

RADAR TECHNOLOGIE

Geschichtliches

Die ersten Versuche zur Ortung metallischer Zielobjekte mittels Radiowellen führte der deutsche Hochfrequenztechniker Christian Hülsmeier durch. Daraus resultierte 1904 das erste Patent auf diesem Gebiet.

Da das Magnetron als leistungsstarker Hochfrequenzverstärker erst 1921 erfunden wurde, hatte die Radartechnik im ersten Weltkrieg noch keine Bedeutung.

In den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden erstmals brauchbare Radarsysteme für den zivilen aber vor allem für den militärischen Einsatz gebaut. Im zweiten Weltkrieg wurden Radarsysteme vor allem von den USA, England, Deutschland und Russland gebaut und eingesetzt. Die Anlagen wurden vorwiegend zur Früherkennung gegnerischer Flugzeugangriffe genutzt. Während des Kalten Kriegs hat die digitale Signalverarbeitung Radaranlagen kleiner und leistungsfähiger werden lassen.

Nach und nach fand die Radartechnologie in verschiedensten Disziplinen Einzug: Wasser- und Luftraumüberwachung, Wetterbeobachtungen, geologische Messungen, Weltraumbeobachtungen, automatische Türöffner etc.



Physikalische und technische Grundlagen

Die hauptsächliche Nutzung der Radartechnologie besteht in der Abstandsmessung und in der Geschwindigkeitsmessung. Diese beiden Messgebiete lassen sich natürlich auch kombinieren.

Generell ist auch zwischen Pulsradar und Dauerstrichradar (Continuous Wave, CW) zu unterscheiden.

Pulsradar

Der Pulsradar wurde für die Entfernungsmessung entwickelt. Es wird über eine meist sehr eng bündelnde Antenne ein Radarpuls mit hoher Leistung ausgesendet. Anschliessend wird von „Senden“ auf „Empfangen“ umgeschaltet. Der Radarpuls wird am Objekt reflektiert. Die Zeit welche vom Senden bis zum Empfangen der Echos vergeht, gibt Aufschluss über die Entfernung des Objekts von dem dieses Echo stammt.

$$R = \frac{c \cdot t}{2} \quad \begin{array}{l} c = \text{Lichtgeschwindigkeit} \sim 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ t = \text{Zeitdauer bis zum Empfang des Echos} \end{array}$$

Die Ausrichtung der Antenne definiert die abzusuchende Richtung. Für eine grossflächige Abtastung wird eine drehende Antenne verwendet.

Continuous Wave Radar

Bei CW – Radargeräten wird das Radarsignal permanent ausgesendet und empfangen. Sender und Empfänger können dabei völlig getrennt sein. Es ist aber auch möglich über dieselbe Antenne gleichzeitig zu senden und zu empfangen. Diese Technologie ist prädestiniert für Geschwindigkeitsmessung mittels Doppler Effekt.

Unmodulierter CW – Radar:

Die Frequenz und Amplitude des Radarsignals bleibt konstant. Mit solchen Geräten können nur Geschwindigkeiten und keine Entfernungen gemessen werden. Dazu wird die Frequenzverschiebung zwischen gesendetem und empfangenem Radarsignal gemessen. Diese Frequenzverschiebung entsteht aufgrund des Dopplereffekts – also der Kompression der ausgesendeten Wellen in Richtung des Geschwindigkeitsvektors.

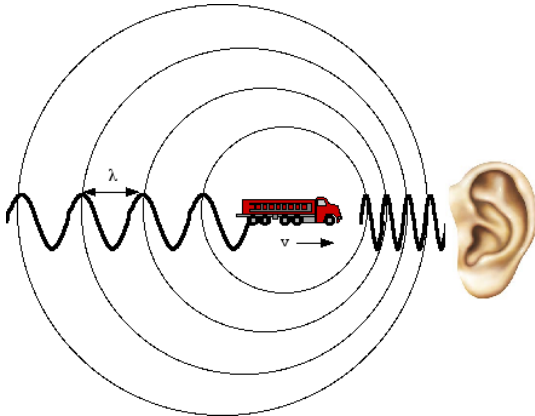


Abb.: Prinzip des Dopplereffekts (in der Akustik)

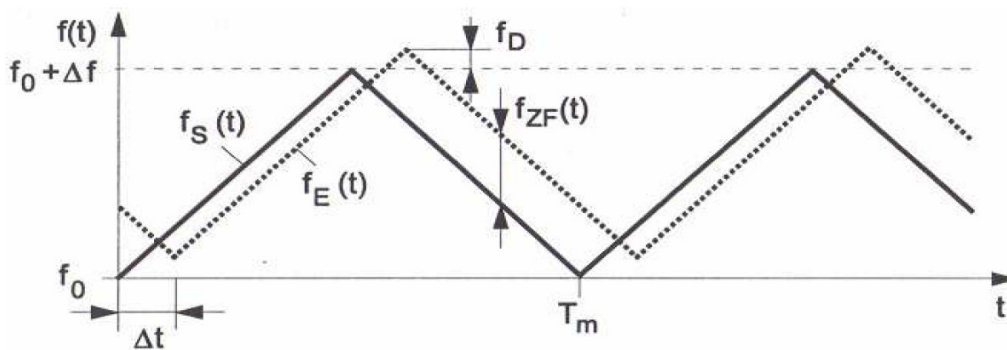
Es wird jeweils nur der Geschwindigkeitsanteil in Richtung des Radarsensors gemessen. Die Geschwindigkeit errechnet sich dann als:

$$v = \frac{f_{\text{Doppler}} \cdot c}{2 \cdot f_{\text{Radar}}}$$

Modulierter CW – Radar (FMCW = Frequency Modulated Continuous Wave):

Wie der Name schon sagt, wird hier die Sendefrequenz moduliert. Üblicherweise wird dazu eine Dreiecks- oder Sägezahnfunktion verwendet. Damit wird es möglich, neben der Distanzinformation auch die Geschwindigkeit zu ermitteln.

Nachfolgendes Diagramm zeigt den prinzipiellen gesendeten und empfangenen Signalverlauf bei dreieckmoduliertem Sender.



Die Sendefrequenz wird zwischen f_0 und $f_0 + \Delta f$ moduliert (durchgezogene Linie). Das Empfangssignal wird aufgrund der Entfernung zum Zielobjekt um Δt verzögert empfangen. Aufgrund des rampenförmigen Verhaltens der Sendefrequenz wird diese Zeitverschiebung als Frequenzverschiebung im Empfangssignal sichtbar (Ermittlung erfolgt über Fourieranalyse).

Dem Empfangssignal überlagert ist allerdings noch die Dopplerverschiebung aufgrund der Bewegung des Zielobjekts. Im dargestellten Fall bewegt sich das Zielobjekt auf den Radarsensor zu.

Der Abstand ergibt sich damit zu:

$$r = \frac{c}{2 \cdot \Delta t}$$

Die Geschwindigkeit errechnet sich als:

$$v = \frac{f_D \cdot c}{2 \cdot (f_0 + \Delta f)}$$

Radargleichung

Die maximal erzielbare Reichweite mit einem Radarsensor ist in der so genannten Radarformel in Beziehung gesetzt:

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_S \cdot G^2 \cdot F \cdot \lambda^2}{P_{Empfang} \cdot 4^3 \cdot \pi^3 \cdot C_{Verlust}}}$$

P_S = Sendeleistung
 G = Antennengewinn
 F = Zielfläche
 λ = Wellenlänge
 $P_{Empfang}$ = Empfangene Leistung
 $C_{Verlust}$ = Verluste

$P_{Empfang}$ entspricht der minimal empfangbaren Leistung, die noch ein auswertbares, vom Rauschen unterscheidbares Signal erkennen lässt.

Auf eine Herleitung der Formel wird hier verzichtet.

Frequenzen und Bänder

Der für die Radartechnik interessante Mikrowellenbereich wird in verschiedene Frequenzbänder eingeteilt. Die nachfolgende Tabelle zeigt eine übliche Einteilung:

Band	Frequenzbereich
L	1–2,6 GHz
S	2,6–3,95 GHz
C	3,95–5,8 GHz
J	5,85–8,2 GHz
X	8,2–12,4 GHz
K_u	12,4–18 GHz
K	18–26,5 GHz
K_a	26,5–40 GHz
Q	33–50 GHz
U	40–60 GHz
V	50–75 GHz
E	60–90 GHz
W	75–110 GHz
F	90–140 GHz
D	110–170 GHz
G	140–220 GHz
Y	170–260 GHz
J	220–325 GHz

Radarsysteme mit sehr grosser Reichweite arbeiten in niederfrequenten Bändern. Radarsensoren mit hoher Auflösung benötigen dafür hohe Frequenzen. Die Reichweite ist hier aber deutlich geringer. Polizeiradare für die Geschwindigkeitsmessung arbeiten beispielsweise meistens im K- oder Ka-Band.

Radarsensoren im kommerziellen Bereich

Radartechnik ist keineswegs grossen Anlagen für Luftraumüberwachung, Schiffen oder Flugzeugen vorbehalten. In verschiedenen Anwendungen werden Radarsensoren zur Detektion von Objekten oder Personen verwendet.

Verbreitete Applikationen sind:

- Sensoren für automatische Türen und Tore
- Verkehrsdatenerfassung
- Abstandssensoren in Fahrzeugen
- Sanitärtechnik (Benützungserkennung für Urinale)
- Geschwindigkeitsmessung im Sportbereich
- Industrie (Füllstandsmessung, Kontrolle von bewegten Teilen, Förderbänder usw.)

Aufbau von low cost Radarsensoren

Hohlleitertechnik

Einfache Hohlleiterradarmodule verwenden als Mikrowellenoszillator eine Gunndiode in einem Hohlleiterresonator. Die Leistung wird über einen Hohlleiter auf eine Hornantenne gekoppelt. Im Hohlleiter sind ein oder zwei Schottky-Mischerdioden angebracht, welche das Oszillatorsignal direkt mit dem über dieselbe Antenne empfangenen Dopplersignal vom Zielobjekt mischen. Bei einigen Hohlleitermodulen ist der Oszillator über eine Varaktordiode (Kapazitätsdiode) in gewissen Grenzen abstimmbar. Solche Module können auch zur Abstandsmessung verwendet werden.

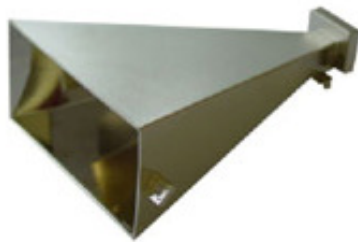


Am Modulausgang steht direkt das Dopplersignal zur Verfügung. Es können nur bewegte Objekte detektiert werden. Ein rauscharmer Verstärker mit hoher Verstärkung ist notwendig um die Signalpegel der Mischerdiode (einige μV) aufzuarbeiten.

Die Systeme arbeiten meist auf 24.125 GHz, da es sich hierbei um eine weltweit frei verwendbare Frequenz handelt. Die Leistung ist auf maximal 100mW EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power) beschränkt.

Abb: K-Band Hornantennen der Firma Sensitec AG

Antenne 15°



Antenne 30°



Frequenz	24.125 GHz	24.125 GHz
Gain	22 dB	18 dB
E- Ebene	± 12°	± 30°
H- Ebene	± 15°	± 30°
Öffnung	87 x 43mm	43 x 31mm
Masse	130 x 90 x 46mm	42 x 47 x 35mm
Gewicht	36g	10g
Material	Kunststoff vernickelt	Kunststoff vernickelt
Anschluss	An Mono - Stereo Hohlleitermodul	An Mono - Stereo Hohlleitermodul

Planartechnik

Durch Innovationen in der Halbleitertechnik haben Radarmodule auf gedruckten Schaltungen massiv an Bedeutung gewonnen. Der Mikrowellenoszillator basiert auf einem FET-Verstärker. Als Resonator wird ein DRO (Dielectric Resonator Oscillator) verwendet. Die Mischung in den Nf-Bereich erfolgt wieder mittels Schottky-Dioden. Der Oszillator wird mit dem Empfangssignal gemischt. Die Zf entspricht somit wieder der Dopplerefrequenz.

Für Abstrahlung und Empfang des Radarsignals werden Planarantennen eingesetzt. Hf-Schaltkreise und planare Patchantenne werden üblicherweise auf dasselbe Substrat gedruckt. Es sind Radarsensoren verfügbar, bei welchen der Oszillator mittels Varaktordiode abstimbar ist.



Ausblick

Durch immer bessere und günstigere Technologien in der Hf-Elektronik und durch immer leistungsstärkere Mikroprozessoren und DSPs für die Signalauswertung sind zunehmend mehr Applikationen mit Radarsensorik wirtschaftlich abdeckbar. Einstmals nur als Bewegungsmelder konzipierte Sensoren können heute eine Vielzahl zusätzlicher Informationen wie Distanz, Richtung, Geschwindigkeit, Anzahl detektierter Ziele und Ähnliches zur Verfügung stellen. Damit kann die Qualität der Detektion deutlich verbessert werden.