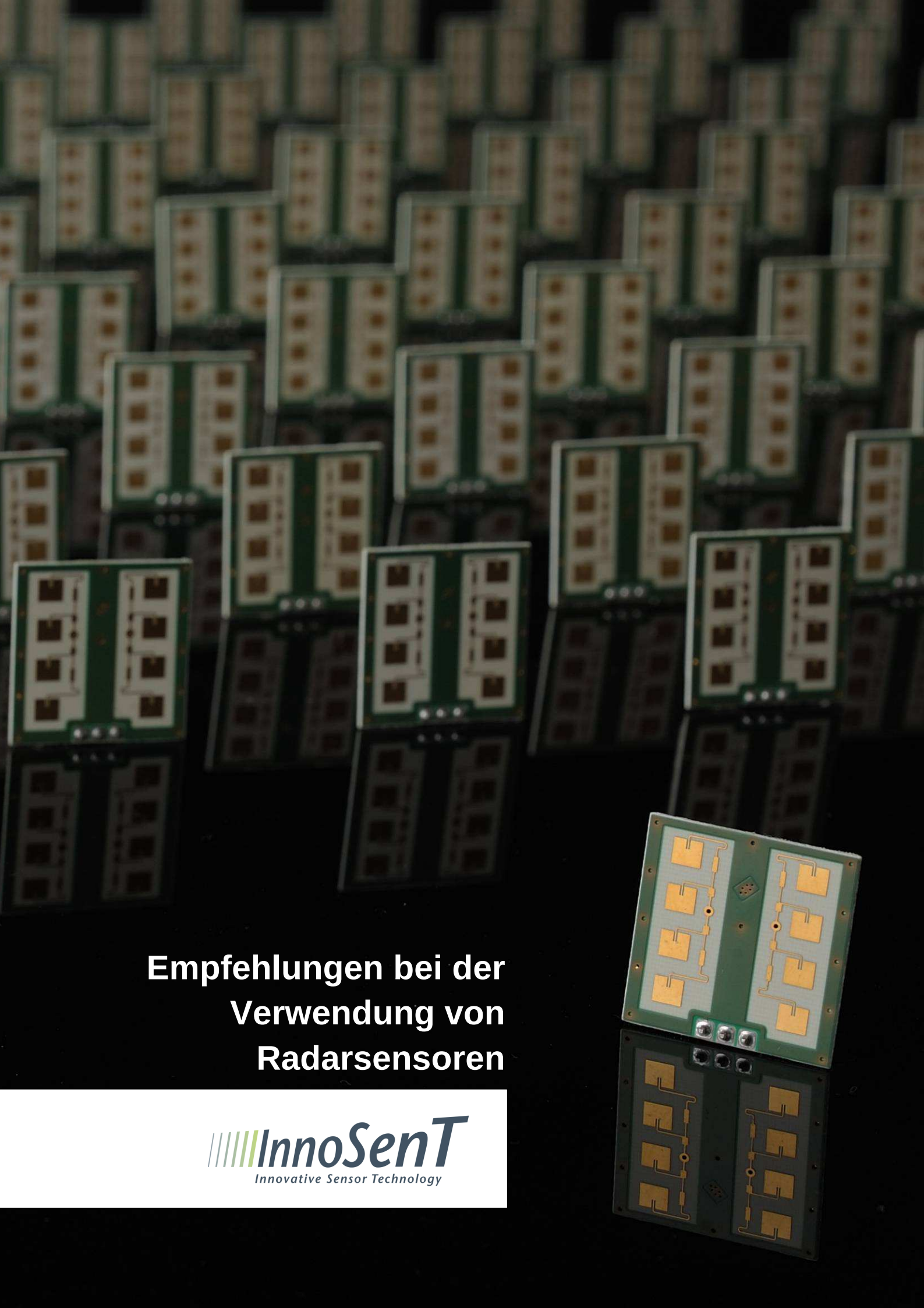
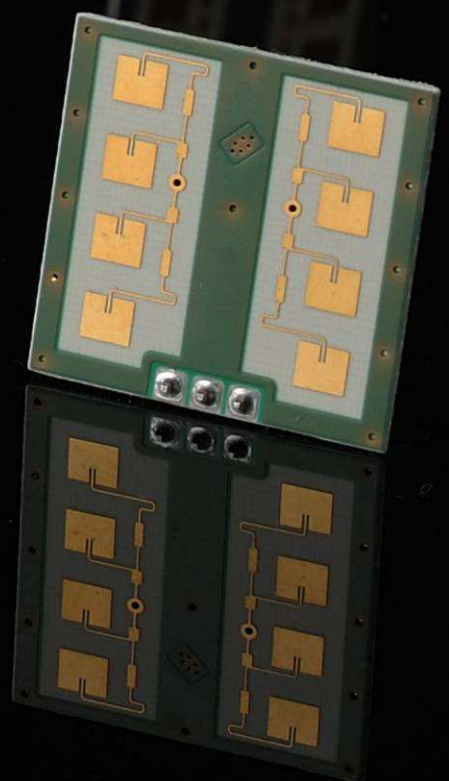




Empfehlungen bei der Verwendung von Radarsensoren

 **InnoSenT**
Innovative Sensor Technology



Empfehlungen bei der Verwendung von Radarsensoren im Allgemeinen und für Low-Cost-Sensoren im Speziellen

1. Allgemeine Betrachtungen

Radarsensoren werden im Allgemeinen in grossen Stückzahlen eingesetzt, um Bewegungen von Objekten oder deren Position berührungslos zu erfassen. Radarsensoren arbeiten bei sehr hohen Frequenzen im Mikrowellenbereich, InnoSenT-Produkte grösstenteils im 24 GHz-ISM-Band. Die Sensoren enthalten neben passiven Standard-Bauelementen wie SMD-Chip-Kondensatoren und Widerstände sowie Induktivitäten oder die SMD-Multi-Layer-Platine auch aktive Bauelemente wie Mikrowellen-Schottky-Dioden, PHEMT-Transistoren (also GaAs-FET's), PIN-Dioden, Si-Bipolar-Transistoren und neuerdings auch Mikrowellen-IC's sog. MMIC's. Alle diese genannten Bauelemente unterliegen bei ihrer Herstellung durch Zulieferanten gewissen Fertigungsstreuungen, die sich nach der Integration auf einer Schaltung bemerkbar machen. Diese Streuungen können sich schlimmstenfalls addieren oder multiplizieren oder bestenfalls gegenseitig kompensieren. Ziel dieses Artikels soll es sein, den Anwender im Vorherein auf die Eigenheiten solcher Mikrowellenbaugruppen aufmerksam zu machen, um Enttäuschungen und Überraschungen in der Serienanwendung zu vermeiden.

2. Was kann dahinterstecken wenn es heisst: „Funktioniert nicht!“

Leider werden wir allzu oft mit der Feststellung eines Neu-Kunden konfrontiert, nachdem er seine erste Serie bestückt hat: „Die Radarsensoren funktionieren nicht, ich kann nur 50 Prozent verwenden und dabei haben die 10 Muster doch so hervorragend gespielt!“ Eine Rücksendung dieser „nicht-funktionierenden“ Teile und eine erneute Überprüfung bei InnoSenT ergibt in fast allen Fällen immer wieder das gleiche Ergebnis: wir können an den Bauteilen keinen Fehler feststellen, die Sensoren funktionieren in unserem End-of-line Testplatz einwandfrei.

Was steckt dahinter? Einfache Antwort: Sie als Kunde und InnoSenT als Hersteller sind das Opfer der Wahrscheinlichkeitsrechnung geworden. 10.000 Sensoren verhalten sich im Einzelnen eben anders als nur 10 Muster. Dies hat nichts mit schlechter Fertigungsqualität zu tun.

Unter schlechte Fertigungsqualität dürfen Sie folgende Ausfallkriterien einordnen:

- ◆ Bauteil funktioniert überhaupt nicht, d.h. nimmt bei Anlegen der richtigen Betriebsspannung (im Allgemeinen plus 5V) keinen Strom auf oder zieht Kurzschluss-Strom
- ◆ Bauteil weist mechanische Schäden auf - Deckel abgesprungen oder total unsymmetrisch aufgesetzt
- ◆ Anschluss-Stecker beschädigt

Im Normalfall werden derartige Schäden von InnoSenT während des 100-prozentigen Warenausgangstests entdeckt, so dass solche Bauteile nicht zum Kunden gelangen. Sollte dies trotzdem einmal der Fall sein, ersetzt InnoSenT derartige Bauteile sofort ohne jegliche Diskussion. Beim letzten genannten Punkt könnte es sich auch um einen Transportschaden handeln. InnoSenT hat sehr viele Ideen in die Auslegung von Verpackungsmaterialien gelegt, um Transportschäden zu vermeiden.

Schwieriger wird es, wenn der Verdacht einer Fehlbedienung durch den Kunden besteht.

Beispiel: die Betriebsspannung war verpolt oder zu hoch. Solche Fehler lassen sich nicht immer aber doch zum grossen Teil am Ausfallbild eines Halbleiters analysieren.

Noch schwieriger ist der Punkt „ESD-Schädigung des Empfängerausgangs“ bei Sensoren wie dem IPM 165, bei denen direkter Zugriff auf die empfindlichen Si-Schottky-Mischerdioden besteht. Diese Schäden äussern sich durch

- ◆ stark erhöhtes Rauschen des Empfängerausgangs
- ◆ stark unterschiedliches Rauschen von Empfänger-Ausgängen bei Stereo-Produkten
- ◆ totales Fehlen des Ausgangssignals, obwohl alle sonstigen Gleichspannungsparameter, also Betriebsspannung und Betriebsstrom im richtigen Bereich liegen.

Diese Fälle sind umso unangenehmer, weil uns als Hersteller der Nachweis solcher Schäden relativ leicht fällt und wir unsere Kunden dann auf diese Fehlbedienung hinweisen müssen.

Deshalb: Lassen Sie es gar nicht soweit kommen!

- ◆ Verwenden Sie, obwohl die Sensoren intern durch einen 470 oder 1000 Ohm-Ableitwiderstand geschützt sind, immer ESD-Schutz, solange die Bauteile nicht in der Schaltung eingebaut sind
- ◆ Nach Einbau in einer Schaltung besteht im Allgemeinen keine Gefahr der ESD-Schädigung mehr
- ◆ **Gewöhnen Sie sich an, die einzelnen Schaltungen immer am Rand der Platine zu halten, nie aber an den Anschlussbeinchen! Wenn Sie dies konsequent beachten, werden Sie nie Probleme mit ESD haben!**

Die unangenehmste Auskunft eines Kunden lautet:

„Sensor geht nicht oder besser gesagt, geht nicht wie erwartet. Z.B. die Reichweite ist nur 1m.“

Darauf wollen wir uns im Folgenden konzentrieren.

3. Was ist Physik und was ist Fertigungsqualität?

Die Fertigungsqualität wurde bereits angesprochen. Eigentlich haben wir die **Fertigungsqualität** abgehakt, da sie meistens deutlich sichtbare Spuren hinterlässt. Übrigens, jedes unserer Produkte unterliegt einem SPC-System, d.h. einzelne Sensoren, auch die Low-Cost-Produkte, sind eindeutig zurückverfolgbar. Sie können sich vorstellen, welchen Umfang unsere Datenbanken dafür besitzen.

Wenn es nicht Problem der Fertigungsqualität ist, welche anderen Zufälle können dann zutreffen?

Wie bereits vorher gesagt, müssen wir als Hersteller mit der **Physik** von Bauelementen, der Streuung ihrer Parameter und schliesslich mit den statistischen Ergebnissen der Wahrscheinlichkeitsrechnung leben.

Dabei sind **Umwelt-Einflüsse** wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit noch die einfachsten Einflussparameter, da wir diese im sog. Qualifikationsprozess erfassen können. Die gute Nachricht ist, dass Sie als Kunde davon ausgehen können, dass bei InnoSenT ein neues Produkt erst ein Produkt ist, nachdem es einen **Qualifikationsprozess** von ca. 4 Monaten durchlaufen hat. Dort wird eine repräsentative Anzahl von Modulen Prüfabläufen wie Langzeitlagerung bei erhöhter Temperatur mit/ohne Betriebsspannung, langsames/schnelles Durchfahren von Temperaturkurven bei trockener oder feuchter Umgebung, Verhalten unter Schock und Vibration usw. unterworfen.

Wir wenden uns jetzt den Einflüssen von physikalischen Parametern zu, also z.B. dem Drain-Sättigungsstrom eines GaAs-FET's, der Abstimmteilheit einer Varaktordiode in einem VCO, der Rauschzahl eines Vorverstärker-Transistors, der Abhängigkeit der Ausgangsspannung einer Mischerdiode vom Eingangssignal, wobei die Mischerdiode noch zusätzlich und unvermeidlich als Temperatursensor wirkt usw. usw.

Eine wichtige physikalische Größe ist auch die Dioden-Richtkennlinie, die die Höhe der Richtspannung über der anliegenden Hochfrequenzleistung bestimmt. Sie ist für jede Diode anders und sozusagen der „Fingerabdruck“ jeder Diode.

Dies ist nur ein kurzer Auszug aus den möglichen Parametern, die zum Gesamtbild eines Sensors beitragen. Insofern ist jeder Mikrowellenschaltkreis in gewissem Sinne ein Unikat.

Sie mögen jetzt sagen: „Ganz einfach – aussortieren!“ Wir könnten natürlich bei unseren **Zulieferanten** Schlüsselbauteile mit eingeschränkten Daten bestellen! Falls überhaupt möglich – wären Sie bereit, dafür mindestens den doppelten Preis für ein solches Modul zu zahlen? Wohl kaum!

Oder **wir selektieren** in unserem End-of-Line-Testplatz – mit derselben Auswirkung: die verminderte Ausbeute treibt den Preis nach oben.

Deshalb möchten wir Sie hier mit den Möglichkeiten vertraut machen, die Ihnen zur Verfügung stehen, um auch in Ihrer Schaltung die ideale Ausbeute von 100 Prozent zu erzielen.

4. Einflussparameter und Abhilfen

4.1. Gleichstrom-Parameter

Beginnen wir mit den Versorgungsdaten. Hauptanteil besitzt der Sendeoszillator, der entweder mit einem PHEMT (Feldeffekt) Transistor (fast bei allen diskret aufgebauten Oszillatoren) oder einem Bipolar-Transistor oder einem MMIC bestückt ist.

Betriebsspannung/Betriebsstrom:

In jedem Fall: halten Sie sich unbedingt an die angegebene bzw. vorgeschlagene Betriebsspannung! Übliche Schwankungen z.B. bedingt durch Festspannungsregler sind unbedenklich und von uns berücksichtigt. Weitergehende Abweichungen sollten Sie unbedingt vermeiden, z.B. zur Leistungsregelung die Betriebsspannung zu erhöhen oder herabzusetzen. Zum einen verändern Sie damit die Arbeitsfrequenz. Zum anderen riskieren Sie bei Spannungserhöhung den sicheren Betrieb des Halbleiterbauelements, bei Spannungserniedrigung das sichere Anschwingen eines Oszillators bei allen spezifizierten Temperaturen.

Leider haben Sie (und auch wir) auf den Betriebsstrom wenig Einfluss. Er ergibt sich aus der Gleichspannungskennlinie des verwendeten Transistors, wobei für FET's der sog. Drain-Sättigungsstrom ausschlaggebend ist. Auch bei diesem Parameter schwanken GaAs-FET's besonders stark, bis zu einem Faktor 4. Sortierungen von Transistoren treiben lediglich den Preis in unbezahlbare Höhen (siehe oben).

DC-Offset-Spannung am Empfängeranfang:

InnoSenT verwendet grundsätzlich balancierte Diodenanordnungen im Empfangszweig, was im Rauschen Vorteile bringt. Theoretisch müsste die Differenzspannung am Empfängeranfang NULL betragen, aber nur, wenn beide Dioden absolut identisch wären und auch keinerlei Unsymmetrie in der Diodenspeisung vorhanden wäre. Im Realfall wird also eine Differenzspannung entstehen, die sowohl negativ als auch positiv sein kann und Werte bis zu plus/minus 300 mV annehmen kann. ***Weder die Höhe noch die Polarität dieser Offset-Spannung sind ein Qualitätsmerkmal eines Moduls.***

Manche Kunden verwenden diese Offset-Spannung bewusst als Selbsttest – gute Idee! Man muss sich nur im Klaren sein, dass folgende Ausfallkriterien gelten:

Offset-Spannung

- ◆ betragsmäßig deutlich höher als 300 mV – wahrscheinlicher Ausfall einer Mischerdiode
- ◆ exakt Null – Oszillator-Ausfall oder beide Mischerdioden gleichzeitig ausgefallen oder beide Mischerdioden absolut identisch (unwahrscheinlich).

Weiterhin ist zu beachten, dass man zwar diese Offset-Spannung zur Auswertung DC-gekoppelt verstärken kann, aber nur maximal um den Faktor 10 (20 dB), da sonst der nachfolgende Op-Amp in die Begrenzung fährt. Ab hier muss dann AC-gekoppelt weiterverstärkt werden (siehe folgenden Abschnitt 4.5).

4.2. Hochfrequenzverhalten des Radar-Sensors

Das Hochfrequenzverhalten des Sensors ist seinem Datenblatt zu entnehmen.

Eine der wichtigsten Eigenschaften sind die Daten der Sende- und Empfangsantennen. In den meisten Fällen verwendet InnoSent getrennte Sende- und Empfangsantennen, da dies einen theoretischen Vorteil in der Empfindlichkeit von 3 dB gegenüber einer gemeinsamen Sende/Empfangsantenne bedeutet.

Was bedeutet nun der Begriff „**Breite des Antennendiagramms**“?

Es bedeutet NICHT, dass darüber hinaus nichts mehr von einem möglichen Objekt empfangen wird. Es heisst nur, dass an diesen gedachten Linien die gesendete oder empfangene Energie im Vergleich zur Hauptstrahlrichtung um 50% abgenommen hat. Es besteht oft die irrtümliche Meinung, dass darüber hinaus „die Welt zu Ende ist“. Ein grosses Objekt (grosse Metallwand oder KFZ) wird z.B. den abfallenden Antennengewinn durch seinen hohen Reflexionsquerschnitt wieder aufwiegen.

Noch eine Feststellung:

Hohe **Sendeleistung** bedeutet nicht automatisch „empfindliches Radar“. Wir haben sämtliche Kombinationen zu betrachten – hohe Sendeleistung und hohe Empfängerempfindlichkeit, hohe Sendeleistung, aber niedrige Empfängerempfindlichkeit und das Ganze umgekehrt – niedrige Sendeleistung und niedrige Empfängerempfindlichkeit und niedrige Sendeleistung, aber hohe Empfängerempfindlichkeit. Der Begriff „Empfänger-Empfindlichkeit“ wird im Folgenden noch geklärt.

4.3. Empfindlichkeit eines Radarsensors

Die Frage ist, wie man überhaupt die „**Empfindlichkeit**“ eines Radars definieren soll.

Die Antwort ist einfach: im Endeffekt entscheidet nur das sog. **Signal- zu Rauschverhältnis**. Das heisst, um welchen Betrag bei einem definierten Reflexionsziel das Nutzsignal über dem nicht mehr (mit analogen Verfahren) auswertbaren Rauschband liegt. Auch ein kleines Nutzsignal ergibt einen wertvollen und empfindlichen Sensor, wenn dafür das Rauschen weit genug abgesenkt ist.

Vielfach wird von Kunden irrtümlich unter „Empfindlichkeit“ die absolute Höhe des Nutzsignals verstanden. In Wirklichkeit muss dazu der Abstand des Rauschbandes genannt werden. Die Höhe des Nutzsignals kann anschliessend beliebig hochverstärkt werden, wobei das Rauschen natürlich mitverstärkt wird. Wichtig ist nur, dass das hochverstärkte Rauschen noch nicht zum Ansprechen der „Entscheiderschaltung“ führt.

4.4. Abstimmbare Oszillatoren für FMCWFSK-Anwendungen, sog. VCO's

Für VCO's gilt verstärkt die Aussage – es gibt keine 2 Oszillatoren mit exakt identischer Abstimmkurve Frequenz über Varaktor-Abstimmungsspannung! Selbst sog. MMIC's zeigen Streuungen, wenn auch geringer als diskrete Aufbauten.

Die Abstimmkurve wird von vielen Parametern beeinflusst, nicht nur vom Abstimm-Varaktor selbst. Parameter wie Güte des frequenzbestimmenden Schwingkreises, Ätztoleranzen an Koppelspalten, Metallisierungsdicke, Rückkopplungskapazitäten des Oszillator-Transistors, dessen Arbeitspunkt usw.usw. haben Einfluss auf die Aufstimmbandbreite und die Abstimmsteilheit.

Bei manchen Produkten mit VCO liefert InnoSenT Messergebnisse über Schwingfrequenz bei 3 Werten der Abstimmspannung, wegen des erhöhten Messaufwands natürlich gegen geringen Aufpreis.

Sie sollten bei Gross-Serienanwendungen mit uns sprechen, ob Sie eine derartige Zusatzinformation benötigen, wenn Sie nicht selbst die Möglichkeit einer Mikrowellenfrequenz-Messung besitzen.

4.5. NF-Beschaltung des Empfängerausgangs – Signalverstärkung um einen „Alarm“ zu erzeugen

Manche InnoSenT-Module besitzen eine interne NF-Vorverstärkung, hauptsächlich als ESD-Schutz gedacht. Universell verwendbare Produkte wie IPM-165 besitzen keine interne NF-Vorverstärkung, um Ihnen als Kunde volle Flexibilität hinsichtlich Basisbandbreite zu bieten.

Die an den Mischerausgang anschliessende Verstärkung des Empfangssignals dient 2 Zwecken

- ◆ einmal um bei Auftauchen eines Objektes einen „Alarm“ auszulösen
- ◆ zum anderen durch Einschränkung des zu erfassenden Frequenzbereiches des Dopplersignals die Erfassung unerwünschter Objekte auszuschalten.

Eine Eingrenzung des Frequenz-Durchlassbereichs Ihrer Verstärkerstufe ist dringend anzuraten. So können Sie auf einfache Weise Empfindlichkeit durch Absenken des Rauschpegels erreichen.

Die untere Frequenzgrenze verändern Sie mit Hilfe der RC-Serien-Kopplung der Stufen untereinander, die obere Frequenzgrenze verändern Sie mit Hilfe der RC-Parallelschaltung im Rückkopplungsweig eines Op-Amps. Hilfestellung dazu findet man in jedem guten Elektronik-Schaltungsbuch (z.B. Tietze-Schenk).

Die Beschaltung kann gemäss den Vorschlägen in unserer Applikationsschrift 1 Punkt 3.2.3 erfolgen. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass eine Gesamtverstärkung von 60 bis 70 dB erforderlich ist, um ein NF-Signal am direkten Mischerausgang in von wenigen 100 μV in den Bereich 1 – 2 Vpp zu bringen, je nachdem, ob Sie limitierend oder linear verstärken wollen.

Als Verstärker-Grundsaltungen können sowohl invertierende als auch hochohmige, nichtinvertierende (Elektrometer)-Schaltungen verwendet werden. Um empfindlich zu werden, sollten besonders rauscharme Op-Amps verwendet werden.

Tipp: Vermeiden Sie wegen Rauschbeiträgen bei den Rückkopplungs-Widerständen Werte im hohen (Meg-) Ohmbereich. Holen Sie sich die hohe Verstärkung eher durch niedrigere Koppelwiderstände.

Am Ende des Verstärkerzuges werden Sie eine „Entscheidungsschaltung“ anbringen, die ein Signal abgibt, sobald eine gesetzte Schwelle überschritten wird.

Hinweis gemäss vorigem Abschnitt 4.1: die letzten 40 bis 50 dB können nur AC-gekoppelt ausgeführt sein, da ein DC-gekoppelter Verstärker wegen des Mischer-Offsets begrenzen würde.

Dieser Teil der Beschaltung bedarf der größten Aufmerksamkeit!

Tatsächlich liegt hier meistens **die Ursache für Funktionsprobleme in der Serie!**

5. Konsequenzen für die Auslegung einer Verstärkerbeschaltung

Die Höhe des Nutzsignals in einem Radarsensor unterliegt in der Serie starken Schwankungen, da sehr viele physikalische Parameter darauf Einfluss nehmen.

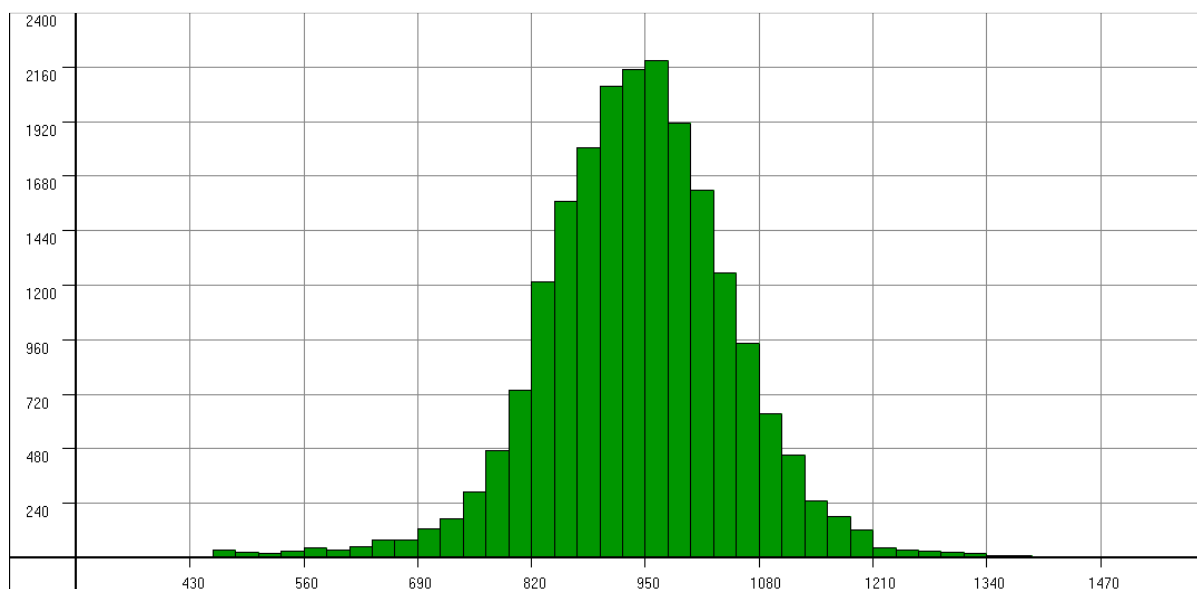


Bild 1: Verteilung der Sensor-Ausgangsspannung (X-Achse in mV) über Stückzahlen (Y-Achse) bei einem festen Referenzziel (InnoSenT End-of-Line Testplatz)

Eine Verteilungsfunktion aus 20.762 vermessenen Sensoren (an 12 Arbeitstagen gefertigt) des Typs IPM-165 zeigt das obige Bild1. Dabei wurde jedem Sensor mit Hilfe eines elektronischen Doppler-Simulators (IDS 208 von InnoSenT) ein definiertes bewegtes Reflexionsziel angeboten und die entsprechende Ausgangs-Signalamplitude gemessen. Die angezeigten Werte sind spezifisch für diesen Messplatz und besitzen keine Allgemeingültigkeit.

Die Konsequenz daraus ist, dass ein Kunde nicht davon ausgehen kann, dass die Ausgangssignale vieler Sensoren in der Serie bei ein und demselben Objekt in einem unendlich engen Bereich liegen werden. Die glockenförmige Funktion zeigt zwar, dass der grösste Teil in einem Bereich von plus/minus 20% liegt, dass aber Variationen bis zu einem Faktor 3 auftreten können.

InnoSenT liefert aus diesem Grunde sein Massenprodukt IPM 165 selektiert in 3 Kategorien von Ausgangssignalen. Dies ermöglicht dem Anwender, für die Kategorien A, B oder C entsprechende

Verstärkerschaltungen vorzuhalten, so dass ein Ausmessen oder eine Verstärkungsanpassung in der Serie entfallen kann.

Bitte beachten:

Die Wahrscheinlichkeit eines Moduls, in die Kategorie A, B oder C zu fallen, ergibt sich aus der gezeigten Verteilungskurve. Umgekehrt ist es InnoSenT NICHT möglich, gezielt nur Produkte der Kategorien A oder B oder C zu fertigen. Es kann z.B. durchaus sein, dass die Fertigung über längere Zeit hinweg keine Module der Kategorien A oder C findet.

Fazit:

Schliessen Sie bitte nicht aus den Ergebnissen von 10 untersuchten Mustern auf das Verhalten von Hundertausenden von Sensoren.

Legen Sie Ihre NF-Auswerteschaltung so aus, dass Sie

- ♦ **entweder eine so hohe feste Verstärkung vorsehen, dass auch das geringste Signal noch zum sicheren Ansprechen führt, während höhere Signale den Ausgang in die Sättigung treiben oder**
- ♦ **eine Anpassung der Gesamtverstärkung im Verstärkerzug vorsehen z.B. mittels eines Potentiometers oder der Austauschmöglichkeit von Widerständen.**
- ♦ **Achtung! Änderungen von verstärkungsbestimmenden Bauteilen beeinflussen im Allgemeinen auch die Frequenzgrenzen.**

Nutzen Sie das Angebot der Fa. InnoSenT, die Ihnen den IPM 165 selektiert in 3 Kategorien anbietet.

Die angesprochenen Schwankungen des Ausgangssignals sind keine Qualitätsprobleme eines Radarsensors, sondern durch die Physik der Bauteile bestimmt.

Wenn Sie die genannten Punkte bei der Auslegung Ihrer NF-Beschaltung beachten, sollten Sie keinerlei Probleme auch bei sehr großen Serien haben.

Vielen Dank für die Geduld beim Lesen dieser Schrift! Und nun viel Glück beim Entwurf Ihrer speziellen Radarsensor-Schaltung!

Für weitere Fragen steht Ihnen das InnoSenT-Team gerne unter Tel.Nr. 0049 (O) 9528-9518-0 oder per Email info@innosent.de zur Verfügung.

Dr.Wolfgang Weidmann
InnoSenT GmbH
Juli 2009