

Vom Abstandsradar zum autonomen Fahren

Evolution of automotive radar
for autonomous driving

Dr. Herbert Jäger
DICE GmbH & Co KG / Infineon



Inhalt

- 1 Einführung: Was ist Radar?
- 2 Radaranwendung im Auto
- 3 Long range radar (LRR) als Beispiel
- 4 Neue Anforderungen für autonomes Fahren
- 5 Lösungen auf Chip- und Systemebene
- 6 Zusammenfassung

Inhalt

1

Einführung: Was ist Radar?

2

Radaranwendung im Auto

3

Long range radar (LRR) als Beispiel

4

Neue Anforderungen für autonomes Fahren

5

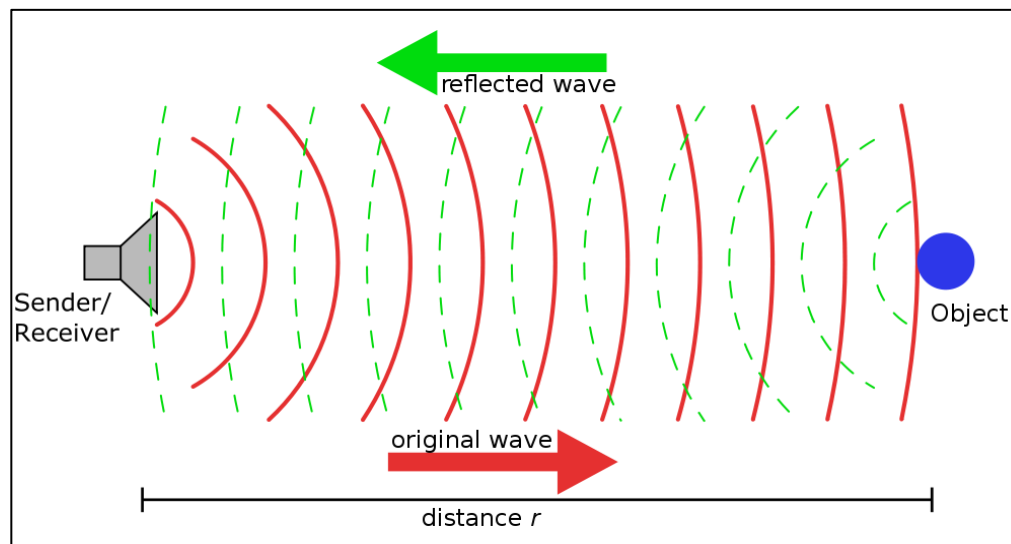
Lösungen auf Chip- und Systemebene

6

Zusammenfassung

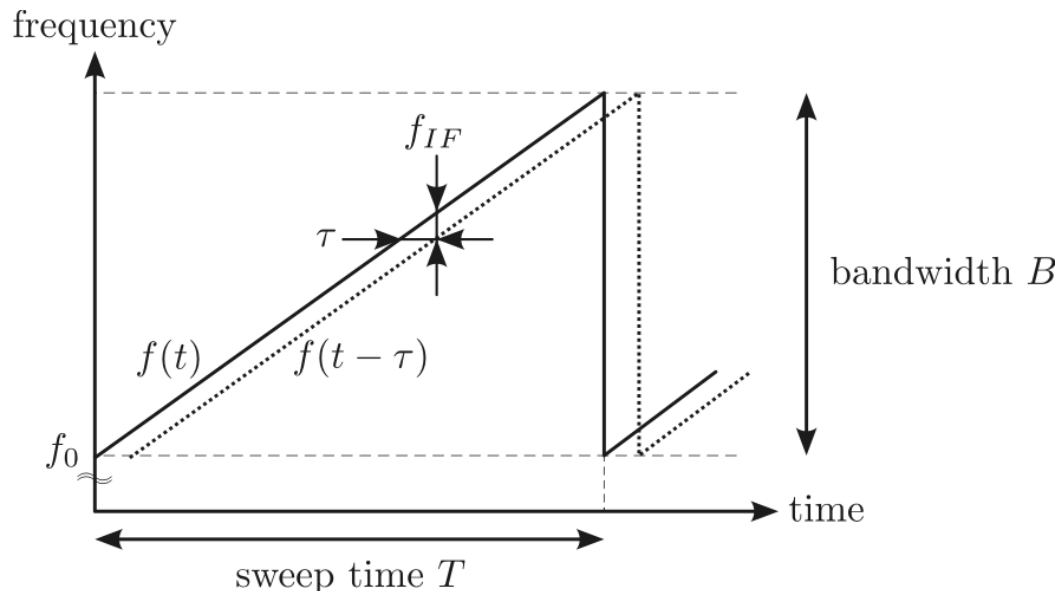
RADAR: Radio Detection And Ranging

- › Aussenden von Funkwellen
- › Empfang des reflektierten Signals, Detektion von Zielen



- › Bestimmung der Entfernung über die Laufzeit
- › Bestimmung der Geschwindigkeit über die Dopplerfrequenz
- › Bestimmung der Einfallsrichtung des Empfangssignals

Bestimmung der Entfernung – FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave)



$$\tau = \frac{2d}{c}$$

$$k = \frac{B}{T}$$

$$f_{IF} = k\tau$$

$$T = NT_a$$

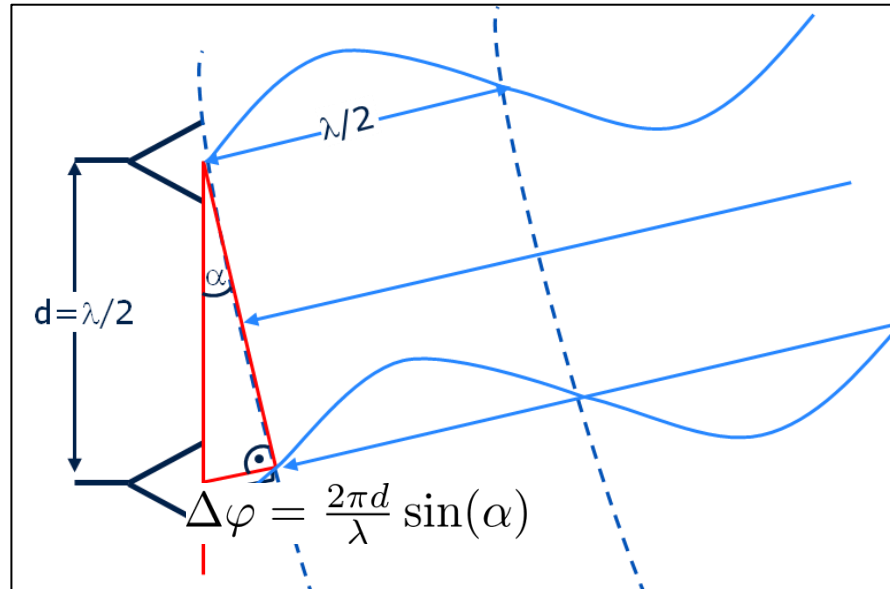
$$\psi = \frac{B}{N}\tau = f_{IF}T_a$$

- > Aussenden einer Frequenzrampe
- > Empfang und Heruntermischen mit demselben Signal
- > Die Empfangsfrequenz f_{if} ist proportional zur Zeitverzögerung und zur Rampensteigung
 - Einfache Verarbeitung mittels Fouriertransformation
- > Verwendung mehrerer Rampen (Auf/ab, verschiedene Steigung) um Entfernung von Dopplerfrequenz zu trennen

- Tau ... time of flight
- c ... Ausbreitungs- (Licht-) geschwindigkeit
- d ... Abstand des Zieles
- k ... Rampensteigung (Hz/s)
- B ... Bandbreite
- T ... Rampendauer
- Ta ... Aufzeichnungsintervall
- psi ... FFT bin# des Zieles
- N ... Anzahl der Samples

Bestimmung der Einfallsrichtung mit mehreren Antennen

- › Bestimmung der relativen Phase zwischen zwei Antennen



- › Größerer Antennenabstand $d \rightarrow$ größerer Phasenausschlag $\Delta\varphi$
- › Achtung: Mehrdeutigkeit für $d > \lambda/2$!
- › Lösung: Verwendung von mehr als zwei Antennen
 - \rightarrow Mehrkanalsysteme

Zentrale Parameter für Radar

› Frequenz

- Höhere Betriebsfrequenz → geringere Wellenlänge → bessere Winkelauflösung bei gleicher Apertur

› Bandbreite

- Höhere genutzte Bandbreite → bessere Entfernungsauflösung

$$\Delta r = \frac{c}{2B}$$

Beispiel:

7-19 MHz

→ **$\lambda = 23 \text{ m}$**

→ **$\Delta r = 12.5 \text{ m}$**

"DUGA Radar Array near Chernobyl, Ukraine 2014" by Ingmar Runge - Own work. Licensed under CC (wikipedia: DUGA radar)

Inhalt

1

Einführung: Was ist Radar?

2

Radaranwendung im Auto

3

Long range radar (LRR) als Beispiel

4

Neue Anforderungen für autonomes Fahren

5

Lösungen auf Chip- und Systemebene

6

Zusammenfassung

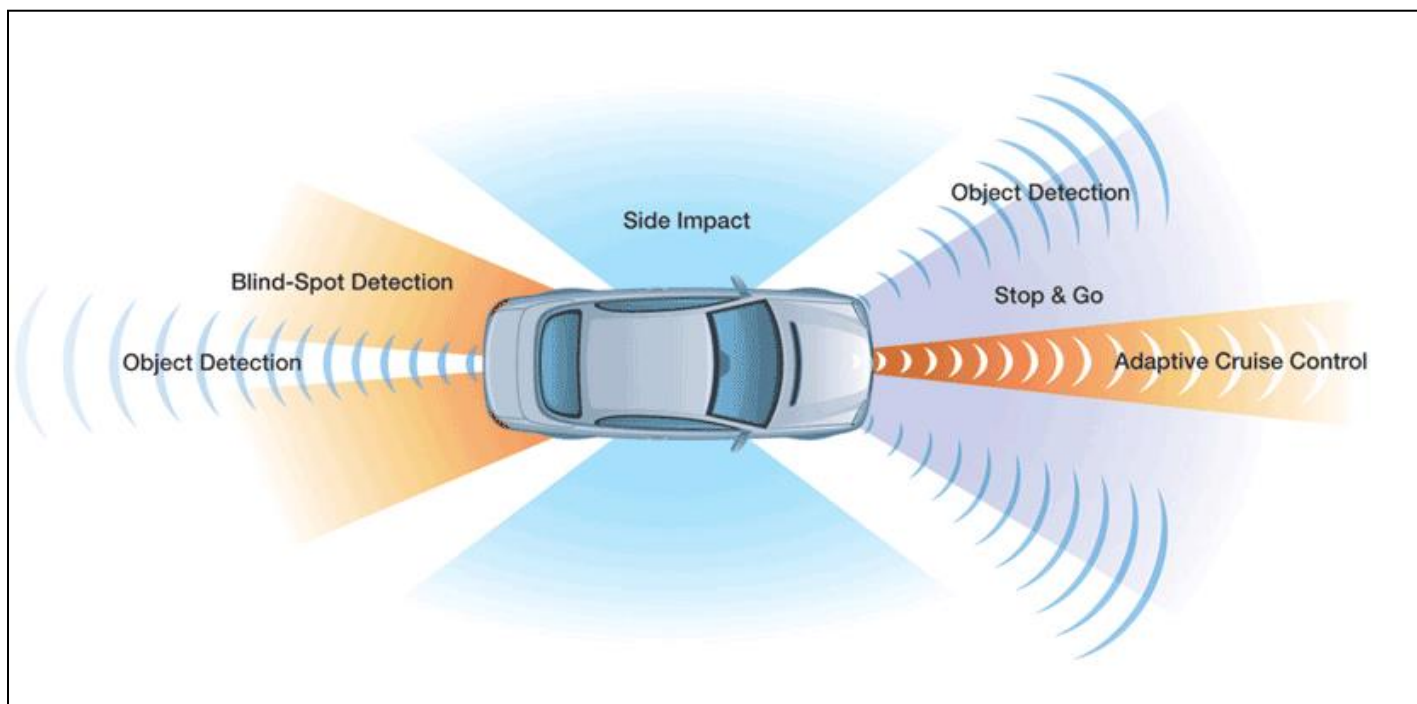
- › Rechtlich:
 - Erlaubte* Frequenzbänder, Sendeleistung
 - Automotive: 76-77 GHz, 77-81 GHz
 - ISM (Industry, scientific, medical): 61-61.5 GHz
 - SRD (short range device): 57-64 GHz, 122-123 GHz

- › Vom Fahrzeughersteller:
 - Bauvolumen, Einbauort
 - Energieverbrauch, Verlustwärme
 - Umweltbedingungen, v.a. Temperaturbereich

(*) ECC/CEPT: ERC Report 25: The European Table of Frequency Allocations, May 2015;
<http://www.erodocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/ercrep025.pdf>

Radaranwendung im Auto

- › Stand der Technik:
Ein Kokon aus verschiedenen Radarsystemen:



- › Implementierung der einzelnen Funktionen durch verschiedene Sensoren

Inhalt

1

Einführung: Was ist Radar?

2

Radaranwendung im Auto

3

Long range radar (LRR) als Beispiel

4

Neue Anforderungen für autonomes Fahren

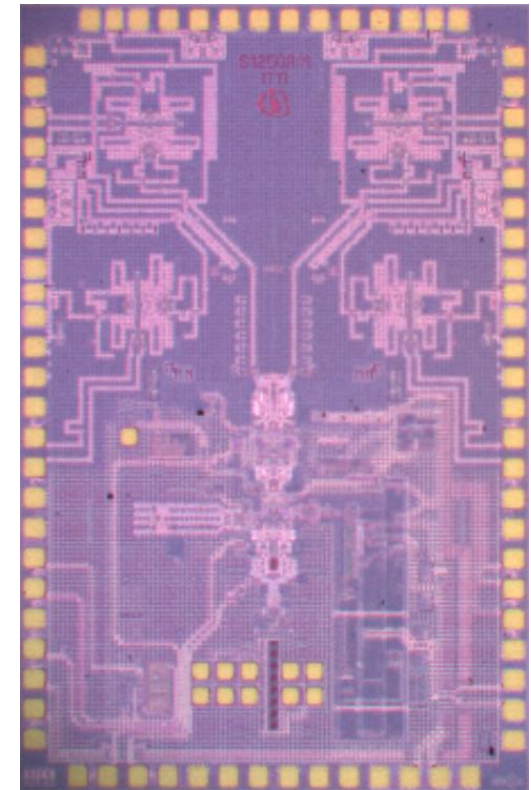
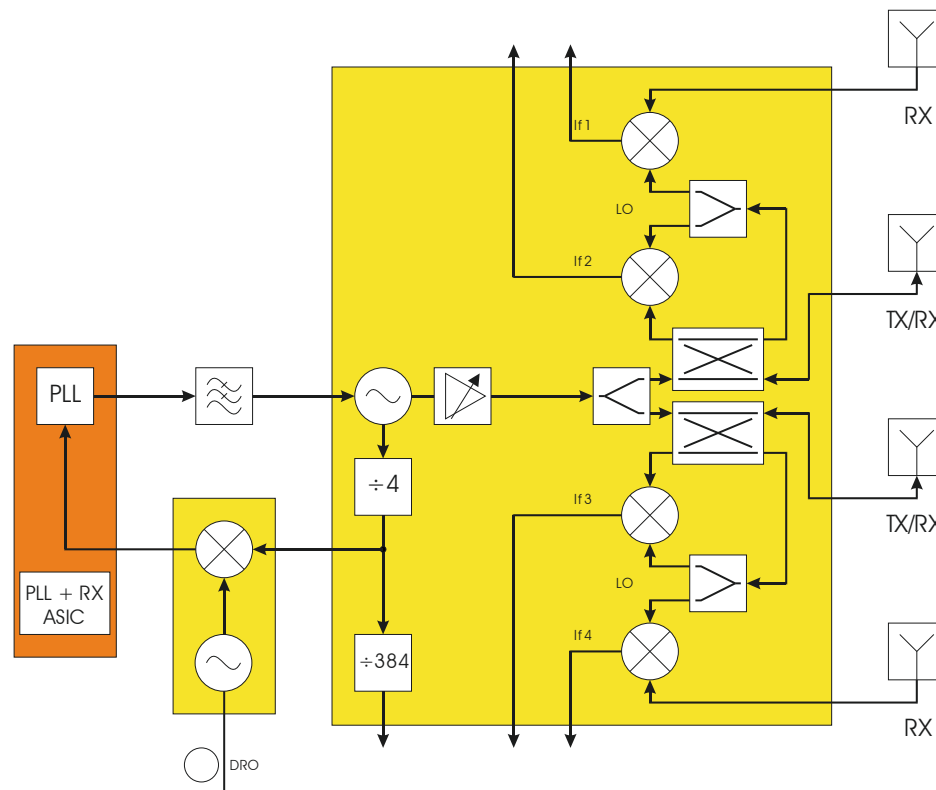
5

Lösungen auf Chip- und Systemebene

6

Zusammenfassung

LRR3 als Beispiel: Der Chip



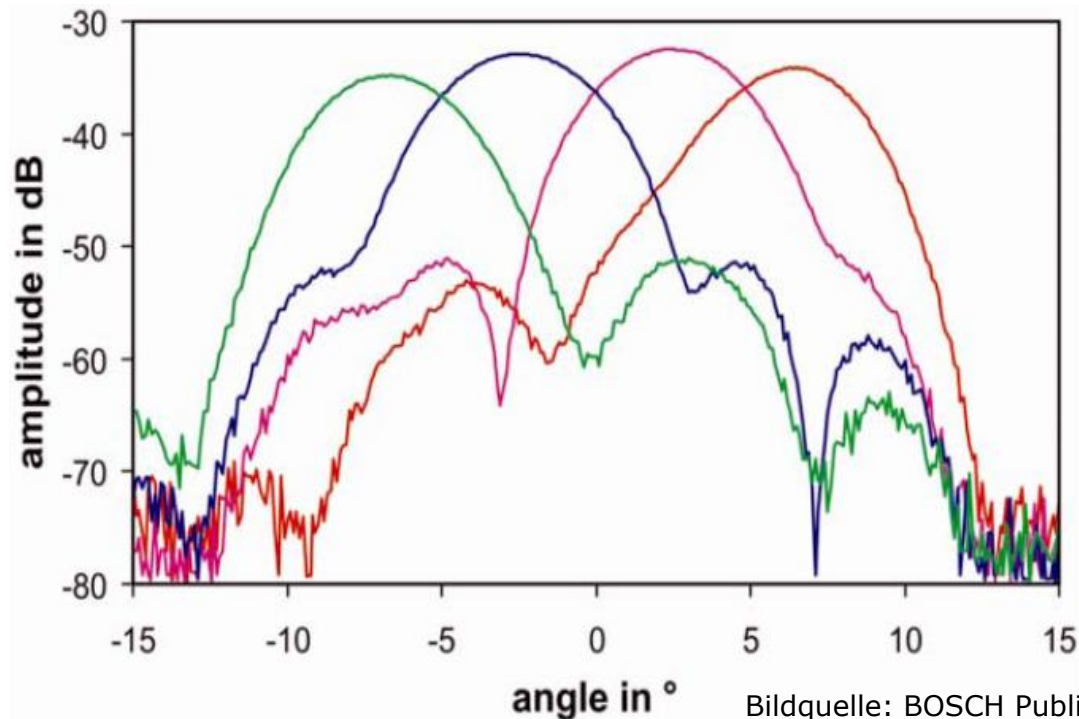
› Am Chip integriert:

- Oszillator
- Sendeverstärker für zwei Sendekanäle
- Empfangsmischer für vier Empfangskanäle

~ 2x3 mm²

LRR3 als Beispiel: Richtungsbestimmung

- › Antennenrichtdiagramm (mit Linse) der vier Empfangskanäle



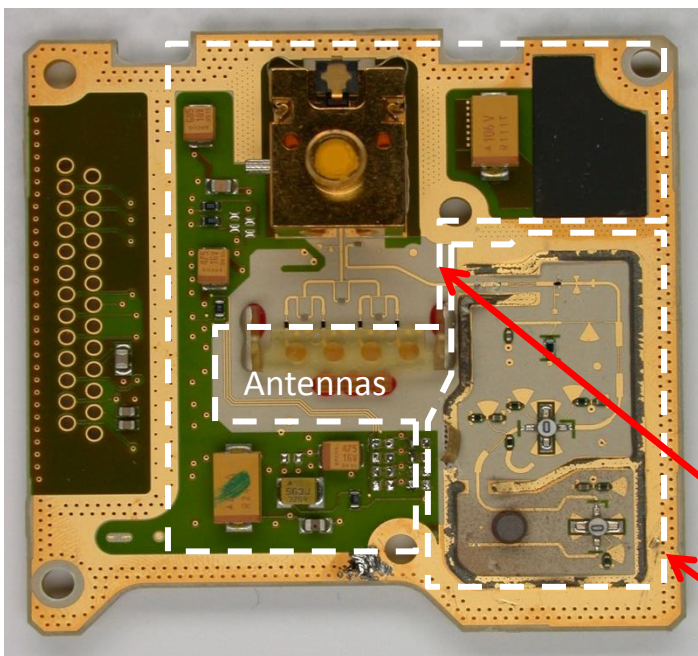
(Antennen-
diagramm
des LRR2;
LRR3 ähnlich)

Bildquelle: BOSCH Publikation

- › Richtungsbestimmung mittels relativer Amplitude
- › Genauigkeit von Bruchteil eines Winkelgrades

LRR3 als Beispiel: Leistungsdaten vs. LRR2

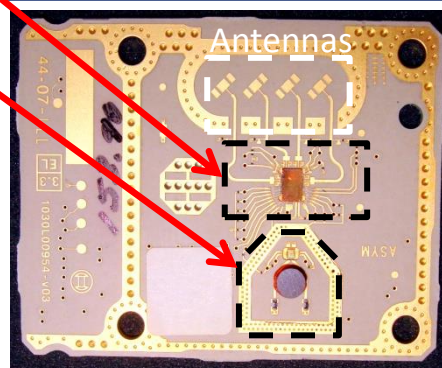
RF-Board 2nd Gen.
62 x 68 mm² (~42 cm²)



GaAs discrete - 2005

		Range	Accuracy
Distance m	LRR2 (GaAs)	2 - 150	0.5
	LRR3 (SiGe)	0.5 - 250	0.1
Relative Velocity m/s	LRR2 (GaAs)	-60 to + 20	±0.25
	LRR3 (SiGe)	-80 to +30	± 0.12
Angle deg°	LRR2 (GaAs)	±8	0.4
	LRR3 (SiGe)	±15	0.1

RF-Board 3rd Gen.
25 x 35 mm² (~9 cm²)



SiGe
2009



Inhalt

- 1 Einführung: Was ist Radar?
- 2 Radaranwendung im Auto
- 3 Long range radar (LRR) als Beispiel
- 4 **Neue Anforderungen für autonomes Fahren**
- 5 Lösungen auf Chip- und Systemebene
- 6 Zusammenfassung

Neue Anforderungen für autonomes Fahren

- › Höhere Auflösung (z.B. zur Fußgängererkennung)
Größerer Erfassungsbereich
Höhere Aktualisierungsrate
→ höhere Bandbreite, Dynamikbereich, Anzahl der Antennen
- › Hohe Qualität der gelieferten Daten:
→ Erfassung und Filterung relevanter Daten; Identifikation und Entfernung falscher Ziele
- › Hohe Verfügbarkeit:
→ Bereitstellen eines funktionierenden Systems auch unter widrigen Umweltbedingungen
- › Funktionale Sicherheit:
→ Überwachung ob das System im nominalen Betriebszustand ist; schnelle Detektion eines Fehlerzustandes; kein Weiterleiten falscher / kompromittierter Daten
 - ISO 26262: ASIL (**a**utomotive **s**afety **i**ntegrity **l**evel) A-D

- › Größere Anzahl von Antennen, bessere Signalqualität ...
 - Mehr Sende- und Empfangseinheiten mit besseren Kennzahlen (Rauschen, Dynamik, HF-Bandbreite ...)
 - Höhere Funktionalität (schaltbare Sendeleistung, Empfangsverstärkung, Filterbandbreite, ...)
- › ... bei gleichzeitig geringerer Stromaufnahme
 - Richtige Balance zwischen Performance und Verlustwärme
 - Verwendung einer schnelleren SiGe HBT* Halbleitertechnologie

Infineon B7HF200 → Infineon B11HFC

$$f_{\max}^{**} = 200 \text{ GHz} \rightarrow f_{\max} = 400 \text{ GHz}$$

(*) **S**ilicon **G**ermanium **H**eterojunction **B**ipolar **T**ransistor

(**) maximum oscillation frequency

- › Schnelle, agile und vielseitige Steuerung vieler Betriebsparameter, z.B.
 - Sendeleistung, Empfangsverstärkung, Filterbandbreite
 - Beschleunigtes Einschwingverhalten der PLL (phase locked loop) durch kurzzeitiges Umschalten des Reglerstromes, der Reglerbandbreite; Verwendung einer Zweipunktmodulation
 - › Entwurf mit dem Ziel von funktionaler Sicherheit vom Anfang an:
 - Vermeidung von Schaltungskonzepten mit schwer detektierbaren Fehlermechanismen
 - Autonome Erkennung von Fehlfunktionen und unzulässigen Betriebsbedingungen
 - Auslösen eines Alarms damit der Sensor/das System einen sicheren Zustand einnehmen kann
- CMOS für die Komplexität, SiGe HBT für die Performance
- B11HFC : BICMOS Technologie

Inhalt

1

Einführung: Was ist Radar?

2

Radaranwendung im Auto

3

Long range radar (LRR) als Beispiel

4

Neue Anforderungen für autonomes Fahren

5

Lösungen auf Chip- und Systemebene

6

Zusammenfassung

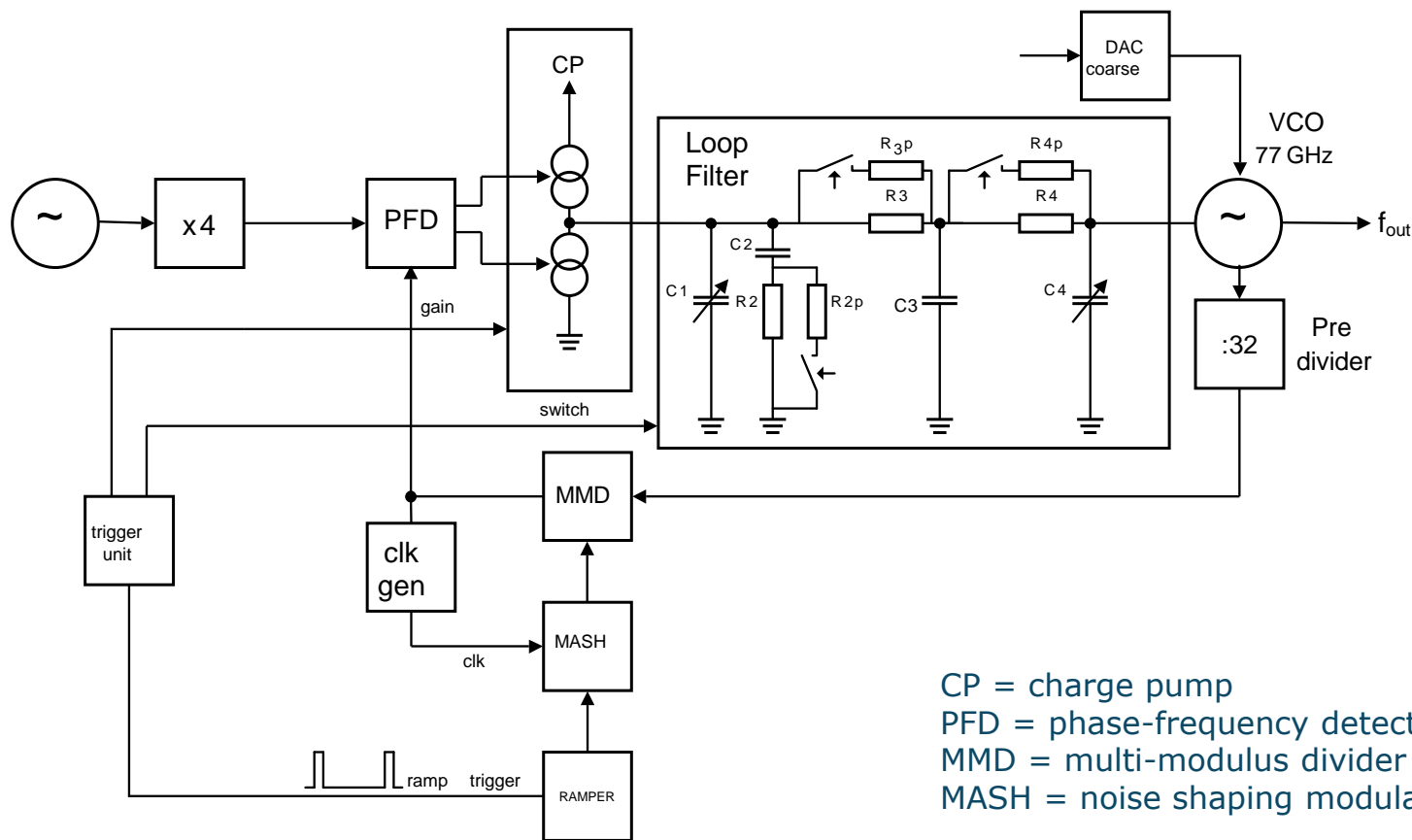
Evolution auf Chip- und Systemebene

- › Gehäuse statt ‚bare-die‘
 - eWLB (enhanced Wafer Level Ball-grid array)
- › Halbleitertechnologie der nächsten Generation: BICMOS
 - B11HFC, basierend auf C11 (130 nm CMOS, automotive), B7HF200 (Bipolar, $f_{max}=200$ GHz, automotive) und B7HF500 (Bipolar, $f_{max}>400$ GHz, Entwicklungsstudie)
- › Vom Halbleiterhersteller zum Systempartner
 - Tiefgreifende Kooperation mit Leitkunden
 - HF, Analog, Digital, DSP, Microcontroller und Firmware aus einem Haus
- › Rigorose Umsetzung von Normen und Richtlinien
 - von ISO/TS 16949 (automotive quality management)
 - zu ISO 26262 (automotive functional safety)



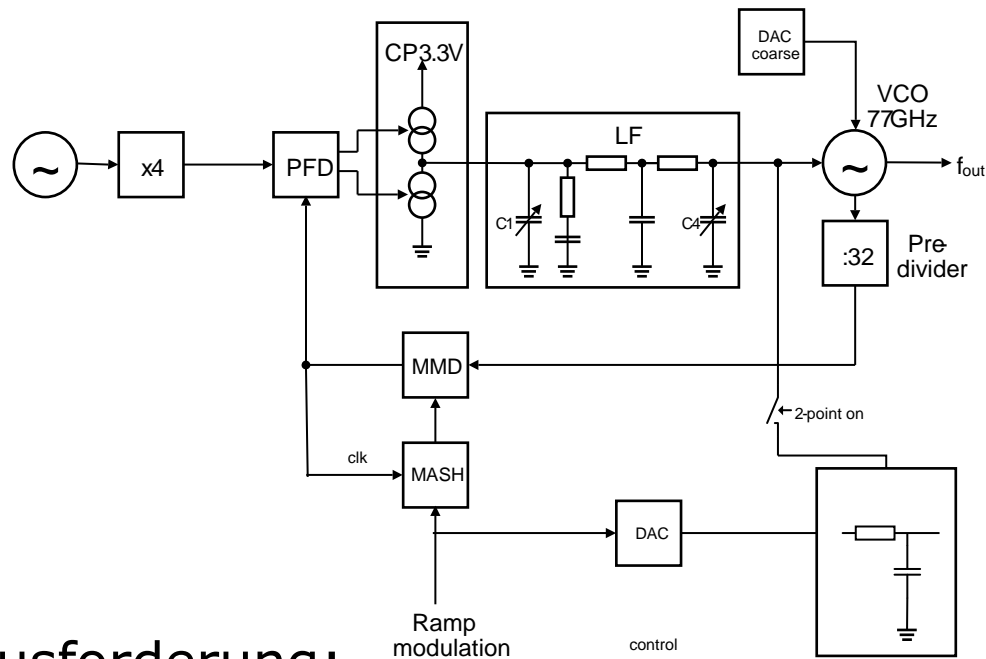
PLL für schnelle Frequenzrampen

- › Minimieren der Einschwingzeit durch Umschalten der Bandbreite des Schleifenfilters und des Chargepump-Stromes



PLL für schnelle Frequenzrampen

> Beschleunigen der PLL durch Zweipunktmodulation



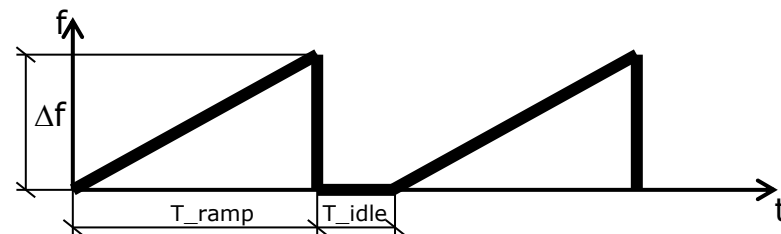
> Die Herausforderung:

- Abstimmcharakteristik des Oszillators ist nicht linear
- Automatische Justage aller Reglerparameter (Chargepump-Strom, Schleifenbandbreite, Amplitude des Modulator DACs, Grobabstimmung des Oszillators etc.)

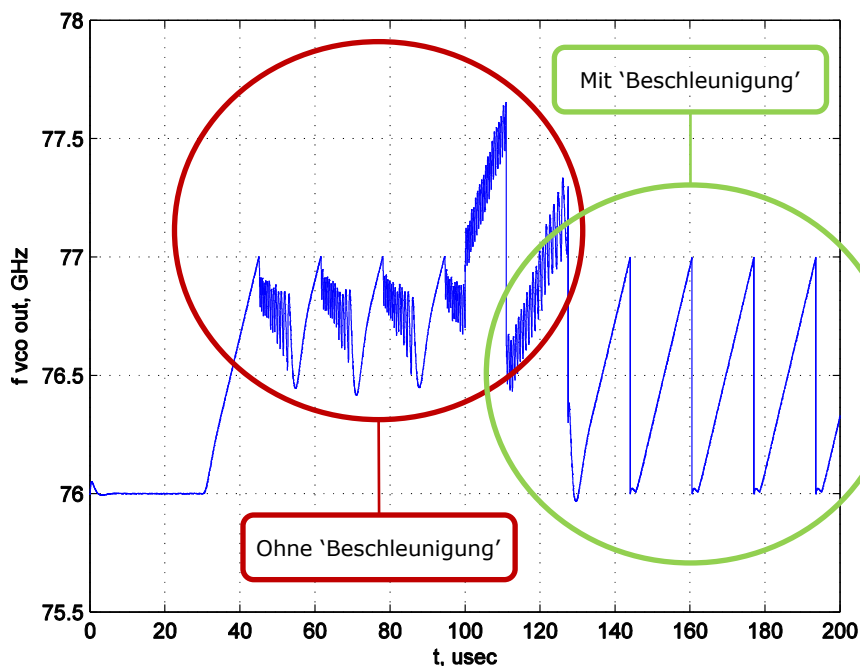
Performance der ‚beschleunigten‘ PLL

Rampenszenario Sägezahn:

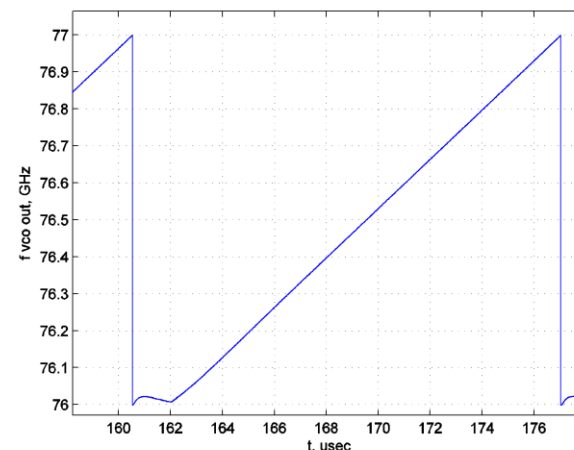
$$\Delta f = 1 \text{ GHz}; T_{\text{ramp}} = 15 \text{ } \mu\text{s}; T_{\text{idle}} = 1.5 \text{ } \mu\text{s}$$



Simulationsergebnis:

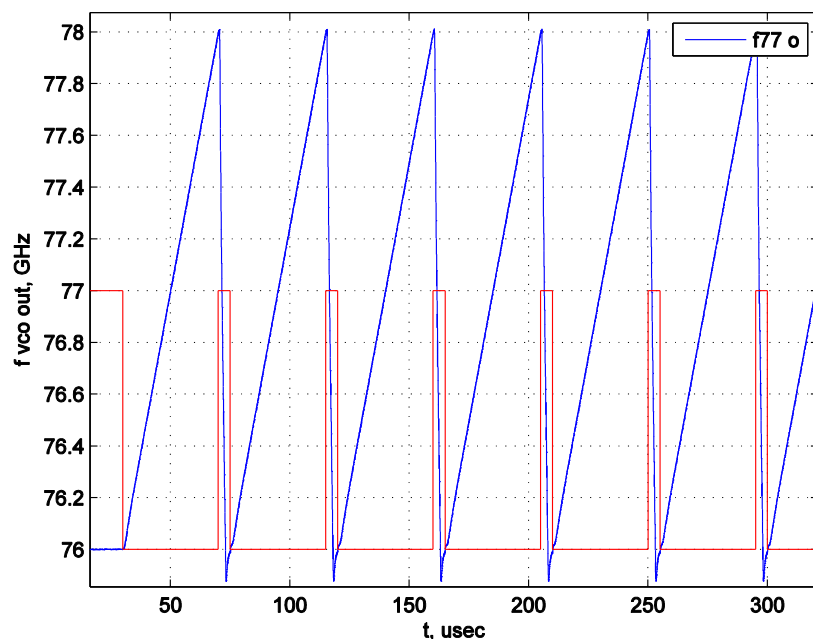


- Sehr schnelle Rampen werden möglich (vgl. LRR3: $T_{\text{ramp}} > 1 \text{ ms}$, $\Delta f \leq 200 \text{ MHz}$)
- Phasenrauschen nicht verschlechtert



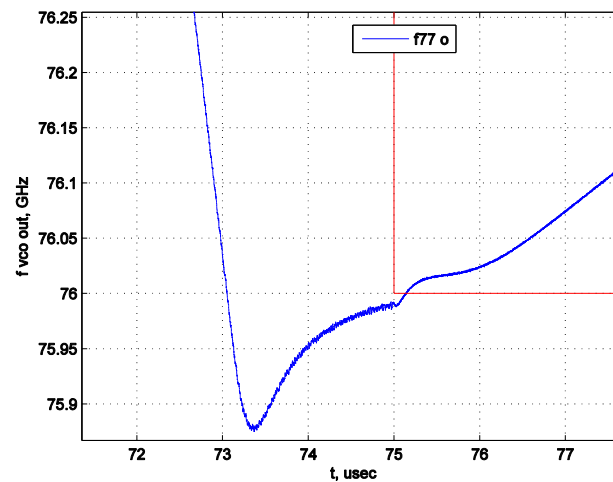
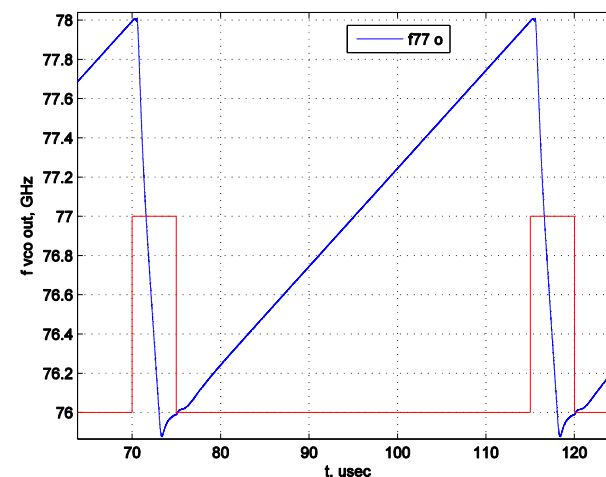
Performance der ‚beschleunigten‘ PLL

Simuliert mit realistischem Oszillatormodell

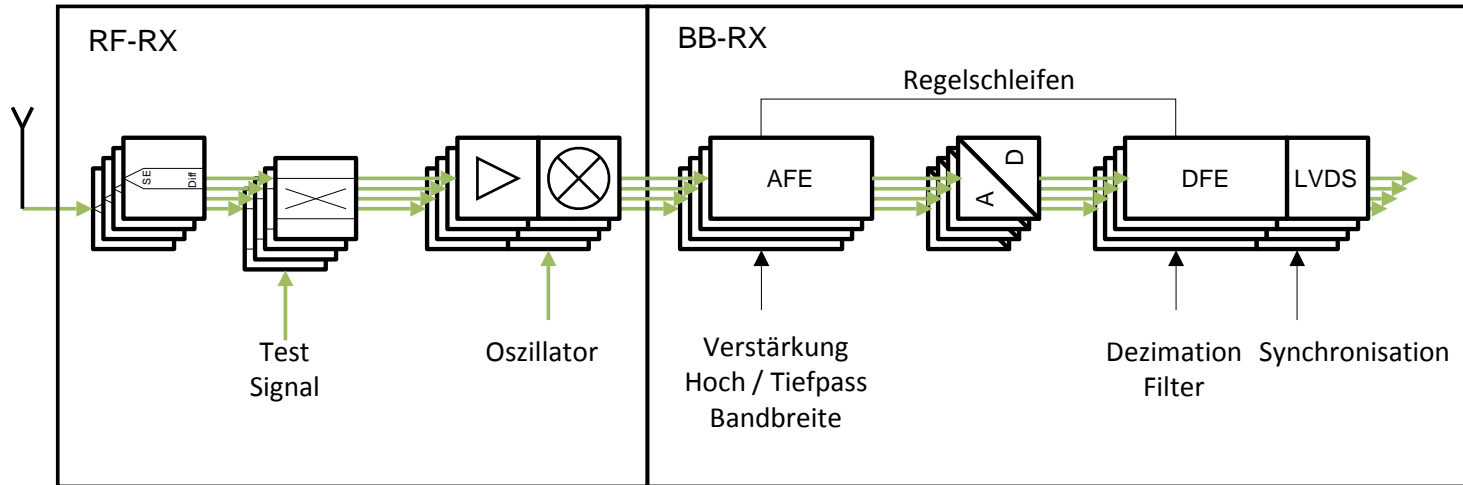


blau: Momentanfrequenz
rot: ‚Beschleunigung‘ ein/aus

Frequenz über Zeit, ZOOM



Flexibilität in der Empfangssignalkette



RF = radio frequency
 BB = baseband
 RX = receiver
 AFE = analog frontend
 DFE = digital frontend
 LVDS = low voltage digital signaling

- › Flexibilität wird erreicht durch:
 - Konfigurierbare Parameter in jedem Funktionsblock
 - Eine übergeordnete ‚Supervisor‘ Instanz für einfachere Anwendung
 - Verschiebung von möglichst vielen Funktionen in den Digitalteil (DFE)

Inhalt

1

Einführung: Was ist Radar?

2

Radaranwendung im Auto

3

Long range radar (LRR) als Beispiel

4

Neue Anforderungen für autonomes Fahren

5

Lösungen auf Chip- und Systemebene

6

Zusammenfassung

Zusammenfassung

- › Radar erlaubt die Erfassung der Umgebung auch bei widrigen Umständen.
- › Ein Radar der nächsten Generation wird eine große Datenmenge liefern können.
- › Hohe Leistungsfähigkeit und Flexibilität erlaubt die Abdeckung vieler Applikationen mit einem Sensor.
- › Notwendig für autonomes Fahren und Sicherheitsfunktionen sind
 - eine absolut sichere Auswertung und Zielerkennung
 - Robustes, fehlertolerantes Verhalten
 - ein Zugang auf Systemebene der über die Grenzen des einzelnen Sensors hinausgeht



Part of your life. Part of tomorrow.

