



APPLIKATIONSSCHRIFT III

***IPM-165 – ein universeller Low-Cost K-Band
Transceiver für die Detektion bewegter Objekte
auf verschiedensten Anwendungsgebieten***

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Beschreibung des IPM 165	4
3. Behandlungshinweise – ESD-Empfindlichkeit	5
4. NF-Verstärkerschaltung	5
5. Takten des Transceivers	7
5.1 Anschwingverhalten des Oszillators – Pulslänge	7
5.2 Schaltung zum Takten des IPM 165	8
6. Frequenzsprungverfahren durch Tasten der Betriebsspannung	8
6. 1 Sog. Frequency Pushing durch Betriebsspannungsänderung	8
6.2 Frequenzsprungverfahren (FSK)	10
7. Wir betreiben das Modul IPM 165 zum ersten Mal!	11
8. Für den aussergewöhnlichen Fall, dass es nicht funktioniert!	12

**Die Vervielfältigung/Veröffentlichung dieser Schrift oder
von Auszügen davon ist nur mit der Zustimmung
des Verfassers erlaubt.**

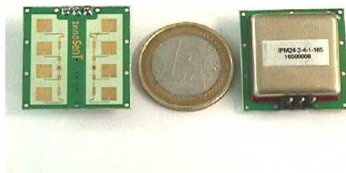
IPM 165 – ein universeller Low-Cost K-Band Transceiver für die Detektion bewegter Objekte auf verschiedensten Anwendungsgebieten

- Applikationsschrift AN 03 -

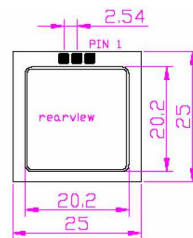
1. Einführung

Der Mono-Transceiver IPM 165 von InnoSenT ist ein in den verschiedensten Märkten hervorragend eingeführter K-Band Transceiver, der sich wegen seines äusserst attraktiven Preises, seiner kleinen Abmessungen, seiner hohen Empfindlichkeit und damit seiner universellen Einsetzbarkeit großer Beliebtheit erfreut.

Product Picture



Mechanical Outlines



Pin Description / Antenna pattern

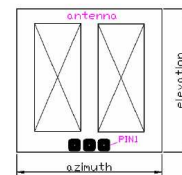


Bild 1: Photo und Abmessungen des K-Band Transceivers IPM-165

Diese Schrift soll dem Anwender Hilfestellung leisten, diese Komponente unter verschiedensten Anforderungen einzusetzen. So wird neben dem üblichen CW (continuous wave = Dauerstrich) Betrieb hier auch die Möglichkeit des Pulsens beschrieben. Aufgrund der simplen Architektur sind Auswerteschaltungen sehr einfach gehalten und ermöglichen äusserst preiswerte und kompakte Radardetektoren.

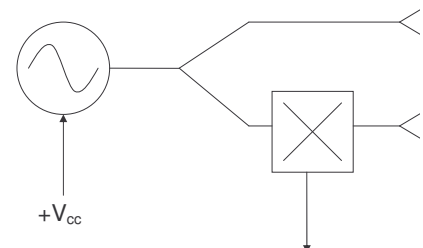


Bild 2: Blockschaltbild des IPM 165

Die hier angesprochenen Schaltungen sollten den Großteil der Anforderungen erfüllen, wie sie in Märkten wie Türöffner, Alarm- und Sicherheitsanlagen, Steuerungen von Maschinen und Anlagen, Sanitäranlagen bis hin zu Sport- und Spielgeräten gestellt werden. Es muss immer davon ausgegangen werden, dass der aufzubauende Sensor eine **Bewegung** eines Objekts zu detektieren hat. Diese sog. „Objekte“ können Gegenstände, Fahrzeuge, Tiere bis hin zu Personen sein, die sich mit mehr oder weniger großer Geschwindigkeit bewegen. Eine entsprechende Beschaltung ermöglicht die Detektion hin bis zum Fast-Stillstand.

Tatsächlich ruhende Objekte können allerdings nicht erkannt werden, ebenso wenig ist die Erkennung der Bewegungsrichtung mit dem IPM 165 ohne weitere Massnahmen möglich, wie dies bei Transceivern mit Stereo-Architektur der Fall ist.

Dafür entschädigt der Sensor durch höchste Empfindlichkeit. So kann im allgemeinen ein Mensch sicher in 15 bis 20m Entfernung detektiert werden. Damit eignet sich der Sensor z.B. ganz hervorragend für Dual-Technologie-Anwendungen im Sicherheitsbereich, wo sich die Vorteile von PIR und Radar-Detektoren hervorragend ergänzen können.

Als kleines Beispiel sei nur genannt, dass sich Radar- und PIR-Detektoren geradezu diametral verschieden bei Annäherung oder Entfernung verhalten. Während der PIR-Detektor sehr unempfindlich bei Bewegungen auf direkter Linie zum Detektor oder von ihm weg ist, zeigt der Radardetektor hier seine größte Empfindlichkeit. Bei kreisförmigen Bewegungen eines Objektes um den Sensor mit festem Abstand verliert der Radarsensor seine Empfindlichkeit wegen des Fehlens des Dopplereffektes, während der PIR-Sensor hier gerade seine höchste Empfindlichkeit besitzt, da er eine Veränderung des integralen Wärmebildes feststellt.

Wegen seiner extrem kurzen Einschwingzeit ist es möglich, den IPM 165 mit sehr kurzen Pulsen und hohem Pulspause/Pulslänge-Verhältnis zu betreiben. Damit erschliessen sich Möglichkeiten wie schnelle Amplitudenmodulation und hohe Stromersparnis durch niedrigen mittleren Betriebsstrom (Einsatz bei Batterie- oder Solarzellen-Versorgung, dazu mehr im Punkt 5.1).

2. Beschreibung des IPM 165

Der IPM 165 repräsentiert einen hochintegrierten Radarsensor mit Sende- bzw. Empfangsantenne, einem Sende- und einem Empfangsteil. Er benötigt lediglich eine positive Betriebsspannung. Er ist als Bauteil mit 5V oder 3 V Betriebsspannung verfügbar.

Die hohe Empfindlichkeit des IPM-165 ergibt sich durch zwei konstruktive Massnahmen:

- die Verwendung getrennter Sende- und Empfangszweige bzw. Antennen
- die Verwendung eines Gegentakt-Mischers (balanced mixer)

Sorgfältige Schaltungsauslegung und Auswahl geeigneter Komponenten führen dazu, dass der IPM-165 ohne zusätzliche äussere Temperaturkompensation auskommt und die Vorgaben des Europäischen ETSI-Standards einhält. So besitzt der IPM 165 eine allgemein gültige CE-Zulassung.

Daten des IPM-165:

Parameter	Symbol	min.	typ.	max.	Units	Comment
transmit frequency	f	24.000	24.125	24.250	GHz	meeting ETSI #300 440
output power (EIRP)	P _{out}		16	+ 20	dBm	meeting ETSI #300 440
temperature drift	Δf		900		kHz/°C	
antenna pattern	horizontal		80		°	azimuth
	vertical		32		°	elevation
side lobe suppr.	horizontal		13		dB	azimuth
	vertical		13		dB	elevation
antenna pattern	horizontal		70		°	azimuth
	vertical		70		°	elevation
side lobe suppr.	horizontal		13		dB	azimuth
	vertical		13		dB	elevation
IF output	voltage offset	-300		300	mV	
supply voltage	V _{CC}	4.75		5	V	
supply current	I		30	40	mA	continuous operation
operating temperature	T _{OP}	-20		+60	°C	
outline dimens.		~ 25 x 25 x 7			mm	preliminary

Einige weitere allgemeine Bemerkungen zum IPM 165:

Die **Antennendiagramme** der Sende- und der Empfangsantenne sind identisch und absichtlich relativ breit ausgelegt, um ein möglichst großes Umfeld zu erfassen.

Der gesamte **Stromverbrauch** entsteht ausschliesslich im Sendeteil. Der vorgegebene Mindeststrom kann nicht durch Erniedrigen der Betriebsspannung gesenkt werden, ohne einen sicheren Betrieb bei allen Temperaturen zu gefährden. Zur Stromsenkung müssen daher andere Verfahren verwendet werden, auf die hier näher unter Punkt 5 eingegangen wird.

Das am Ausgang zur Verfügung stehende Signal ist bei einem monoton bewegten Ziel sinusförmig und besitzt sehr kleine Amplitude (Größenordnung 300 µV). Es muss auf jeden Fall sehr rauscharm und hochohmig weiterverstärkt werden. Es kann deshalb hochohmig abgegriffen werden, da die interne Beschaltung des Sensors eine Belastung mittlerer Impedanz darstellt. Ohne Vorverstärkung kann ein derartiger Radarsensor mit Hilfe eines Scopes allein wegen fehlender Empfindlichkeit nicht überprüft werden.

3. Behandlungshinweise - ESD-Empfindlichkeit

Achtung! Transceiver dieser Bauart mit direktem Zugriff auf den Mischerausgang sind **ESD-gefährdet**. Bei allen Arbeiten mit einem nicht eingelöteten Detektor ist darauf zu achten, dass die daran arbeitende Person nebst Hilfsmitteln nach ESD-Vorschriften geschützt ist. Dies beginnt bereits beim Herausnehmen des Detektors aus der Verpackung. Am sichersten ist, den Detektor lediglich seitlich an der Platine zu greifen, **nie** aber an den drei Anschluss-Steckern!

Ist der Detektor in eine Schaltung eingelötet, besteht nahezu keine Gefahr mehr, den Detektor zu zerstören, es sei denn man beaufschlagt den Mischer direkt mit Spannungen über 3 kV. Äussere Beschaltungen mit Varistoren bieten im Allgemeinen keinen genügenden Schutz gegen noch höhere Spannungen, da die schnellste Sicherung immer noch die Mischerdiode darstellt.

4. NF-Verstärkerschaltung

Die Beschaltung des Signalausganges und die Nachverstärkung des Mischer-Ausgangssignals erfolgt mit Hilfe von Operationsverstärkerstufen, die sowohl zur Verstärkung als auch zur Bandbegrenzung herangezogen werden. Je nach Anwendungsfall muss von einer benötigten Gesamtverstärkung von ca. 70 bis 80 dB ausgegangen werden, um das Mischerausgangssignal in Amplitudenbereiche von ca. 1 V zu bringen.

Grundsätzlich ist die Bandbreite des Empfangsmischers des IPM 165 sehr hoch – mindestens 100 MHz. Um aber einen hochempfindlichen Detektor im betrachteten Anwendungsbereich zu erhalten, ist eine Begrenzung des zu verstärkenden Frequenzbandes dringend anzuraten, da dadurch das Zusatzrauschen minimiert wird.

Die erwarteten Frequenzen der am Mischerausgang entstehenden Signale lassen sich nach der bekannten Formel berechnen:

$$f_D = 2f_0 \cdot \frac{v}{c_0} \cdot \cos \alpha$$

Dabei bedeuten:

f_D	Doppler- oder auch Differenzfrequenz
f_0	Sendefrequenz des Radars
v	Betrag der Geschwindigkeit des bewegten Objekts
c_0	Lichtgeschwindigkeit
α	Winkel zwischen tatsächlicher Bewegungsrichtung des Objekts und der Verbindungslinie Sensor-Objekt

Bei einer Soll-Sendefrequenz von 24.125 GHz ergibt sich als Faustformel

$$f_D = 44 \frac{\text{Hz}}{\text{km/h}}$$

Bei der Detektion von Menschen genügt es, das zu verstärkende Frequenzband von 6 bis 600 Hz zu legen.

Bei Anwendungen in Räumen ist bei Vorhandensein von Leuchtstoffröhren ein Kerbfilter bei 100 Hz einzufügen.

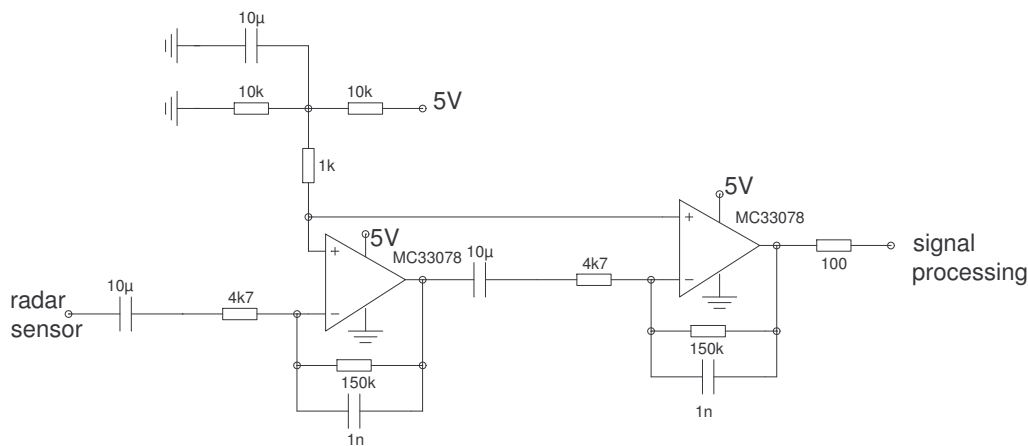


Bild 3: Schaltungsvorschlag eines NF-Nachfolgeverstärkers, Bandbreite 6...600 Hz, 60 dB Verstärkung.

Hier sei bemerkt, dass bei einer Vergrößerung der frequenzbestimmenden Kapazitäten um den Faktor 10 die entsprechenden Widerstandswerte um den Faktor 10 verringert werden können, was eine Verbesserung des Rauschverhaltens mit sich bringt.

In diesem Vorschlag wird durchgehend eine AC-Kopplung vorgeschlagen. Damit geht man allen Fertigungsstreuungen aus dem Weg.

Grundsätzlich kann man auch am Mischerausgang messbaren Gleichspannungspegel (Offset) als **Selbsttest** heranziehen, muss aber folgendes in Betracht ziehen.

Der Gleichspannungspegel (Offset) des Mischerausgangssignals wäre beim IPM 165 idealerweise Null, da wir es mit anti-parallelen Mischerdioden zu tun haben. Da aber diskrete Mischerdioden nie exakt gleich sind, wird sich immer eine Differenz-Gleichspannung einstellen, die sowohl negativ als auch positiv sein und betragsmässig bis zu 200 mV betragen kann. Eben diesen „Dreck-Effekt“ kann man zum Selbsttest heranziehen.

Dazu verstärkt man mit einer ersten Verstärkerstufe DC-gekoppelt nur wenig, z.B. 20 dB oder Faktor 10, zweigt hier das DC-Testsignal ab und verstärkt von hier ab AC-gekoppelt mit restlichen 50 bis 60 dB.

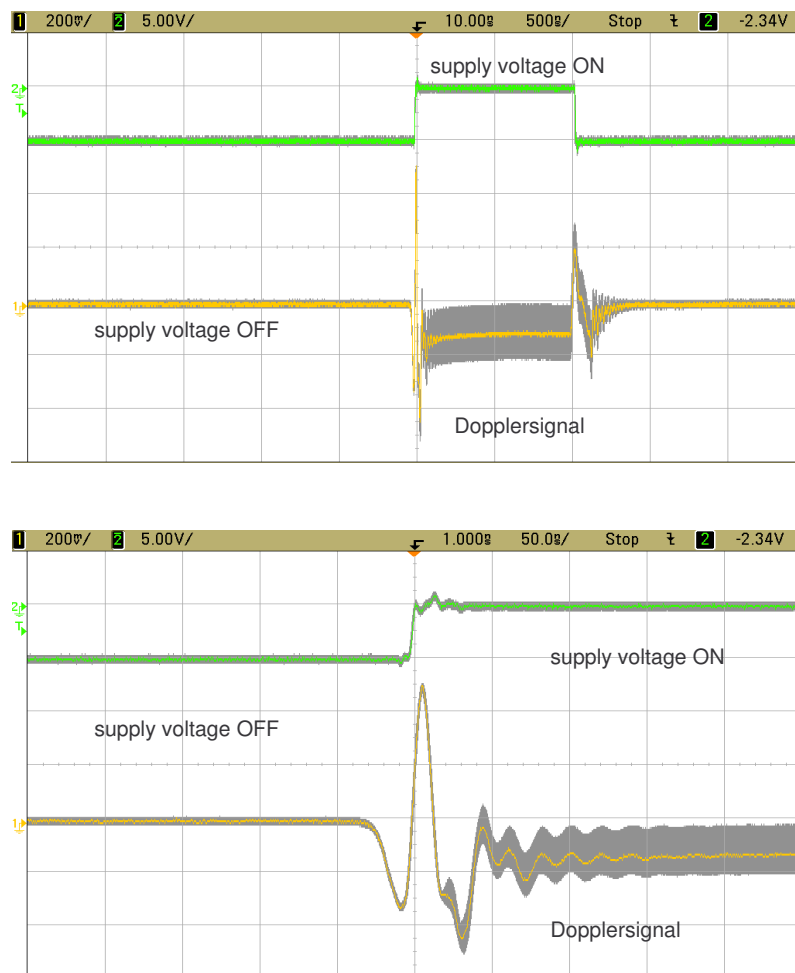
5. Takten des Transceivers

5.1 Anschwingverhalten des Oszillators - Pulslänge

Der IPM 165 ist besonders einfach über die Betriebsspannung taktbar. Getaktet wird aus zweierlei Gründen:

- zur Erzeugung einer Amplitudenmodulation mit 100% Modulationsgrad
- zur Stromersparnis

Sehr schnelles Takten oder Modulieren eines Oszillators über die Betriebsspannung ist nur möglich, wenn der Oszillator genügend schnell anschwingt. Dass der Sende-Oszillator des IPM 165 besonders schnell anschwingt, beweisen die folgenden Bilder Nr.4.



Bilder 4: Einschaltverhalten eines IPM 165 bei schneller Tastung der Betriebsspannung mit einem 1µsec Puls

Bild oben: Zeitachse 500 nsec/div

Bild unter: Zeitachse 50 nsec/div

Offensichtlich schwingen Sender und Empfangsteil in nahezu 100 nsec an, während das Abschalten durchaus 200 nsec betragen kann.

Um sicherzugehen (Fertigungsstreuungen!) schlagen wir vor, die Pulslänge beim Pulsen nicht unter **1 μ sec** abzusinken.

Wird also zur Stromersparnis die Betriebsspannung getastet, muss diese Tastung die Regenerierung des Dopplersignals ermöglichen. Nach dem Abtasttheorem von Shannon muss eine Schwingung der Frequenz f mit der doppelten Frequenz abgetastet werden, um sie sicher wiedergeben zu können.

Beispiel:

Soll also bei Alarmanlagenanwendungen der Frequenzbereich (z.B. 5...500 Hz) des durch einen Menschen erzeugten Dopplersignals abgetastet werden, muss mit mindestens 1000 Hz entsprechend 1 msec getastet werden. Bei einem Puls-Pausen-Verhältnis von 1:1000 ist damit eine Durchschnitts-Stromreduzierung um den Faktor 1000 möglich. Dies führt gerade zur oben genannten Pulslänge von 1 μ sec.

Um Störungen durch Unterabtastung (Aliasing) zu vermeiden, kann es nötig sein, die Tastfrequenz zu erhöhen und ein geringeres Puls- Pausenverhältnis zu akzeptieren.

5.2 Schaltung zum Takten des IPM 165

Die Betriebsspannung lässt sich am einfachsten mit Hilfe eines MOSFET's schalten.

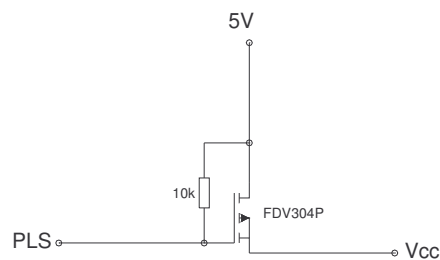


Bild 5: Schaltung zum Pulsen des IPM 165

Der Puls kann über ein CMOS- oder TLL-Gatter zugeführt werden.

6. Frequenzsprungverfahren durch Tasten der Betriebsspannung

6. 1 Sog. Frequency Pushing durch Betriebsspannungsänderung

Jeder Oszillator ändert bei Veränderung der Betriebsspannung seine Schwingfrequenz und zwar mehr oder weniger, je nachdem wie die Frequenzerzeugung erfolgt. Da der IPM 165 mit einfachsten Mitteln stabilisiert wird, liegt die Frequenzabhängigkeit im MHz-Bereich bei Änderung von bis zu 10% der Betriebsspannung. Dies ist übrigens zu berücksichtigen, wenn die Betriebsspannung durch einen Spannungsregler stabilisiert wird, der auch nur eine gewisse Toleranz der Sollspannung besitzt. Eine weitergehende Veränderung (Absenkung) der Betriebsspannung über 10% hinaus ist nicht anzuraten, da eventuell dadurch das Anschwingen des Oszillators bei Extremtemperaturen beeinflusst und ggfs. verhindert wird.

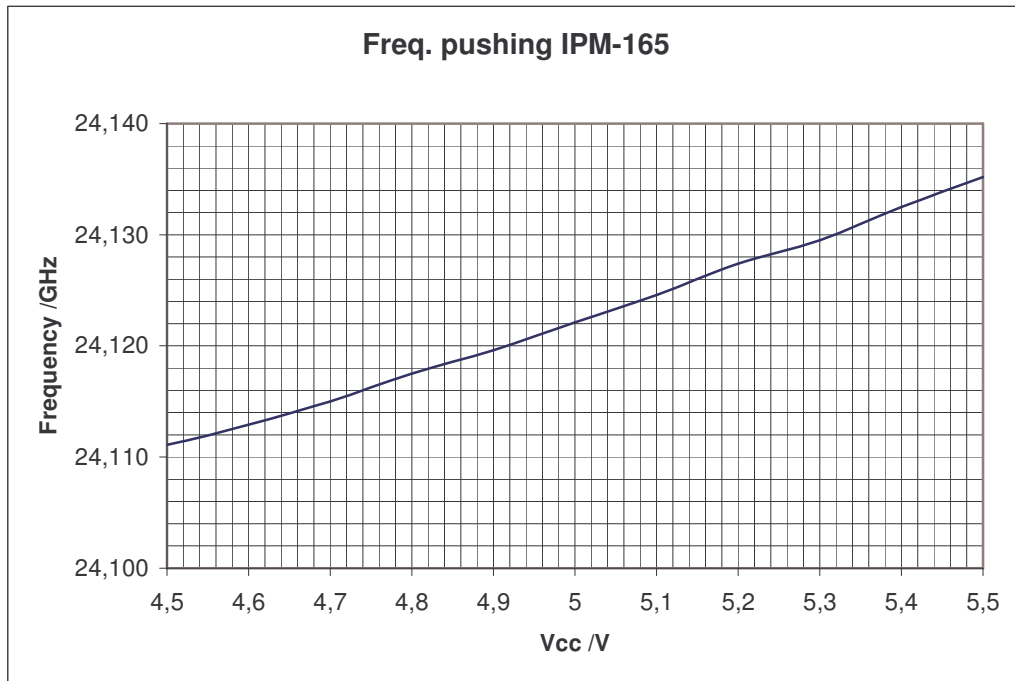


Bild 6: Veränderung der Schwingfrequenz eines IPM 165 in Abhängigkeit von der Betriebsspannung

Hier kann herausgelesen werden, dass eine Änderung der Betriebsspannung um 5% zu einer Frequenzänderung von ca. 6 MHz führt.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass das Frequency Pushing von Oszillator zu Oszillator variiert. Da diese Variation in der Variation der Sende-Transistor-Impedanzen begründet liegt, ist InnoSenT nicht in der Lage, Spezifikationen für das Pushing zu nennen bzw. zu garantieren. Insofern kann dieser Effekt der Frequenzänderung nur dann angewendet werden, wenn der Absolutbetrag der Frequenzänderung über der Betriebsspannungsänderung unkritisch ist.

6.2 Frequenzsprungverfahren (FSK)

Der oben erwähnte Effekt des Frequency Pushing kann für eine FSK (frequency shift keying), also eine sprunghafte Frequenzmodulation verwendet werden. Nochmals auch hier der Hinweis, dass der Modulationshub von Modul zu Modul variiert.

Bild 7 zeigt das sehr saubere Spektrum eines FSK-modulierten IPM 165, bei dem durch Umtasten der Betriebsspannung ca. 2,5 MHz Modulationshub erzeugt wurden.

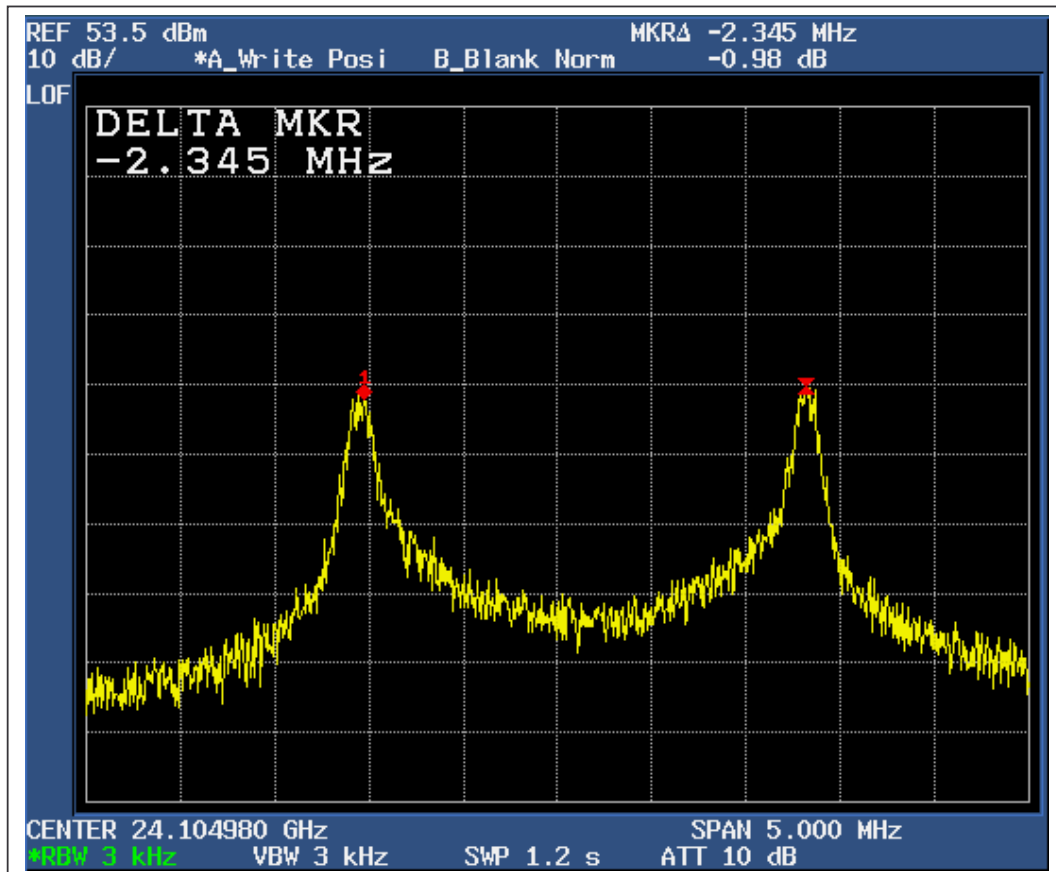


Bild 7: Frequenzspektrum eines FSK-modulierten IPM-165, erzeugt durch Umtasten der Betriebsspannung

Als Umtastschaltung wird die folgende Schaltung vorgeschlagen.

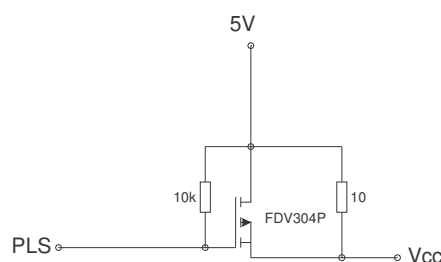


Bild 8: Schaltungsvorschlag zur FSK-Modulation eines IPM 165 durch Umtasten der Betriebsspannung, Puls- Ansteuerung über TTL oder CMOS-Gatter

In dieser Schaltung wird der Oszillator einmal mit der vollen Betriebsspannung, zum anderen mit einer Betriebsspannung vermindert durch einen Spannungsabfall, erzeugt durch den Betriebsstrom des Oszillators (ca. 30 mA), gespeist. Da auch dieser Betriebsstrom von Modul zu Modul variiert, unterliegt auch bereits dieser Spannungshub Exemplarstreuungen.

In der Literatur wird dieses Verfahren als Möglichkeit genannt, eine **Erkennung der Bewegungsrichtung** durch FSK zu realisieren. Dabei muss die Phasenlage der beiden entstehenden sinusförmigen Dopplersignale nach ihrem Vorzeichen ausgewertet werden. Der Aufwand dafür ist unserer Meinung nach größer und unterliegt, wie bereits hingewiesen, gehörigen Exemplarstreuungen im Vergleich zu der von uns propagierten Lösung eines Stereomoduls (z.B. IPS 154 von InnoSentT).

Wird das Modul über eine Dreiecks- oder Sägezahn-Funktion **linear frequenz-moduliert**, kann damit zumindest eine einfache **Entfernungseingrenzung** vorgenommen werden, immer unter der Berücksichtigung von Exemplarstreuungen in der Serie. Eine Einführung zur Frequenzmodulation von Radarmodulen erhalten Sie in unserer Applikationsschrift AN 2 „Radarsensorik zur Erfassung bewegter und stationärer Objekte“.

7. Wir betreiben das Modul IPM 165 zum ersten Mal!

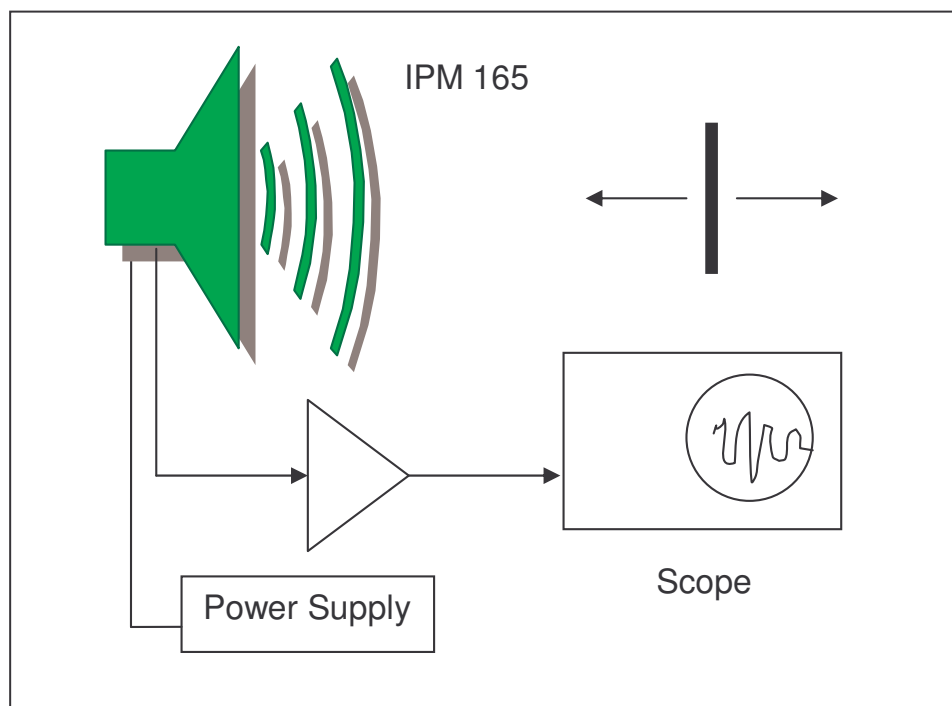


Bild 9: Mess-Schaltung zur Funktionsprüfung eines IPM 165

- Versorgen Sie das Modul mit der richtigen Betriebsspannung (plus 5 oder plus 3V)
- Schliessen Sie am Signalausgang einen NF-Verstärker mit mindestens 60 dB Verstärkung an, gefolgt von einem Scope mit einer Empfindlichkeit von mindestens 50mV/div.
- Bewegen Sie Ihre Hand in ca. 60 cm bis 1m Abstand vor dem Sensor. Sie sollten eine sinusförmige, unregelmässige Schwingung auf dem Scope-Display sehen können, die ein gutes Signal/Rauschverhältnis aufweist.
- Zur genaueren Überprüfung für professionelle Anwendungen können Sie den InnoSentT Dopplersimulator IDS 208 erwerben (Anfrage unter Tel. 09528-9518-)

84). Hiermit wird ein kontinuierlich in einer Richtung bewegtes Ziel auf elektronischem Wege erzeugt, mit dem Sie das Radarmodul vermessen können. Andere regelmässig bewegte Objekte wie Lüfter eignen sich zumindest für Übersichtsmessungen.

- Durch Erhöhen der Verstärkung des NF-Verstärkers und durch „Spielen“ mit der Verstärkerbandbreite können Sie Ihr Radarmodul optimieren.
- Bei Betrieb in der Nähe von Leuchtstoffröhren müssen Sie das entstehende 100 Hz-Störsignal über ein Kerbfilter ausschliessen.

8. Für den aussergewöhnlichen Fall, dass es nicht funktioniert!

Wir nehmen an, Sie haben Ihr IPM 165 Modul gemäss unserem Vorschlag Bild 9 beschaltet.

1. Fall: Das Ausgangssignal schreibt die Null-Linie!

- Ist die Betriebsspannung polungsrichtig angeschlossen? (Das Modul enthält **keinen** Verpolungsschutz!)
- Funktioniert der Nachfolgeverstärker korrekt?
- Ist der Scope-Eingang auf höchste Empfindlichkeit gestellt?

2. Fall: Der Ausgang zeigt hohes Rauschen, aber bei Bewegungen vor dem Sensor kein oder nur schwaches sinusförmiges Ausgangssignal!

In diesem Fall ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass die internen Mischerdioden durch ESD bleibend geschädigt wurden! Reparatur leider nicht möglich! Es ist ein neuer Sensor fällig! Diesmal bitte mehr Vorsicht beim Auspacken und Einlöten!

3. Fall: Der Ausgang zeigt ein sinusförmiges Signal mit sehr niedriger Amplitude!

- Stimmen Verstärkung und vor allem auch Bandbreite des Nachfolgeverstärkers?
- Ihr Bewegungen erfolgen ausserhalb des Erfassungsbereiches der Antenne.

4. Fall: Der Ausgang zeigt ein starkes, frequenzkonstantes Störsignal!

- Frequenz des Störsignals feststellen. Könnten es Leuchtstoffröhren in der Nähe sein und Sie haben kein Filter dafür vorgesehen?
- Irgendein anderer elektrischer Störer? Zu lange Spannungszuführungen und Verbindungskabel zu Nachverstärker oder Scope?
- Mechanischer Störer in Form eines rotierenden Teils z.B. grosser Lüfter im Sommer, der ein Dopplersignal erzeugen könnte?

Wir wünschen Ihnen viel Glück und Erfolg beim Einsatz Ihres IPM 165

Ihr InnoSenT-Team

Natürlich stehen wir Ihnen bei Fragen auch gerne telefonisch zur Verfügung.

Die Vervielfältigung und/oder Veröffentlichung dieser Schrift oder von Auszügen davon ist nur mit der Zustimmung des Verfassers erlaubt.