

Modulation von Störquellen in Sensoren und Stromversorgungen zur Reduktion der gemessenen Störpegel bei Luftfahrtgeräten

Dipl.-Ing. Frank Meier, Apparatebau Gauting GmbH

1 Einleitung

Sensoren werden, sofern es die physikalische Wirkungsweise des Wandlungselements zulässt, mit ausreichender Schirmung versehen, um die Einflüsse externer Störungen zu reduzieren. Damit wird eine ausreichende Störfestigkeit realisiert. Wandlungselemente können aber auch elektrische und magnetische Felder, gelegentlich elektromagnetischer Wellen, bewusst erzeugen, um durch eine Rückwirkung auf das Sensorelement auf das umgebende Medium oder eine Grenzschicht zu schließen. Somit wird das Wandlungselement selbst zur Störquelle und muss einen so geringen Pegel aufweisen, dass Grenzwerte für die gestrahlte Störaussendung eingehalten werden. Die Realisierbarkeit und das Rauschen setzen eine untere Grenze, die technologische bedingt ist und den Dynamikbereich limitiert.

Während der Weg der Störung vom Sensorelement über die apparative Umgebung zur Messantenne durch die typische Konfiguration gegeben ist, bleibt offen, wie sich der Anzeigewert eines Funkstörmessempfängers für das konkrete Signal des Sensorelements reagiert. Wird von einem sinusförmigen Dauersignal abgewichen, so könnte eine Modulation zu günstigeren Anzeigewert führen, ohne dem Arbeitsprinzip entgegen zu stehen. Ähnlich der Anwendung des Quasispitzenwert-Detektors bei motorischen Störquellen reduziert sich der Anzeigewert.

Die Reaktion des Funkstörmessempfängers auf pulsmodierte Signale soll diskutiert werden, wobei der Frequenzbereich des Sensorelements und die Anforderungen für Geräte der Luftfahrt berücksichtigt werden. Diese Untersuchung beschränkt sich auf den Spitzenwert-Detektor, da nur dieser nach ED – 14/DO – 160 und MIL – STD – 461 verwendet werden darf.

2 Messaufbau

Der grundsätzliche Pfad von der Störquelle zum Funkstörmessempfänger ist in einem idealisierten Messaufbau ein einsträngiger Weg von der Quelle zum Eingang, Bild 1.

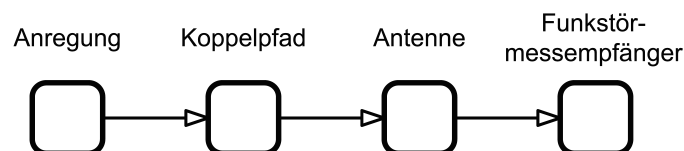


Bild 1: Signalpfad von der Anregung des Sensors als Störquelle zum Funkstörmessempfänger. Anregung, Koppelpfad und Antenne sind frequenzabhängig.

Die Kopplung des Störers soll als linear angenommen werden. Damit reicht die Beschreibung durch einen frequenzabhängigen Koppelfaktor jede Teilpfad. Der Dynamikbereich

sei ausreichend, sodass Rauschen und Aussteuerungsgrenze nicht berücksichtigt werden müssen.

Am Eingang des Funkstörmessempfängers tritt das Signal auf den Eingangsteiler und das Vorselektionsfilter, Bild 2. Im einfachsten Fall gibt es einen einzigen Mischer mit Oszillator und Zwischenfrequenzfilter [6, 7]. Für die Verweildauer T_{DT} bleibt diese Frequenz konstant, sodass eine Abtastung des Frequenzspektrum bei der Messfrequenz f_{MF} erfolgt. Ein Empfänger in dieser einfachen Form reicht in der Praxis nicht aus, doch soll dieses Modell zunächst ausreichend sein.

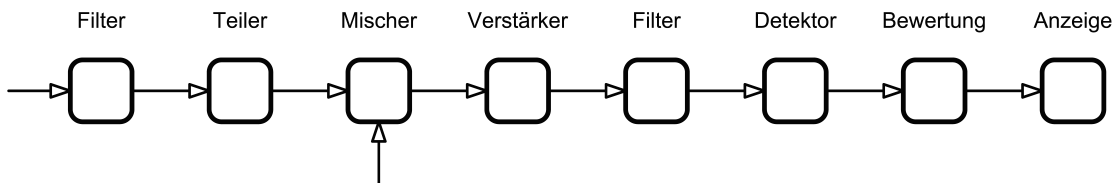


Bild 2: Signalpfad im Funkstörmessempfänger als einstufiger Superheterodynempfänger

Ein Zwischenfrequenzfilter realisiert einen wohldefinierten Bandpaß und liefert nach Verstärker eine Wechsellspannung in den Amplitudendetektor und das Bewertungsfiler. Beide sind nichtlineare Gebilde, die den zeitlichen Ablauf der Amplitude so in ein Ausgangssignal umformen, dass ein Anzeigeinstrument einen Zahlenwert B darstellen kann. Mit Ausgabe des Zahlenwertes endet die Verweildauer T_{DT} .

Typisch sind Bewertungen nach Mittelwert (AV), Spitzenwert (SP), Quasi-Spitzenwert (QP) wie auch die modernen CISPR Mittelwert (CAV) und Effektivwert (RMS). In diesem Bereich hat die CISPR – 16 – 1 in den letzten Jahren erhebliche Neuerungen eingeführt, um die technologischen Fortschritte zu berücksichtigen [5, 2, 1]. Es wird sich zeigen, in welchem Maße moderne Bewertungsfiler in Produktnormen zur Anwendung kommen werden. Zur Beschreibung des Störers sind sie ebenso eine Hilfe wie die Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufs über einen Frequenzbereich. Die apparativen Fortschritte lassen heute eine zeitliche Auflösung des abgetasteten Frequenzspektrums zu, was die Identifikation von Störern wesentlich erleichtern kann. Es ist dann von einer zeitabhängigen Amplitude je Frequenz zu sprechen. Auch die Häufigkeit einer Amplitude innerhalb der Verweildauer kann ermittelt werden.

Für die Qualifikation im Luftfahrtbereich wird ausschließlich die Spitzenwert-Bewertung angewandt [3]. Das Ausgangssignal eines Bewertungsfiler lässt sich für ein gegebenes Eingangssignal vorhersagen, doch bleibt offen, wie eine konkrete Implementierung die Spezifikation der Bewertung umsetzt. Daher lohnt sich eine Messung.

Für das Messverfahren des Sensors ist die Reaktion für eine bestimmte Frequenz auszuwerten. Daher kommt ein pulsmoduliertes Signal bei eingestellter Frequenz als gepulste Größe in Frage. Möglich ist auch eine Amplitudenmodulation mit einem Doppelpuls. In beiden Fällen entsteht eine Anregung des Beobachtungsraumes durch ein Feld, das eine Rückwirkung auf den Sensor bei gleicher Frequenz hat. Ausgewertet wird das Verhältnis von Rückwirkung zu Anregung und die Phase dazwischen. Der Sensor erfasst damit den Unterschied des Materials am Sensorkopf. Ein Wechsel zwischen Flüssigkeit und Luft soll erkannt werden. Dazu ist eine Arbeitsfrequenz um UHF-Bereich notwendig.

3 Durchführung

Die Anregung ist die Störgröße und wird über den Koppelpfad zum Eingangssignal des Funkstörmessempfängers. Der Anzeigewert B ist die Reaktion und wird bei Qualifikationsprüfungen mit dem Grenzwert verglichen. Im Experiment simuliert ein Funktionsgenerator das Eingangssignal. Eine sinusförmige Grundschiwingung der Frequenz f_c von 200 MHz wird mit einem niederfrequenten Signal der Periode T_{MOD} pulsmoduliert. Gewählt ist ein rechteckförmiges Modulationssignal der Periode 2 ms, wo der die Einschaltdauer T_{ON} von 100 ms bis 1 μ s variiert wird. Der jeweilige Anzeigewert B_{ON} wird auf den Anzeigewert bei fehlender Modulation B_{NMOD} bezogen. Wie in Bild 3 zu erkennen, sinkt der Anzeigewert zu größeren Verhältnissen von Einschaltdauer zu Periode nur wenig ab, wenn Spitzenwert-Bewertung verwendet wird.

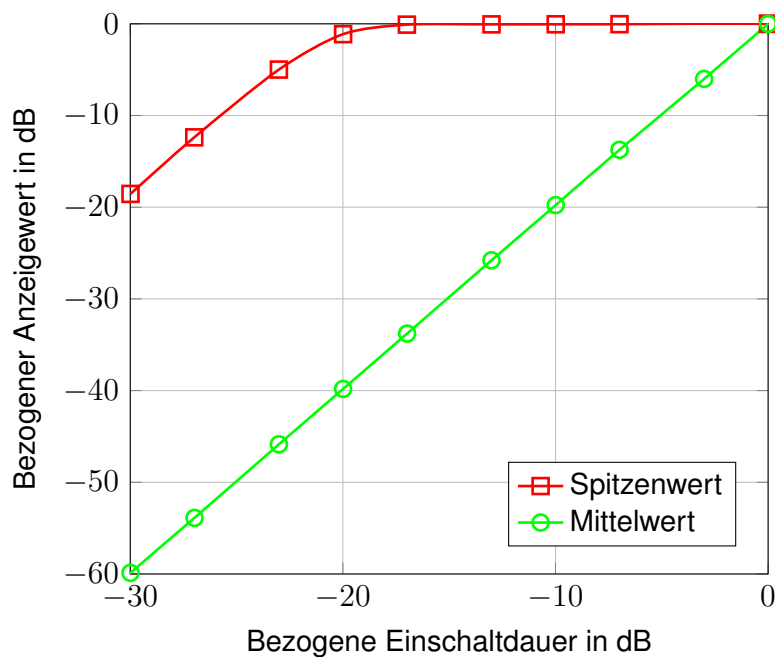


Bild 3: Anzeigewertes bei Reduktion der Einschaltdauer. Trägerfrequenz 200 MHz, Auflösesebandbreite 100 kHz, Modulationsfrequenz 1 kHz, Verweildauer 5 ms

Zum Vergleich ist das Verhalten des Anzeigewertes bei der Mittelwert-Bewertung angegeben. Der Mittelwert verhält sich wie die mittlere Leistung des Eingangssignals und sinkt wie das Pulsverhältnis ab. Bei einer Einschaltdauer von 1 μ s ist das Verhältnis 60 dB, und der Anzeigewert sinkt ebenfalls um 60 dB ab. Bei der Spitzenwert-Bewertung reduziert es sich allerdings nur um 19 dB. Für die Einschaltdauer 1 μ s ist die Reduktion kleiner als 2 dB. Bei Erhöhung der Einschaltdauer verschwindet die Reduktion. Somit liegt die Reduktion unter 2 dB für ein Pulsverhältnis von 0,01 bis 1.

Bei der bewussten Frequenzmodulation eines Störers wird das Spektrum verbreitert. Die Amplitude bleibt unverändert, während durch ein Modulationssignal die Trägerfrequenz geändert wird. Sowohl bei Mikroprozessoren wie auch bei Schaltnetzteilen sind solche Frequenzmodulationen möglich. Der Spielraum hat enge Grenzen, da die minimale und maximale Frequenz durch die Aufgabe des Bauteils eingeschränkt wird. Zunächst sei die Frequenzabhängigkeit des Koppelweges zu vernachlässigen.

Innerhalb der Verweildauer T_{DT} bleibt die Messfrequenz f_c konstant. Die längste Periode

im Normalbetrieb des Prüflings T_{EP} darf bestenfalls gleich, jedoch nicht größer als die Verweildauer T_{DT} sein. Im Falle eines frequenzmodulierten Schaltnetzteils ist dies die Periode der Modulation T_{MOD} . Wird innerhalb dieser Zeit die Arbeitsfrequenz auf N_{FHN} verschiedene Frequenzen gesetzt, entspricht dies einer Pulsmodulation mit einem Verhältnis von Einschaltzeit T_{ON} zu Periodendauer T_{MOD} . Es entspricht dem Kehrwert von N_{FHN} . Für 16 verschiedene Frequenzen wird ein Pulsverhältnis von -12 dB erzielt, was nach Bild 3 zur keiner Reduktion führt. Bei 256 verschiedenen Frequenzen wird eine Reduktion um 7 dB erreicht.

4 Zusammenfassung

Ein Sensor benötigt eine Arbeitsfrequenz in UHF-Bereich und liegt damit innerhalb der Frequenzen, die für Luftfahrtanwendungen begrenzt sind. Wird er pulsmoduliert statt kontinuierlich betrieben, so erzeugt er weniger mittlere Leistung. Der Anzeigewert eines Funkstörmessempfängers richtet sich jedoch nach der Reaktion des Bewertungsfilters und folgt nur bei der Mittelwert-Bewertung der mittleren Leistung. Die Normen ED – 14/DO – 160 erfordern die Anwendung der Spitzenwert-Bewertung, was durch die Erfassung des Amplitudenmaximums innerhalb der Verweildauer ein scharfes Kriterium ist. Hier reduziert sich der Anzeigewert wenig, wenn das Verhältnis von Einschaltdauer zu Periode der Modulation größer als 0,01 ist.

Literatur

- [1] ANSI (Hrsg.): *C63.2–2016. Specifications of electromagnetic interference and field strength measuring instrumentation in the frequency range 9 kHz to 40 GHz*. Washington, DC, USA: ANSI, 2016
- [2] DIN (Hrsg.): *DIN EN 55016–1–1:2015–05 (VDE 0876–16–1–1:2015-05). Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit. Teil 1-1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen)*. Berlin: DIN, 2015
- [3] EUROCAE (Hrsg.): *ED – 14G. Environmental conditions and test procedures for airborne equipment*. Paris, Frankreich: EUROCAE, 2011
- [4] FELSEN, L. B. ; MONGIARDO, M. ; RUSSE, P.: *Electromagnetic field computation by network methods*. New York, NY, USA: Springer, 2009. – ISBN 978–3–540–93945–0
- [5] IEC (Hrsg.): *CISPR 16–1–1, 2015-09. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus. Measuring apparatus*. Genf, Schweiz: IEC, 2015
- [6] KRATTENMACHER, H.: *Zur Messung leitungsgeführter Störgrößen in der EMV*. Berlin: Logos, 2000. – ISBN 978–3–89722–507–7
- [7] RAUSCHER, Ch.: *Grundlagen der Spektrumanalyse*. München: Rohde & Schwarz, 2004