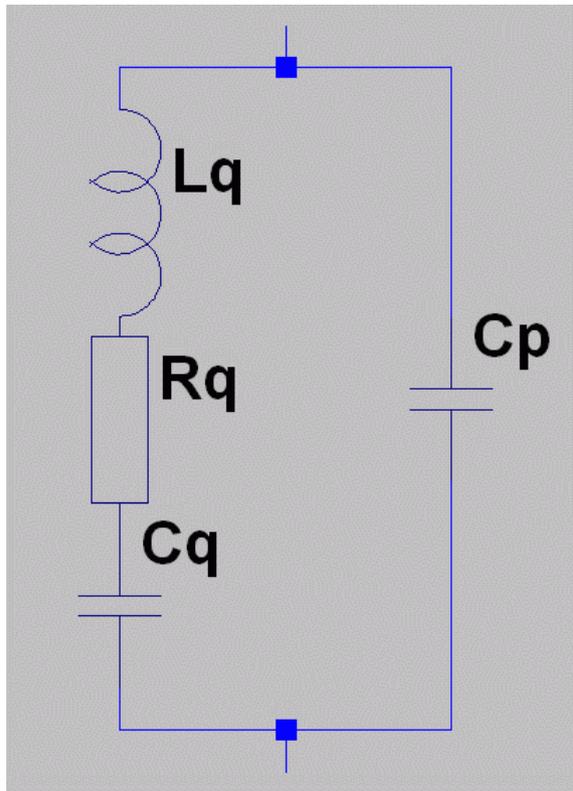
$$\text{---} \square \text{---} \quad \Delta f / f = 5 \dots 150 \cdot 10^{-6}$$



Bei Schwingquarzen wird der piezoelektrische Effekt zusammen mit der hohen mechanischen Stabilität und dem geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Quarz genutzt.

## 8.2.3 Frequenzbestimmende Bauelemente (2)

- Resonanzgebilde (2) - Schwingquarze als Bauelemente



Ersatzschaltbild

$C_p$ : interne und externe Kapazitäten

Beispiel für Werte (nur ein Beispiel):

$$f_o = 10\,000,000 \text{ kHz}$$

$$T_B = -25 \dots +70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta f = \pm 20 \text{ ppm (bei } T_B)$$

$$\Delta f \text{ max. } \pm 10 \text{ ppm/a (Alterung)}$$

$$L_q = 0,025 \text{ H (gerundet)}$$

$$C_q = 0,01 \text{ pF (gerundet)}$$

$$C_p = 5 \text{ pF}$$

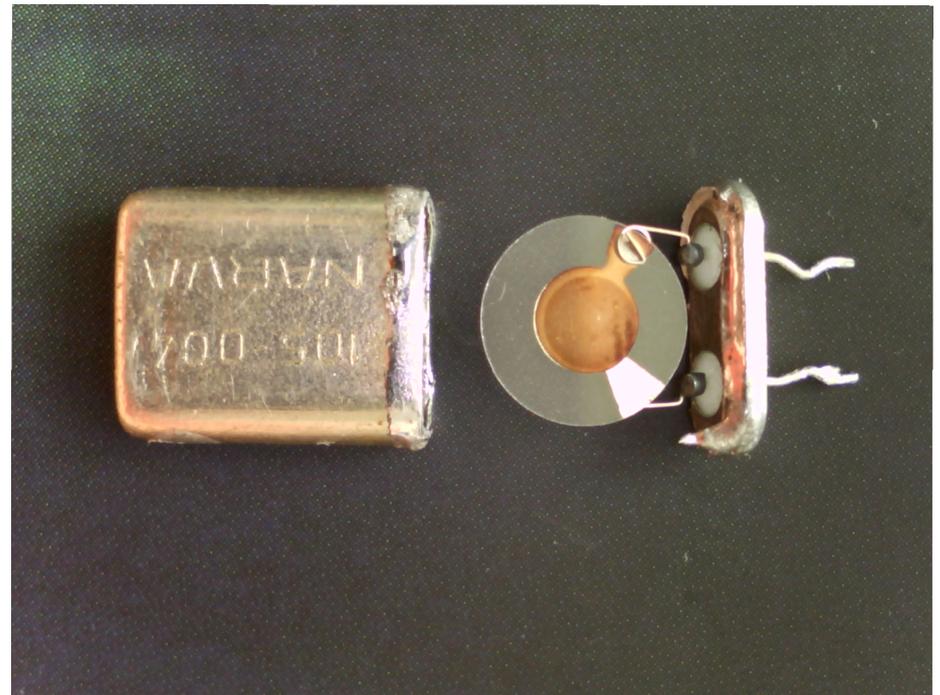
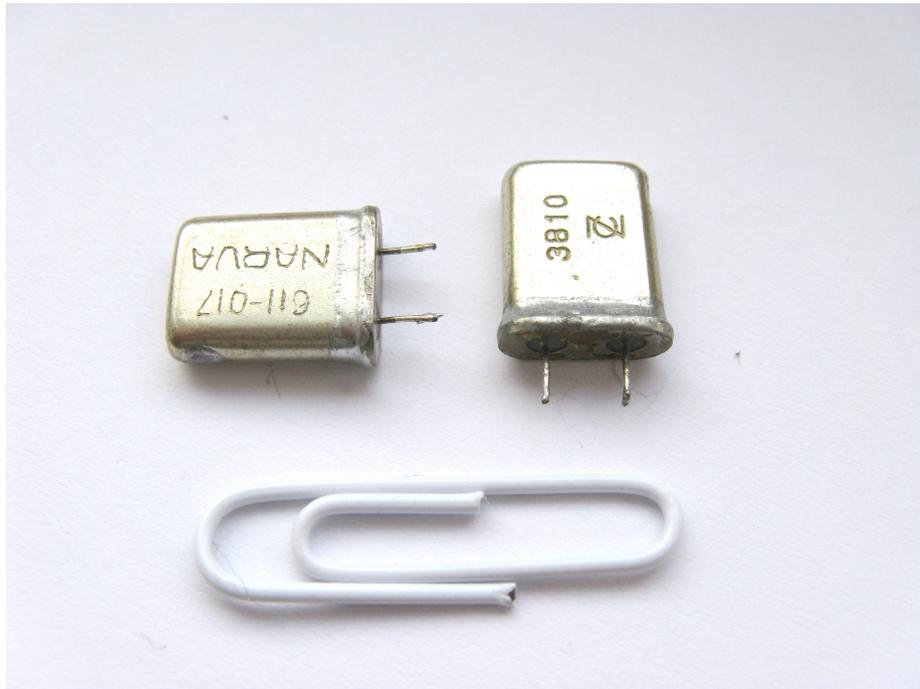
$$R_q \leq 45 \text{ } \Omega$$



## 8.2.3 Frequenzbestimmende Bauelemente (4)

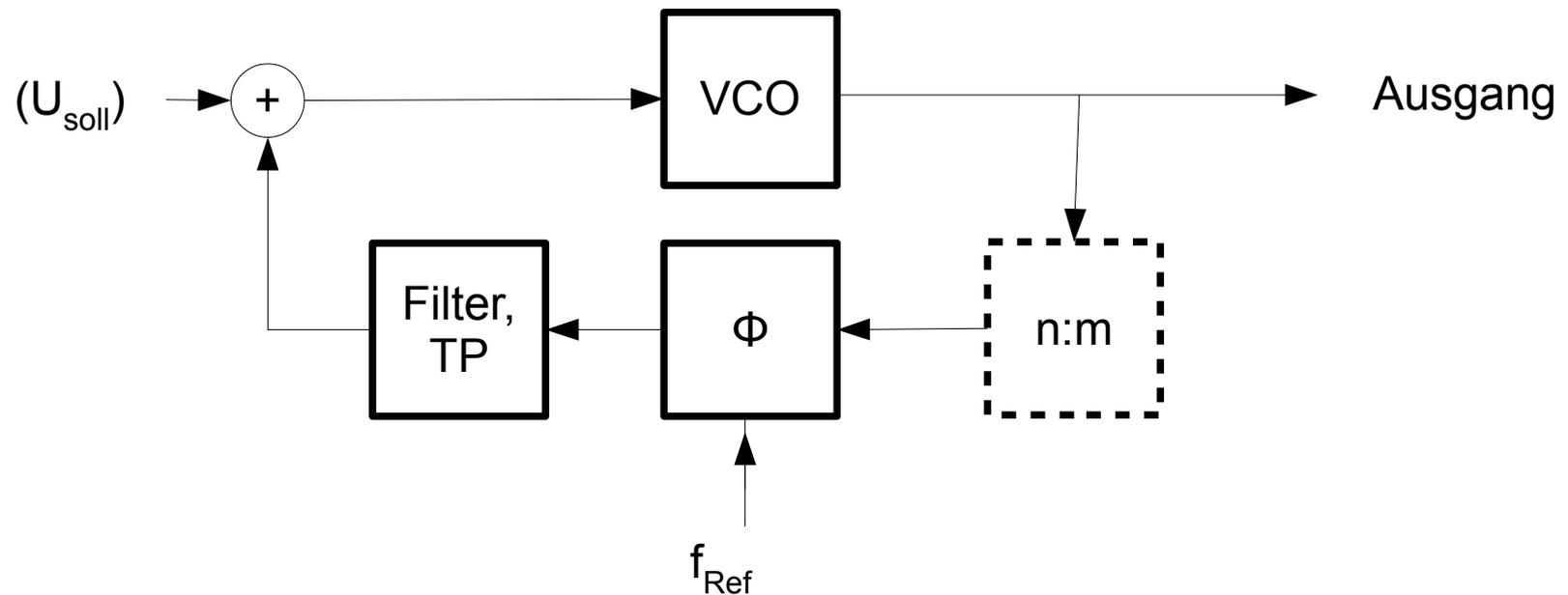
---

- Resonanzgebilde (3) - Schwingquarze als Bauelemente



## 8.2.4 Phase-locked Loop (PLL)

- PLL-Schaltung



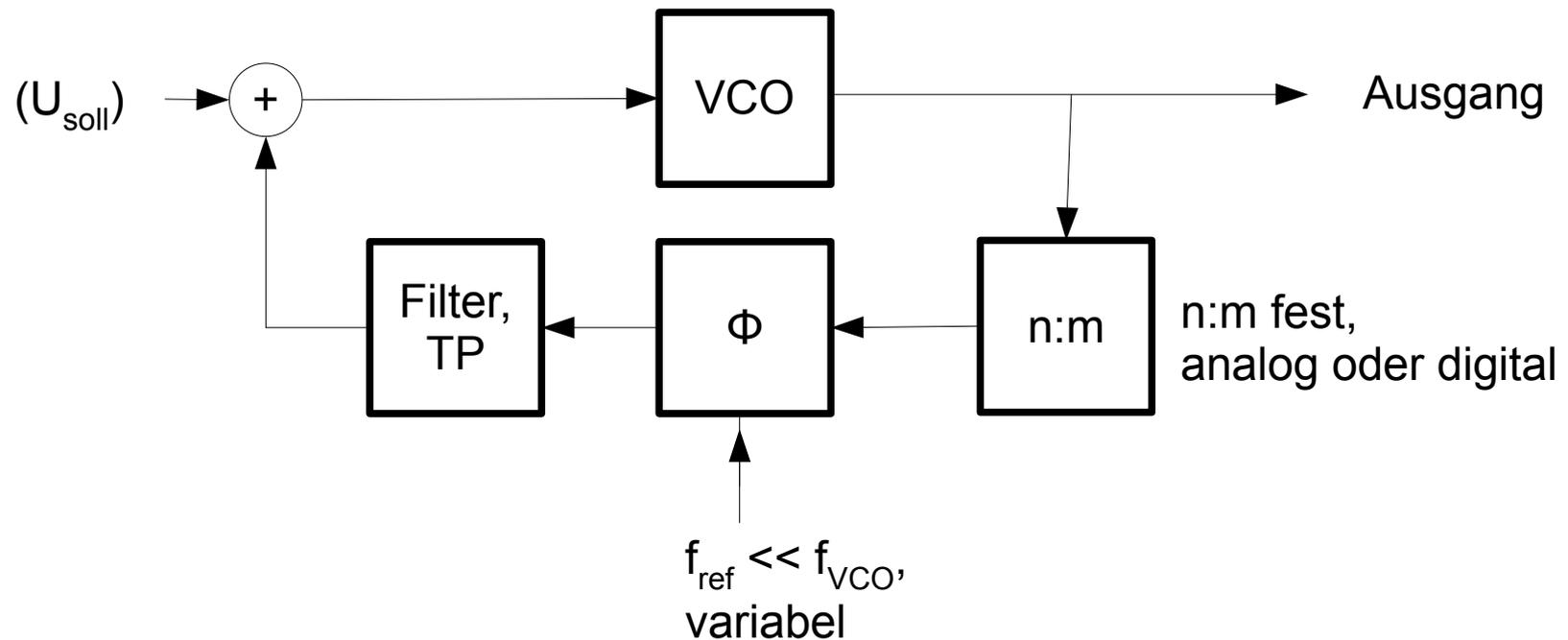
VCO: Voltage Controlled Oscillator

$n:m$ : Frequenzumsetzer

(Funktion)

## 8.2.4 Phase-locked Loop (PLL) (2)

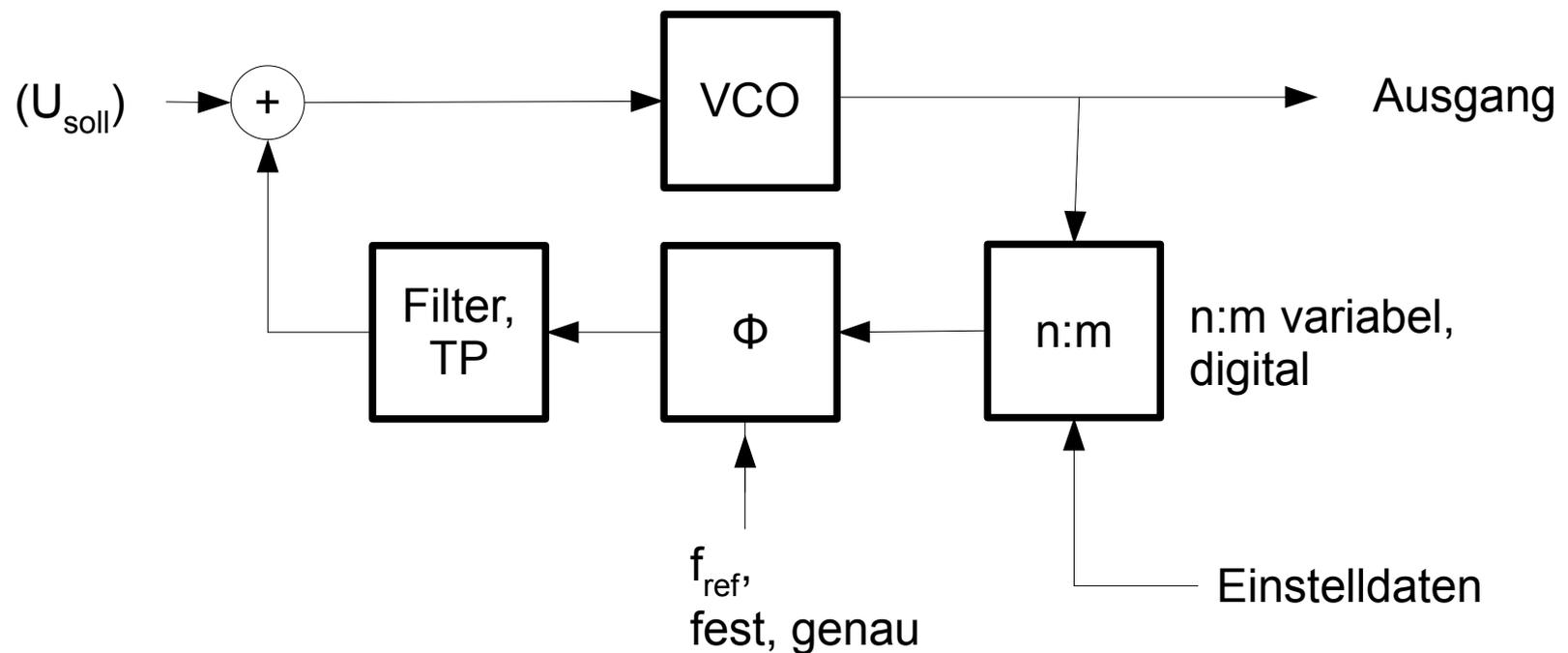
- zuerst rein analog, zur Stabilisierung eines Oszillators mittels einer stabilen, externen Frequenz;  
Im Frequenzumsetzer „n:m“ konnte die Frequenz auch heruntersgesetzt werden. Die Referenzfrequenz war dann niedriger und konnte entsprechend stabiler erzeugt werden.



(Funktion)

## 8.2.4 Phase-locked Loop (PLL) (3)

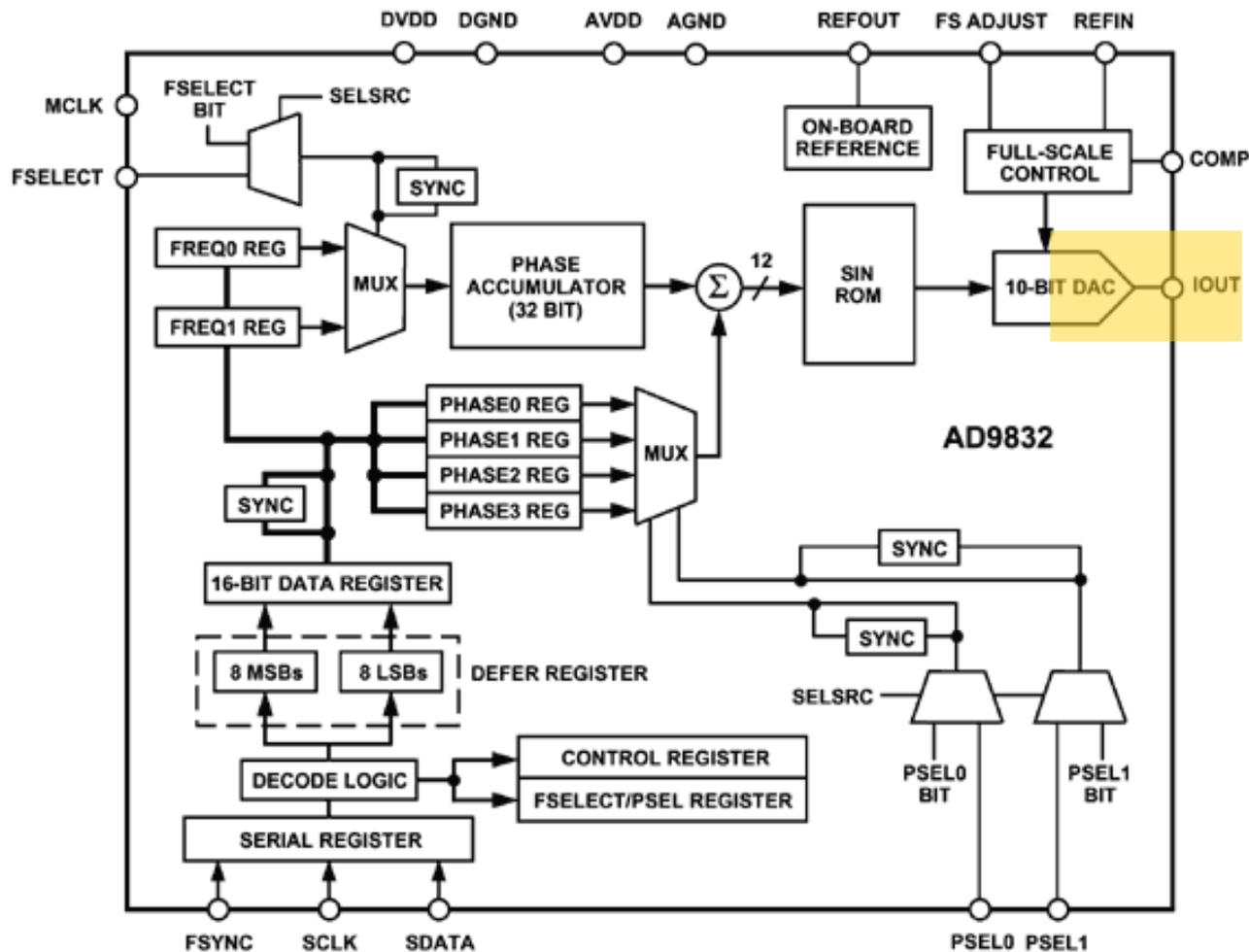
- später dann (teilweise) digital; Die Referenzfrequenz ist sehr stabil und fest eingestellt. Durch ein umschaltbares Teilverhältnis wird die Oszillatorfrequenz bestimmt.  
→ Frequenzeinstellung auf digitalem Weg; heute nicht mehr wegzudenken



(Funktion)

## 8.2.5 digitale Frequenzsynthese

- Hier die direkte digitale Frequenzsynthese



Analogteil

Datenblatt von 1999

$$f_{\max} = 10 \text{ MHz}$$

neuerer Typ:  
AD9851 (2004)

$$f_{\max} = 70 \text{ MHz}$$

Quelle: Analog Devices: Datenblatt "CMOS Complete DDS AD9832"

## 8.3 Frequenzvervielfachung

---

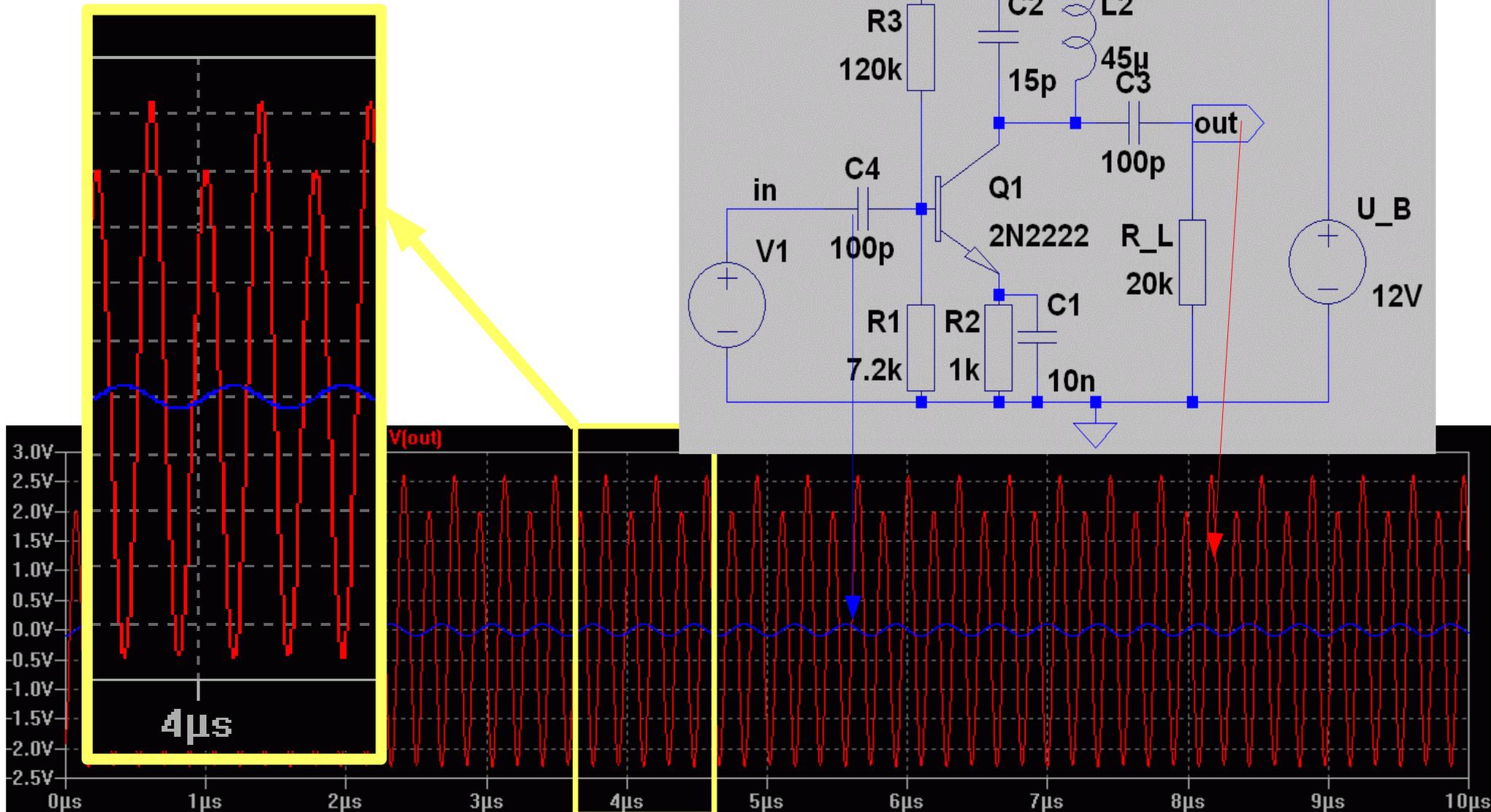
- Dort, wo eine direkte Generierung einer gewünschten Frequenz mittels der bisher beschriebenen Verfahren nicht möglich oder die Verwendung dieser Verfahren und Schaltungen nicht gewollt ist, können Frequenzvervielfacher zum Einsatz kommen.
  1. „Erzeugung“ einer niedrigeren Frequenz
  2. Vervielfachung dieser Frequenz, → nichtlineare Schaltung
  3. Ausfiltern der gewünschten Oberwelle

Zur Verdeutlichung: Skizze und Ermittlung des Spektrums

- Heute in der Regel noch im Ghz-Bereich
- Sofern eine aufgeprägte Information durch die Vervielfachung nicht gestört wird, kann die modulierte Grundschwingung vervielfacht werden.

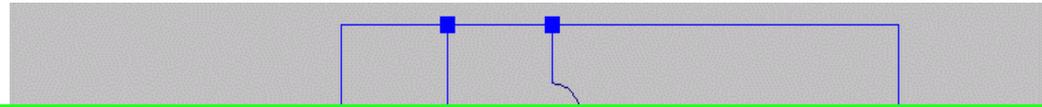
## 8.3 Frequenzvervielfachung (2)

- Beispielschaltung, Verdopplung



# 8.3 Frequenzvervielfachung (2)

- Beispielschaltung, Verdopplung



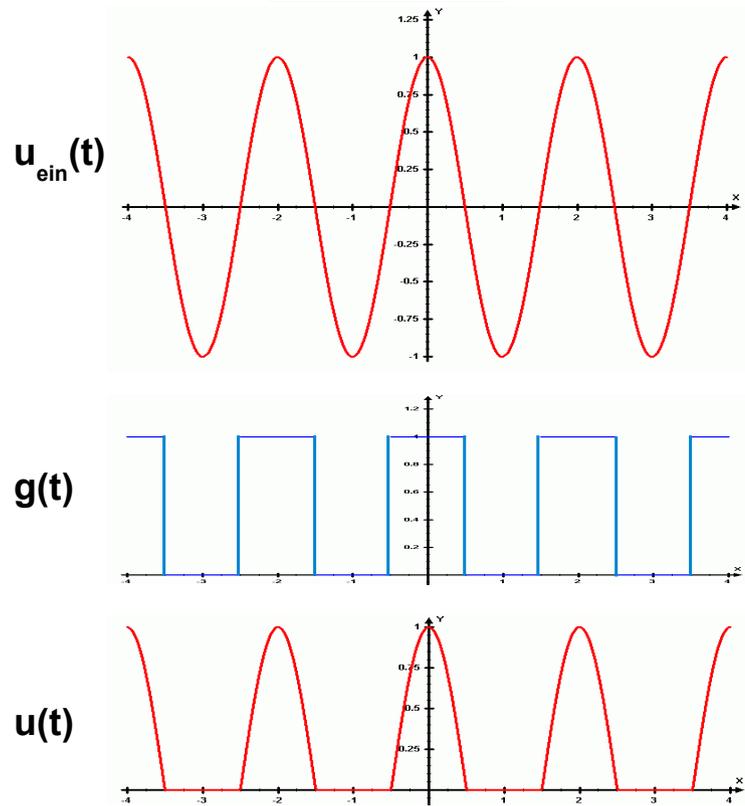
# 8.3 Frequenzvervielfachung (4)

- Kalkulation des Ausgangsspektrums (ohne Ausgangsselektion)

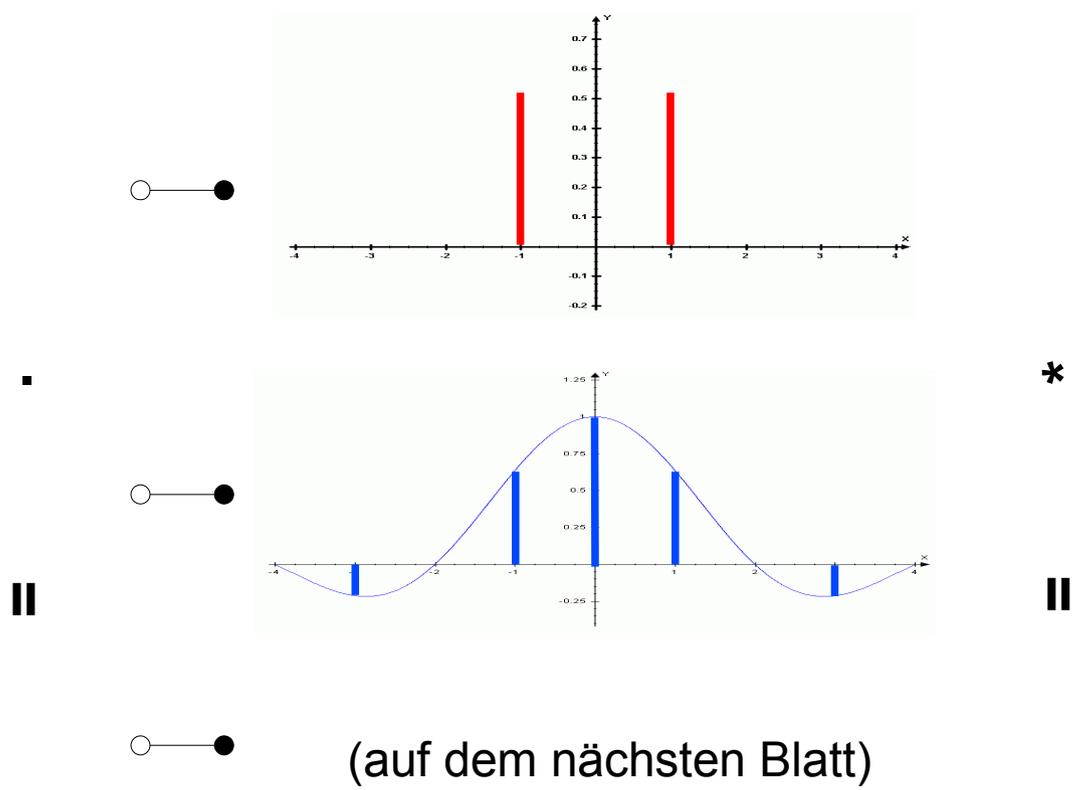
Unter idealisierten Bedingungen wird vom harmonischen Eingangssignal oberhalb eines Schwellwertes alles durchgelassen und unterhalb alles weggeschnitten.

Das kann wie folgt dargestellt werden (hier bei Schwellwert = 0V!):

Zeitbereich



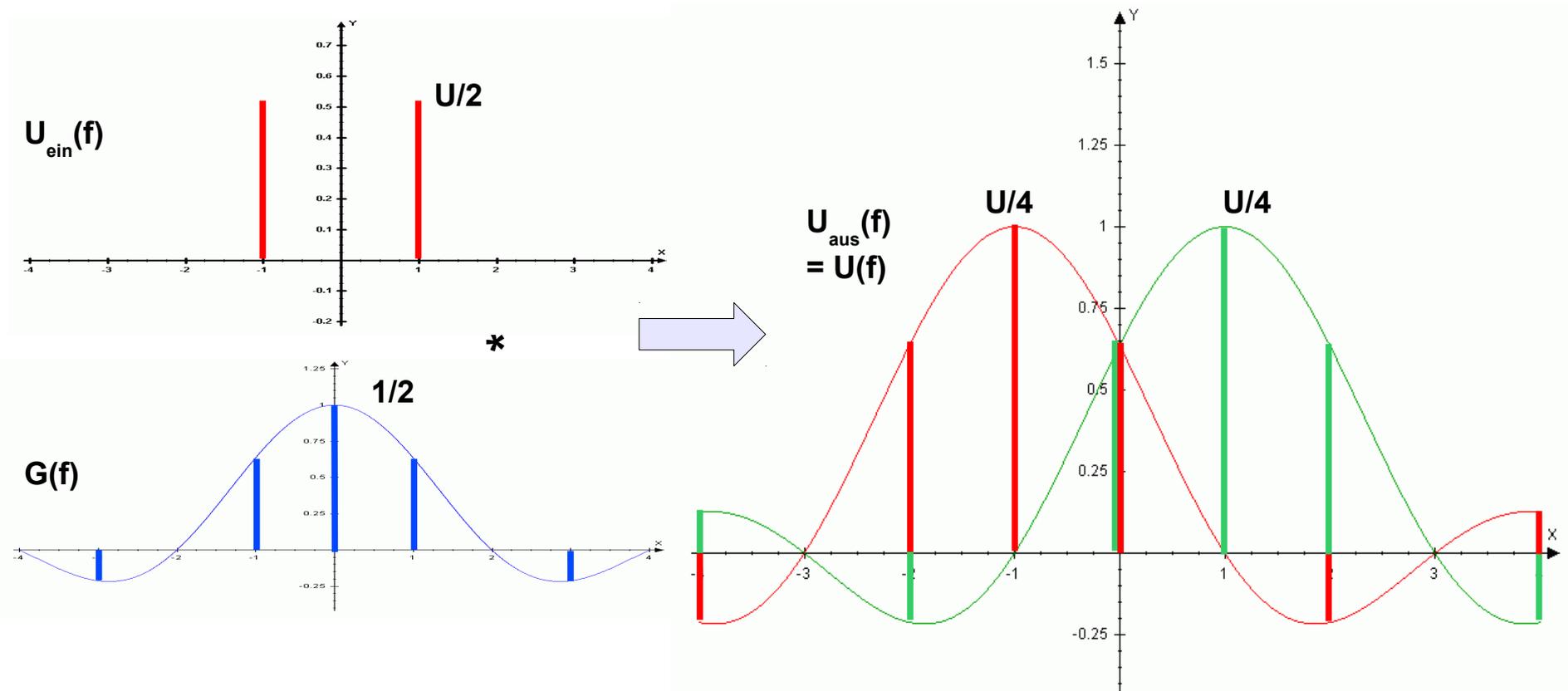
Frequenzbereich



## 8.3 Frequenzvervielfachung (5)

- Kalkulation des Ausgangsspektrums (ohne Ausgangsselektion) (2)

Faltung dieser Funktionen → Verschiebung der 2. Fkt. auf die beiden Linien

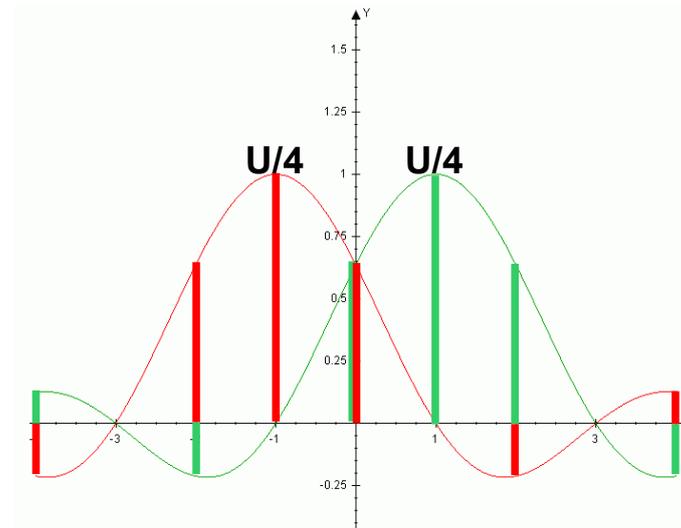


und natürlich Addition

übrigens: Der Anteil bei  $f=0$  ist der Gleichrichtwert von  $u_{\text{ein}}(t)$  -  $U/\pi$

## 8.3 Frequenzvervielfachung (6)

- Kalkulation des Ausgangsspektrums (ohne Ausgangsselektion) (3)



zur Auswertung:

- Die realen Amplituden ergeben sich durch Addition der Amplituden bei  $f_x$  und  $-f_x$ .
- Die Grundfrequenz hat eine Amplitude von  $U/2$ , also der Hälfte der Amplitude von  $u_{\text{ein}}(t)$ .
- Die Amplituden der Oberwellen lassen sich leicht über die Si-Funktion berechnen.
- Für andere Schwellwerte und damit andere Rechteckbreiten von  $g(t)$  hat die einhüllende Si-Funktion eine andere ..... und .....!!!

# HF-Technik II

## 9 Mischung / Frequenzumsetzung

9.1 Grundlagen, Einführung

9.2 multiplikative Mischung

9.3 additive Mischung

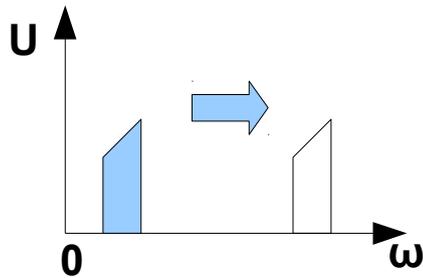
9.4 IQ-Mischung

# 9 Mischung / Frequenzumsetzung

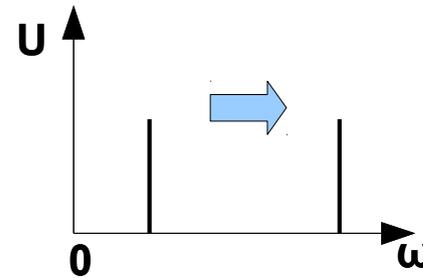
## 9.1 Grundlagen, Einführung (1)

---

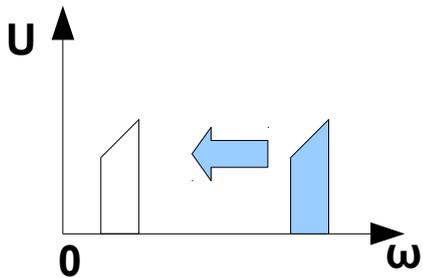
- Ziel:



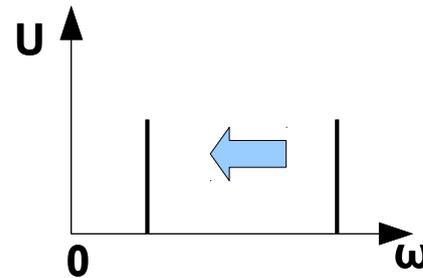
oder



oder



oder



# 9.1 Grundlagen, Einführung (2)

---

- Ziel ist die Umsetzung eines Signals von einem Frequenzbereich in einen anderen. Üblicherweise ist der „neue“ Frequenzbereich für bestimmte Verarbeitungsaufgaben besser geeignet als der „alte“.
- Die Information, die das Signal trägt, kann in einigen Fällen auch schon eine konstante Schwingungsfrequenz sein. Meistens wird es sich jedoch um komplexere Informationen handeln.
- Wir behandeln hier (natürlich) zeitveränderliche Spannungen und Ströme.
- Typische Anwendungsgebiete der Frequenzumsetzung sind die Messtechnik und Sende- und Empfangsgeräte für die drahtlose Informationsübertragung.

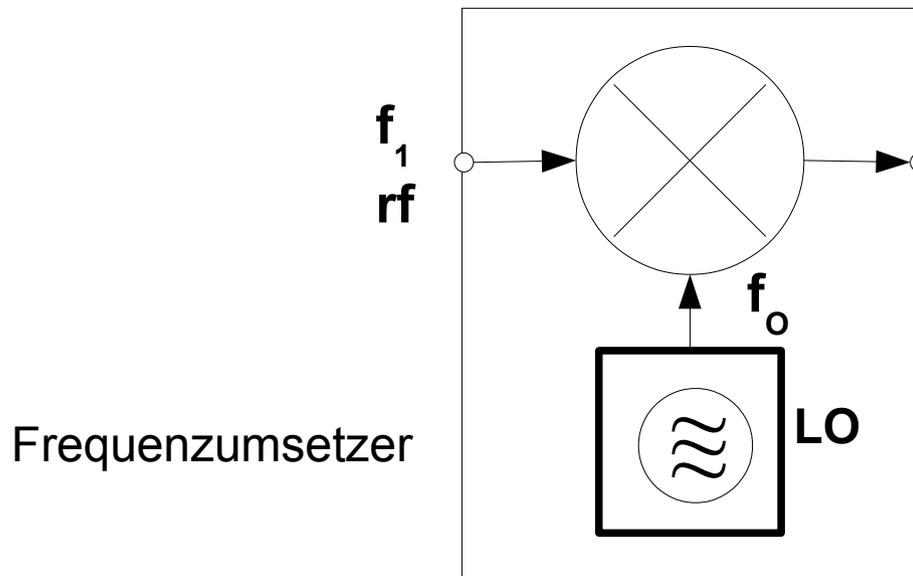
## **Beispiel:**

Ein KW-Empfänger empfängt im Bereich von 7,2...7,3 MHz. Die Signale der einzelnen Sender belegen jeweils eine Bandbreite von 9 KHz, und der Abstand der einzelnen Sendefrequenzen beträgt jeweils 10 KHz. Zur Selektion des jeweiligen Senders wird ein Filter mit folgenden Werten benötigt: Durchlassbandbreite ca. ....% und Sperrbandbreite ca. ....% der Mittenfrequenz.

Würde der interessierende Empfangsbereich auf eine Mittenfrequenz von 455 KHz umgesetzt, so wird ein Filter mit folgenden Werten benötigt: Durchlassbandbreite ca. ....% und Sperrbandbreite ca. ....% der Mittenfrequenz. Dieses Filter dürfte leichter realisierbar sein.

# 9.1 Grundlagen, Einführung (3)

- Das klassische und auch heute aktuelle Verfahren beruht auf der Mischung. In Analogie zu Farben entstehen bei der Mischung neue Frequenzanteile, die im „alten“ Signal nicht vorhanden waren.
- Ein Frequenzumsetzer besteht aus mindestens einem Mischer und einer Frequenz“erzeugung“.
- Der lokale Oszillator (local oscillator – LO) erzeugt eine Schwingung, die (abgesehen von ihrer Frequenz) keine Information enthält..



Begriffe stammen aus der Empfängertechnik

rf – .....,  
(Hochfrequenz)

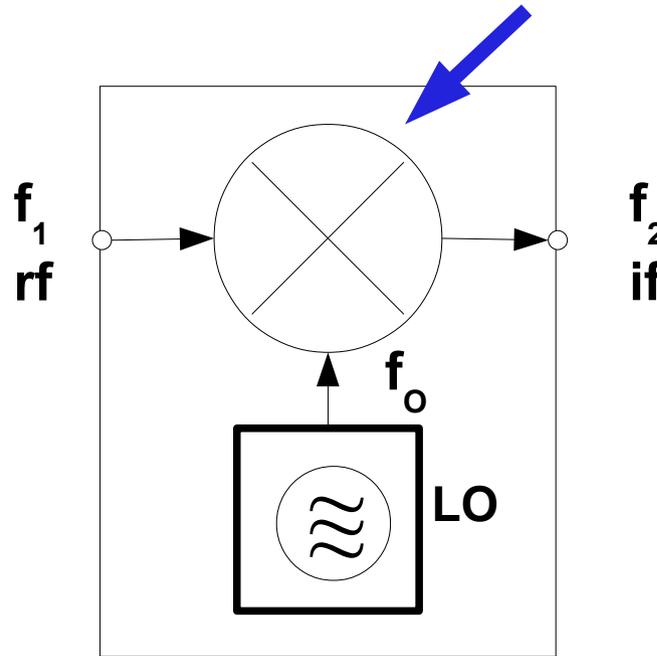
if – .....,  
Zwischenfrequenz

LO – .....

# 9.1 Grundlagen, Einführung (4)

---

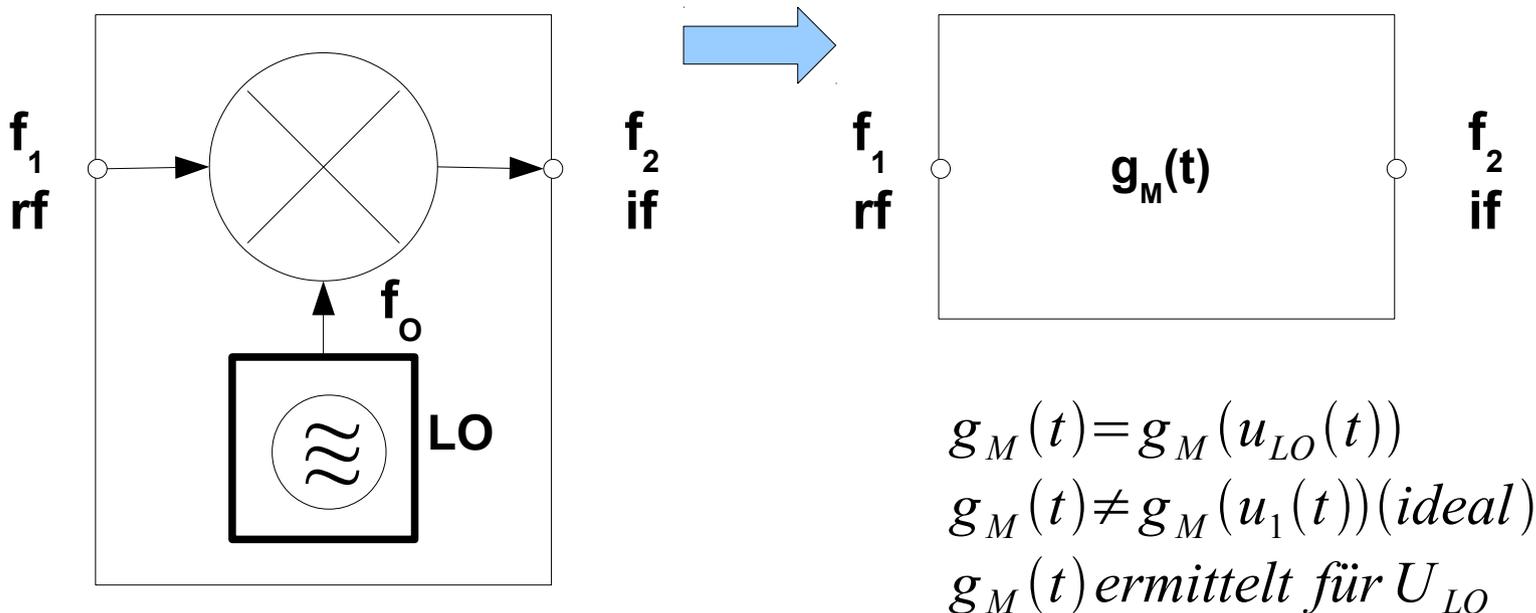
- Wir wollen uns im Folgendem nur mit dem Mischer befassen.



- Der Mischer ist (allgemein) ein  $n$ -Tor mit  $n \geq 3$ .
- Es gibt auch hier neue Verfahren, bei denen Signale von einem Frequenzbereich in einen anderen umgerechnet werden. Das findet dann in Signalprozessoren oder ASIC statt. Das wollen wir hier nicht weiter behandeln.

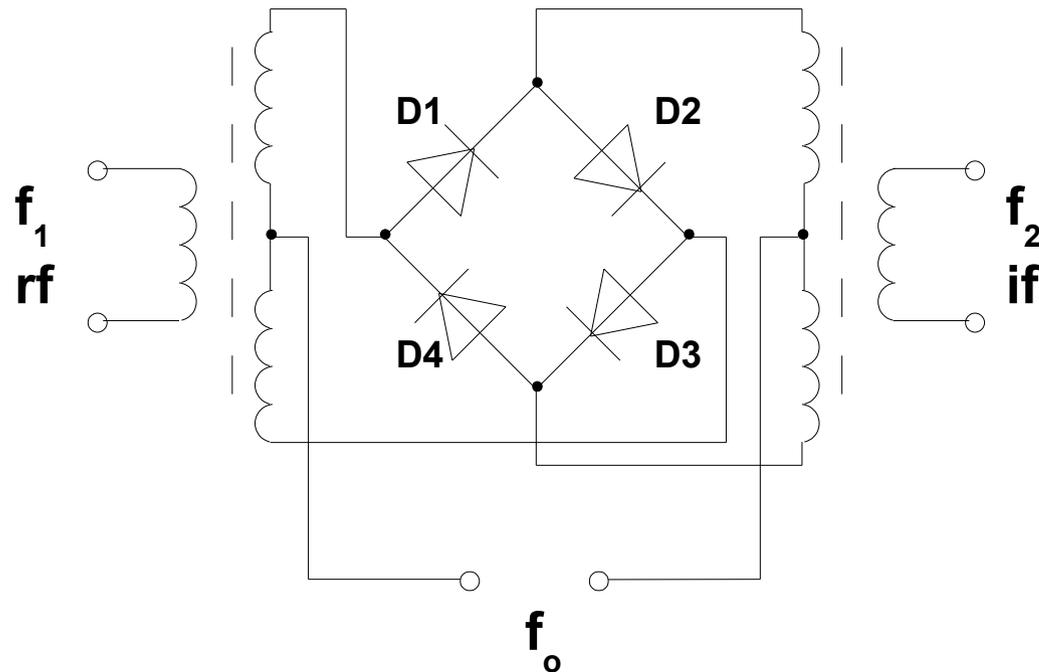
## 9.2 Multiplikative Mischung (1)

- Die vom Oszillator erzeugte Schwingung steuert die Übertragungsfunktion des Mixers. Somit ist der Mixer **kein** zeitinvariantes lineares System.
- Real ist meist die Übertragungsfunktion auch vom Eingangssignal abhängig.
- Multiplikative Mixer multiplizieren im Idealfall das Eingangssignal mit einem Faktor, der sich aus dem Momentanwert der Schwingung des LO ergibt.
- Für spezielle Randbedingungen können reale Mixer und ihre Signale trotzdem mit den Mitteln der linearen zeitinvarianten Systeme behandelt werden. Die Ergebnisse sind mehr oder weniger idealisiert.



## 9.2 Multiplikative Mischung (2)

- Betrachtung über eine mögliche Realisierung: Der Ringmischer



Randbedingungen für eine Funktion als Multiplizierer (mit Nebeneffekten)

$$\begin{aligned} \text{Dioden mit idealer Kennlinie - } r_d &\rightarrow \infty \text{ für } U_D \leq 0 && \text{(Fall 1)} \\ r_d &= 0 \text{ für } U_D > 0 && \text{(Fall 2)} \end{aligned}$$

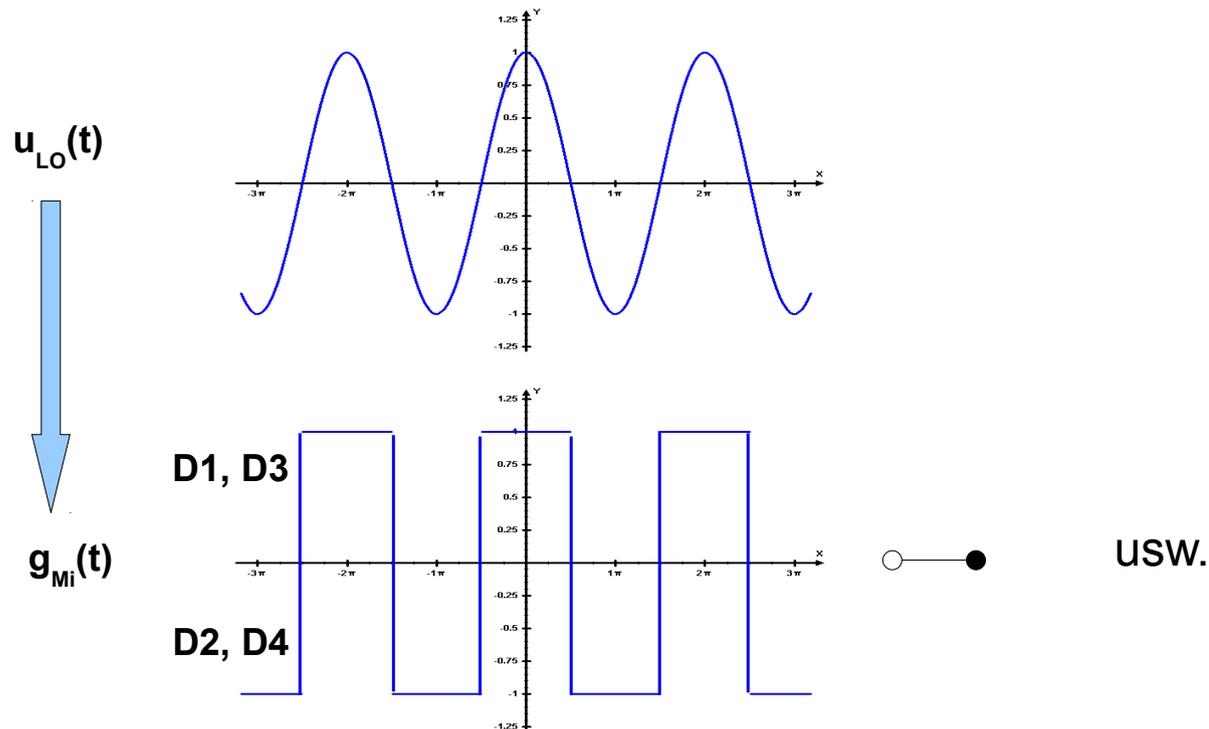
(Durchspielen der Signalverläufe)

# 9.2 Multiplikative Mischung (3)

- Mögliche Realisierung: Der Ringmischer (2)

Randbedingungen für eine Funktion als Multiplizierer (mit Nebeneffekten):

- $U_{f0} \gg U_{rf}$
- Dioden mit idealer Kennlinie -  $r_d \rightarrow \infty$  für  $U_D \leq 0$   
 $r_d = 0$  für  $U_D > 0$

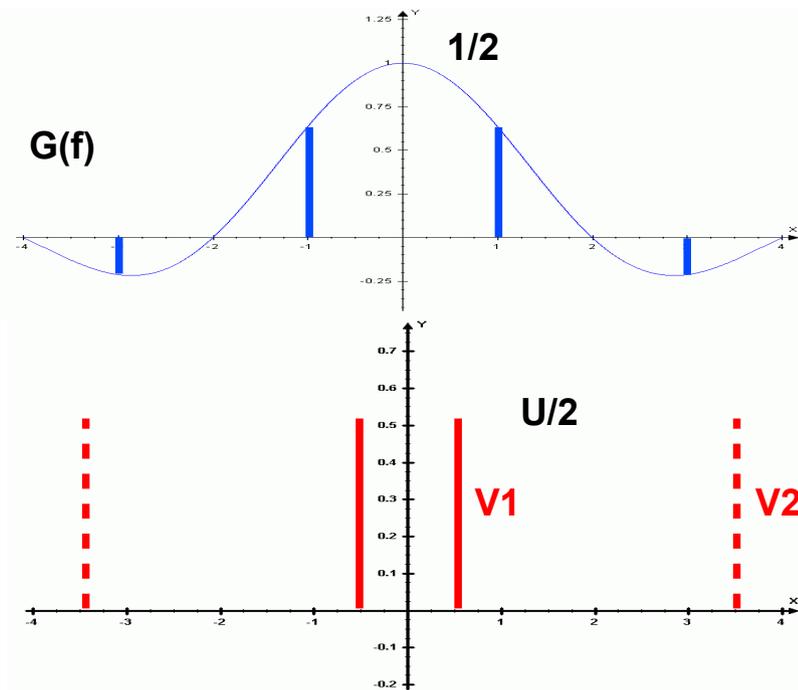


# 9.2 Multiplikative Mischung (4)

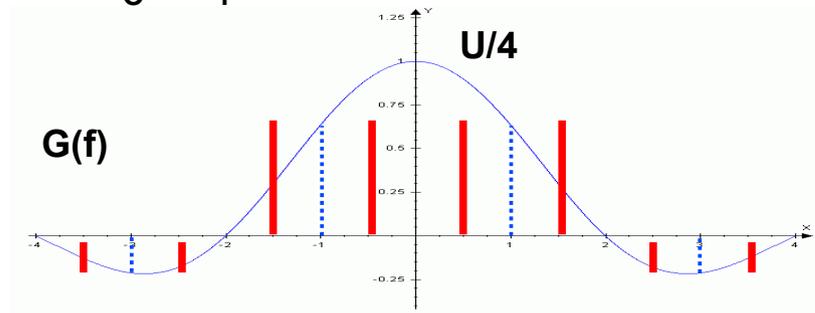
- Mögliche Realisierung: Der Ringmischer (3)

Randbedingungen für eine Funktion als Multiplizierer (mit Nebeneffekten):

- $U_{f_0} \gg U_{f_1}$
  - Dioden mit idealer Kennlinie -  $r_d \rightarrow \infty$  für  $U_D \leq 0$   
 $r_d = 0$  für  $U_D > 0$
- Lösung im Frequenzbereich:



**V1:  $f_0 > f_1$**



**V2:  $f_0 < f_1$**

analog zu V1 zu bilden

# 9.2 Multiplikative Mischung (5)

- Mögliche Realisierung: Der Ringmischer (4)

Randbedingungen für eine Funktion als reiner Multiplizierer :

-  $U_{f0} \gg U_{rf}$

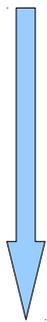
- Dioden mit folgender Kennlinie -  
(oder echter Multiplizierer)

$r_d \rightarrow \infty$  für  $U_D \leq 0$

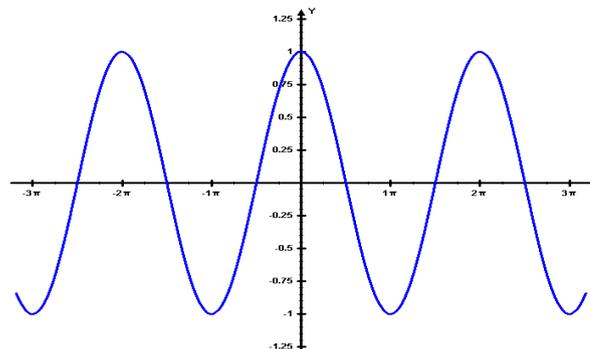
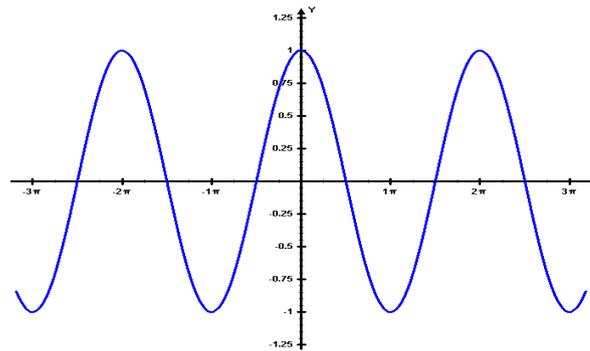
$r_d = k/u_{LO}(t)$  für  $U_D > 0$

großes  $u_{LO} \rightarrow$  kleines  $r_d \rightarrow$  großer  $I_D$   
 $\rightarrow$  großes  $u_2$

$u_{LO}(t)$



$g_{Mi}(t)$



(usw. analog zur Behandlung zuvor)

Berechnung auch im Zeitbereich  
leicht möglich

## 9.2 Multiplikative Mischung (6)

---

- Mögliche Realisierung: Der Ringmischer (5)

Randbedingungen für eine Funktion als reiner Multiplizierer :

- $U_{f0} \gg U_{rf}$
- Dioden mit folgender Kennlinie -  $r_d \rightarrow \infty$  für  $U_D \leq 0$   
 $r_d = k/u_{LO}(t)$  für  $U_D > 0$

$$u_1(t) = U_1 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t)$$

$$g_M(t) = k_1 \cdot U_2 \cdot \cos(\omega_2 \cdot t) = k_2 \cdot \cos(\omega_2 \cdot t)$$

$$u_2(t) = u_1(t) \cdot g_M(t)$$

$$u_2(t) = U_1 \cdot k_2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot \cos(\omega_2 \cdot t)$$

$$u_2(t) = U_1 \cdot k_2 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cos(\omega_2 \cdot t - \omega_1 \cdot t) + \frac{1}{2} \cos(\omega_2 \cdot t + \omega_1 \cdot t) \right] \text{ oder !}$$

$$u_2(t) = U_1 \cdot k_2 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cos(\omega_1 \cdot t - \omega_2 \cdot t) + \frac{1}{2} \cos(\omega_1 \cdot t + \omega_2 \cdot t) \right] \quad \text{Interpretation!!!}$$

## 9.2 Multiplikative Mischung (7)

- Mögliche Realisierung: Nutzungsarten

$$u_2(t) = U_1 \cdot k_2 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cos(\omega_2 \cdot t - \omega_1 \cdot t) + \frac{1}{2} \cos(\omega_2 \cdot t + \omega_1 \cdot t) \right] \text{ oder !}$$

$$u_2(t) = U_1 \cdot k_2 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cos(\omega_1 \cdot t - \omega_2 \cdot t) + \frac{1}{2} \cos(\omega_1 \cdot t + \omega_2 \cdot t) \right]$$

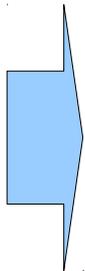
- $u_1$  und  $u_{LO}$  sind in den Produkten in der Ausgangsformel vertauschbar.
- $\omega_1 > \omega_2$  **oder**  $\omega_1 < \omega_2$
- Anstelle  $\omega_1$  liegt ein Frequenzband vor.  $\omega_2 = \omega_{LO}$  bleibt eine diskrete Frequenz.

Gleichlage .....:  $\omega_1 < > \omega_2$     Nutzung von     $\omega_1 + \omega_2$

Gleichlage .....:  $\omega_1 > \omega_2$     Nutzung von     $\omega_1 - \omega_2$

Kehrlage .....:  $\omega_1 < \omega_2$     Nutzung von     $\omega_2 - \omega_1$

Kehrlage .....:  $\omega_1 < \omega_2$     Nutzung von     $\omega_1 - \omega_2$

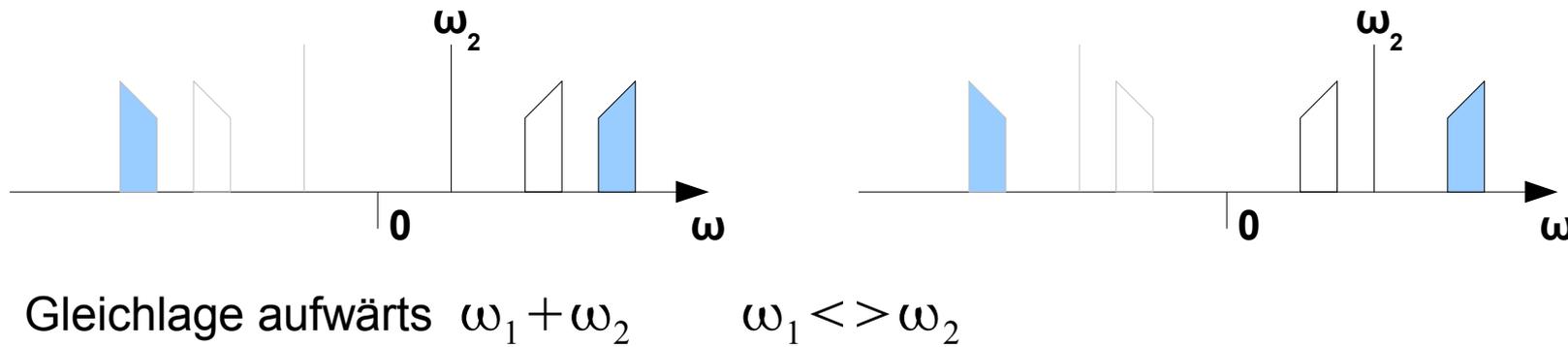


**Beispiele + Interpretation!!!**

## 9.2 Multiplikative Mischung (8)

---

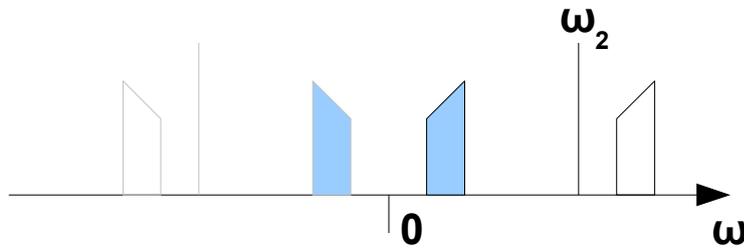
- Mögliche Realisierung: Nutzungsarten (2)



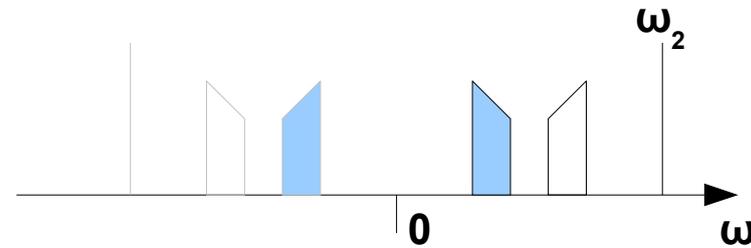
**Beispiele + Interpretation!!!**

# 9.2 Multiplikative Mischung (9)

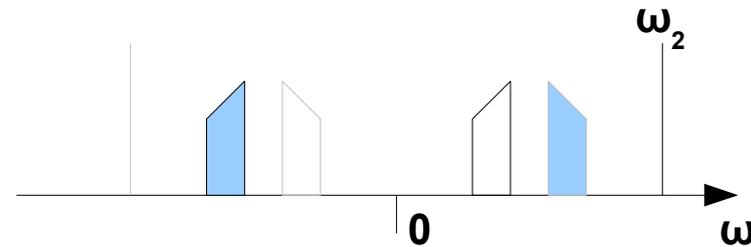
- Mögliche Realisierung: Nutzungsarten (3)



Gleichlage abwärts  $\omega_1 - \omega_2$   
 $\omega_1 > \omega_2$



Kehrlage abwärts  $\omega_2 - \omega_1$   
 $\omega_1 < \omega_2$



Kehrlage aufwärts  $\omega_1 - \omega_2$   
 $\omega_1 < \omega_2$

**Beispiele + Interpretation!!!**

## 9.2 Multiplikative Mischung (10)

---

- Mögliche Realisierung: Nutzung

- Die verschiedenen Frequenzanteile entstehen gleichzeitig.

$$\omega_x - \omega_y \quad \omega_x + \omega_y$$

Der gewünschte Anteil wird gefiltert.

- Es können Mehrdeutigkeiten auftreten:

Beispiel:

$$\omega_1 = 90 \text{ MHz} \quad \omega_{LO} = 100 \text{ MHz} \quad \text{gewünscht ist } \omega_{LO} - \omega_1 = 10 \text{ MHz}$$

$$\omega_1 = 110 \text{ MHz} \text{ wird über } \omega_1 - \omega_{LO} = 10 \text{ MHz}$$

*ebenfalls in den Zielbereich gemischt*

Das kann klassisch nur durch eine Selektion auf  $\omega_1 = 90 \text{ MHz}$  vor dem Mischer verhindert werden.

Diese unerwünschten Frequenzen werden als Spiegelfrequenz bezeichnet.

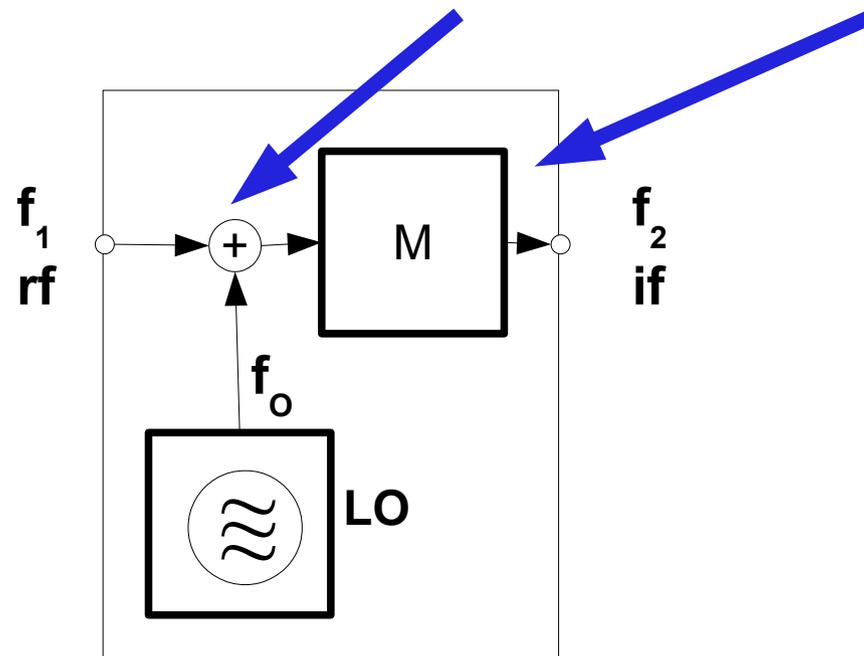
## 9.2 Multiplikative Mischung (11)

---

- Erklärung der einzelnen Frequenzumsetzungen (Nutzungsarten) aus der DSB-AM  
( **Bilder** )
- Mögliche Realisierung: weitere Varianten (weiterführender Stoff)
  - Gegentaktmischer
    - mit Dioden
    - Mit Transistoren (FET)

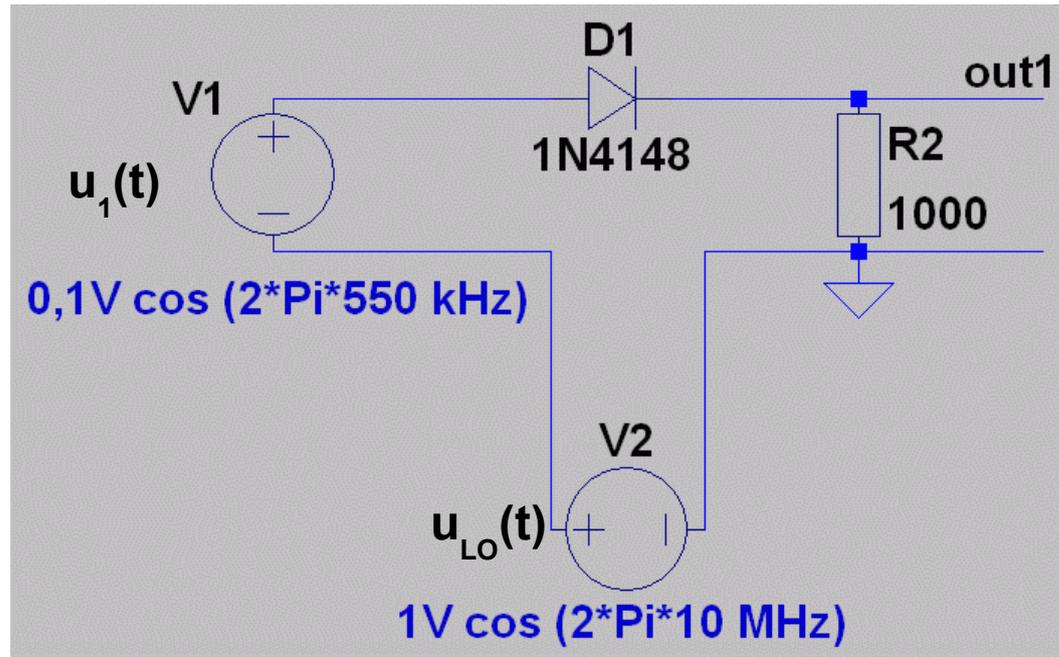
## 9.3 Additive Mischung (1)

- Diese Bezeichnung ist irreführend!!! Eine additive Überlagerung kann keine Mischung in unserem Sinne bewirken.
- Der Name stammt daher, dass zuerst die beiden zeitabhängigen Größen addiert werden und dann die Summengröße auf einen mischenden Funktionsblock geleitet wird.
- Im Gegensatz zum multiplikativen Mischer kann nicht mit einer linearen Ersatzschaltung gearbeitet werden.
- Wir wollen uns im Folgenden nur mit der Summation und dem Mischer befassen.



## 9.3 Additive Mischung (2)

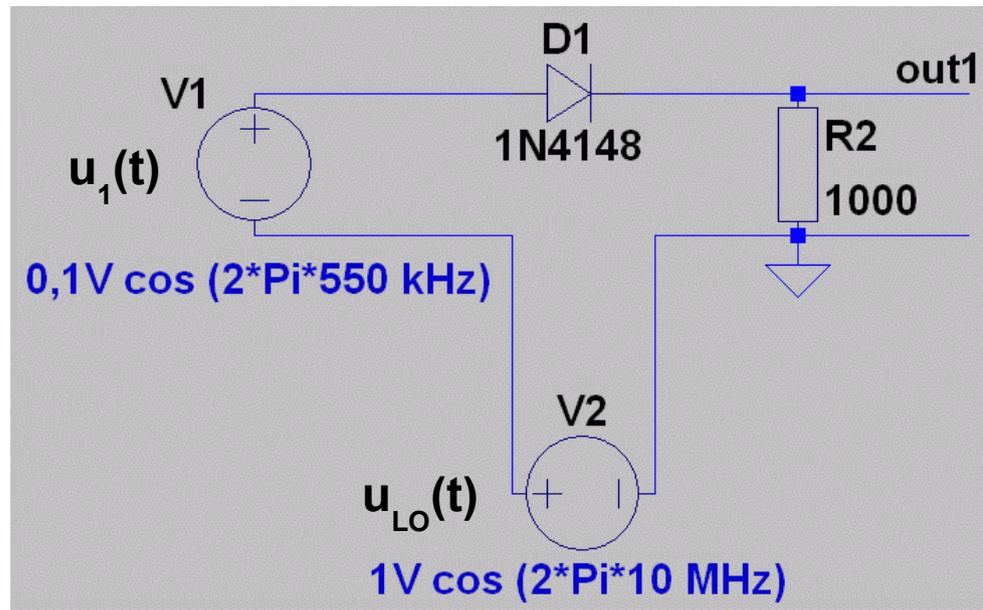
- Betrachtung über eine mögliche Realisierung: Mischung an einer Diode



- Addition erfolgt hier einfach durch Reihenschaltung.
- Summe der Spannungen  $\rightarrow$  D1  $\rightarrow$  i  $\rightarrow$  u an R2
- Strom durch D1 (und R2):
  - Anteile direkt von den einzelnen Quellen
  - eventuell zusätzlich entstehende Anteile (Nichtlinearität).

## 9.3 Additive Mischung (3)

- Betrachtung über eine mögliche Realisierung: Mischung an einer Diode (2)



$$u_D(t) = U_{LO} \cdot \cos(\omega_{LO} t + \varphi_{LO}) + U_1 \cdot \cos(\omega_1 t + \varphi_1) \quad \text{soweit noch } i_D = 0,$$

*mit  $i_D \neq 0$  wird der Zusammenhang komplizierter*

$$i_D = g(u_D) = I_S (e^{u_D / U_r} - 1)$$

Mit eingesetztem  $u_D$  führt das letztendlich zu einer Potenzreihenentwicklung. Die einzelnen Terme obiger Gleichung (mit  $\omega_{LO}$  und mit  $\omega_1$ ) werden potenziert als auch in verschiedenen Potenzstufen miteinander multipliziert.

## 9.3 Additive Mischung (4)

- Betrachtung über eine mögliche Realisierung: Mischung an einer Diode (3)

Es wird der einfache Fall eines rein quadratischen Zusammenhangs von  $u$  und  $i$  betrachtet (nur das quadratische Glied der Potenzreihe):

$$u_D(t) = u_{LO} + u_1 = U_{LO} \cdot \cos(\omega_{LO} t + \varphi_{LO}) + U_1 \cdot \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$$

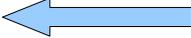
$$i_D = K \cdot u_D^2 = K (u_{LO}^2 + 2 u_{LO} u_1 + u_1^2)$$

$$\begin{aligned} i_D &= K U_{LO}^2 \cdot \cos^2(\omega_{LO} t + \varphi_{LO}) \\ &\quad + K 2 U_{LO} U_1 \cdot \cos(\omega_{LO} t + \varphi_{LO}) \cos(\omega_1 t + \varphi_1) \\ &\quad + K U_1^2 \cdot \cos^2(\omega_1 t + \varphi_1) \end{aligned}$$

*Vereinfachung : alle  $\varphi_x = 0$*

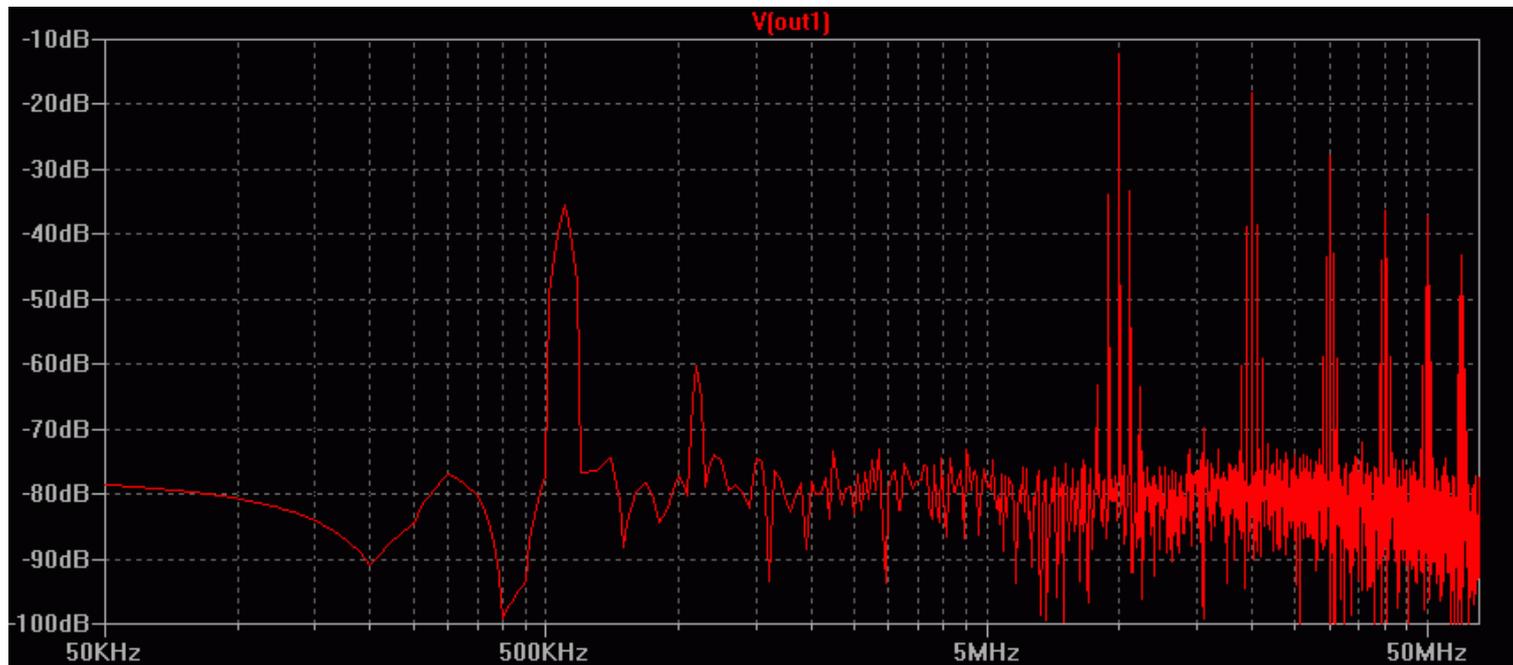
$$\begin{aligned} i_D &= K U_{LO}^2 \cdot 1/2 \cdot [1 + \cos(2 \omega_{LO} t)] && \leftarrow \text{blue arrow} \\ &\quad + K 2 U_{LO} U_1 \cdot 1/2 [\cos((\omega_{LO} + \omega_1) t) + \cos((\omega_{LO} - \omega_1) t)] && \leftarrow \text{red arrow} \\ &\quad + K U_1^2 \cdot 1/2 \cdot [1 + \cos(2 \omega_1 t)] && \leftarrow \text{blue arrow} \end{aligned}$$

**Jetzt weiter mit der realen Diode!**

 Gleichanteil und Oberwelle  
 Mischprodukte

## 9.3 Additive Mischung (5)

- Betrachtung über eine mögliche Realisierung: Mischung an einer Diode (4)
  - Meist wird die Amplitude von  $u_1$  gegenüber  $u_{LO}$  klein gehalten.

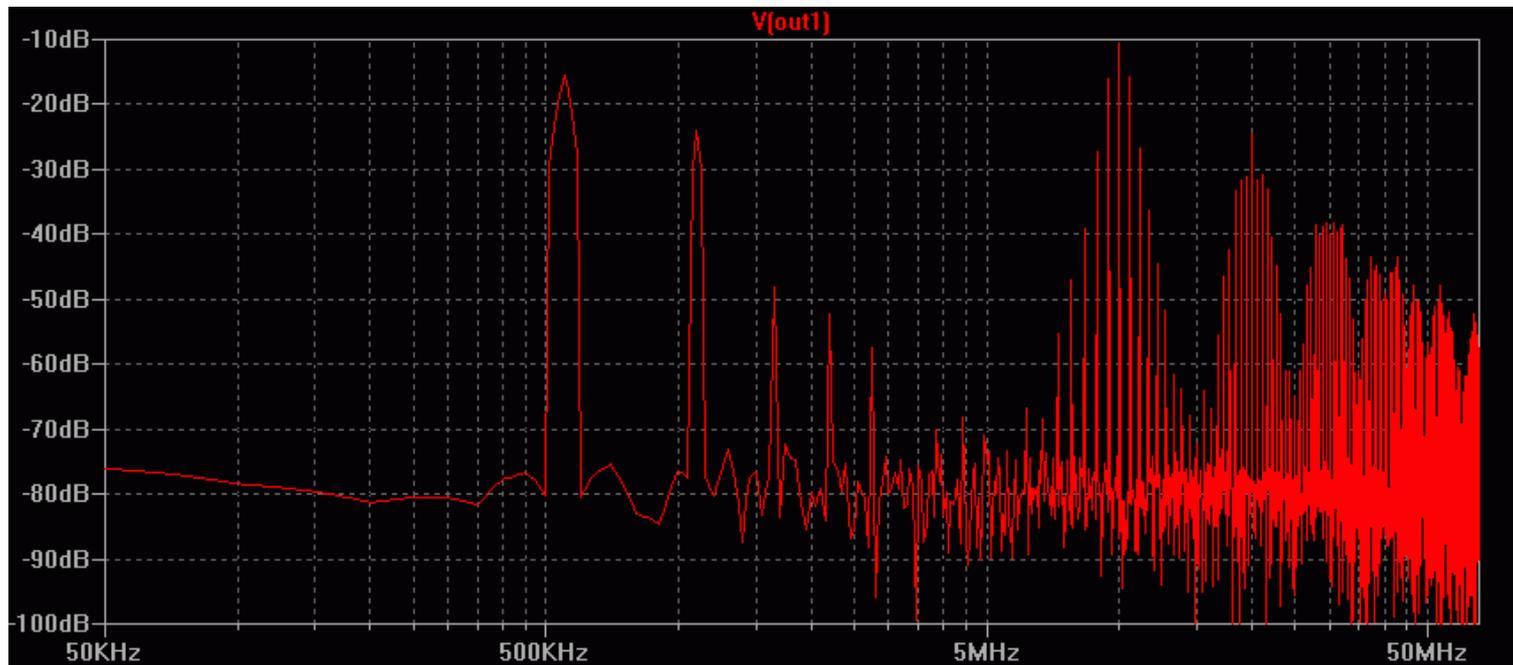


$$f_1 = 550 \text{ kHz}$$
$$f_2 = 10 \text{ MHz}$$

- Das Durchsteuern der Diode erfolgt hauptsächlich durch  $u_{LO}$ .  $u_1$  steuert die Diode deutlich weniger aus und erzeugt weniger nichtlineare Anteile im Strom. Das ist im Spektrum zu erkennen.
- Das Spektrum enthält Frequenzen, die in den beiden Ausgangssignalen nicht enthalten sind (Oberwellen und Mischprodukte).

## 9.3 Additive Mischung (6)

- Betrachtung über eine mögliche Realisierung: Mischung an einer Diode (5)
  - Bei gleichgroßen Amplituden von je 1 V ergibt sich folgendes Spektrum:

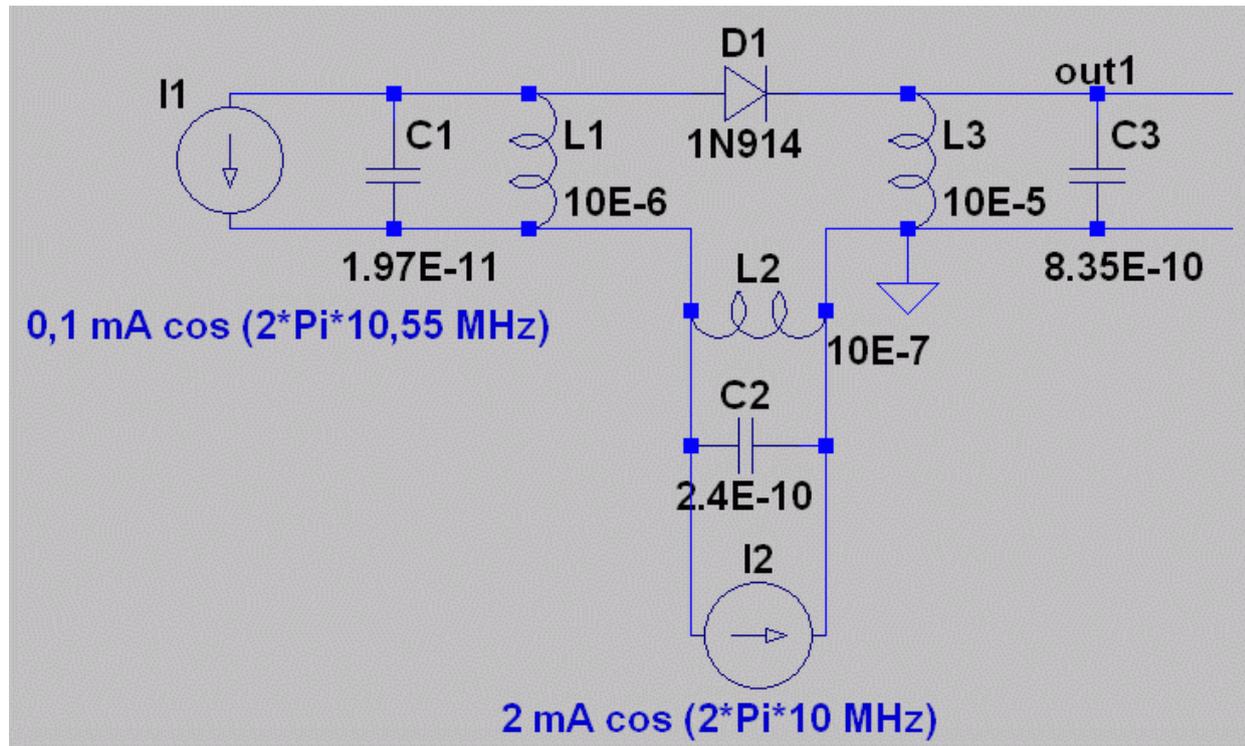


$$f_1 = 550 \text{ kHz}$$
$$f_2 = 10 \text{ MHz}$$

- Das Durchsteuern der Diode erfolgt jetzt durch beide Eingangsspannungen gleichermaßen. Das ist im Spektrum zu erkennen.
- Das Spektrum enthält Frequenzen, die in den beiden Ausgangssignalen nicht enthalten sind (Oberwellen und Mischprodukte).

## 9.3 Additive Mischung (7)

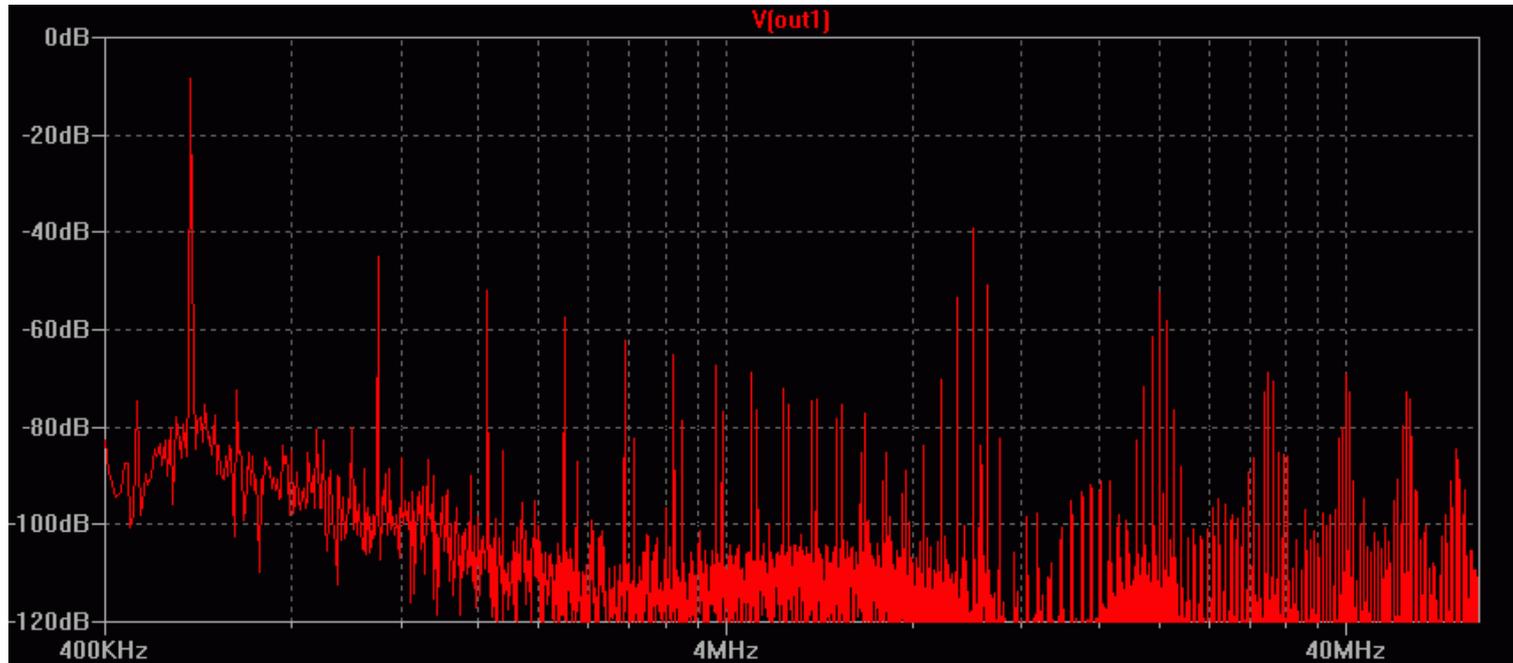
- Betrachtung über eine mögliche Realisierung: Mischung an einer Diode (6)
  - Sinnvollerweise kommen solche Schaltungen zum Einsatz:



- Jeder LC-Kreis stellt idealerweise für die jeweils anderen Frequenzen einen Kurzschluß dar. Damit ergibt sich für beide Eingangssignale eine Addition.
- Am Ausgang filtert der LC-Kreis die erwünschte Frequenz heraus.

## 9.3 Additive Mischung (8)

- Betrachtung über eine mögliche Realisierung: Mischung an einer Diode (7)
  - Das ergibt im Beispiel folgendes Spektrum:



$$f_1 = 10,55 \text{ MHz}$$

$$f_2 = 10 \text{ MHz}$$

- Achtung, der Anteil mit 550 kHz ist jetzt die erwünschte Ausgangsspannung.

## 9.3 Additive Mischung (9)

---

- Anwendungen:
  - In der Vergangenheit für einfache Mischer in verschiedenen Frequenzbereichen
  - Heute wohl hauptsächlich noch im Mikrowellenbereich
  
  - Parasitäre Mischer / ungewollte Mischer  
Das gehört eigentlich zu anderen Kapiteln, wie z. B. den Verstärkern.  
Unvermeidliche Nichtlinearitäten führen nicht nur zu Oberwellen, sondern auch zur ungewollten Mischung.

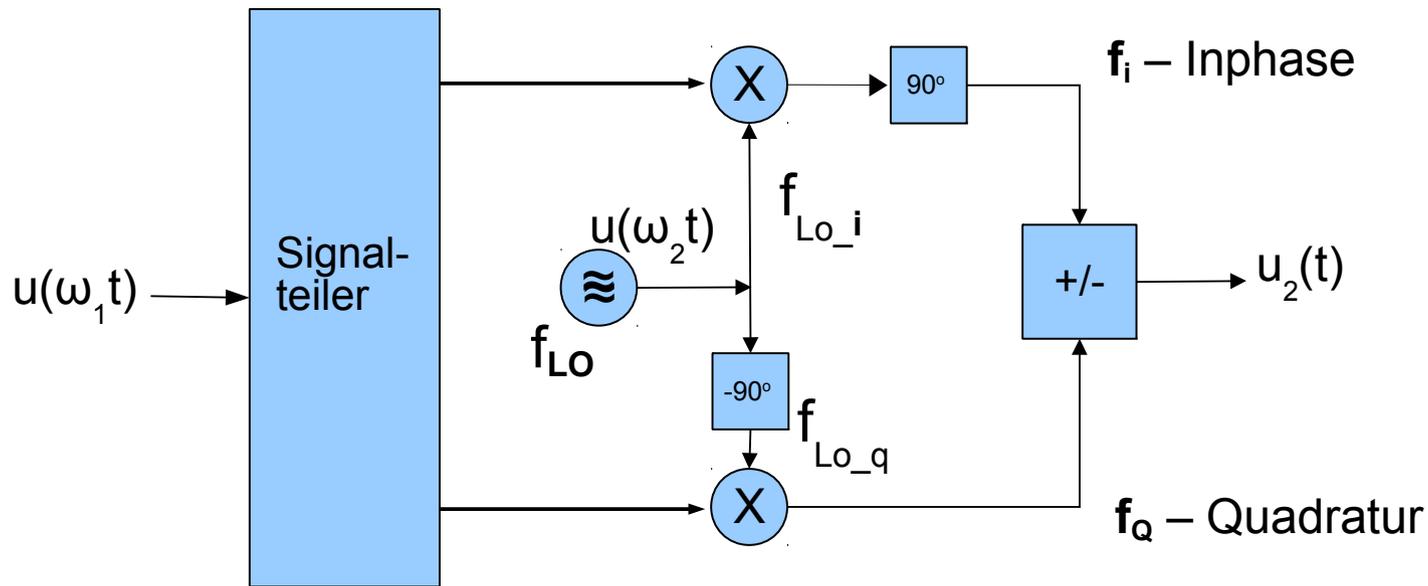
## 9.3 Additive Mischung (10)

---

- Weiterführend:
  - Genauere mathematische Zusammenhänge bei der additiven Mischung
  - Simulation verschiedener Schaltungen mit unterschiedlichen Parametern
  - Schaltungen und deren spezielle Eigenschaften im Mikrowellenbereich

# 9.4 IQ-Mischung

- moderne Variante: IQ-Mischer



$$u_2(t) = u_{2i}(t) + u_{2q}(t)$$

$$u_2(t) = \left| \frac{1}{2} U_1 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot \cos(\omega_2 \cdot t) \right|_{+90^\circ} \pm \frac{1}{2} U_1 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot \sin(\omega_2 \cdot t)$$

$$u_2(t) = \dots$$

## 9.4 IQ-Mischung (2)

---

- moderne Variante: IQ-Mischer
  - Auswirkung auf Spiegelfrequenzempfang
    - ideal
    - real
  - Phasenschieber im I-Pfad!

# HF-Technik II

## 10 Frequenzselektive Glieder

10.1 Grundlagen, Einführung

10.2 Kurzübersicht

# 10 Frequenzselektive Glieder

## 10.1 Grundlagen, Einführung (1)

---

- Wir „empfangen“ ein Frequenzgemisch. Uns interessiert aber nur ein Frequenzbereich.
  - Empfangstechnik, drahtlos und leitungsgebunden
- Wir erzeugen ungewollte Frequenzen, die „uns“ stören.
  - Frequenzumsetzung / Mischung
  - Frequenzvervielfachung
  - Verstärkung mit Nichtlinearitäten
- Wir benötigen selektive Glieder, die den gewünschten Frequenzbereich möglichst unbeeinflusst passieren lassen und die anderen Frequenzbereiche, zumindest bestimmte, ausreichend stark dämpfen.

- klassische analoge Selektionsmittel und digitale Selektionsmittel



z.B. Schwingkreis

OPV + Mit-/ Gegenkoppl.  
(frequ.-abh.)

Digitale Filter

# 10.2 Kurzübersicht

---

- Grundbausteine für klassische Selektionsmittel:

- resonante Gebilde:

- Schwingkreise aus konzentrierten Elementen (LC)  $f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

- elektromechanische Resonatoren

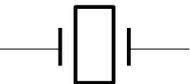
- Schwingquarze

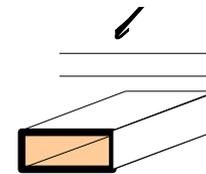
- keramische Resonatoren

- Oberflächenwellenresonatoren (SAW-, AOW-)

- Leitungsresonanzkreise (Achtung, Mehrdeutigkeiten)

- Hohlraumresonatoren (Achtung, Mehrdeutigkeiten)


$$\Delta f / f = 5 \dots 150 \cdot 10^{-6}$$



- optional Verstärker:

- für aktive analoge Glieder

## 10.2 Kurzübersicht (2)

---

- wichtige Kenngrößen
  - Mittenfrequenz
  - Bandbreite (mit Wert für Dämpfungsanstieg)
  - Sperrbereich (mit Wert für Dämpfungsanstieg)
  - Flankensteilheit
  - Durchlaßdämpfung / Durchlaßwelligkeit
  - Weitabselektion

optional:

  - Beschaltungsdaten

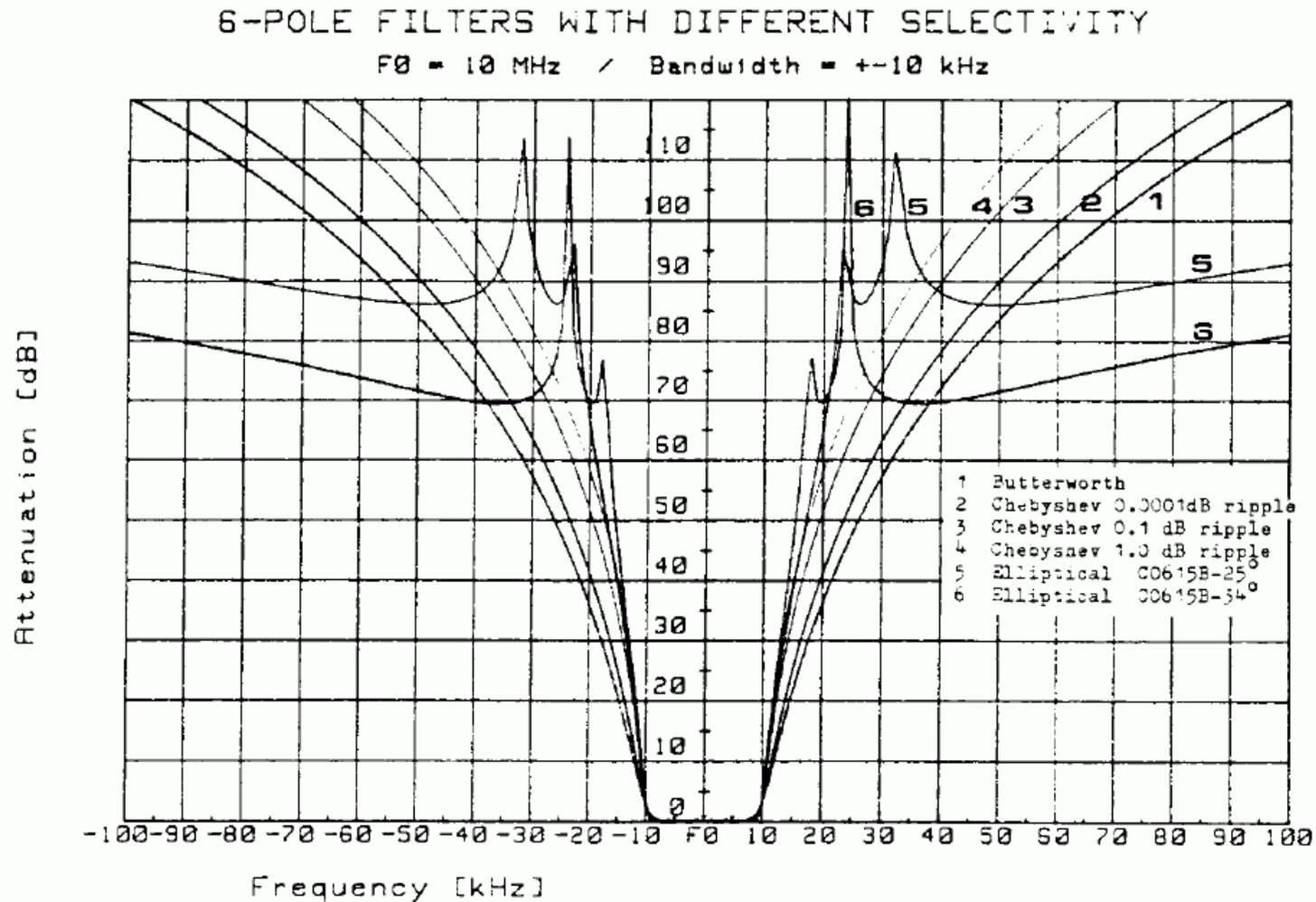
( **dazu Skizze** )

- Zusammenhang zwischen Anzahl der Resonanzkreise ( $\rightarrow$  Pole), der Kopplung und den Kennwerten

( **dazu Skizze** )

# 10.2 Kurzübersicht (3)

- Realisierungsbeispiele – Quartzfilter



Quelle: Bernd Neubig & Wolfgang Briese: Quarkochbuch, Feldkirchen, Franzis-Verlag, 1997

( **Vergleich zu anderen Filterarten** )

# HF-Technik II

## 11 Empfänger und Sender

11.1 Grundlagen, Einführung

11.2 klassische Konzepte

11.3 Software Defined Radio

# 11 Empfänger und Sender

## 11.1 Grundlagen, Einführung (1)

---

- Wir wollen Empfangen (und verwenden), was gesendet wurde.

Empfänger, auch RX

- Wir wollen etwas aussenden. (Und wir dürfen das auch auf diesen Frequenzen.)

Sender, auch TX

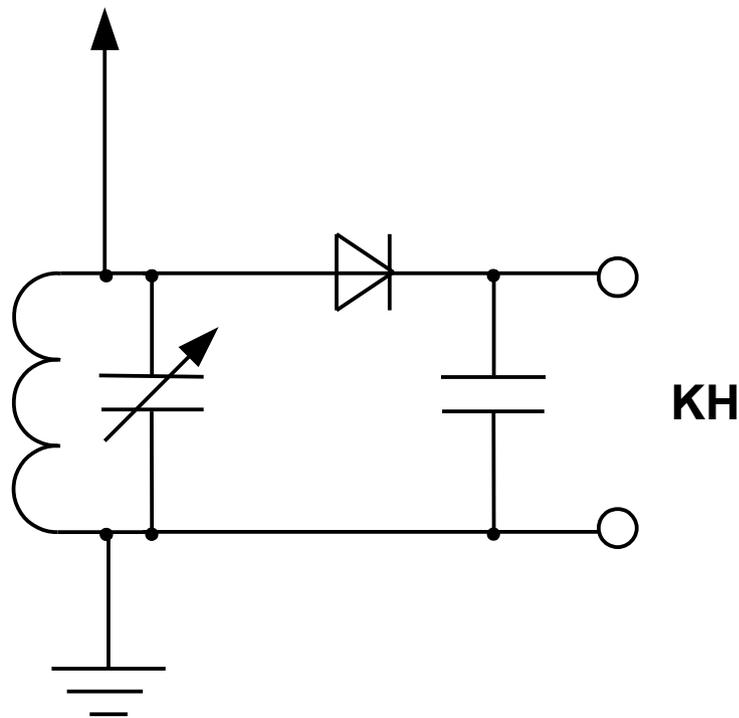
oder beides zusammen

Sende-Empfangsgerät, auch TRX

## 11.2 klassische Konzepte

---

- RX  
der einfachste RX, der Detektor - ein Geradeausempfänger



## 11.2 klassische Konzepte (2)

---

- RX – Geradeausempfänger  
( Skizze, Merkmale und Grenzen)

# 11.2 klassische Konzepte (3)

---

- RX – Super (Superheterodynempfänger)
  - ( Skizze, Merkmale und Vorteile, Nachteile)
  - Einfachsuper
  - Mehrfachsuper
  - Einsatz von Prozessoren
    - typische Funktionen

## 11.2 klassische Konzepte (4)

---

- TX – Geradeausprinzip
  - ( Skizze, Merkmale und Vor- und Nachteile, Anwendung)
  
- Verfielfacherprinzip
  - ( Skizze, Merkmale und Vor- und Nachteile, Anwendung)
  
- Mischerprinzip
  - ( Skizze, Merkmale und Vor- und Nachteile, Anwendung)
  
  - Einsatz von Prozessoren
    - typische Funktionen

# 11.3 Software Defined Radio

---

- Was ist das Ziel?
- Wo stehen wir jetzt? (einfach und umfangreich)
- Was ist anders?
- Wichtige Zusammenhänge

( Skizze, Merkmale und Vor- und Nachteile, Anwendung)

## 11.3 Software Defined Radio (2)

---

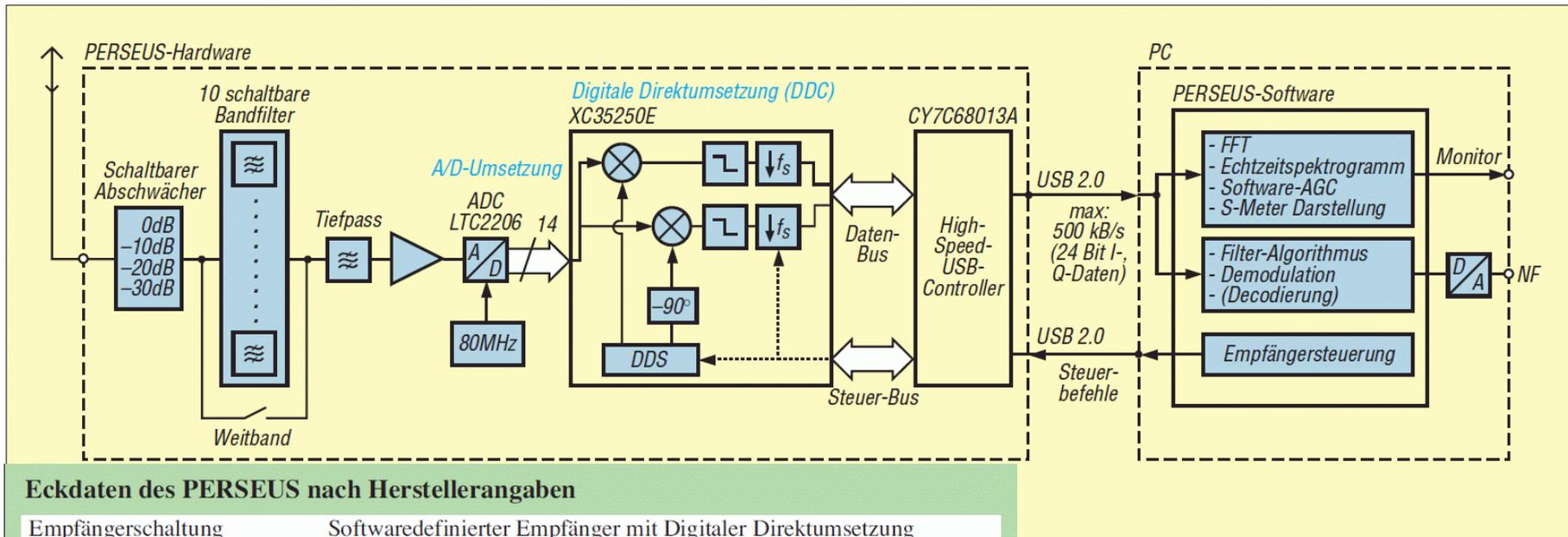
- PERSEUS (Amateurfunk, Kurzwelle)



Quelle: FUNKAMATEUR 2007 H. 12, S. 1286

# 11.3 Software Defined Radio (3)

- PERSEUS (Amateurfunk, Kurzwelle) (2)



### Eckdaten des PERSEUS nach Herstellerangaben

Empfängerschaltung	Softwaredefinierter Empfänger mit Digitaler Direktumsetzung (DDC) bei 80 MHz Abtastfrequenz
Frequenzbereich	10 kHz bis 30 (40) MHz
Frequenzauflösung	1 Hz
Betriebsarten	AM, LSB, USB, CW, FM (softwareabhängig)
Spiegelfrequenzunterdrückung	90 dB @ 14,15 MHz
IP3	31 dBm @ 14,15 MHz
Dynamikumfang	103 dB @ 2,4 kHz SSB
Frequenzabweichung	±1,0 ppm (rekalibrierbar)
Empfindlichkeit	0,39 µV SSB (S+N)/N = 10 dB @ 14,15 dB
Frequenzabweichung	±1,0 ppm recalibrierbar
Analog-Digital-Umsetzer	LTC 2206-14 80 MS/s @ 14 Bit SFDR: 110 dB (bei aktiver Dither-Schaltung)
digitale Direktumsetzung DDC	XILINX Spartan III E FPGA
Schnittstelle	USB 2.0 (High Speed)
Ausgangs-Bandbreiten	100/200/400 kHz (mit -110 dB Alias-Unterdrückung)
Preis	799 €; Deutscher Distributor: SSB Electronic GmbH, Handwerkerstr. 19, 58638 Iserlohn, Tel. (0 23 71) 95 90-0 [6]

Quelle: FUNKAMATEUR 2007 H. 12, S. 1286

## 11.3 Software Defined Radio (4)

- Ein weiteres Beispiel für ein Gerät:



The image shows the RFspace SDR-14 Software Defined Receiver, a black rectangular device. The front panel features the RFspace logo on the left, a 'DIRECT INPUT' jack, three indicator lights labeled 'CAP', 'USB', and 'CLIP', and a '0.1 - 30 MHz' jack on the right. The text 'SDR-14 Software Defined Receiver' is printed on the top right of the front panel. Below the device, the letters 'UR' are visible.

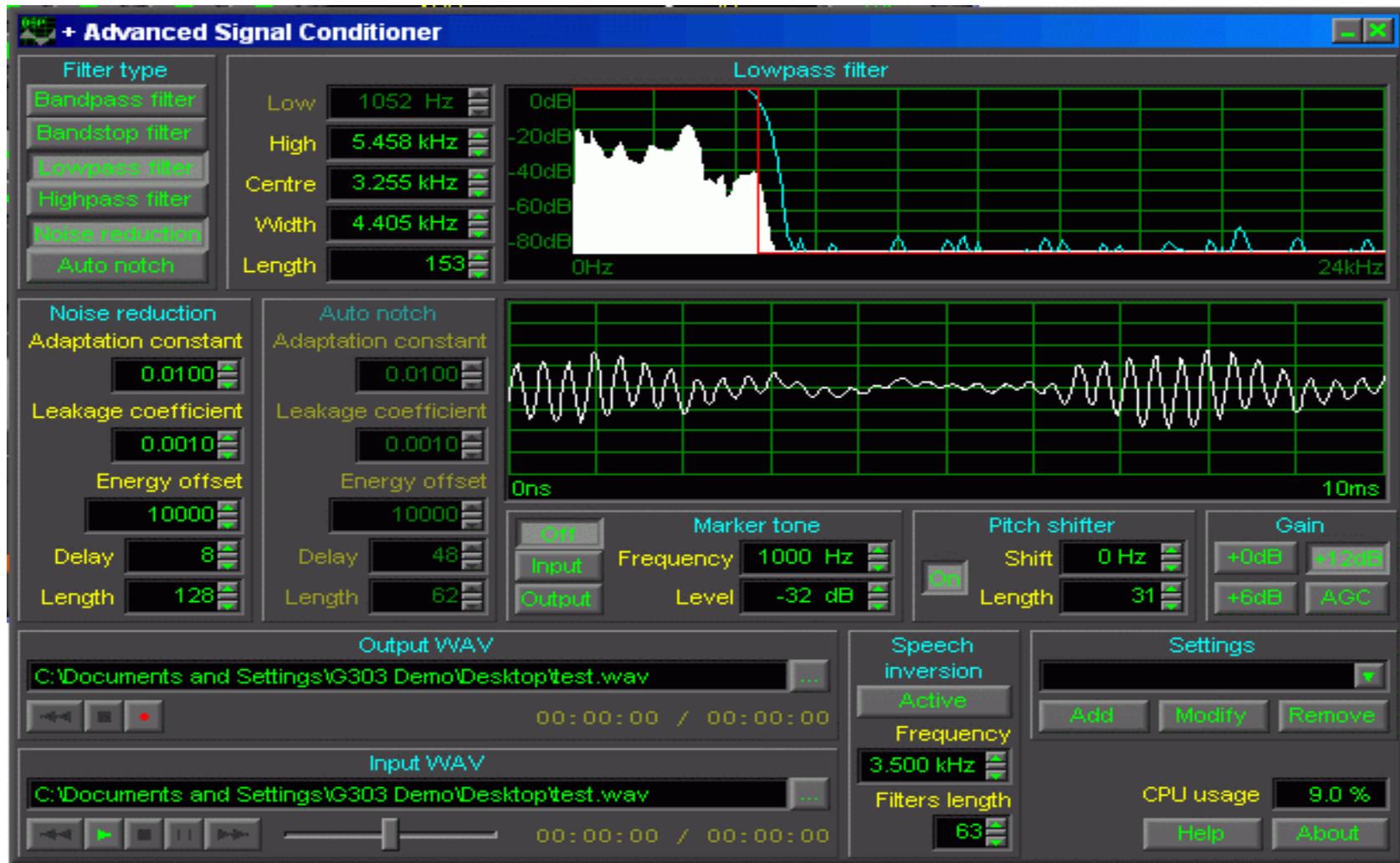
[Specifications](#) | [Screens](#) | [Spectral Scan](#) | [Spectrograms](#) | [Front Panel](#) | [Rear Panel](#) | [F.A.Q.](#)

The **RFspace SDR-14** is a 14-bit software defined radio receiver. It offers a broad range of spectrum analyzer and demodulation capabilities. The hardware samples the whole 0-30 MHz band using a sampling rate of 66.667 MHz. The digital data from the ADC is processed into I and Q format using a direct digital converter (DDC). The I and Q data is then sent to the PC for processing using a USB interface. All of the demod and spectral functions are done on the PC side. The Panoramic adapter application is for use with communications receivers HF band IF frequencies at 8.83, 10.7, 21.4 MHz. etc). The connection between the SDR-14 and your PC is the USB jack on the [rear panel](#). The SDR-14 is USB 2.0 'Full Speed' and is also fully compatible with USB 1.1.

Quelle: <http://www.universal-radio.com/catalog/commrivr/0014.html>

# 11.3 Software Defined Radio (5)

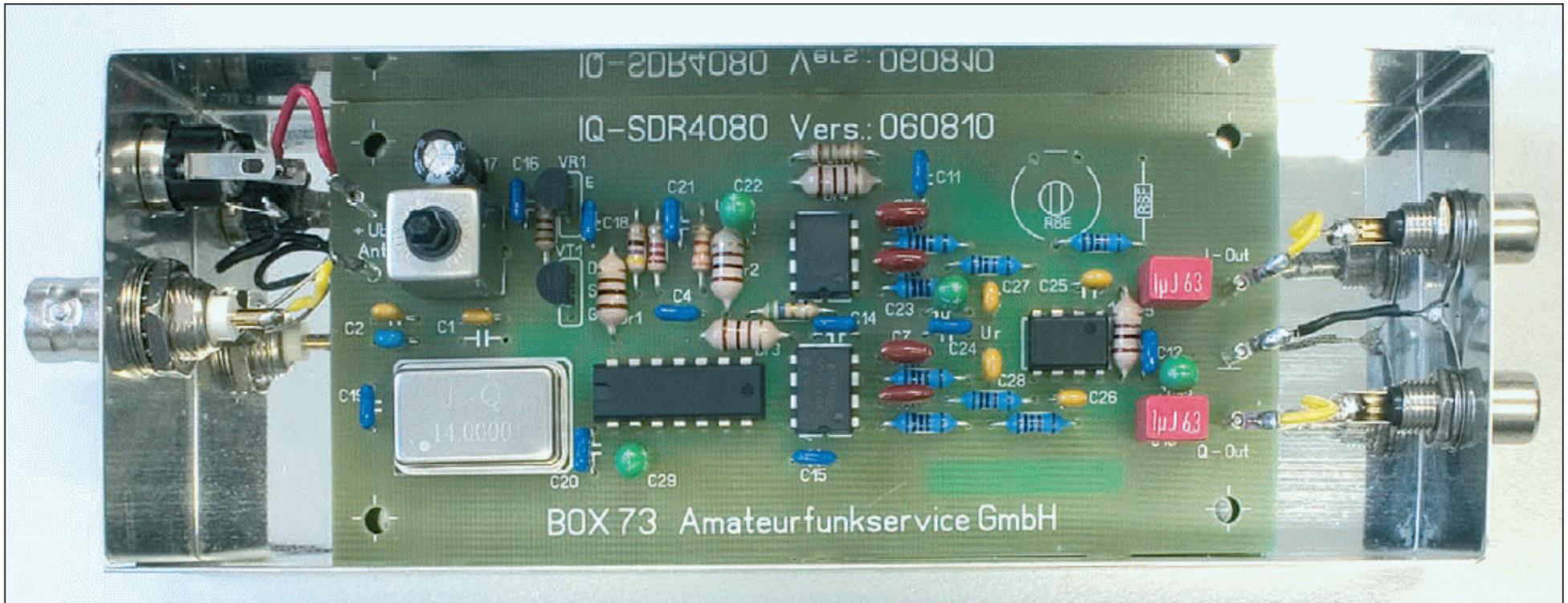
- Ein Beispiel für eine Bedienoberfläche:



Quelle: <http://www.winradio.com/home/g303-ads.htm>

# 11.3 Software Defined Radio (6)

- Beispiel für eine Zwischenstufe:

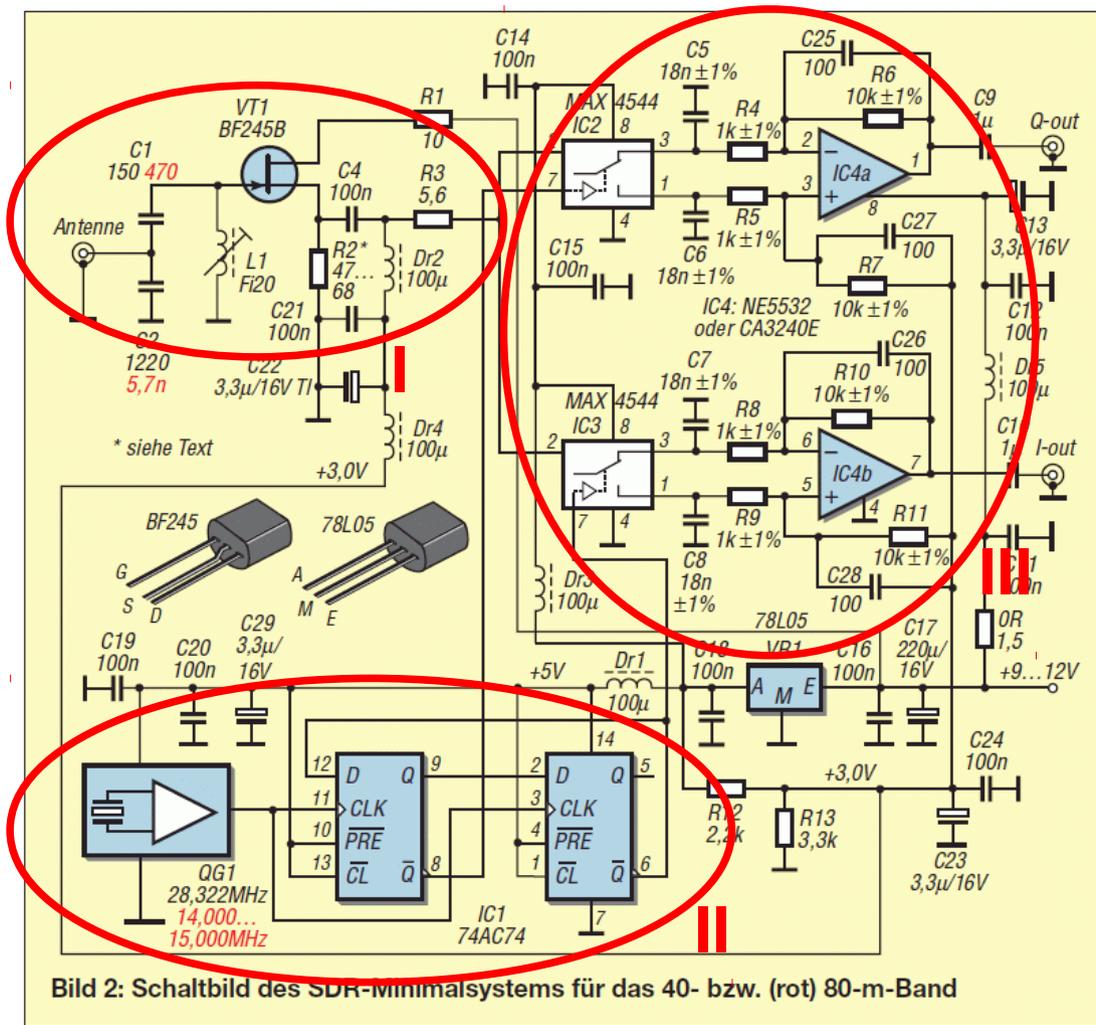


(Blockschaltbild)

Quelle: Klaus Raban: SDR-Einsteiger-Kit für 40 bzw. 80 m

# 11.3 Software Defined Radio (7)

- Beispiel für eine Zwischenstufe:



Quelle: Klaus Raban: SDR-Einsteiger-Kit für 40 bzw. 80 m

## 11.3 Software Defined Radio (8)

---

- Beispiel für eine besonders interessante Entwicklung:



Quelle: <http://www.funcubedongle.com/> am 19.5.2011

# 11.3 Software Defined Radio (9)

---

- SDRadio

Bedeutung im Englischen .....

Was im RX erfolgt, geht auch im TX (und im TRX).