

Radarmessungen mit dem Selective Radiation Meter SRM-3006

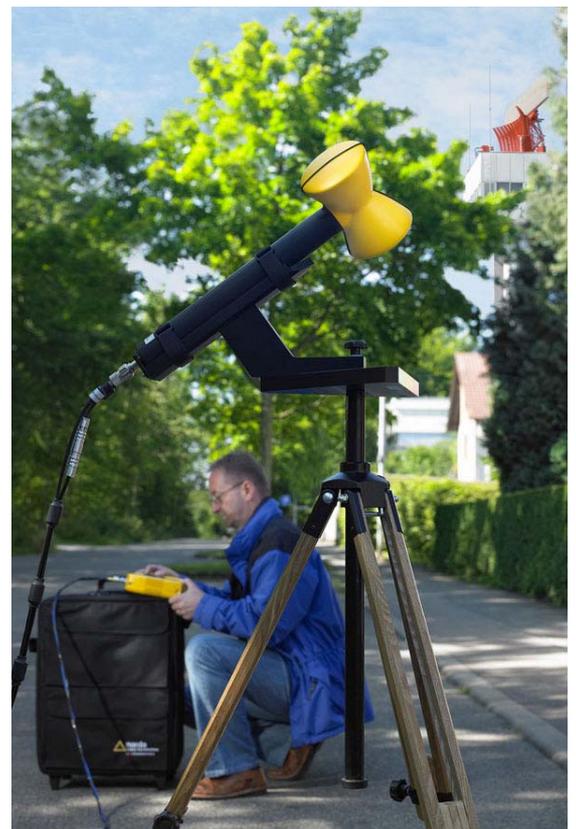
am Beispiel eines Radars zur Flugraumüberwachung

Messungen der Feldemission von Radaranlagen stellen eine besondere Herausforderung an die Messtechnik und die Ausführenden. Einerseits sind die Radarsignale zeitlich meist pulsformig, stark gerichtet und räumlich flüchtig: Die Hauptkeule trifft sowohl das Ziel als auch die Messantenne nur für einen kurzen Augenblick. Andererseits erfassen frequenzselektive Messgeräte nicht alle Frequenzen gleichzeitig oder messen zeitlich nicht kontinuierlich, so dass nicht jeder Radarimpuls erfasst wird.

Die vorliegende Application Note beschreibt beispielhaft die Messung der Feldemission eines Flugsicherungsradars mit dem SRM-3006 und ihre Auswertung unter den Aspekten des Personenschutzes.

Inhalt

1	Hintergrund	Seite 2
2	Normen und Vorschriften	Seite 2
3	Vorbereitung der Messung	Seite 3
4	Übersichtsmessung	Seite 4
5	Messung mit „Time Analysis“	Seite 5
6	Messung mit „Scope Mode“	Seite 6
7	Messung mit „Spectrum Analysis“	Seite 7
8	Auswertung der Ergebnisse u. Erstellen eines Messberichts	Seite 9
	Anhang 1: Berechnung des isotropen Ergebnisses	Seite11
	Abkürzungen, Literatur	Seite12



Rotierende Radarantennen am Rand eines Wohngebiets. Die hier im Folgenden verwendeten Messergebnisse wurden jedoch auf einem Spielplatz in etwa 500 m Entfernung vom Radarturm durchgeführt.

1 Hintergrund

Der Begriff Radar steht für "Radio detecting and ranging" und bedeutet etwa „durch Funk, also elektromagnetische Wellen, auffinden und die Entfernung messen“.

In der Flugraumüberwachung kommen zwei verschiedene Radartypen zum Einsatz: Primärradar und Sekundärradar.



Typische Antennenanordnung: Unten eine Parabolantenne für das Primärradar, darüber eine lineare Dipolanordnung für das Sekundärradar. Beide rotieren gemeinsam.

Das Primärradar bestimmt die Position von Flugzeugen, von sonstigen Objekten oder auch Wetterbedingungen, indem es pulsartig einen gebündelten Strahl elektromagnetischer Wellen aussendet und dessen Reflexionen (Echos) empfängt. Die Entfernung des Objekts lässt sich anhand der gemessenen Laufzeit berechnen. Die Richtung lässt sich aus der jeweiligen Position der rotierenden Antenne ermitteln. Je langsamer sich die Antenne dreht, desto höher sind die Laufzeiten und damit die Reichweiten, die sich erfassen lassen. Je schneller die Umdrehung, desto häufiger wird die Radarinformation erneuert.

Das Sekundärradar arbeitet als Interrogator, d. h. es sendet eine Anfrage, auf die der Transponder an Bord des Flugzeugs antwortet. Die Antwort enthält Informationen z. B. über die Identität und die Höhe des Objekts. Da auch der Transponder aktiv sendet, kann das Sekundärradar mit

deutlich geringerer Leistung senden als das Primärradar, das die passiven Echos auswerten muss. Das Sekundärradar ist deshalb für Sicherheitsmessungen in der Regel nicht relevant.

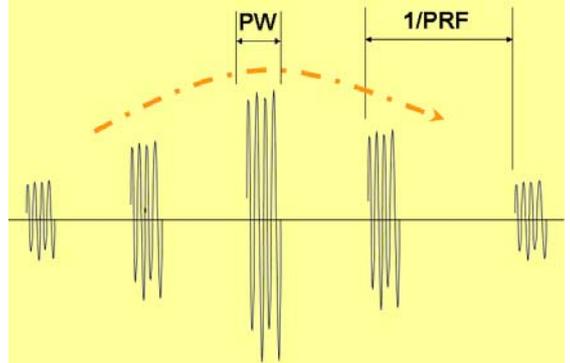
2 Normen und Vorschriften

1998 publizierte ICNIRP, die Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung, ihre „Richtlinien zur Begrenzung zeitlich variierender elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder“ [1, 2]. Sie enthalten frequenzabhängige Grenzwerte, und zwar zwei unterschiedliche Grenzwertkurven: eine höhere für den Arbeitsschutz (occupational), eine niedrigere für die Allgemeinheit (general public). Die höheren Werte gelten in kontrollierten Bereichen, für die Sicherheitsmaßnahmen getroffen wurden und die nur fachlich geschultem Personal zugänglich sind. Das betrifft zum Beispiel die Plattform des Radarturms.

Primärradar

Puls – Ein Flugsicherungs-Radar ist ein Pulsradar, kein Dauerstrichradar. Typisch sind eine Impulsbreite (PW) von $1 \mu\text{s}$ und eine Puls wiederholfrequenz (PRF) von 1 kHz entsprechend einer Periodendauer (T) von 1 ms. Das entspricht einem Tastverhältnis (DC) von 1:1000.

Rotation – Die Antenne rotiert mit typisch 12,5 Umdrehungen pro Minute, um den Luftraum rundum abzutasten. Ihre Richtcharakteristik entspricht einer schlanken Keule. Radartechniker sprechen von Zielverweilzeit (Zeit, in der die Keule das Ziel trifft) und Trefferzahl (Zahl der Impulse, die während dieser Zeit gesendet wurden). Eine typische Zielverweilzeit ist 30 ms.



Normgerechte Bewertung

Durch Beugung, Brechung und Reflexion des Radarstrahls gelangt ein Teil der Strahlungsleistung überall hin. Da die Richtcharakteristik nie ideal ist, spielen in direkter Nähe auch Nebenkeulen eine Rolle – und ihre Signale sind ebenso flüchtig wie die des Nutzsignals. Die Messvorschriften unterscheiden deshalb zwischen

**Mittelwert der Leistungsdichte (P_{avg}),
gemittelt über 6 Minuten, und
Spitzenwert der Leistungsdichte (P_{peak}).**

Nach ICNIRP, EU-Richtlinie 2013/35/EU [3] und DIN VDE 0848 [5] darf der Spitzenwert den zulässigen Mittelwert der Leistungsdichte um maximal den Faktor 1000 überschreiten, d. h. den Feldstärkewert um den Faktor 32.

Sowohl die Grenzwerte als auch die Zweiteilung spiegeln sich in den europäischen Richtlinien wider. Für den Arbeitsschutz gilt die EU-Richtlinie 2013/35/EU, für den Schutz der Allgemeinheit wurde bereits am 12. Juli 1999 die Empfehlung 1999/519/EC veröffentlicht [4]. Ergänzend gibt es in vielen Ländern nationale Normen, die häufig die ICNIRP-Grenzwerte übernehmen, teilweise aber niedrigere Grenzwerte vorschreiben.

3 Vorbereitung der Messung

Erfolgreiche Radarmessungen brauchen sorgfältige Vorbereitung und die geeignete Messausrüstung.

Zur Vorbereitung zählt das Einholen von Informationen über die Anlage, die oft vom Betreiber zu erhalten sind. Des Weiteren sind Informationen über den Standort und seine Umgebung wichtig, um einen geeigneten, repräsentativen Messort zu finden – ggf. in Absprache mit dem Auftraggeber. Zu überlegen ist, ob Betreiber, Behörden oder Anwohner über die beabsichtigte Messung informiert werden sollten.

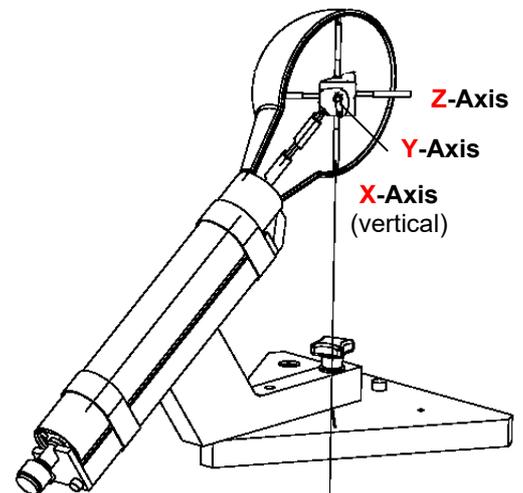
Die Messausrüstung besteht aus

- SRM-Grundgerät mit aktueller Firmware,
- uniaxiale E-Feld Antenne für den Frequenzbereich bis 3 GHz sowie Antennenhalter für uniaxiale und triaxiale Messantennen, – oder – triaxialer (isotrope) E-Feld-Antenne des SRM-3006 bis 6 GHz sowie einem der beiden als Zubehör angebotenen Antennenhalter,
- Stativ,
- HF-Kabel 5 m,
- Netz-/Ladegerät bzw. Reserve-Akku, falls kein Stromanschluss vor Ort zur Verfügung steht,
- Schreibmaterial, um Messaufbauten, örtliche Gegebenheiten, Frequenzen, Messeinstellungen und mögliche Störfaktoren zu notieren. – oder – Notebook-PC mit aktueller PC-Software SRM-TS oder SRM-Tools zur Steuerung des SRM, zur Speicherung von Messwerten und zum Aufzeichnen von Kommentaren.

Beim Messaufbau ist darauf zu achten, dass der Antennenkopf möglichst weit von den Metallteilen des Stativs entfernt ist – also den Mittelstab aus Kunststoff höchstmöglich ausziehen – und dass die messende Person sich in wenigen Metern Abstand von der Messantenne aufhält, um die Messung nicht zu beeinflussen.



Uniaxiale E-Feld-Antenne auf dem Antennenhalter für uniaxiale und triaxiale Messantennen (oben). Auch die triaxiale E-Feld-Antenne lässt sich „uniaxial“ auf dem Antennenhalter verwenden.



Warum vorzugsweise eine uniaxiale Antenne?

Bei isotroper (richtungsunabhängiger) Messung mit der triaxialen E-Feld-Messantenne misst das SRM-3006 die Feldstärke sukzessiv in drei Achsen (Scanning) und errechnet daraus die resultierende Feldstärke. Die Messungen finden also zeitlich versetzt statt; ein räumlicher Scan dauert rund 120 ms. Das ist vernachlässigbar kurz für die allermeisten quasi-stationären Felder in der Telekommunikation, aber zu lang für die Zielverweilzeit der Radarstrahlen von typisch 30 ms.

Bei der uniaxialen E-Feld-Antenne besteht dieses Problem nicht. Sie bietet außerdem im Radarfrequenzbereich eine höhere Messempfindlichkeit. Allerdings lässt sich auch die triaxiale Antenne verwenden, wenn man das SRM-Grundgerät auf Messung einer Achse (Single Axis) schaltet.

4 Übersichtsmessung

„Full Span“ messen

Selbst wenn genaue Informationen über die Radaranlage wie z. B. ihre Sendefrequenzen vorliegen, empfiehlt sich eine Übersichtsmessung in der Betriebsart „Spectrum Analysis“ zunächst über den gesamten einstellbaren Frequenzbereich („Full Span“). Sie zeigt die gesamte Feldsituation, also auch andere Quellen wie z. B. UMTS, die das Ergebnis oder die Aussteuerung des Messgeräts beeinflussen könnten. Dazu sind folgende Einstellungen des SRM wichtig oder zu empfehlen:

- Auflösungsbandbreite RBW: **500 kHz**, um schnell zu Ergebnissen zu kommen.
- Großen Messbereich **MR** (geringe Empfindlichkeit) einstellen, um Übersteuerungen zu vermeiden,
- Result Type: **MAX**

Für diese Messung sind **mehrere Minuten Messzeit** nötig, da die Messantenne nur gelegentlich von dem Radarstrahl getroffen wird. Man erkennt dies daran, dass sich in der Anzeige die Spektrallinien des Radarsignals nur langsam aufbauen.

Radarfrequenzen ermitteln

Falls die Radarfrequenzen nicht bekannt sind, lassen sie sich ermitteln, indem man den Frequenzbereich einengt (Bild 1, 2) und niedrigere Auflösungsbandbreiten RBW wählt (in den Beispielen Bild 1 und 2 sind es 500 kHz bzw. 200 kHz). Falls die Frequenzen bekannt sind, kann man die Messfrequenz direkt eingeben.

Messbereich MR einstellen

Das geht am einfachsten in der Betriebsart „Level Recorder“. Einstellungen:

- Mittenfrequenz **Fcent** entsprechend der bekannten oder ermittelten **Radarfrequenz**. Bei zwei Radarkanälen muss man sich für einen Kanal entscheiden.
- Auflösungsbandbreite RBW: **32 MHz**
- Result Type: **Peak & RMS**

Jetzt kann man nacheinander die Feldstärken in den drei Achsrichtungen messen. Dazu reicht es bei „Level Recorder“ im Gegensatz zu „Spectrum Analysis“, jeweils zwei bis drei Umdrehungen der Radarantenne abzuwarten.

Mit den Resultaten dieser vorläufigen Feldstärkemessung kann man den geeigneten Messbereich für die Radarsignale manuell einstellen. Jedoch sind gegebenenfalls höhere Feldstärken anderer Quellen zu berücksichtigen, die bei der „Full Span“-Messung erfasst wurden. Man

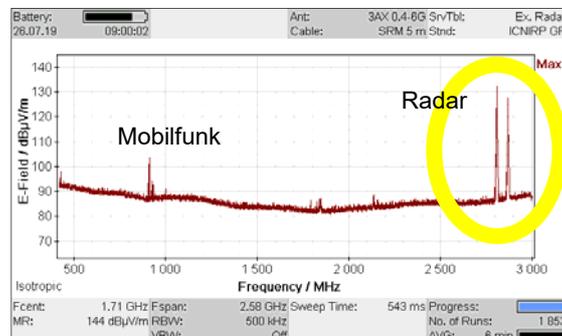


Bild 1: Ermitteln der Radarfrequenz

In diesem Fall benutzt das Primär-Radar zwei Kanäle bei 2,808 GHz und 2,868 GHz. Die Kanäle senden wechselweise Pulse aus, um eine höhere Auflösung zu erreichen, ohne dabei den Empfänger des jeweils anderen Kanals zu übersteuern.

Messeinstellungen:

Dataset Type	SPEC
Store Mode	MAN
Minimum Frequency	420 MHz
Maximum Frequency	3 GHz
Resolution Bandwidth	500 kHz
MR Range	abhängig von der Feldsituation
Unit	dBµV/m
Result Type	MAX
Axis	Isotropic
Cable Name	SRM 5 m

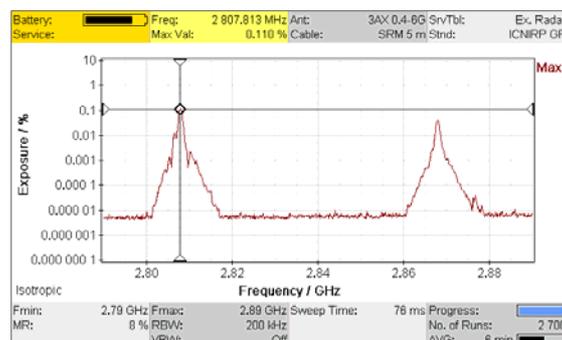


Bild 2: Zoom für genaue Bestimmung der Radarfrequenzen

Messeinstellungen, von oben abweichend:

Minimum Frequency	2.79 GHz
Maximum Frequency	2.89 GHz
Resolution Bandwidth	200 kHz

darf also den Messbereich nicht empfindlicher einstellen als z. B. den mit „Full Span“ gefundenen Messbereich.

Für die Übersichtsmessung kann auch die automatische Messbereichsuche über die Funktion „MR Search“ verwendet werden. Für die eigentliche Messung ist wegen der Pulseigenschaften der Radarsignale die Funktion „MR Search“ nicht zu empfehlen. Bei mehreren etwa gleich hohen Spektrallinien (wie in Bild 2) ist außerdem eine entsprechende Reserve vorzusehen. Z. B. sollte bei zwei Spitzenwerten von je 10 V/m der MR auf 20 V/m eingestellt werden. Bei der Anzeige in dB μ V/m sollte der Messbereich entsprechend 6 dB größer sein als der einzelne Messwert.

5 Messung mit „Level Recorder“

In der Betriebsart „Level Recorder“ lassen sich die Spitzenwerte und die RMS-Werte der Feldstärken messen, wie es die Standards verlangen.

Einstellungen für die Messung der **Spitzenwerte und RMS-Werte**:

- Mittenfrequenz **Fcent** entsprechend der **Radarfrequenz**.
- Auflösungsbandbreite RBW: **32 MHz**
- Result Type: **Peak & RMS**

Die Messzeit ist ausreichend, wenn sich das Ergebnis nicht mehr ändert. Nach einigen Umdrehungen der Radarantenne „steht“ der Wert.

Bei der **Messung mit uniaxialer Antenne** ist die Messung in jeder der drei Raumachsen durchzuführen. Das SRM berechnet automatisch aus den drei Einzelergebnissen das isotrope Ergebnis (siehe auch Bedienungsanleitung: „Isotrope Messung mit einer einachsigen Antenne“)

Bei der **Messung mit triaxialer Antenne** sollte jede Achse einzeln gemessen werden, d. h. das SRM ist auf „Manual Isotropic“ Betrieb umzustellen.



Mit dem Antennenhalter kann die uniaxiale Antenne leicht auf alle drei Raumachsen gedreht werden.

Einfach der Antenne in der vorgesehene Halterung befestigen und von Position 1 auf Position 2 und schließlich Position 3 drehen. Hierbei muss man darauf achten, dass die Position des gesamten Messaufbaus (Stativ, Antenne, SRM, Antennenhalter, Kabel, messende Person) nicht verändert wird.

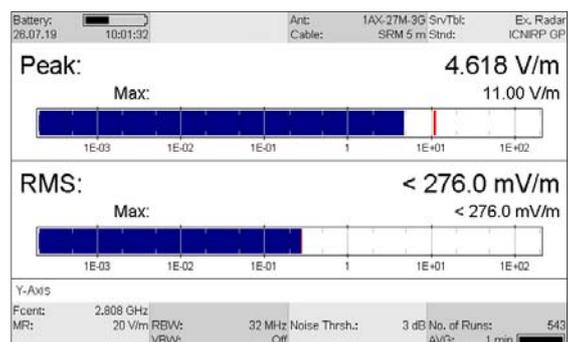


Bild 3: Level Recorder, Ergebnis einer Achse.

Messeinstellungen:

Center Frequency	2.808 GHz
Resolution Bandwidth	32 MHz
Measurement Range	20 V/m
Result Type	Actual & MAX
Detector	PEAK & RMS
Time Interval [s]	60

6 Messung mit „Scope Mode“

In der Betriebsart „Scope“ ist der SRM in der Lage, frequenzselektiv den Pegelverlauf eines Signals über der Zeit darzustellen. Dabei kann die maximale Sweepzeit 24 Stunden betragen. Auf der anderen Seite kann die minimale Auflösung bei einer RBW von 32 MHz 31,25 nsec betragen. D.h. der SRM-3006 ist in der Lage selbst so kurze Events wie Radarimpulse zeitlich aufzulösen und mit Markern auszumessen. Bei fehlenden Informationen über das System kann der SRM also bei der Ermittlung dieser Werte eine große Hilfe sein. Durch die integrierten Triggerfunktionen ist er weiterhin in der Lage, auch einmalige Events festzuhalten.

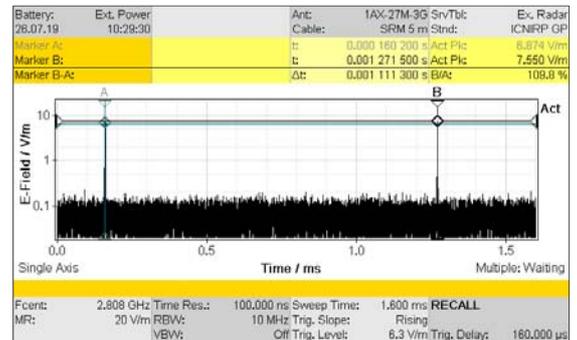


Bild 4: Scope Mode, Bestimmung der Puls wiederhol frequenz PRF

Center Frequency	2.808 GHz
Resolution Bandwidth	10 MHz
Measurement Range	20 V/m
Result Type	Actual
Sweep Time	1,6 ms
Zeitunterschied zwischen den Markern	1.111 ms

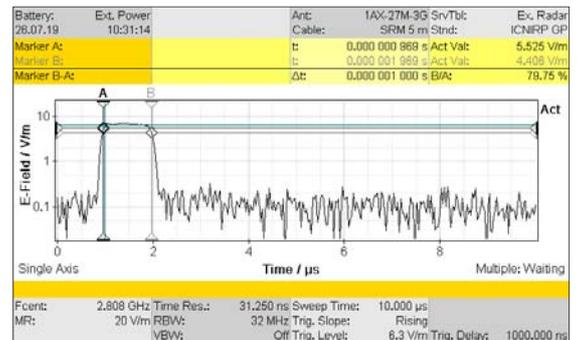


Bild 5: Scope Mode, Bestimmung der Pulslänge

Center Frequency	2.808 GHz
Resolution Bandwidth	32 MHz
Measurement Range	20 V/m
Result Type	Actual
Sweep Time	10 μs
Pulslänge	1 μs

7 Messung mit „Spectrum Analysis“

Die herkömmliche Methode zum Messen von elektromagnetischen Wellen ist die Spektrumanalyse. Ihr Vorteil ist, dass sie detaillierte Informationen über die Art des Radarsignals liefert. Ihr Nachteil ist, dass sich mit ihr nur der Spitzenwert ermitteln lässt, und das auch nicht direkt, sondern erst nach rechnerischer Anwendung von Korrekturwerten. Die Messung dauert außerdem recht lang. Beides liegt in der Arbeitsweise von Spektrumanalysatoren begründet. Die Messung mit „Level Recorder“, beschrieben im Kapitel 5, umgeht diese Schwierigkeit und führt wesentlich schneller zu direkten Ergebnissen, ohne jedoch die zusätzlichen Informationen einer Spektrumanalyse zu bieten.

Zur Messung in der Betriebsart „Spectrum Analysis“ wird das SRM folgendermaßen eingestellt:

- Result Type: **MAX**
wie bei der Übersichtsmessung.
- Messbereich **MR**
bleibt, wie er bei der Übersichtsmessung eingestellt wurde.
- Einheit (Unit): logarithmisch, also **dBµV/m, dBmV/m, dBV/m oder dBA/m**,
um nach der Messung bequem Korrekturfaktoren anwenden zu können.
- Mittenfrequenz **fcent**
entsprechend der bekannten oder ermittelten **Radarfrequenz**. Bei zwei Radarkanälen muss man sich für einen Kanal entscheiden.
- Frequenzbereich **Span**
so, dass er ein Mehrfaches des Kehrwerts der Impulsdauer umfasst. Beispiel: Impulsdauer $PW = 1 \mu s$, $Span = 10 \times 1 / 1 \mu s = 10 \text{ MHz}$.
- Auflösungsbandbreite **RBW** nach der Regel

$$2 \text{ PRF} \leq \text{RBW} \ll 1/PW$$

Beispiel: Pulswiederholfrequenz $\text{PRF} = 1 \text{ kHz}$, $\text{RBW} = 2 \text{ kHz}$ oder wenig mehr. Damit ist die RBW klein genug, um das Leistungsspektrum des Einzelimpulses auflösen zu können, und groß genug, um aufeinander folgende Impulse zeitlich noch klar voneinander zu trennen.

Wenn Frequenzbereich und Auflösungsbandbreite richtig gewählt sind, erscheint ein Spektrum als Ergebnis, das der Sinc- oder Spaltfunktion ähnelt (vgl. Bild 6 und Bild 7). Der Abstand der Nullstellen vom Maximalwert der Radarfrequenz entspricht dem Kehrwert der Impulsdauer PW . Die PW lässt sich also daraus berechnen, falls sie nicht bekannt ist.

Theoretisch ließe sich auch die Pulswiederholfrequenz PRF ermitteln, falls sie nicht bekannt ist. Wenn nämlich die Auflösungsbandbreite extrem klein wäre, würde die Messkurve als Linienspektrum erscheinen, und zwar mit einem Linienabstand entsprechend dem Kehrwert der PRF .



Bild 6: Das ideale Spektrum

hat die Form einer Sinc- oder Spaltfunktion: $\sin(x)/x$
Das hier gezeigte Spektrum wurde von einem Generator im Labor erzeugt. Aus dem Abstand der Nullstellen lässt sich die Impulsdauer errechnen:
 $PW = 1 / 1 \text{ MHz} = 1 \mu s$

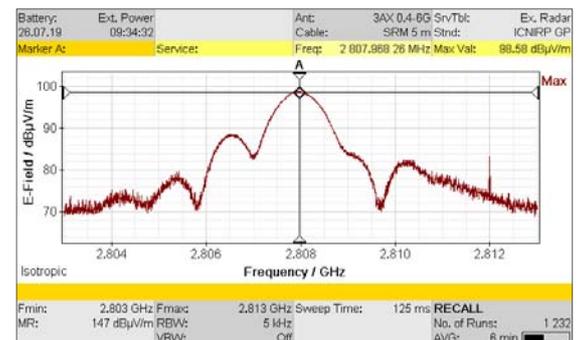


Bild 7: Das reale Spektrum eines Radarsignals.

Die Abweichungen von der idealen Form erklären sich durch Rauschen sowie durch Amplituden- und Frequenzänderungen während der Impulsdauer. Trotzdem ist die Impulsbreite (PW) aus dem Abstand der Nullstellen ablesbar.

Messeinstellungen:

Dataset Type	SPEC
Store Mode	MAN
Minimum Frequency	2.803 GHz
Maximum Frequency	2.813 GHz
Resolution Bandwidth	5 kHz
MR Range	abhängig von der Feldsituation
Unit	dBµV/m
Result Type	MAX

Allerdings würde eine solch hohe Auflösung zu unnötig langen Messzeiten führen.

Auch ohne genaue Kenntnis der PRF kann man nach einer praktischen Regel vorgehen: Die Auflösungsbandbreite ist dann richtig eingestellt, wenn das Hauptmaximum des Radarsignals im Zoom nur eine geringe Welligkeit zeigt (Bild 8).

Deutlich einfacher ist daher die Ermittlung der PRF im „Scope-Mode“ wie in Kapitel 6 beschrieben.

Messen

Die Messung in der gewählten Achse ist dann abgeschlossen, wenn sich die Messwerte nicht mehr erhöhen.

Das kann 10 bis 15 Minuten dauern!

Ergebnis ablesen

Mit dem Marker die höchste Spektrallinie suchen (Highest Peak) und den numerischen Wert ablesen. In unserem Beispiel sind es 98,58 dB μ V/m.

Ergebnis korrigieren

Bei der Kürze der Radarimpulse beeinflusst das Einschwingverhalten des Selektionsfilters das Ergebnis. Der abgelesene Maximalwert ist deshalb um einen Betrag zu korrigieren, der von der Auflösungsbandbreite RBW und von der Impulsdauer PW abhängt. Die gerätetypischen Korrekturwerte in dB für das SRM sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

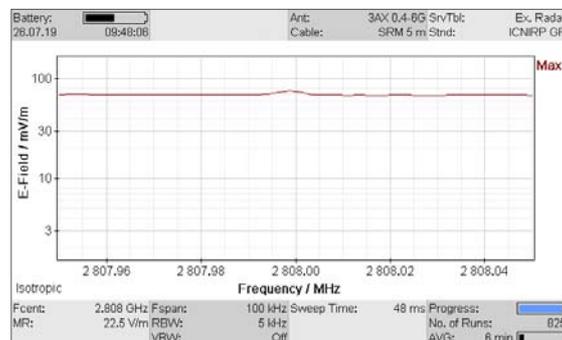


Bild 8: Bei richtiger Einstellung der Auflösungsbandbreite zeigt das Hauptmaximum des Radarsignals im Zoom nur eine leichte Welligkeit.

RBW [kHz]	PW = 0,5 μ s	PW = 1 μ s	PW = 2 μ s
1	62,69	56,67	50,65
2	56,67	50,65	44,63
3	53,15	47,13	41,11
5	48,71	42,69	36,67
10	42,69	36,67	30,65
20	36,67	30,65	24,64
30	33,15	27,13	21,14
50	28,72	22,71	16,76
100	22,71	16,76	11,01
200	16,76	11,01	5,91
300	13,35	7,90	3,60
500	9,26	4,56	1,66
1000	4,56	1,66	0,48
2000	1,66	0,48	0,12
3000	0,81	0,22	0,06
5000	0,31	0,08	0,02
10.000	0,08	0,02	0,01
20.000	0,02	0,01	0,00

Tabelle 1: Korrekturwerte in dB für verschiedene Auflösungsbandbreiten (RBW) des SRM und verschiedene Impulsdauern (PW) des Radarsignals.

Beispiel einer Ergebniskorrektur

Bei der Spektrumanalyse mit 5 kHz RBW (Bild 5) ergab sich der Maximalwert von 98,58 dB μ V/m; die Impulsdauer war 1 μ s. Der Korrekturwert aus Tabelle 1 beträgt dann 42,69 dB. Der Spitzenwert (Peak) errechnet sich damit zu

$$98,58 + 42,69 = 141,27 \text{ [dB}\mu\text{V/m]}.$$

Umgerechnet in Feldstärke nach der Formel

$$E \text{ [}\mu\text{V / m]} = 10^{\frac{L \text{ [dB}\mu\text{V / m]}}{20}}$$

entspricht das einem Wert von 11,57 V/m.

Die Messung mit „Time Analysis“ (Bild 3) hatte zu einem Ergebnis von 11,00 V/m geführt. Die relativ geringe Abweichung zeigt, dass die Ergebnisse aus „Spectrum Analysis“ und „Level Recorder“ vergleichbar sind.

8 Auswertung der Ergebnisse und Erstellen eines Messberichts

Bei allen Messungen von Feldemissionen interessiert den Auftraggeber letztlich, ob die zulässigen Grenzwerte eingehalten sind bzw. wie weit sie unter- oder überschritten werden. Zur Auswertung zählt deshalb die Bewertung der Ergebnisse in Bezug auf die Grenzwerte.

Das SRM-3006 kann die Ergebnisse direkt in Prozent des zulässigen Grenzwerts anzeigen. Die Grenzwerte verschiedener Standards sind im Gerät gespeichert. Bei der Messung in Betriebsart „Level Recorder“ ist die Bewertung dann bereits mit der Messung erledigt.

Bei der Messung in Betriebsart „Spectrum Analysis“ ist die automatische Bewertung ebenfalls möglich. Allerdings sind dann die Korrekturwerte der Tabelle 1 auf Seite 8 in Faktoren umzurechnen, um sie auf die Ergebnisse in Prozent des zulässigen Grenzwerts anwenden zu können.

Man kann auch Ergebnisse der Betriebsart „Spectrum Analysis“ bewerten, indem man wie beschrieben in logarithmischen Einheiten misst, die Korrekturwerte anwendet und dann in Feldstärke- oder Leistungsdichtewerte umrechnet, um diese Werte „von Hand“ mit den zulässigen Grenzwerten zu vergleichen.

Bei sorgfältiger Messung führen alle Methoden zu vergleichbaren Ergebnissen. Abweichungen der Ergebnisse aus der „Spectrum Analysis“ und der „Time Analysis“ können folgende Ursachen haben:

- Zu kurze Messdauer in der Spektrumanalyse
- Falsche Geräteeinstellungen (RBW, Result Type, ...)

- Übersteuerung bei zu empfindlich gewähltem Messbereich MR oder Verfälschung des Ergebnisses durch Rauschen bei zu unempfindlich gewähltem Messbereich

Die Auswertung und Bewertung ist in der Regel in einem Messbericht festzuhalten. Die PC-Software SRM-TS bietet dazu eine große Hilfe. Über einfache Copy+Paste-Funktionen kann man die Messdaten und Grafiken direkt in den Messbericht kopieren oder Messdatensätze in gängige Tabellenverarbeitungsprogramme exportieren.

Anhang 1: Berechnung des isotropen Ergebnisses aus Einzelmessungen

Bei sukzessiver Messung der Feldstärke- oder Leistungsdichtewerte in drei orthogonalen Raumachsen x, y, z lässt sich das isotrope Ergebnis nach den folgenden Formeln berechnen.

Feldstärkewerte:

$$E_{isotrop} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad \text{bzw.} \quad H_{isotrop} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

Leistungsdichtewerte:

$$P_{isotrop} = P_x + P_y + P_z$$

Logarithmische Werte, bezogen auf Feldstärken:

$$L_{isotrop} = 10 \lg \left(10^{\frac{L_x}{10}} + 10^{\frac{L_y}{10}} + 10^{\frac{L_z}{10}} \right)$$

Abkürzungen

DC	Duty Cycle, Tastverhältnis
E-Feld	Elektrisches Feld
FFT	Fast Fourier Transform
MR	Measurement Range, Messbereich
PW	Pulse Width, Impulsbreite
PRF	Pulse Repetition Frequency, Pulswiederholfrequenz
RBW	Resolution Bandwidth, Auflösungsbandbreite
RMS value	Root Mean Square value, Effektivwert
SRM	Selective Radiation Meter
T	Periodendauer

Literatur

- [1] Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Published in Health Physics, Vol. 74, No. 4, pp. 436-522, April 1998
- [2] Guidelines on Limiting Exposure to Non-Ionizing Radiation. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), July 1999; ISBN 3-9804789-6-3
- [3] RICHTLINIE 2013/35/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 26. Juni 2013 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) (20. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) und zur Aufhebung der Richtlinie 2004/40/EG
- [4] Council Recommendation of 12 July on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC). Official Journal of the European Communities L 199/59, 30.7.1999

Autoren

Claudia Eskerski, Produktmanagerin, Narda Safety Test Solutions GmbH

Holger Schwarz, Senior Product Marketing Manager, Narda Safety Test Solutions GmbH