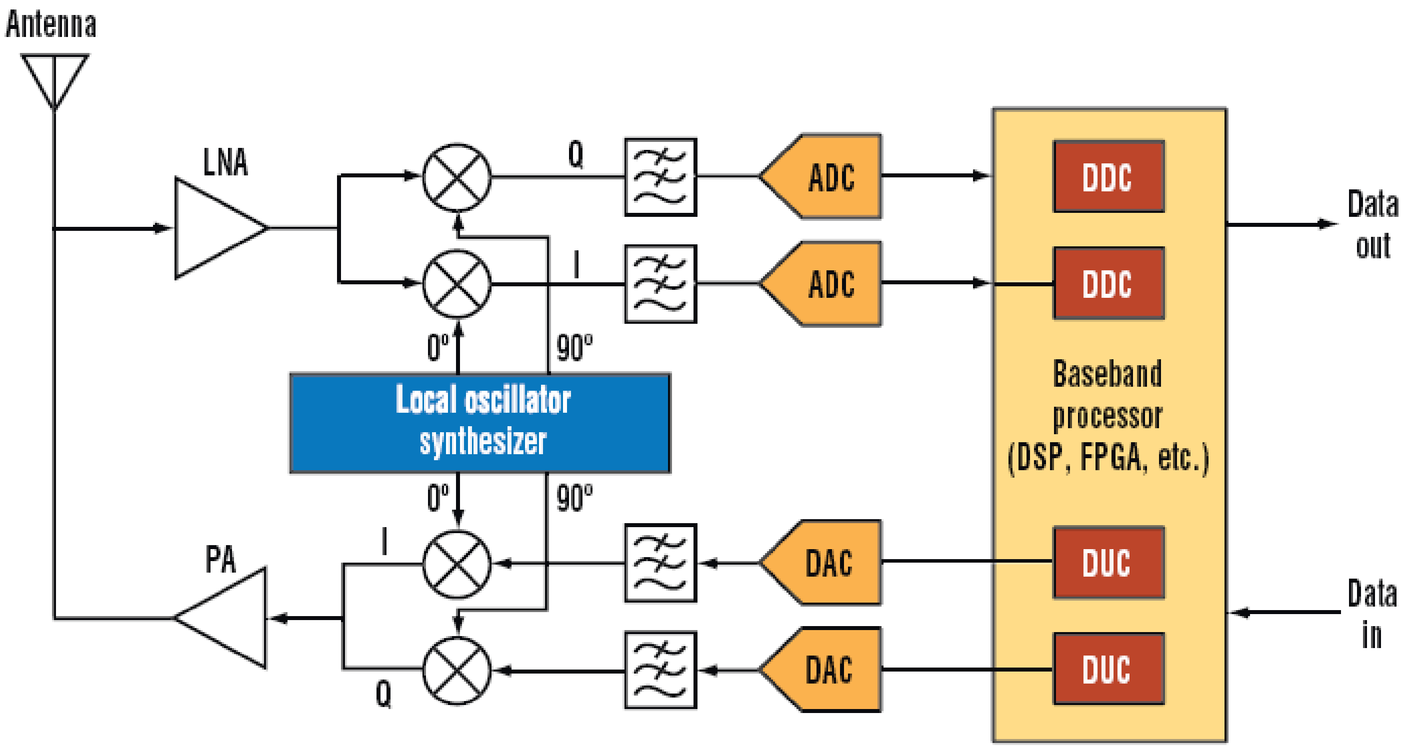
Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften

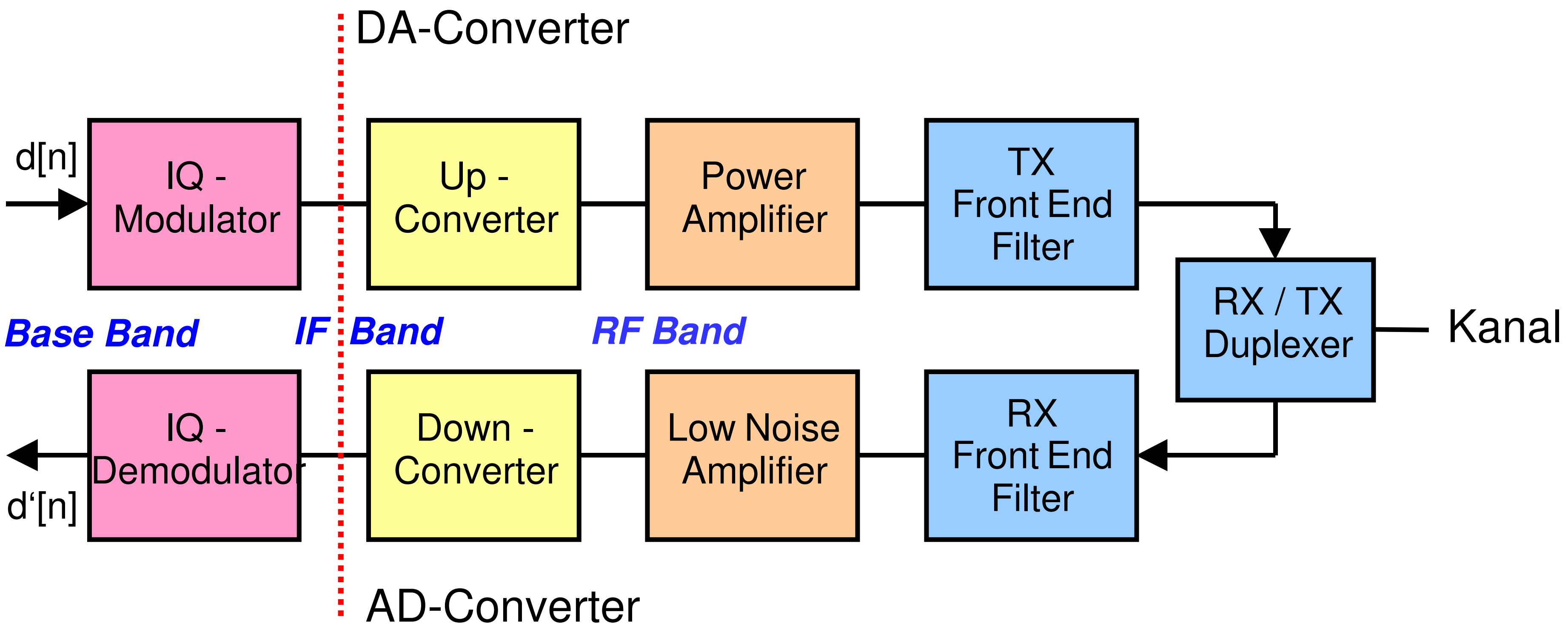
School of
Engineering

Sender- / Empfängerarchitekturen



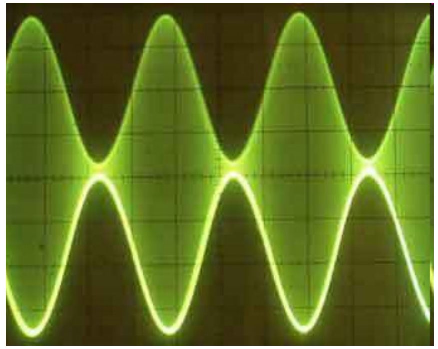
Sender (TX) und Empfänger (RX)

- RF-Band wird genutzt um mehr Bandbreite zu haben und um sich an den Übertragungskanal anzupassen
- Moderne Sender Empfänger bestehen aus einem DSP Teil für Base-Band und IF-Band sowie einem breitbandigen RF-Teil



Betrachtung am Beispiel Funktechnik: grösste Komplexität

Modulation

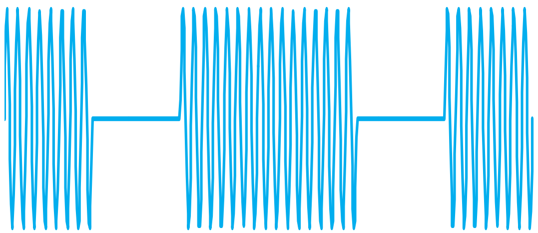


Wozu ?

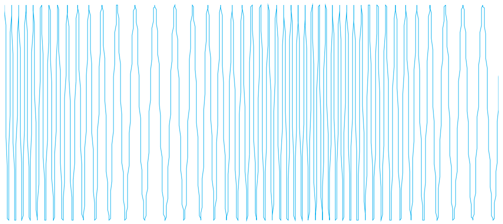
- Kanal ist nur in bestimmten Frequenzbereich nutzbar
- Signal muss einem Träger eingeprägt werden

- Folgende Möglichkeiten bieten sich an:

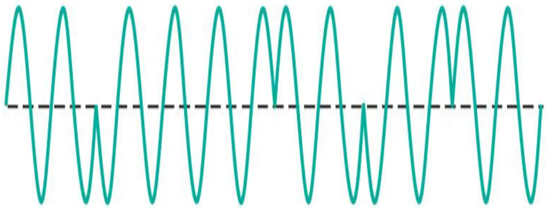
$$v = V_c \sin\left(2\pi f_c t + \theta\right)$$



amplitude modulation



frequency modulation

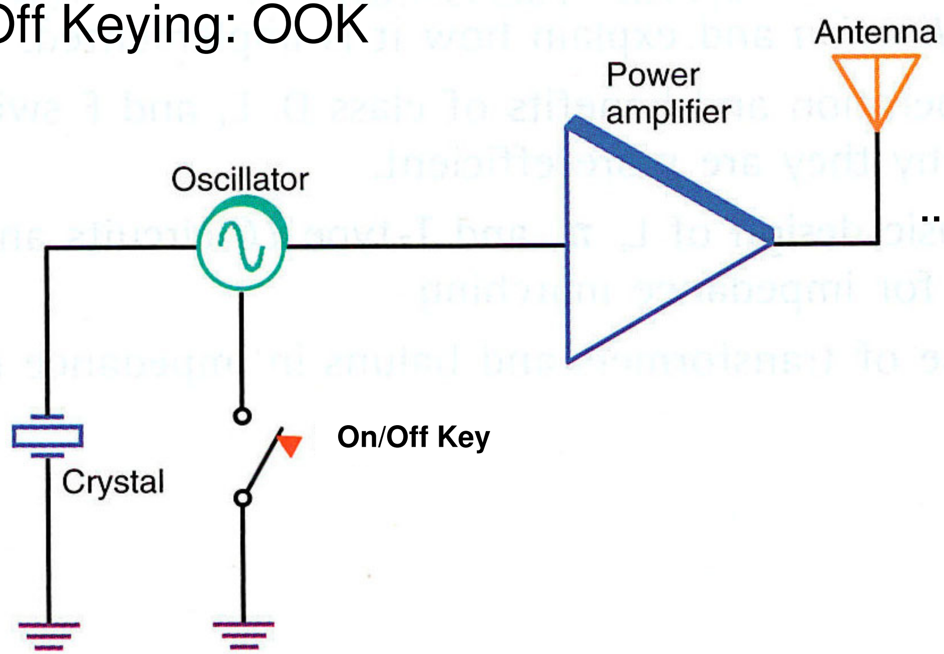


phase modulation

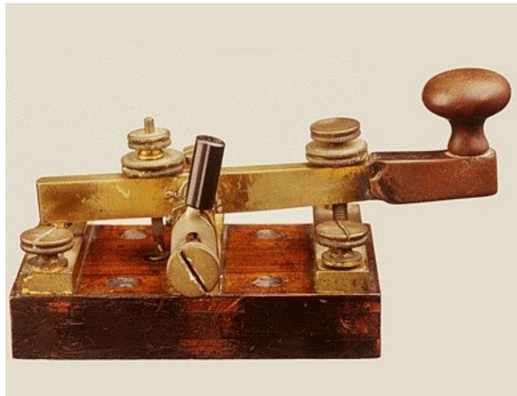
angle modulation

Modulation Amplitude
Einfachste Sendearchitektur

On/Off Keying: OOK



...oder Kabel oder Glasfaser

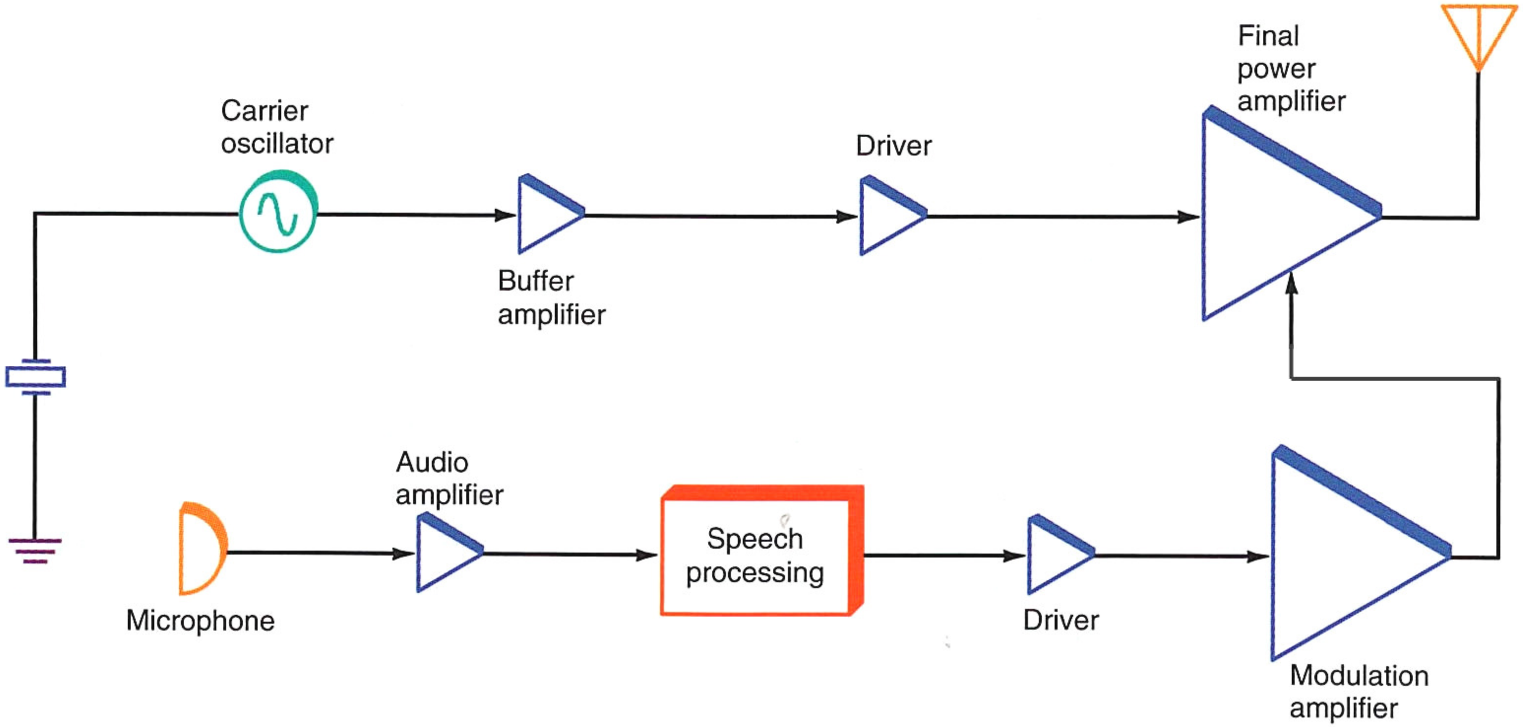


Minimale Komponenten:
einen frequenzstabilen Oszillator (Quarzoszillator)
einen Modulator (Schalter)
einen Leistungsverstärker
eine Antenne

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering

AM-Sender

für allg. Modulationssignale

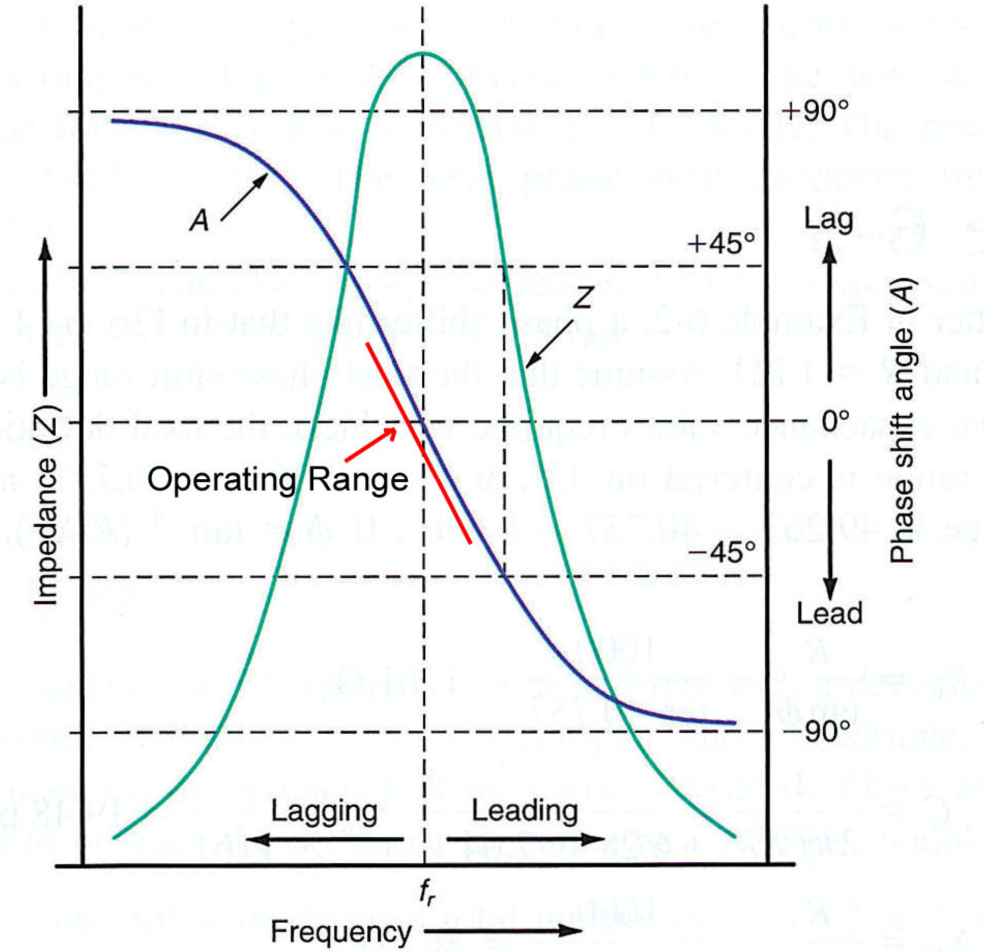


Lineare Signale steuern Arbeitspunkt des HF-Verstärkers und damit die Verstärkung:

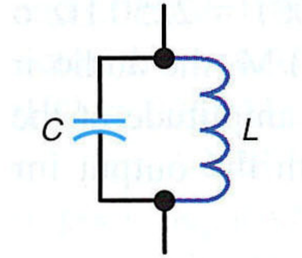
→ Amplitudenmodulation AM

Beispiele:
- Mittelwellen Radio
- Kurzwellenfunk
- Flugfunk

Modulation Phase / Frequenz

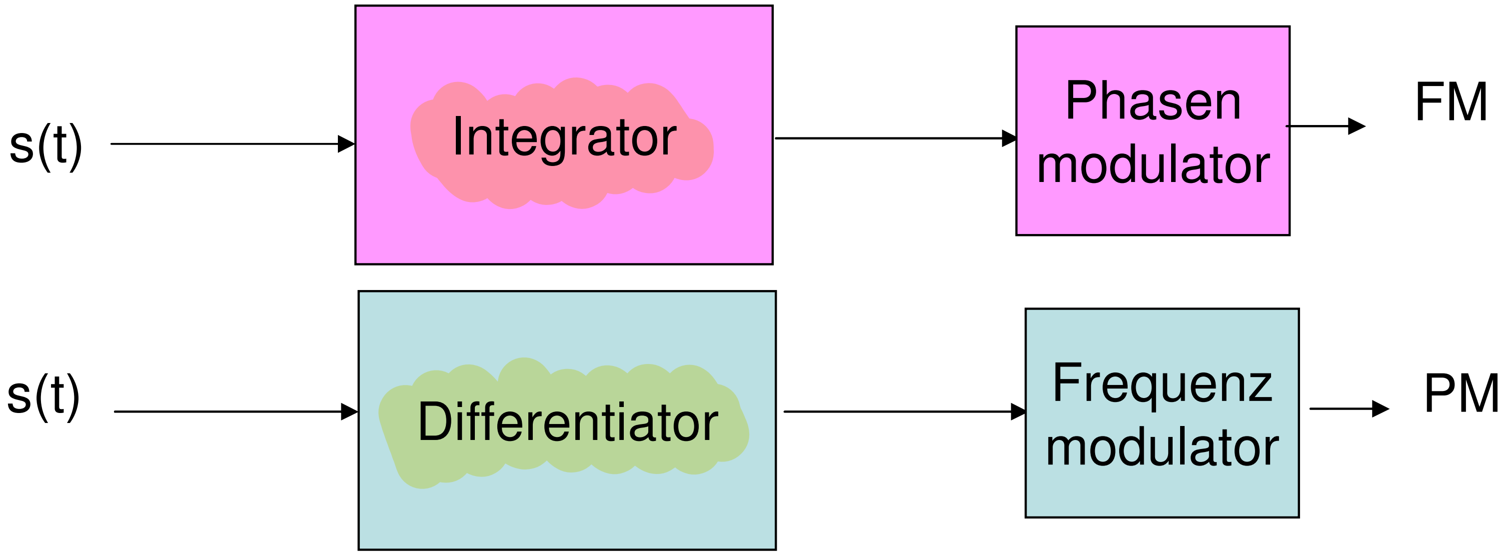


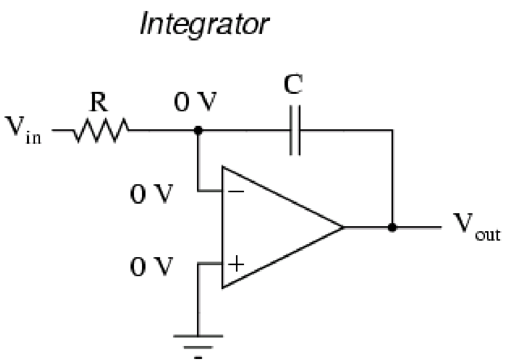
Frequenzgang Z(f)

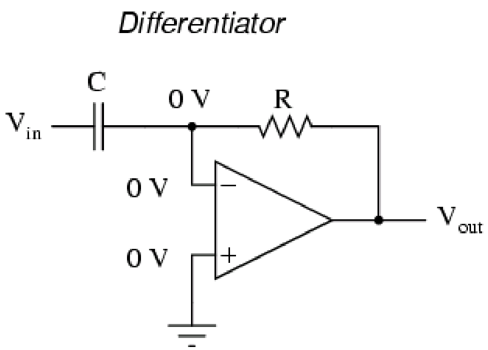


- Verstimmen des Schwingkreises in einem Filter führt zu Phasenverschiebung bei der Sendefrequenz → PM
- Verstimmen des Schwingkreis in einem Oszillator führt zur Veränderung der Schwingbedingung → FM

Modulation Phase / Frequenz

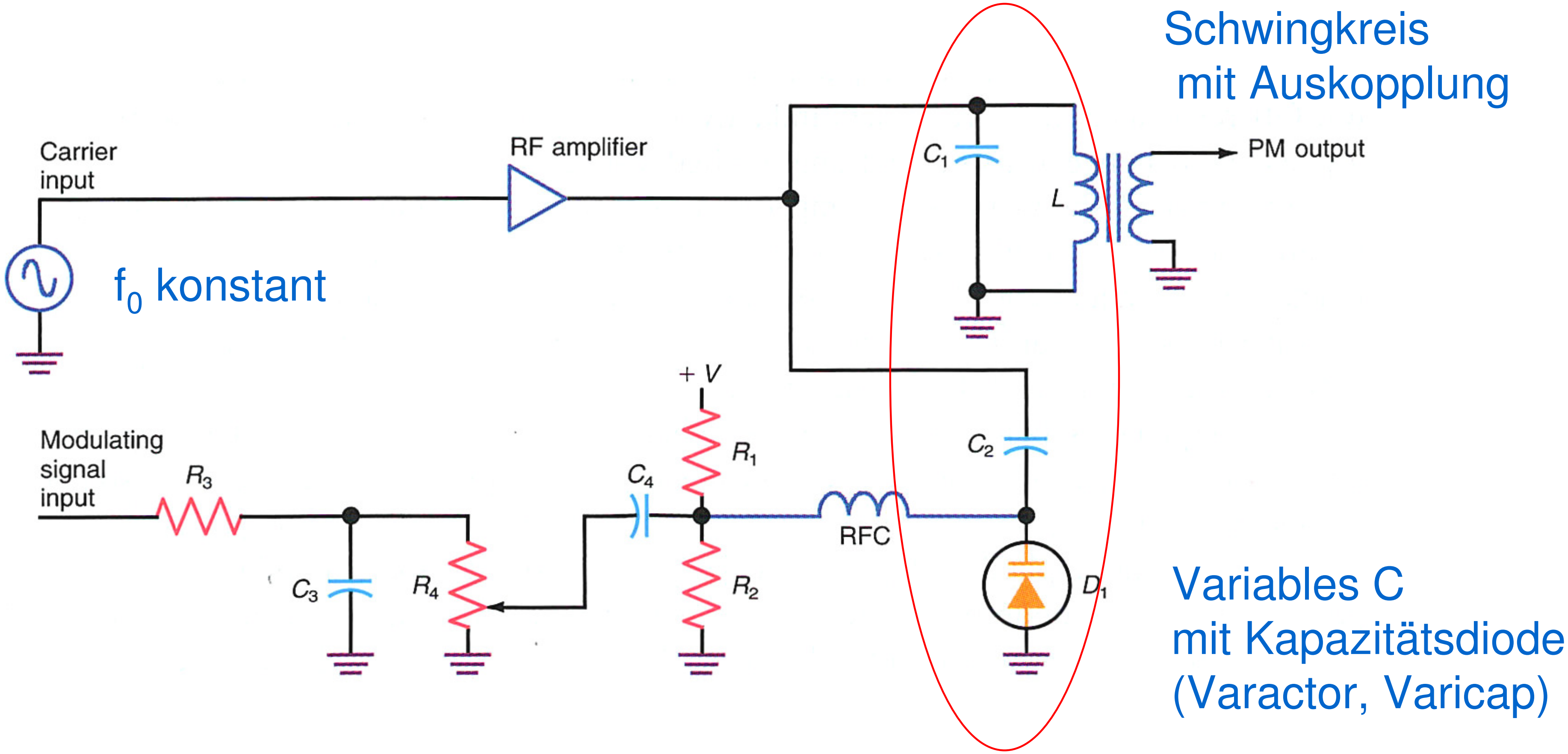






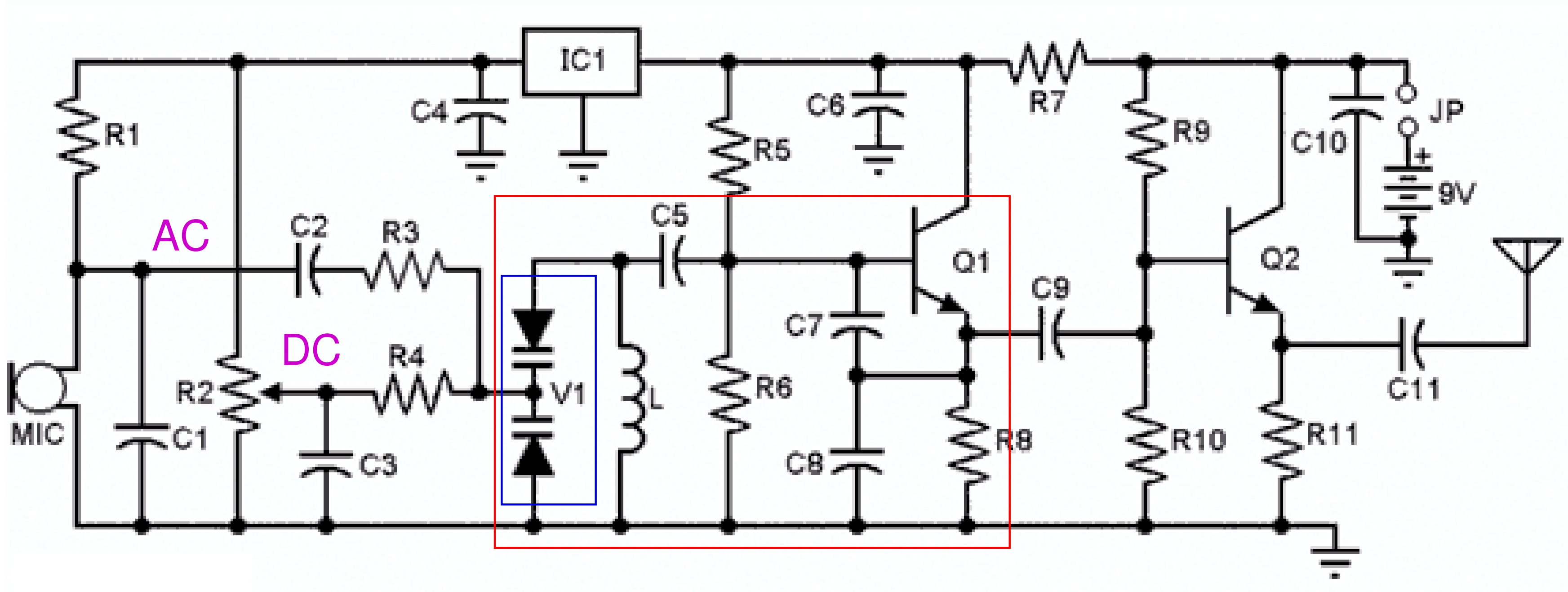
→ Alternative FM- bzw. PM- Erzeugung mit Hilfe von Vorverarbeitung

Einfacher Phasen-Modulator



Verstimmen des Schwingkreises C_1L führt zu Phasenverschiebung bei der Sendefrequenz

Einfacher Frequenz-Modulator

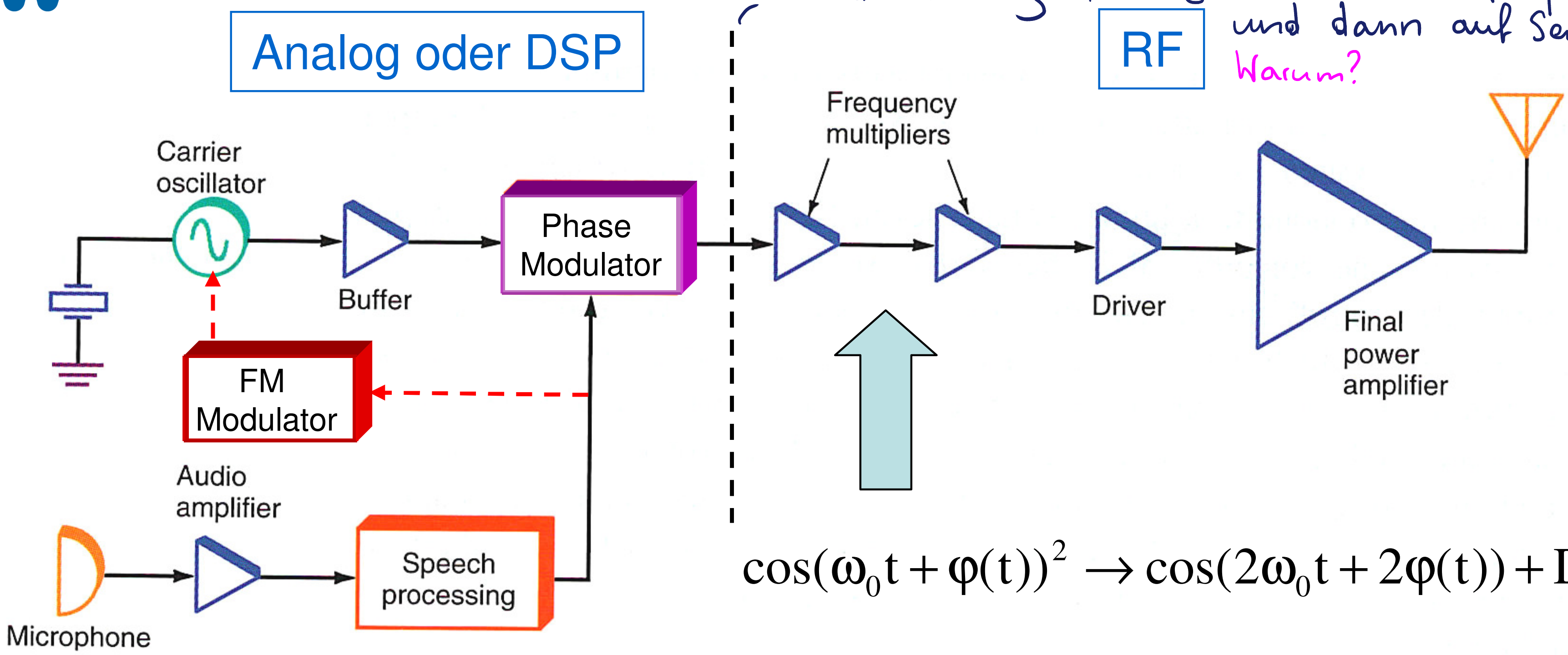


Verstimmen des Schwingkreises C_7, C_8, L, V_1 führt zu Änderung der Sendefrequenz (Colpitts-Oszillator in Kollektorbeschaltung um Q_1)

V_1: Variables C
mit Kapazitätsdiode V1
(Varactor, Varicap)

PM / FM - Sender

entweder analog oder digital (DSP) auf Zwischenfrequenz
und dann auf Sendefrequenz
Warum?



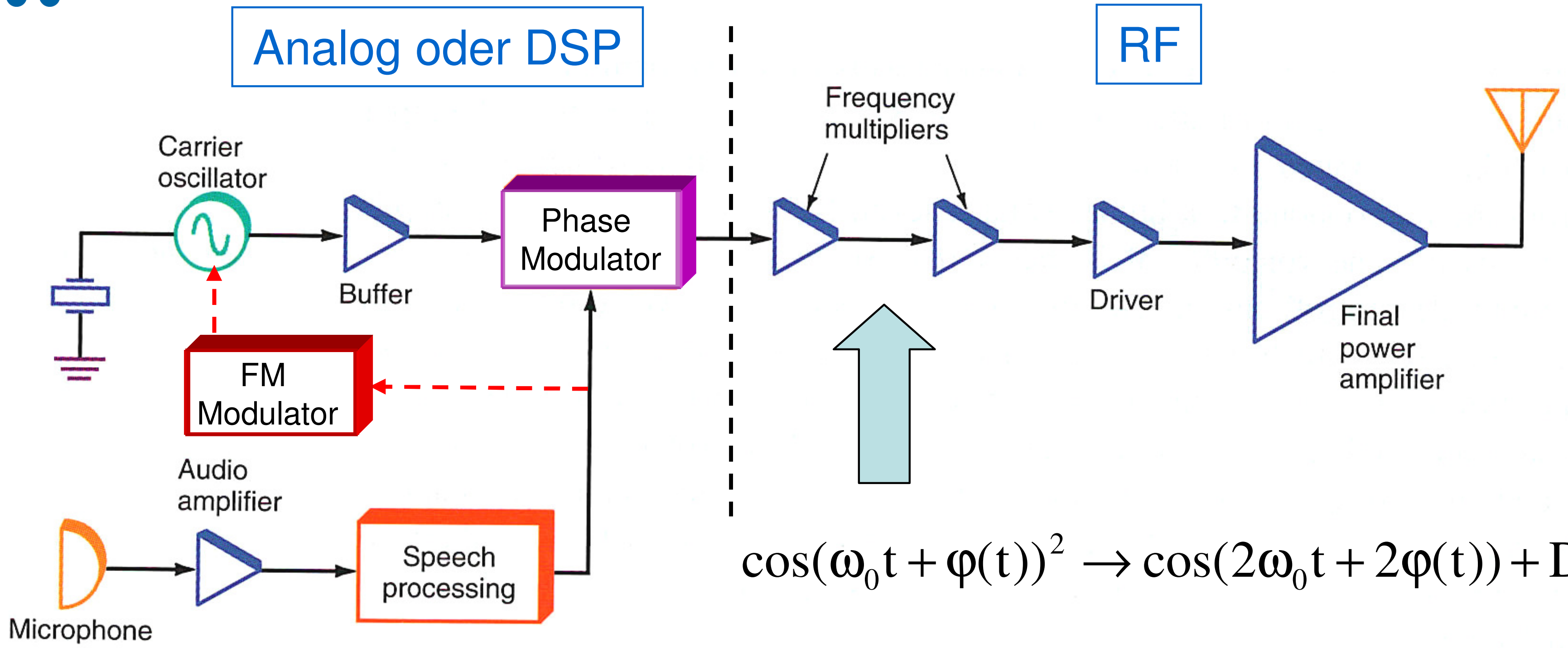
$$\cos(\omega_0 t + \varphi(t))^2 \rightarrow \cos(2\omega_0 t + 2\varphi(t)) + DC$$

	Analog	/	DSP
PM:	Schwingkreis verstimmen mit Varicap	/	Direct Digital Synthesis
FM:	Oszillator verstimmen mit Varicap	/	Direct Digital Synthesis

Vorteil von PM/FM im Sender:

Endstufe muss nicht linear sein (Klasse C) → bessere Effizienz als AM

PM / FM - Sender



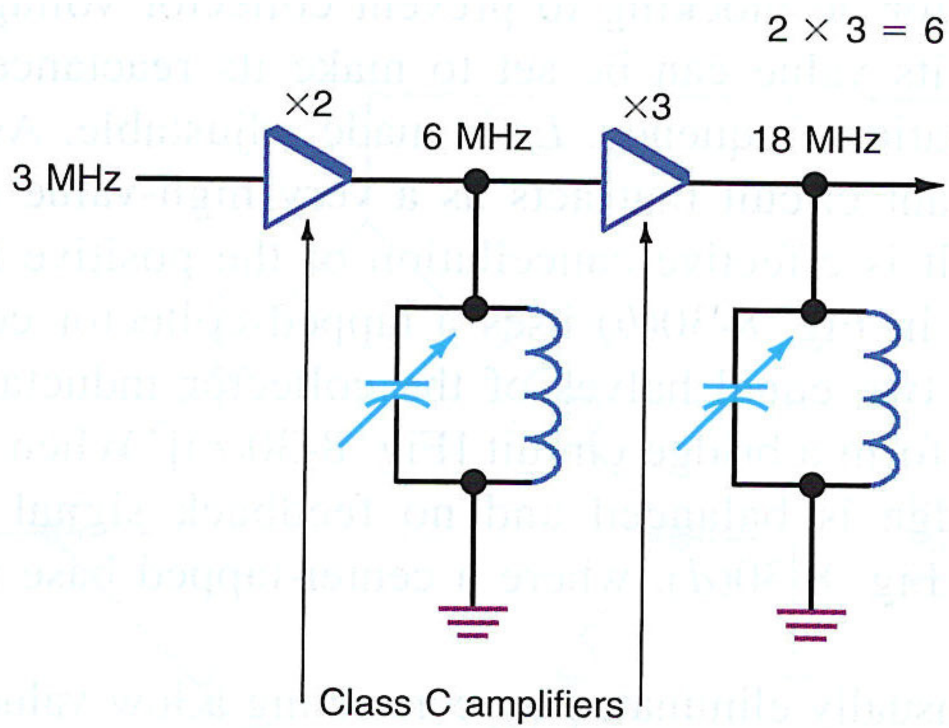
$$\cos(\omega_0 t + \varphi(t))^2 \rightarrow \cos(2\omega_0 t + 2\varphi(t)) + DC$$

Analog	/	DSP
PM: Schwingkreis verstimmen mit Varicap	/	Direct Digital Synthesis
FM: Oszillator verstimmen mit Varicap	/	Direct Digital Synthesis

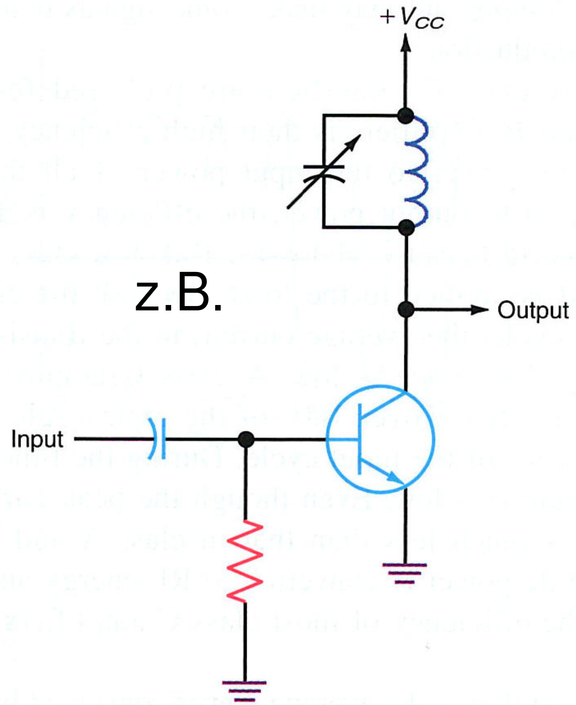
Vorteil von PM/FM im Sender:

Endstufe muss nicht linear sein (Klasse C) → bessere Effizienz als AM

FM / PM Frequenzvervielfachung



z.B.

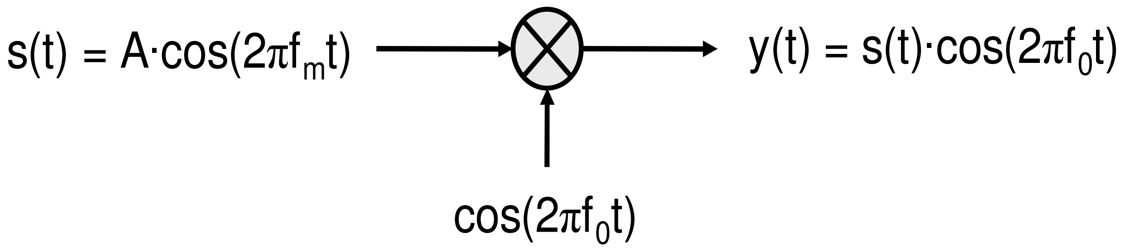


- Modulator bei niedriger Zwischenfrequenz realisieren
- Signal durch Nichtlinearitäten auf Sendefrequenz multiplizieren
- Effiziente Nichtlinearitäten sind Klasse C Verstärker und Mischer: Schaltbetrieb
- Filtern der Harmonischen mit abgestimmten Parallelschwingkreisen
  oder Quarz-, SAW-, LC Filter

Surface Acouistic Wave

Beispiele: FM Sender UKW, TV, CB-Funk

Mischen:
Multiplikation mit Trägerschwingung



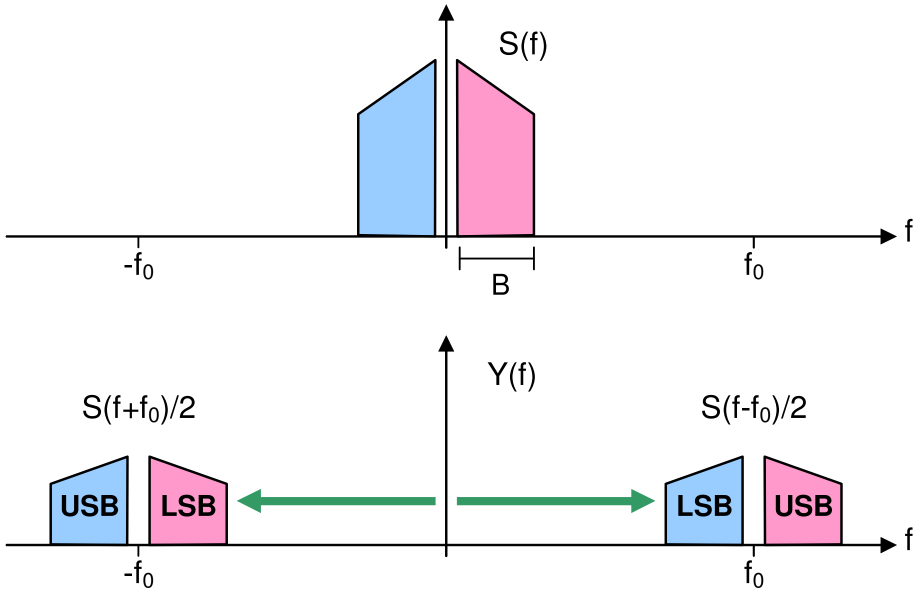
Ausgangssignal: $y(t) = s(t)\cdot\cos(2\pi f_0 t)$

Spektrum: $Y(f) = (1/2)\cdot S(f+f_0) + (1/2)\cdot S(f-f_0)$

→ Double Sideband (DSB)

Signal um f_0 gespiegelt

Quadratur-
=> Inphasen-Modulator

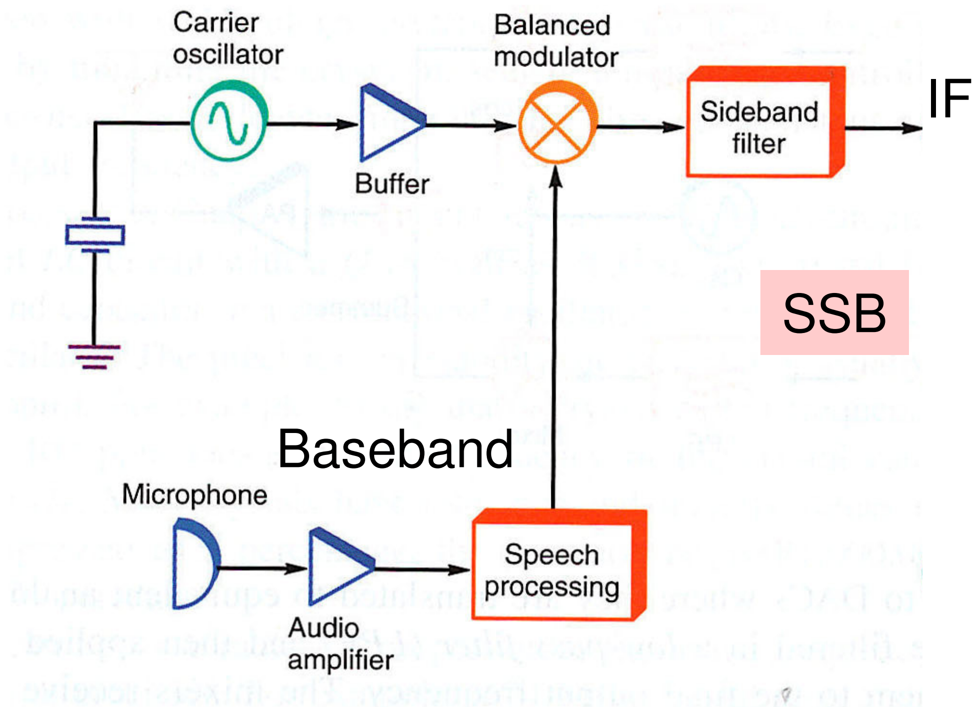


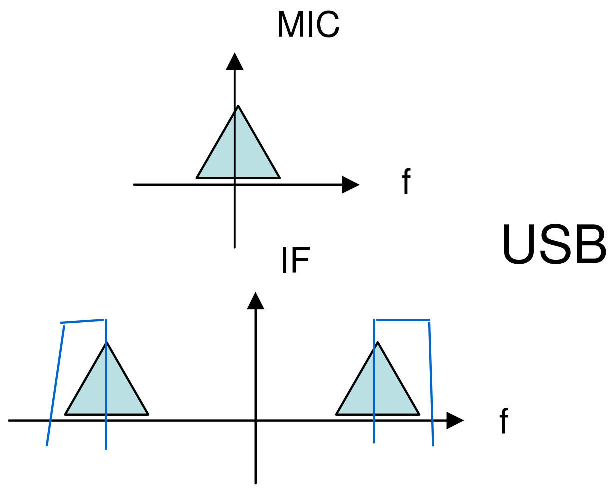
Note: Enthält A DC-Anteil entsteht AM (DSB plus Träger)

USB
mit Daten belegen

SSB Sender

Bandbreite sparen: Single Sideband (SSB) Modulation





Filtermethode:

- Unbedingt Zwischenfrequenz (ZF, IF) verwenden
- Benötigt steiles Seitenbandfilter (Quarzfilter) auf ZF
  → Lower oder Upper Sideband (LSB/USB)

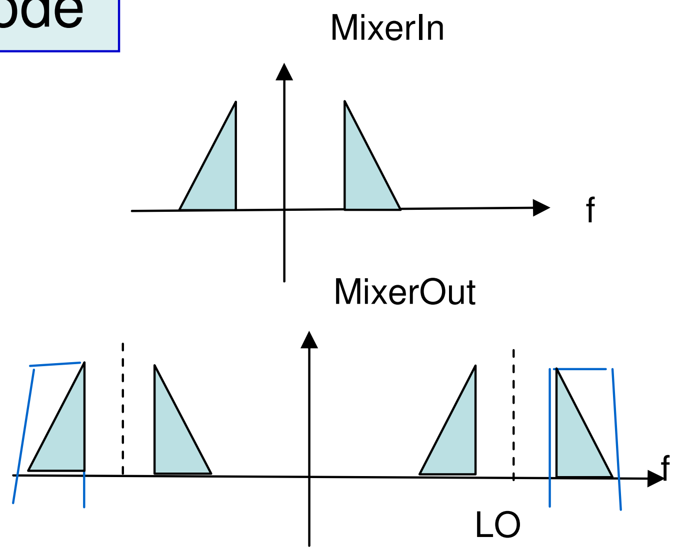
Notes: - ohne Seitenbandfilter erhält man DSB
- mit Unbalanced Modulator (Mischer mit DC-Offset) entsteht AM

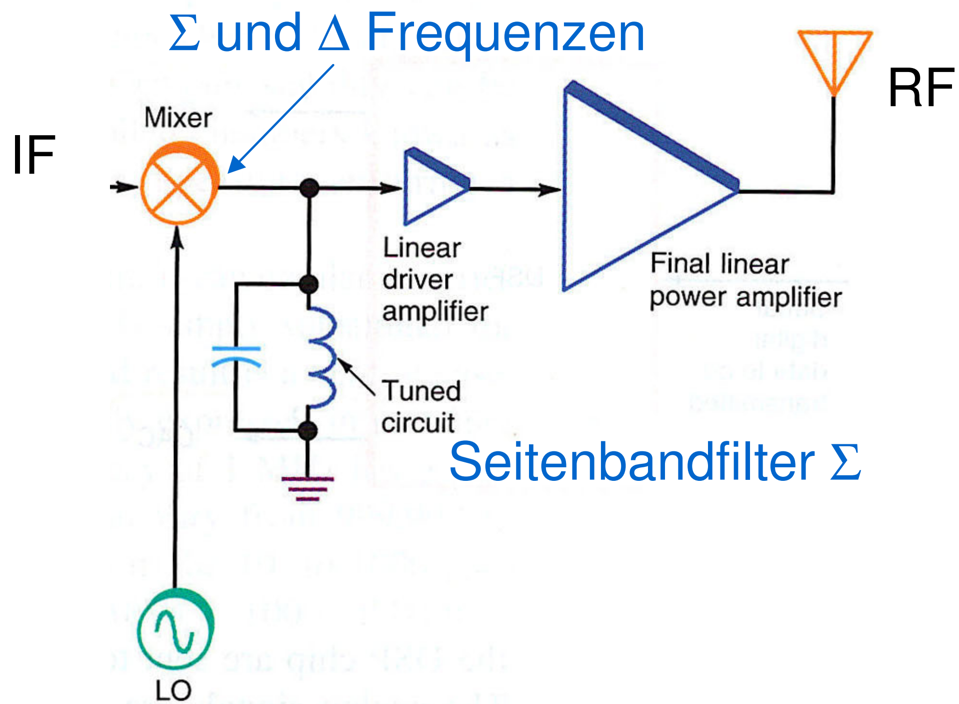
IF to RF Conversion

Radio Frequency (Funkfreq.)

Dies ist eigentlich nichts anderes als SSB mit dem IF-Signal als Input (kleine relative Bandbreite)

Ansatz 1:
- Filtermethode





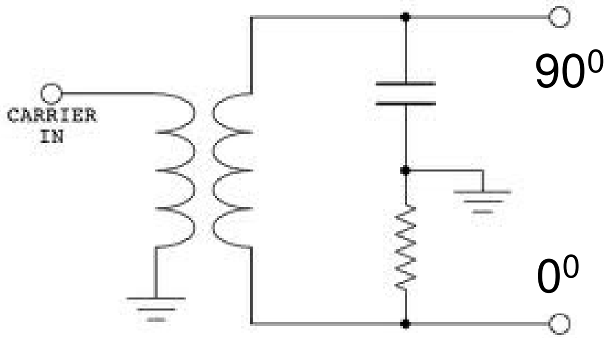
Bsp. ZF = 10.7 MHz, LO = 87.3 MHz → RF = 98 MHz, B = 100 kHz

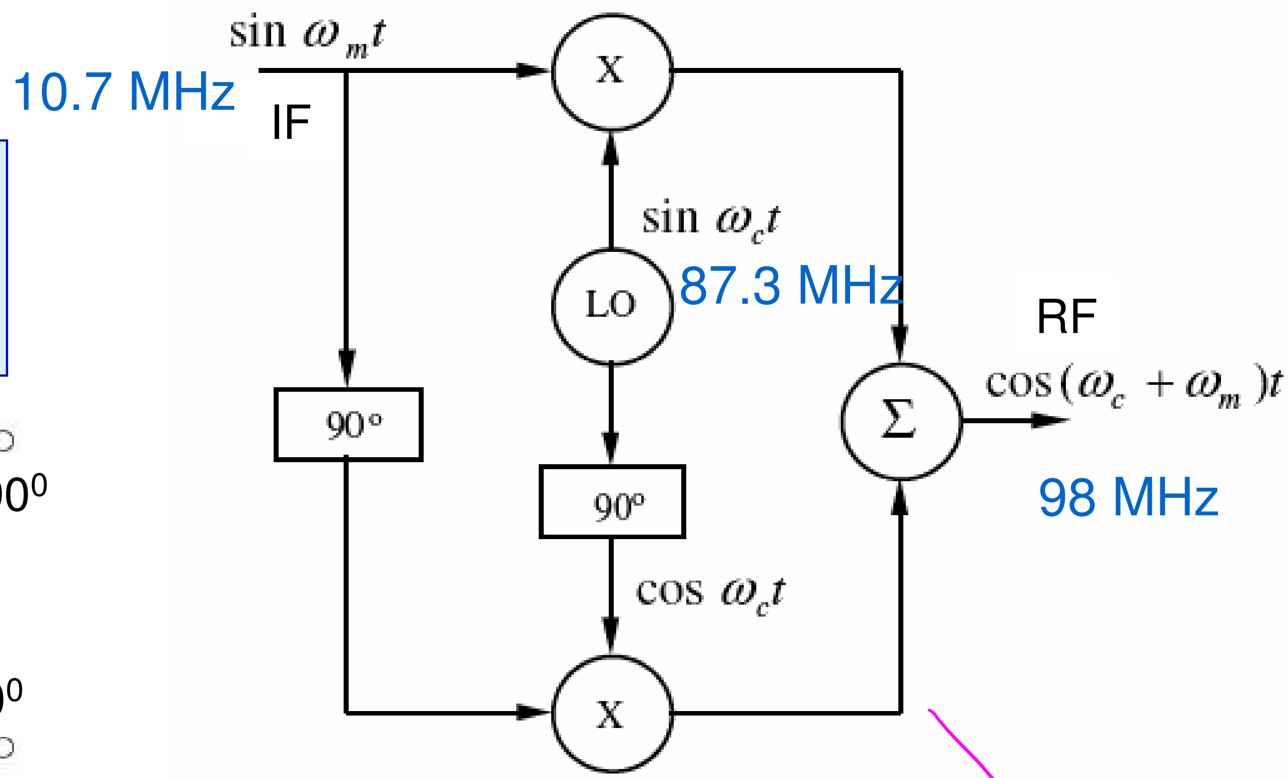
Filter muss erst bei 87.3 MHz oder 76.6 MHz stark dämpfen

IF to RF Conversion

Dies ist eigentlich nichts anderes als SSB mit dem IF-Signal als Input (kleine relative Bandbreite)

Ansatz 2:
- 90^0 Phasenschieber (Allpass)





Bsp. FM Radio: ZF = 10.7 MHz, LO = 87.3 MHz → RF = 98 MHz, B = 100 kHz,

90^0 Phasenschieber bei 10.7 MHz machbar, muss nur 1% Bandbreite abdecken

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften

School of Engineering

Die moderne SSB-Erzeugung

Amplitude Phase

Nachrichtensignal (Inphase): $i(t) = V_m \cos(2\pi f_m t + \phi_m)$

Frequenz

Sendesignal (z.B. LSB): $s(t) = V_m \cos(2\pi(f_c - f_m)t - \phi_m)$

Wie kann ich das erzeugen?

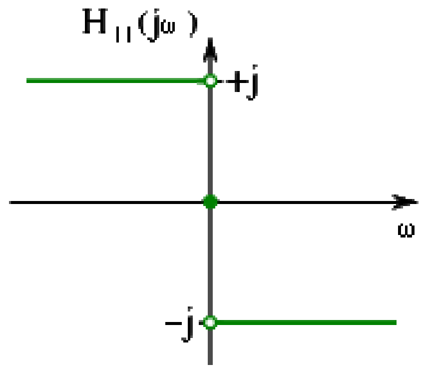
$$s(t) = V_m \cos(2\pi(f_c - f_m)t - \phi_m) = V_m \cos(2\pi f_m t + \phi_m) \bullet \cos(2\pi f_c t) + \boxed{V_m \sin(2\pi f_m t + \phi_m)} \bullet \sin(2\pi f_c t)$$

s(t) hat nur noch 1 SB

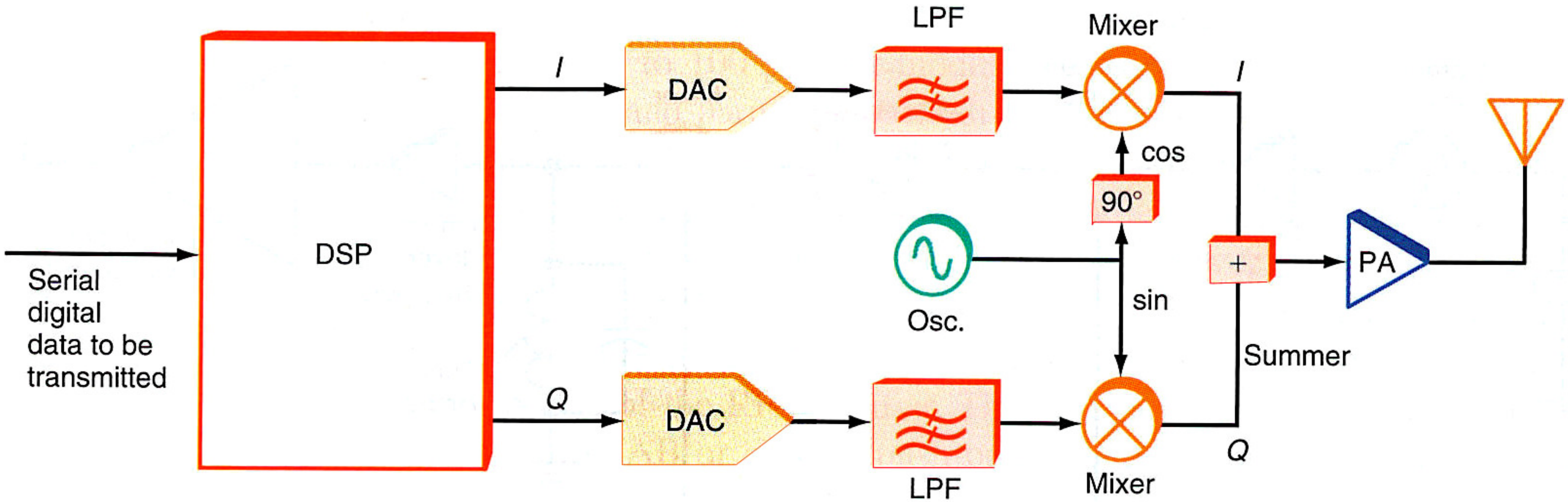
$$q(t) = V_m \sin(2\pi f_m t + \phi_m)$$

Allg. Erzeugung des Quadratursignals q(t):
Hilberttransformierte von i(t) mit DSP berechnen,
d.h. Filterung von i(t) mit H_H

Hilbert Transformation siehe Wikipedia



Die moderne Senderlösung heisst
I/Q-Modulation



Anwendungen:

Independent Side Band (unabh. Nachrichten pro SB)

- Für SSB, ISB sofern I und Q ein Hilbert-Paar sind (90^0 phasenverschoben).

  Hilbert Transformation siehe Wikipedia

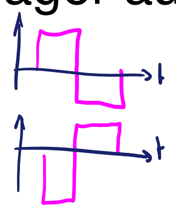
- Für komplexe Modulationen:

  Signale I und Q im selben Band übertragen und im Empfänger wieder zerlegen, indem man die Orthogonalität von Sinus und Cosinusträger ausnutzt.

Signale normal aufeinander beeinflussen einander nicht

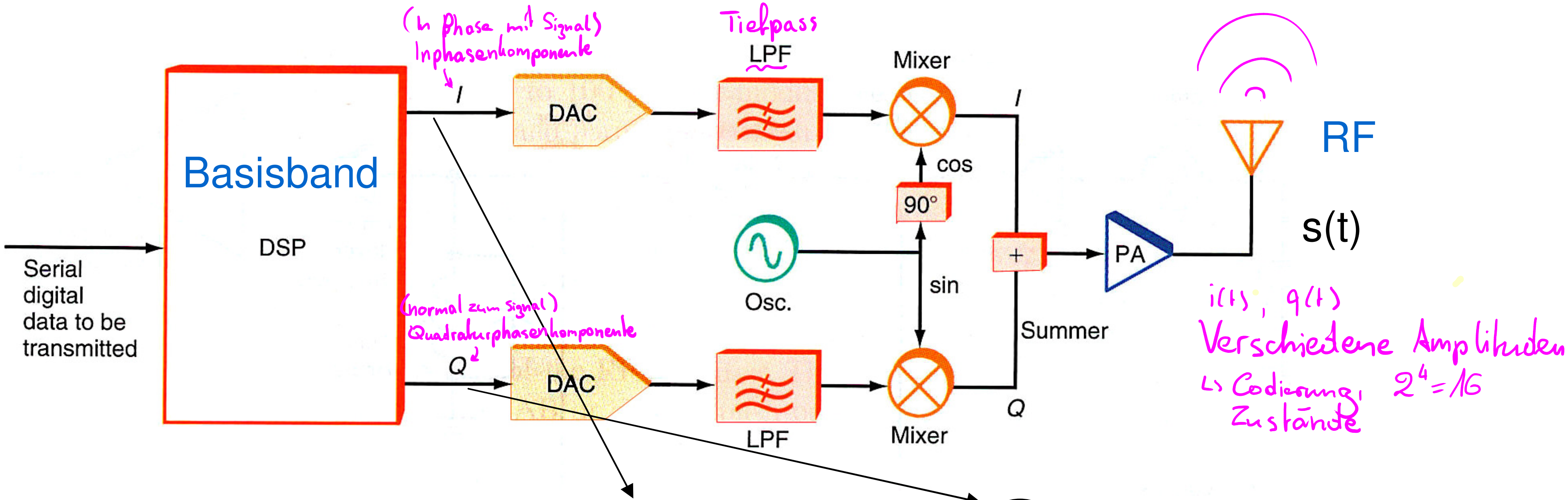
$$\int_T \sin(\omega t)\cdot\cos(\omega t)\cdot dt = 0$$

(Inprodukt = 0) (Inprodukt Max, wenn beide Vekt. in selbe Richtung)



Die komplexe Modulation

Man kann 2 beliebige Signale im selben Band übertragen und im Empfänger wieder zerlegen !



$$s(t) = V(t)\cdot\cos(2\pi f_c t - \phi(t)) = i(t)\cdot\cos(2\pi f_c t) + q(t)\cdot\sin(2\pi f_c t)$$

inphase · cos   quadr. · sin

- Führt zu den heute verbreiteten digitalen komplexen Modulationsverfahren: i(t) und q(t) nehmen je für eine Anzahl Bit den entsprechenden analogen Wert an
- I und Q kann man als komplexes Zeitsignal i(t)+jq(t) auffassen
- Diese Architektur nennt man auch Direct Up-Conversion

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften

zh
aw School of Engineering

Beispiel komplexe Modulation: QAM

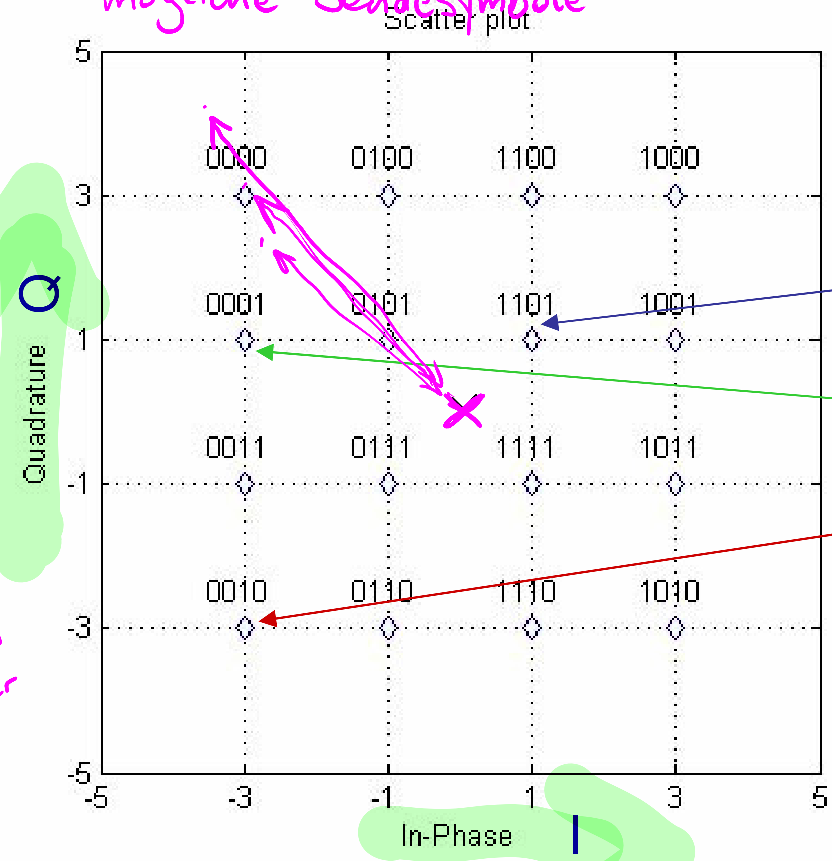
I-Signal: I(t) mit 4 möglichen DC-Werten: ±1 und ±3
Q-Signal: Q(t) mit 4 möglichen DC-Werten: ±1 und ±3

Inphasen- & Quadratur-Komponente

→16-QAM: Quadratur Amplitude Modulation: 4 Bit ergeben 1 Symbol

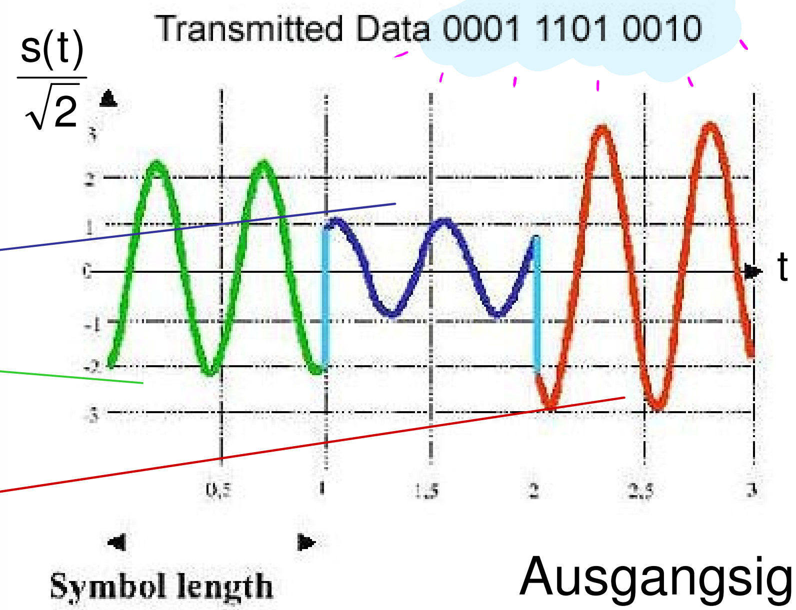
Abstand x zu Symbol ist das SNR

mögliche Sendesymbole



SNR erhöhen durch weniger Symbole

$$a \cdot \cos(x) + b \cdot \sin(x) = \sqrt{a^2 + b^2} \cos(x - \text{atan}(b/a))$$



Ausgangssignal

Träger ist gegeben, Zuordnung der Amplitudenwerte durch Tabelle (links)

z.B. DVB-T, ADSL…

Präambel ist notwendig

Mathe für komplexe Zeitsignale

- Grundlage:
  - <u>Fouriertransformation</u>

    Spektren F(ω) sind komplex-wertig
    f(t) darf neu auch komplex sein

alternativ: u(t) oder i(t)

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$ **Spektrum**

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$ **Zeitverlauf**

Inverse Fourier-Trafo

  - <u>Eulersche Formel</u>

$$e^{i*\varphi} = \cos\varphi + i\sin\varphi$$

    bringen cos und sin in Beziehung

$2\cos(2\pi f\cdot t) = e^{j2\pi f\cdot t} + e^{-j2\pi f\cdot t}$

$2\sin(2\pi f\cdot t) = -j\cdot e^{j2\pi f\cdot t} + j\cdot e^{-j2\pi f\cdot t}$

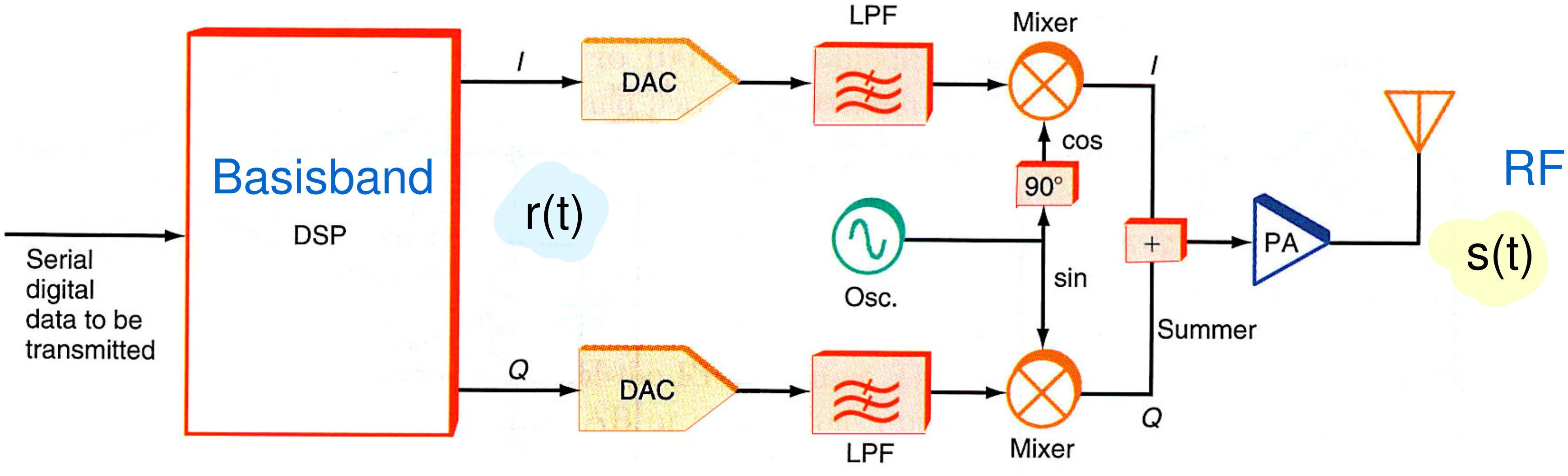
- <u>Operationen am Zeitsignal</u> → <u>Auswirkung im Spektrum</u>

▪ Additionen	→ Additonen im Spektrum
▪ $f(t) = i(t) + j\cdot q(t)$	→ $I(\omega) + j\cdot Q(\omega) = F(\omega)$
▪ Multiplikation mit j / –j	→ Drehung im Spektrum um 90^0 / -90^0
▪ Multiplikation mit $e^{j2\pi f\cdot t}$ / $e^{-j2\pi f\cdot t}$	→ Schieben im Spektrum rechts / links

Note: I / Q-Achsen des Zeitsignal sind nicht direkt vergleichbar mit RE / IM -Achsen des Spektrum

Die komplexe Modulation

Alternative: die komplexe Betrachtung



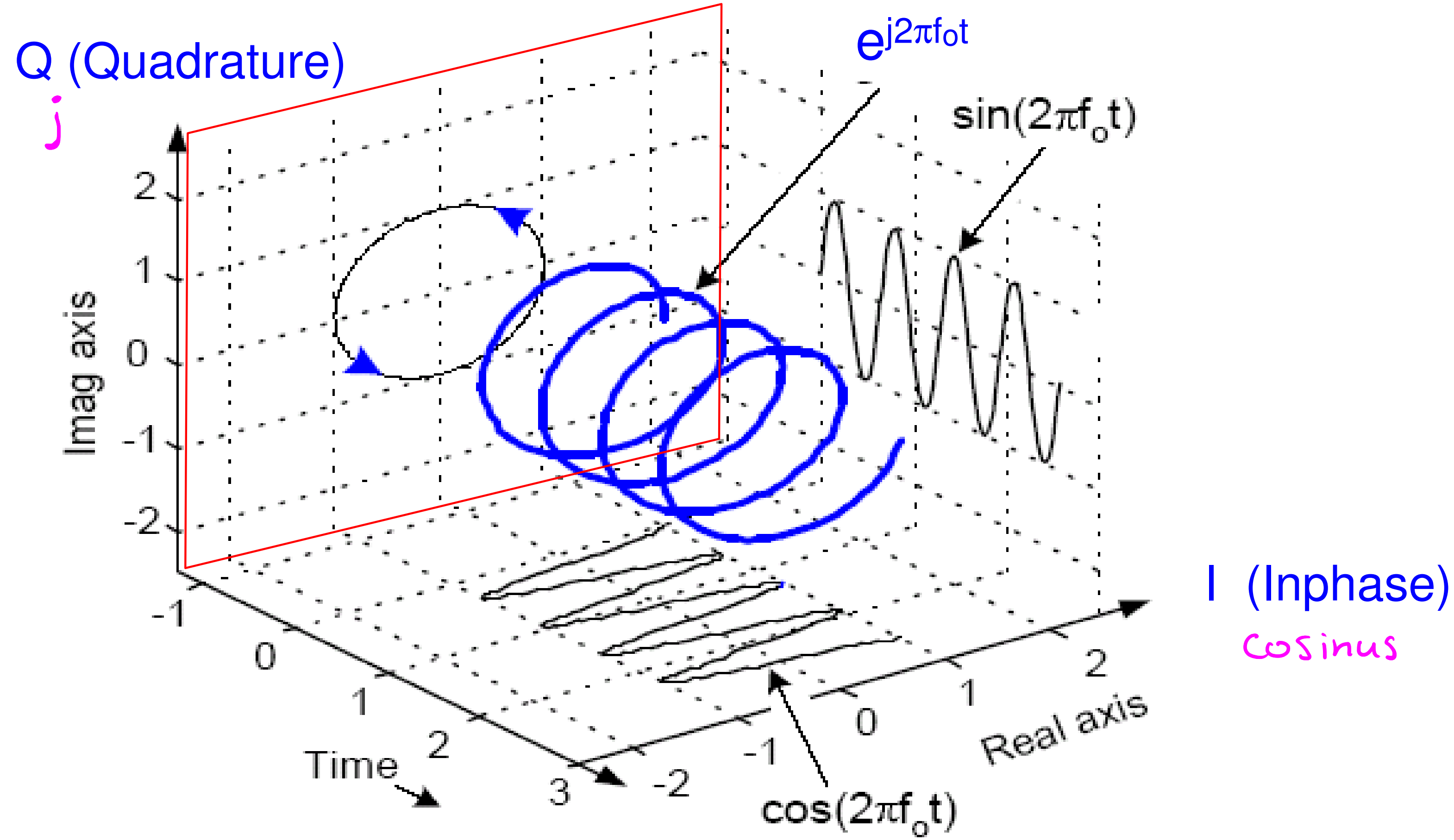
$$r(t) = i(t) + j \cdot q(t)$$

r(t) wird auch als Quadratursignal bezeichnet

$$s(t) = \underbrace{RE}_{\text{Realteil}}\left[r(t) \cdot e^{j\omega_c t}\right]$$

- Das komplexe Spektrum R(ω) ist die Summe des Spektrums von I(ω) und dem mit j multiplizierten Spektrum von Q(ω) des komplexen Basisbandsignals r(t).
- Um S(ω) zu erhalten wird R(ω) wird nach rechts geschoben um ω_c und symmetrisch zur S-Achse ergänzt damit ein reelles Signal s(t) resultiert,

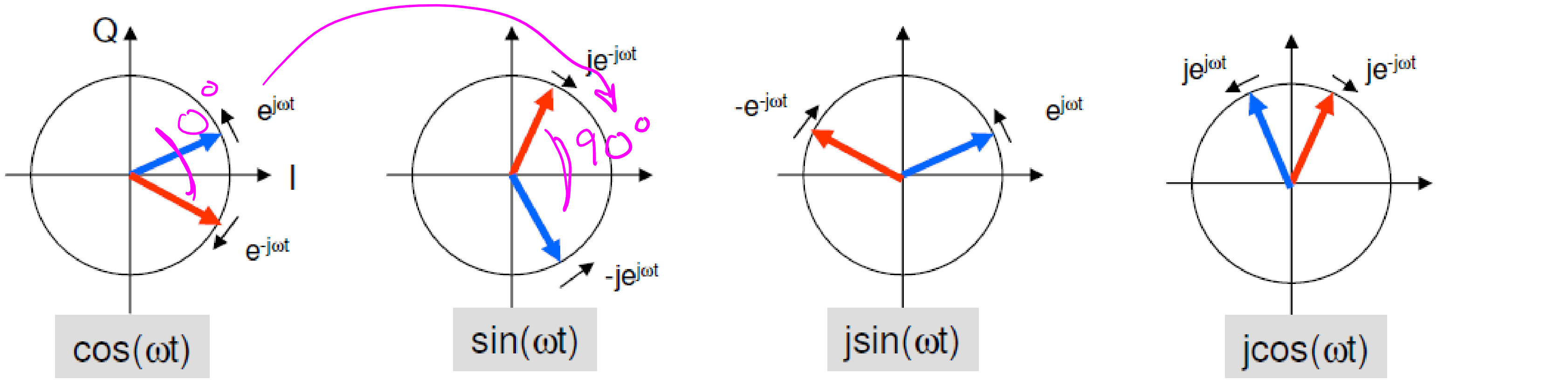
Quadratursignale unkompliziert

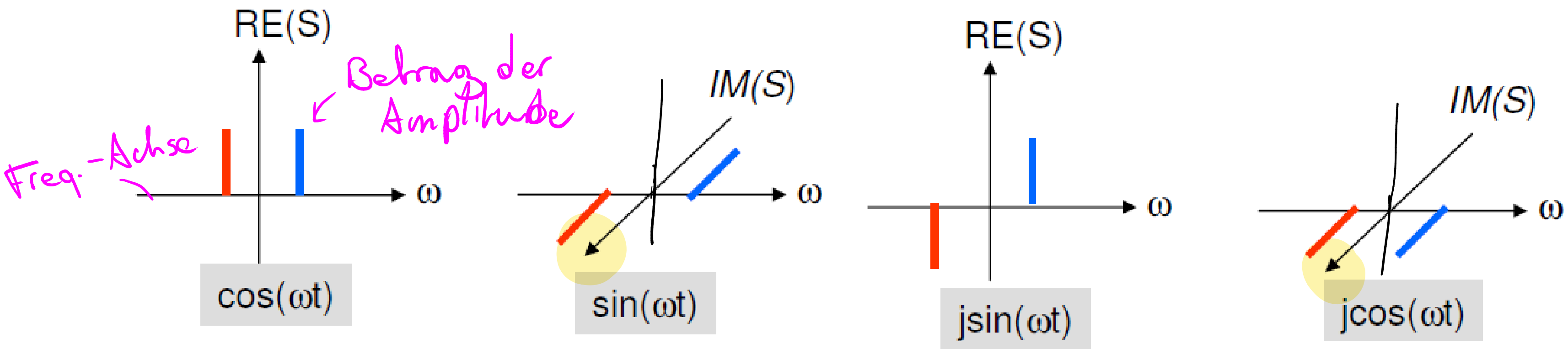


Komplexe Schwingung mit $f_0 \geq 0$:

- Auffassung als komplexes Zeitsignal $i(t) + j \cdot q(t)$
- Darstellung durch Projektionen in I/Q- Ebene
- Realisation durch separate i(t)- und q(t)- Signalzweige

Zusammenhang
Projektionen I,Q und Spektren



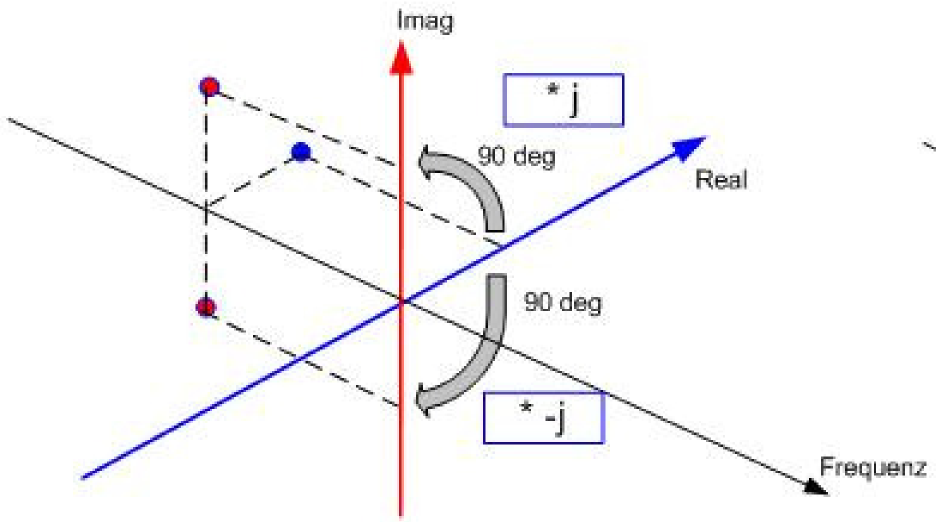


Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften

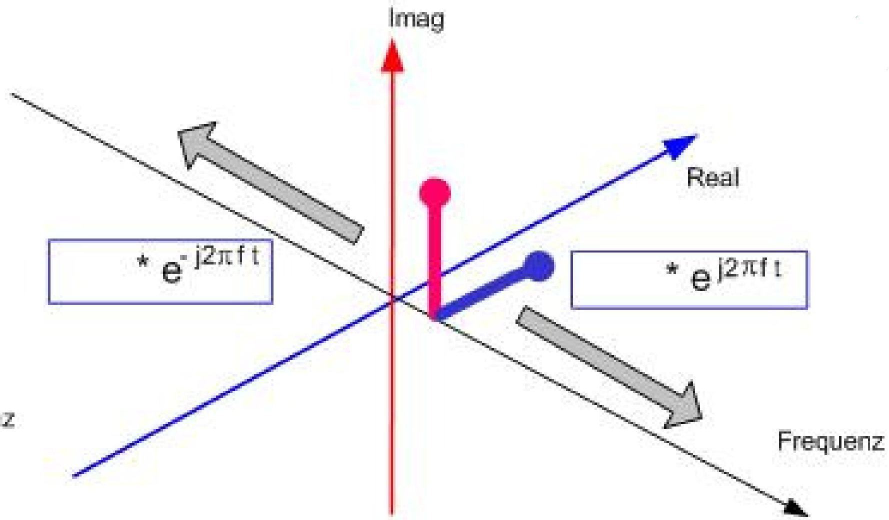
School of
Engineering

Quadratursignale unkompliziert

Drehung im Spektrum



Verschiebung im Spektrum



= Operation am Zeitsignal

* = Multiplikation

Nützliche Äquivalenzen:

$\cos(2\pi f \cdot t) + j \cdot \sin(2\pi f \cdot t) = e^{j2\pi f \cdot t}$

$\cos(2\pi f \cdot t) - j \cdot \sin(2\pi f \cdot t) = e^{-j2\pi f \cdot t}$

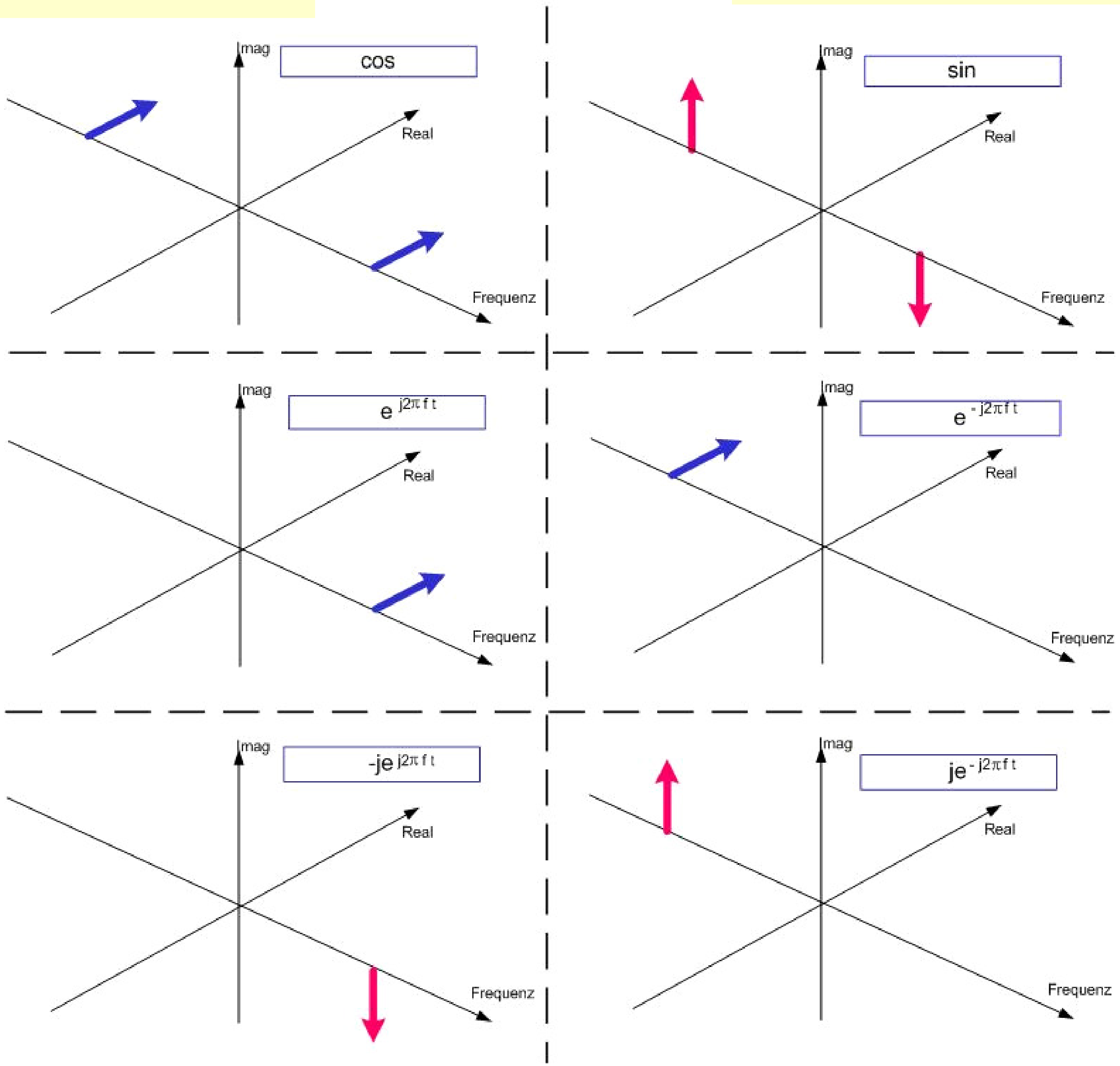
$2\cos(2\pi f \cdot t) = e^{j2\pi f \cdot t} + e^{-j2\pi f \cdot t}$

$2\sin(2\pi f \cdot t) = -j \cdot e^{j2\pi f \cdot t} + j \cdot e^{-j2\pi f \cdot t}$

Spektren der 6 Grundsignale

$2\cos(2\pi f\cdot t) = e^{j2\pi f\cdot t} + e^{-j2\pi f\cdot t}$

$2\sin(2\pi f\cdot t) = -j\cdot e^{j2\pi f\cdot t} + j\cdot e^{-j2\pi f\cdot t}$

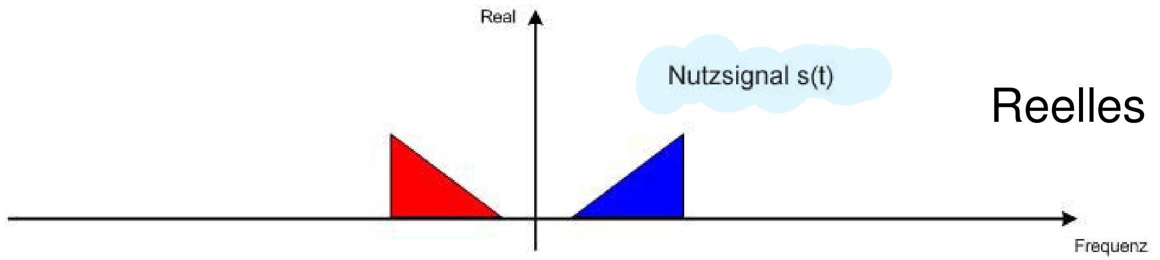


Note:

Faktor 2 aus der Trigonometrie nicht gezeichnet. Nur relative Amplituden interessieren.

1SB wird durch Addition ausgelöscht

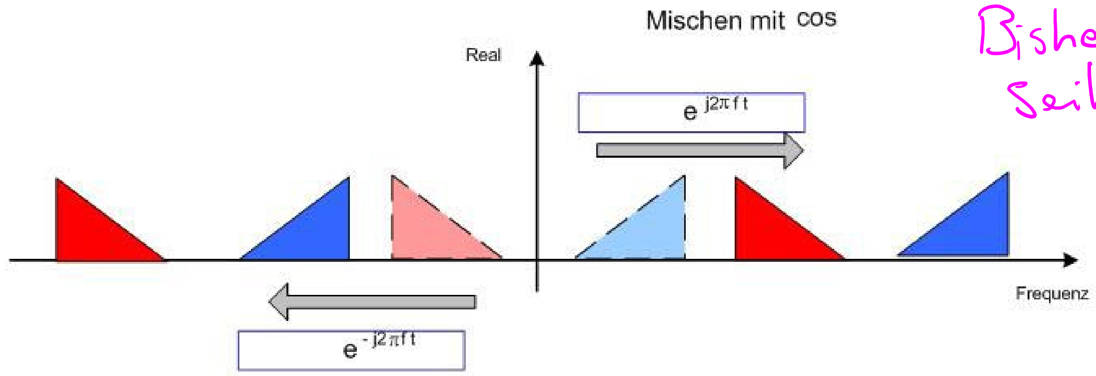
Beispiel: Mischen mit Cosinus und Sinus



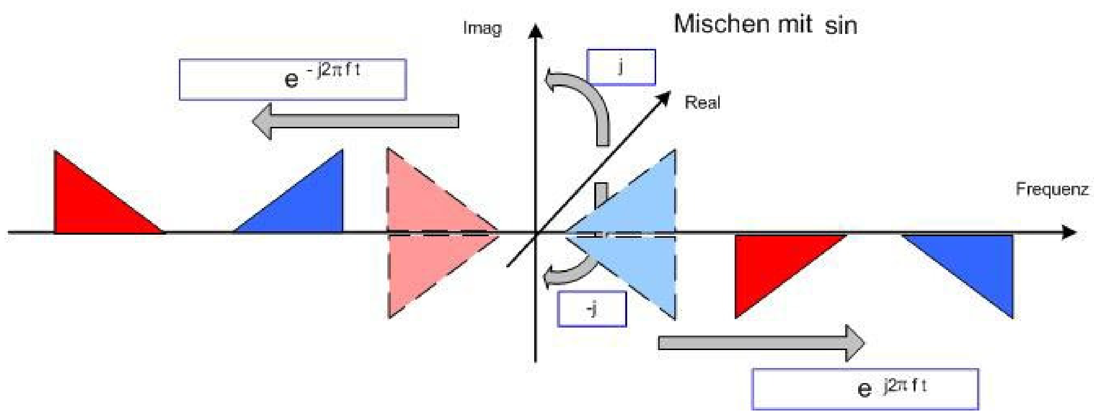
Reelles gerades Signal

Note:

Faktor 2 aus der Trigonometrie nicht gezeichnet. Nur relative Amplituden interessieren



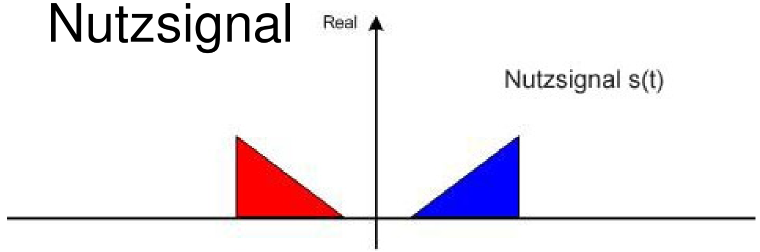
Bisher nur positive Seite betrachtet

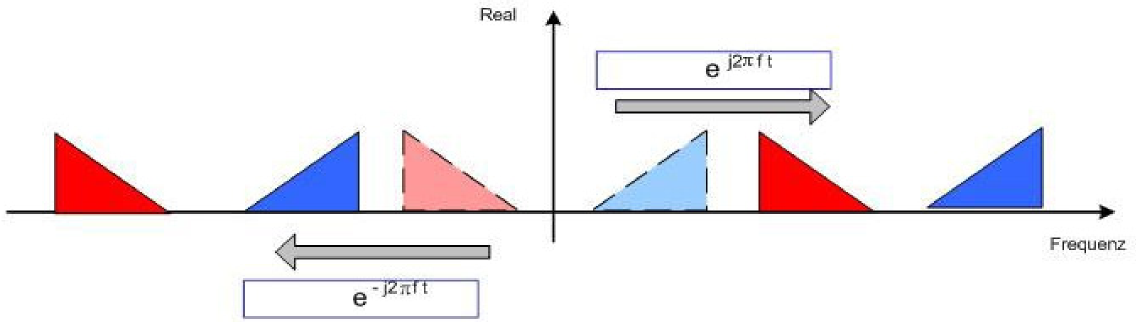


Beispiel: IQ-Modulator für SSB

Mischen mit $\cos(2\pi f \cdot t) \sim e^{j2\pi f \cdot t} + e^{-j2\pi f \cdot t}$

Nutzsignal

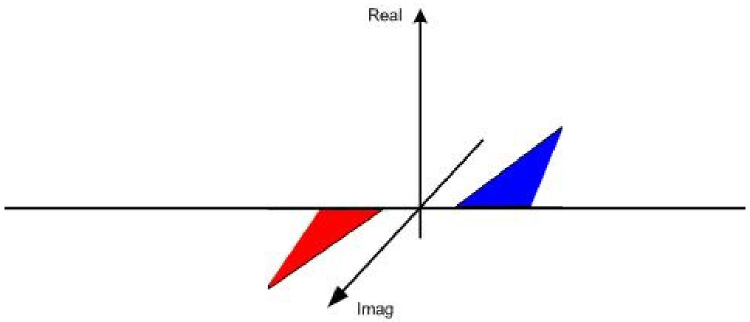


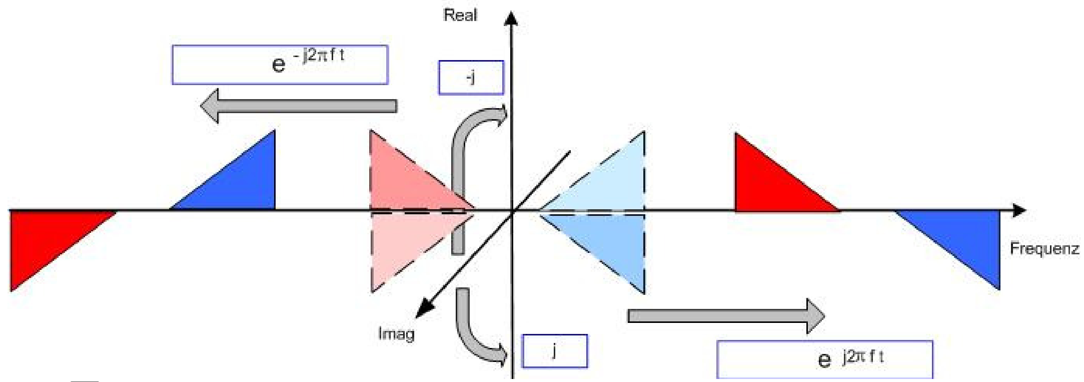


Gleiche Amplitude, aber Phasenversch.

Hilbertsignal

Mischen mit $\sin(2\pi f \cdot t) \sim -j \cdot e^{j2\pi f \cdot t} + j \cdot e^{-j2\pi f \cdot t}$





Aufhebung (wenn beide SB gleich)

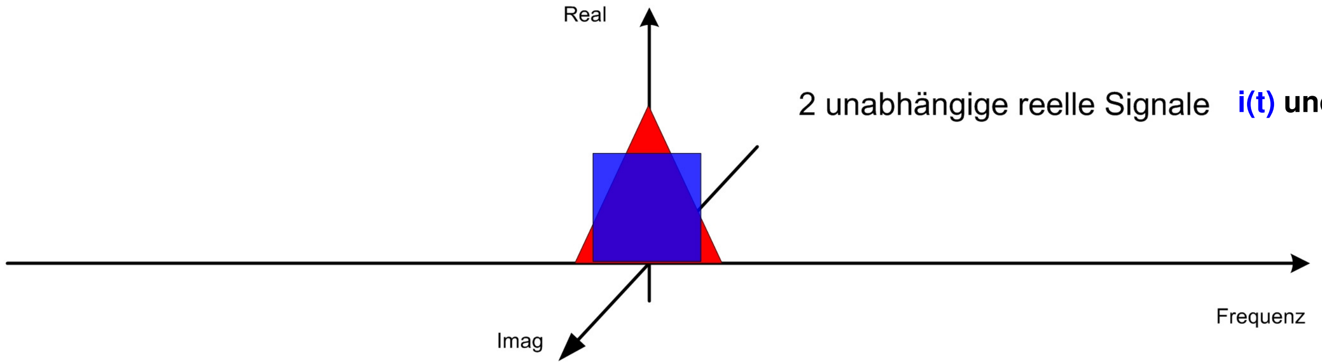
Nur wenn beide SB gleich:
Summe ... Unteres SB
Differenz ... Oberes SB

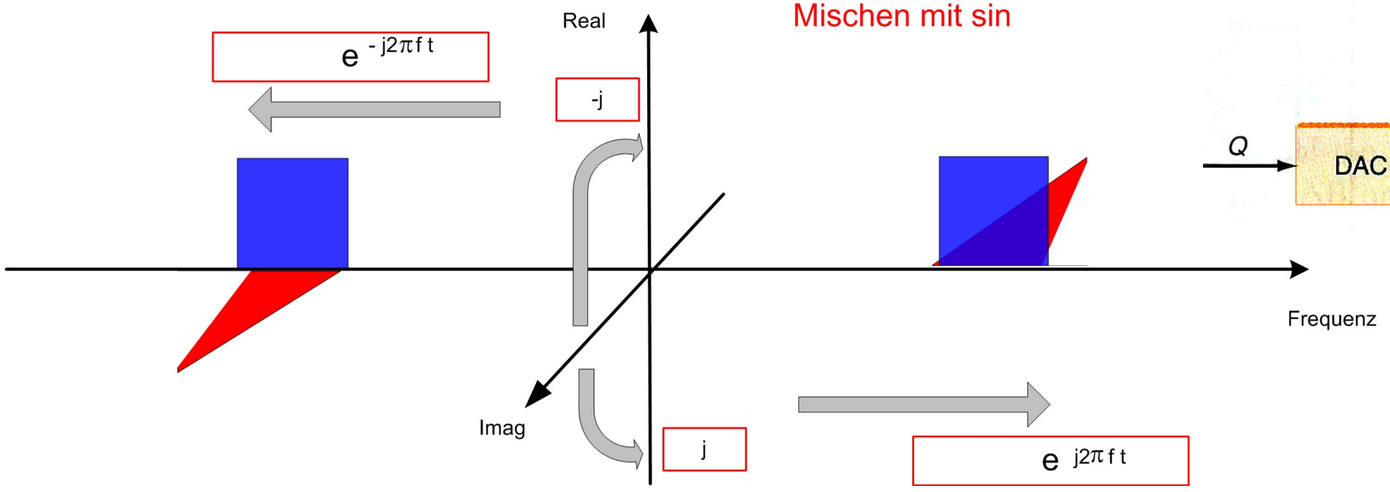
Σ ergibt unteres Seitenband LSB
Δ ergibt oberes Seitenband USB

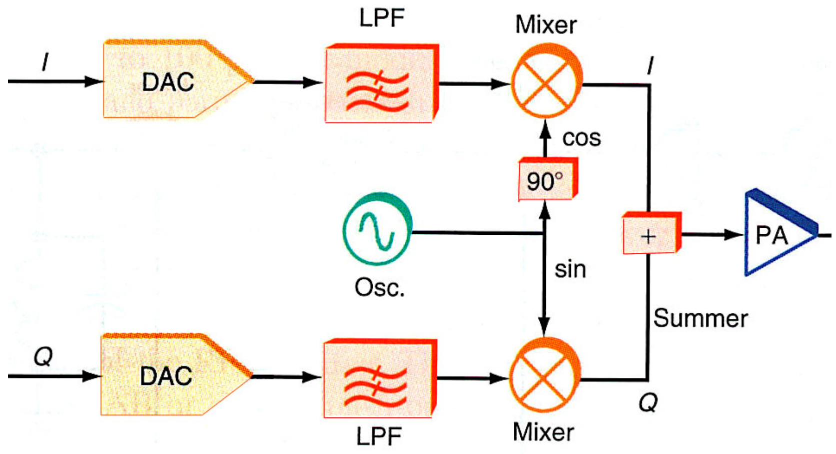
Beispiel 1: IQ-Modulator für QAM

Amplitudenmod. OSB + USB
haben untersch.
Information

2 unabhängige reelle Signale **i(t) und q(t)**







Notes: $2\cos(2\pi f\cdot t) = e^{j2\pi f\cdot t} + e^{-j2\pi f\cdot t}$ $2\sin(2\pi f\cdot t) = -je^{j2\pi f\cdot t} + je^{-j2\pi f\cdot t}$

Orthogonalität bleibt auch für andere spektrale Lagen der reellen Signale erhalten