

Dieser Beitrag von Franck Placidet erschien in ähnlicher Form im HF-Report 2/2004, Seite 28 bis 32.

Frequenzselektives Handmessgerät für elektromagnetische Strahlung

Selective Radiation Meter misst isotrop bis 3 GHz und bewertet die Ergebnisse gleich vor Ort

Mehrere Mobilfunkbetreiber auf einem Dach, der UKW-Rundfunk in direkter Nähe, die Feldbelastung knapp am Rand des Immissionsschutzgrenzwerts. Wer trägt wie viel zur Belastung bei? Oder schlimmer: Wer muss seine Sendeleistung reduzieren? Um wie viel?

Diese Fragen beschäftigen immer häufiger die Betreiber von Sendeanlagen, die Anbieter von Mobilfunkdiensten, die zuständigen Behörden und die beauftragten Messdienstleister. Um sie gleich vor Ort beantworten zu können, hat Narda Safety Test Solutions ein neues Konzept aufgestellt. SRM, das Selective Radiation Meter, hat die Eigenschaften eines „ausgewachsenen“ Spektrumanalysators und lässt sich dennoch einsetzen wie ein breitbandiges Handmessgerät. Unser Beitrag beschreibt die Technik, die dahinter steht.

Man nehme einen Spektrumanalysator, schließe eine Messantenne an, und fertig ist das selektive Messgerät für elektromagnetische Felder.

Ganz so einfach ist es nicht – aus verschiedenen Gründen.

Spektrumanalysatoren messen Spannungen oder Pegel. Um eine Anzeige des Spektrums in Feldstärke oder Leistungsdichte zu erhalten, muss man den Antennenfaktor kennen und damit die Ergebnisse umrechnen. Wenn der Spektrumanalysator das nicht kann, braucht man zusätzlich einen PC. Im Labor ist das kein Problem. Vor Ort ist das lästig.

Spektrumanalysatoren sind normalerweise für den Laboreinsatz konzipiert. Dem rauen Außeneinsatz sind sie oft mechanisch nicht gewachsen. In der Umgebung von Senderstandorten halten sie häufig auch den hohen Feldstärken nicht Stand.

Ein weiterer Punkt ist das Selektionsprinzip. Überlagerungsempfänger haben je nach eingestellter Auflösungsbandbreite (RBW) eine Wobbelzeit (SWEEP TIME), die für schnelle Messungen vor Ort unpraktisch ist. FFT-Analysatoren könnten schneller sein, schaffen aber einen Frequenzbereich bis 3 GHz nicht.

Die Firma Narda Safety Test Solutions hat deshalb ein Messgerät entwickelt, das speziell für Handmessungen in elektromagnetischen Feldern konzipiert ist. Es kombiniert an sich bekannte Techniken auf bisher ungewohnte Weise.

Vorselektion analog, Feinselektion per FFT

Das SRM von Narda benutzt eine Kombination von analoger und digitaler Signalverarbeitung. Die grobe Selektion übernimmt ein Überlagerungsempfänger mit allem, was man von herkömmlichen Spektrumanalysatoren kennt: Eingangsstufe, 1. Mischer, 2. Mischer, ZF-Verstärker. Hier gibt es eine Besonderheit: Der Eingangsabschwächer lässt sich in Stufen von 1 dB einstellen, um stets die volle Dynamik auszuschöpfen.

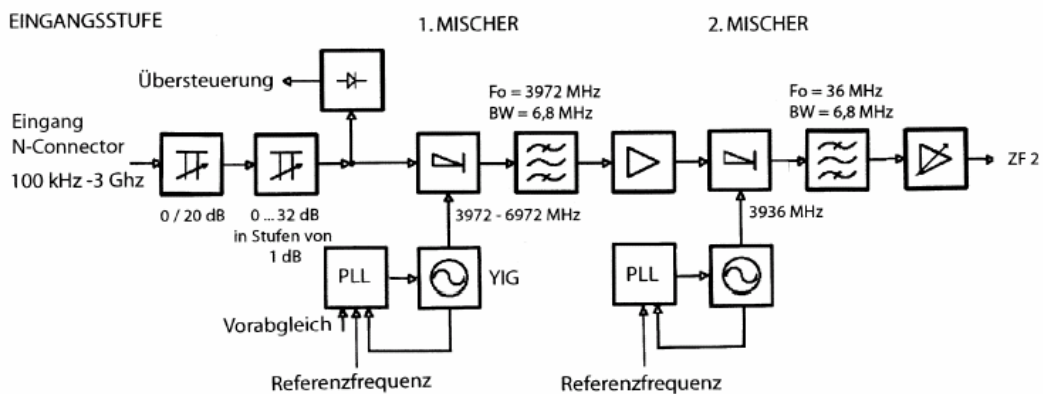


Bild 1: Blockschaltbild des HF-Moduls, vereinfacht. Vorselektion nach dem klassischen Überlagerungsprinzip.

Am Ausgang dieser analogen Baugruppe liegt ein Signal vor, das sich jetzt vorteilhaft digital weiterverarbeiten lässt. Ein RSP (Real-time Signal Processor) fungiert als digitale Frequenzumsetzung mit variablen Ausgangsfiltern. Ein DSP (Digital Signal Processor), ausgeführt als FPGA (Field Programmable Gate Array), nimmt die Zeitbereichsdaten in Echtzeit in einen Zwischenspeicher auf. Ein μC errechnet per FFT aus dem Zeitverlauf des Signals dessen Spektrum. Für größere Frequenzhübe ändert das Gerät automatisch die analoge Vorabstimmung und setzt das Gesamtergebnis blockweise aus mehreren FFT-Durchläufen zusammen.

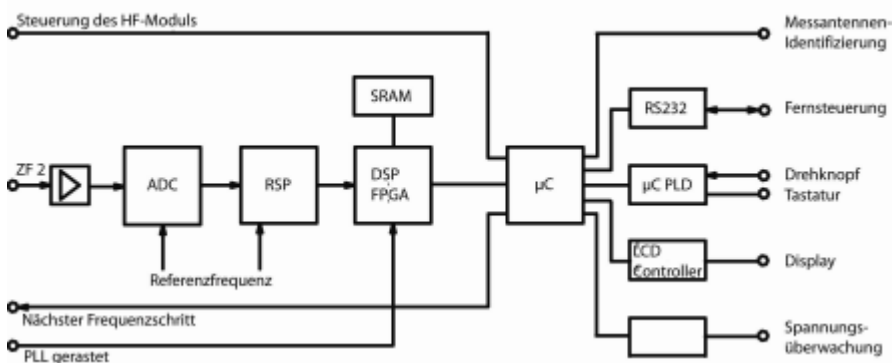


Bild 2: Blockschaltbild des Main Board, vereinfacht. Feinselektion nach allen Regeln digitaler Kunst.

Die internen Abläufe steuert das Gerät automatisch, so dass der Benutzer sich keine Gedanken machen muss über Einschwingzeiten von ZF-Filtern oder Mittelungszeiten. Was das Gerät als Sweep Time anzeigt, ist die resultierende Messzeit für ein Spektrum. Ein Anhaltspunkt für die Größenordnung: Das Gerät braucht weniger als 800 ms für einen Frequenzhub (SPAN) von 100 kHz bis 3 GHz und eine Auflösung (RBW) von 1 MHz bis 5 MHz. Interessant ist auch die Messgeschwindigkeit bei kleiner RBW. Ein Frequenzhub von 3 MHz wird bei einer Auflösungsbandbreite von 1 kHz innerhalb von 250 ms erfasst. Spektrumanalysatoren, die keine FFT benutzen, sind hier deutlich langsamer.

Anzeige, Messbereich und Auflösung

Wer elektromagnetische Felder misst, möchte das Ergebnis in Feldstärke oder Leistungsdichte sehen. Das SRM zeigt deshalb wahlweise V/m, A/m, W/m² oder mW/cm² an. Dazu muss man keine so genannten Antennenfaktoren eingeben. Sie sind samt individuellen Korrekturwerten in einem EEPROM in der Sonde gespeichert; das SRM liest sie automatisch über ein Nebenkabel aus.

Bei Spektrumanalysatoren für Laborzwecke lassen sich Eingangsabschwächer (ATTENUATOR) und interner Referenzpegel (REF. LEVEL) unabhängig voneinander einstellen, um einen geeigneten Kompromiss zwischen Rauschabstand und Intermodulation zu finden. Das erfordert vom Benutzer scharfsinnige Überlegungen zum Dynamikbereich. Bei einfachen, tragbaren Geräten kann man häufig nur den Referenzpegel wählen. Er bestimmt dann die Stellung des Eingangsabschwächers und zudem meist den obersten Wert der y-Achse auf der Anzeige. Das ist für viele Messsituationen in elektromagnetischen Feldern ungeeignet. Deshalb wurde beim SRM ein anderer Weg beschritten. Der Benutzer stellt einfach einen Messbereich ein, vorzugsweise auf den höchsten zu erwartenden Pegel. Dementsprechend wählt das Gerät automatisch die Eingangsdämpfung; bei Übersteuerungen warnt eine Overload-Anzeige. Unabhängig davon kann der Benutzer den Anzeigebereich wählen. Er kann also beispielsweise einen Messbereich von 100 V/m einstellen, weil die Mobilfunkantennen am Mast eines UKW-Senders montiert sind, und sich dennoch die Feldstärken der Mobilfunkkanäle im Maßstab 1 V/m „Format füllend“ anzeigen lassen.

Ähnliches gilt für die x-Achse, die mit Frequenzhub (SPAN) und Auflösung (Resolution Bandwidth, RBW) verknüpft ist. Insgesamt bietet das SRM Auflösungsbandbreiten von 1 kHz bis 5 MHz – fein genug, um Langwellensender voneinander zu trennen, und breit genug, um einen ganzen UMTS-Frequenzblock zu erfassen. Für die Spektralanalyse reduziert das SRM entsprechend dem eingestellten Frequenzbereich die angebotenen Auflösungen, und zwar so, dass das Spektrum maximal 6709 Linien oder Messpunkte umfasst. Der Abstand der Linien voneinander entspricht dabei etwa der Hälfte der eingestellten Auflösungsbandbreite.

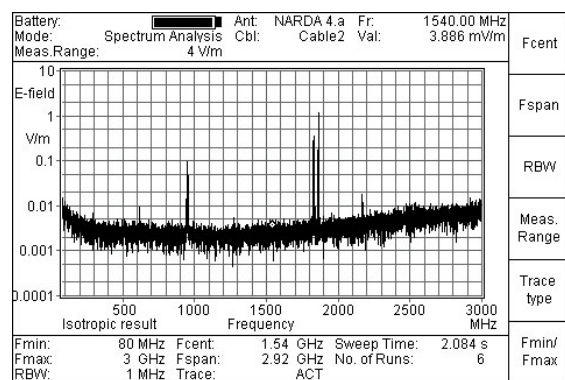


Bild 3: Isotropes Ergebnis einer Spektrumanalyse. Die Übersicht über den Bereich von 80 MHz bis 3 GHz liegt nach gut 2 Sekunden Messzeit (Sweep Time) vor und bringt auch unbekannte Quellen ans Licht.

Das ist ausreichend, um den gesamten Frequenzbereich bis 3 GHz mit 1 MHz aufzulösen. 6709 Linien sind jedoch immer noch weit mehr als die knapp 300 Pixel, die die Anzeige in x-Richtung darstellen kann. Das SRM muss also unter Umständen mehr als 20 Linien zu einem Ergebnis zusammenfassen. Der Anzeige-Algorithmus des SRM sorgt dafür, dass die angezeigte Kurve den Minimal- und den Maximalwert repräsentiert. Der Rohdatensatz mit der hohen Auflösung bleibt, im Gegensatz zu gängigen Spektrumanalysatoren, trotzdem erhalten. Dadurch lässt sich der Darstellungsbereich auch nachträglich ändern oder der komplette Datensatz in einem externen PC weiterverarbeiten. Auch der Marker und andere Auswertungsfunktionen greifen auf den kompletten Datensatz zu. Dadurch sind diese Funktionen mit weitaus höherer Präzision und größerem Bedienkomfort ausgestattet als es bisher üblich war.

Mittelung und Integration

Die Messkurve (TRACE) zeigt wahlweise das aktuelle Ergebnis (ACT), das jeweilige Maximum (MAX) seit Einschalten der Max-Hold-Funktion, den Mittelwert (AVERAGE) einer vorgewählten Anzahl von Spektren oder die jeweiligen Maximalwerte (MAX AVERAGE) aus einer Anzahl gemittelter Spektren. Die Mittelung bezieht sich also nicht auf die Zeit, sondern auf die Anzahl der Spektren. Zeitliche Mittelung wäre nur dann sinnvoll, wenn bei jeder Frequenz kontinuierlich gemessen würde. Bei der Spektrumanalyse wird jedoch das Frequenzband sukzessive durchfahren. Mitteln kann das SRM über 4, 8, 16, 32 und 64 Spektren.

Wichtig ist die Integrationsfunktion. Jede Spektrallinie zeigt genau die Feldstärke oder Leistungsdichte, die in ihre Auflösungsbandbreite fällt. Um genau zu sehen, was los ist, wählt das Gerät eine man die Bandbreite so, dass jeder Dienst, z.B. ein UMTS-Frequenzblock, mit mindestens acht Linien aufgelöst wird.

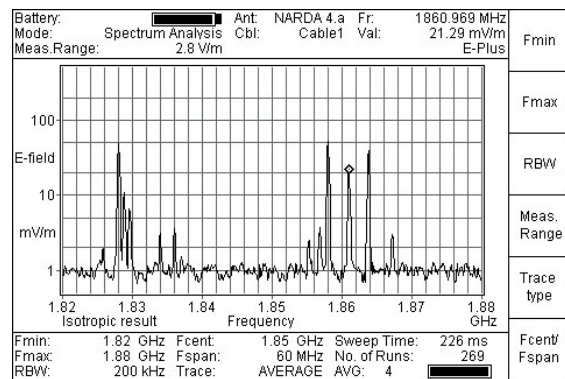


Bild 4: Um zu sehen, was wirklich im GSM-1800-Band los ist, wählt man einen Frequenzbereich von ca. 1,8 bis 1,9 GHz. Das isotrope Ergebnis liegt in weniger als einer Viertelsekunde vor. Mit einer hinterlegten Diensttabelle ordnet das Gerät die Cursor-Position automatisch einem Netzbetreiber zu; hier E-Plus.

Index	Frequency	Level	Service
1	1855.746 MHz	1.090 V/m	E-Plus
2	1870.640 MHz	41.0 V/m	03
3	1861.037 MHz	143.9 V/m	E-Plus
4	1858.037 MHz	129.6 V/m	E-Plus
5	1828.807 MHz	136.0 V/m	02
6	1825.603 MHz	85.0 V/m	02
7	1856.769 MHz	11.86 V/m	E-Plus
8	1825.630 MHz	0.700 V/m	02
9	1867.335 MHz	0.660 V/m	E-Plus
10	1833.968 MHz	0.565 V/m	03
11	1836.036 MHz	0.411 V/m	02
12	1827.575 MHz	0.556 V/m	02

Fmin: 1.8 GHz Fcent: 1.85 GHz Sweep Time: 104 ms
 Fmax: 1.8 GHz Fspan: 100 MHz No. of Runs: 431
 RBW: 300 kHz Trace: ACT

Bild 5: Eine automatisch erstellte Peak -Tabelle mit den zugehörigen Betreibern

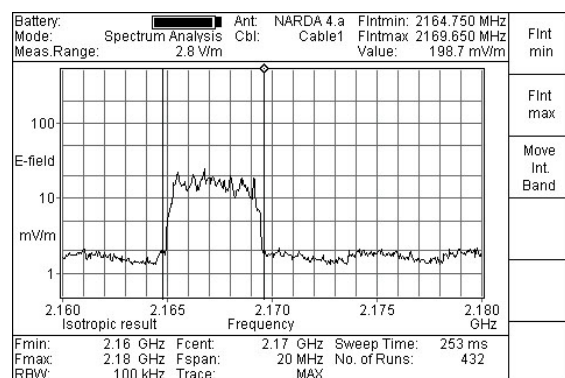


Bild 6: Das Gerät kann über einstellbare Frequenzbereiche integrieren. Hier das Gesamtergebnis für einen UMTS-Frequenzblock: 198,77 mV/m.

Numerisch interessiert jedoch der Feldstärkewert des ganzen Blocks. Dazu integriert das Gerät quadratisch (leistungsrichtig) über einen eingestellten Bereich.

**Besonderheit für die Sicherheit in elektromagnetischen Feldern:
Messart *Safety Evaluation***

Sicherheit in elektromagnetischen Feldern nachweisen heißt die eingangs gestellten Fragen beantworten: Wie hoch ist die Gesamtexposition in Bezug auf den zulässigen Grenzwert? Wer trägt wie viel zur Belastung bei? Wer muss gegebenenfalls seine Sendeleistung reduzieren? Dazu muss man zwar selektiv das gesamte Spektrum messen. Doch letztlich interessieren nur wenige Werte: Die Gesamtbelastung und der Beitrag der einzelnen Dienste, als Feldstärke oder in Prozent des zulässigen Grenzwerts.

Das SRM als Spezialgerät bietet hierfür eine eigene Messart: *Safety Evaluation*. Der Anwender wählt aus dem Konfigurationsmenü die Dienste, die er erfassen möchte, und die Vorschrift, nach der er bewerten muss. Die Frequenztabelle ist im Gerät hinterlegt, die Bewertungsfaktoren gespeichert – für die gängigen Dienste und Vorschriften ab Werk. Per PC-Software lassen sich die Tabellen bearbeiten oder neue erstellen: Man kann dem Dienst einfach einen Namen geben, die untere und obere Frequenzgrenze festlegen und die Daten über die serielle Schnittstelle in das Gerät übertragen.

Jetzt läuft die Messung auf Knopfdruck. Das SRM misst sukzessive die Bänder, die den Diensten entsprechen, und erfasst außerdem, was dazwischen „los ist“. Die Auflösungsbandbreite stellt es so ein, dass in dem schmalsten Band noch acht Linien erfasst werden. Dadurch erreicht das SRM eine hohe Messgenauigkeit, ohne Messzeit zu verschwenden. Die Spektrallinien integriert das SRM automatisch und zeigt die Feldstärke-Beiträge der einzelnen Dienste (wie GSM und UMTS), die Beiträge der Frequenzbereiche dazwischen (Others) und die gesamte Feldexposition (Total).

Station:	AWROR 4.8	Funktion:	Std.	BGV Exp. 7	Set	0rel
Mode:	Safety Eval	Cor	Cable?		0rel	0rel
Mass. Range:	20 %	Std.			0rel	0rel
Service						
Service	Value	Frequency				
DAB	0.03186	4	87.500	036	50	108.000
Radio II-DAB	0.01671	4	174.000	036	50	230.000
Radio IV/7/DTMB	0.03088	5	470.000	036	50	790.000
GSM 900	0.31620	5	890.000	036	50	960.000
GSM 1800	22.04	5	1710.000	036	50	1980.000
UMTS	0.01310	5	1920.000	036	50	2170.000
Others	7.11718	5				
Total	22.37	5	87.500	036	50	2170.000
Isolated result						
Fmin:	87.5 MHz	Process Time:	1.394 s			
Fmax:	2.17 GHz	No. of Runs	12			
RBW:	5 MHz (Std)	Trace	ACT			

Bild 7: Messart *Safety Evaluation*. Das Gerät zeigt die Ergebnisse wahlweise in Feldstärke, Leistungsdichte oder – wie hier – in Prozent des zulässigen Grenzwerts. Bewertung: BGV B11, Expositionsbereich 2.

In der Regel möchte der Messdienst das Ergebnis in Prozent des zulässigen Grenzwerts sehen. Dafür bewertet das SRM automatisch jede einzelne Spektrallinie nach der eingestellten Norm oder Vorschrift. Wer absolute Werte haben möchte, schaltet einfach um auf Feldstärke (V/m) oder Leistungsdichte (W/m²). Schon bleibt die Bewertung unberücksichtigt.

Hightech, handlich verpackt

Als echtes Handgerät lässt sich das SRM Grundgerät mit der Sonde (Messantenne) zu einer Einheit verbinden. Umgehängt am Trageriemen kann man es einhändig bedienen und per Knopfdruck Messabläufe aufrufen. Damit lassen sich die meisten Messaufgaben im Mobilfunkbereich erledigen.

Als Handgerät ist das SRM batteriebetrieben, ein Akkusatz reicht für ca. 4 Stunden. Es kann mehr als 500 Spektren speichern.

Dem Einsatzzweck entsprechend ist das SRM robust. Das Gehäuse besteht aus einem Kunststoff, wie er für Schlagbohrmaschinen verwendet wird. Das Gerät verträgt Temperaturen von -10 °C bis $+50\text{ °C}$ und bis zu 95 % Luftfeuchtigkeit. Auch Spritzwasser und kurze Betauung können ihm nichts anhaben: Tastatur und Anzeige sind eine nach außen hin wasserdichte Einheit, die Achse des Drehknopfs hat einen „Stehkragen“, und O-Ringe zwischen den Gehäuseteilen verhindern kriechende Feuchtigkeit.

Unempfindlich ist das SRM auch gegen elektromagnetische Einstrahlung. Obwohl seine Messempfindlichkeit ausreicht, um selbst innerhalb von Gebäuden noch einzelne Mobilfunkkanäle mit wenigen Millivolt pro Meter selektiv zu messen, kann es Feldstärken von mehreren Hundert Volt pro Meter vertragen, ohne dass seine Funktion gestört ist. Das ist nur durch besondere Schirmungsmaßnahmen möglich. Eine davon erkennt man bei genauem Hinsehen in der Anzeige: Ein feines Drahtgeflecht lässt sie leicht gerastert erscheinen.

Dass die Anzeige monochrom ist, mag zunächst befremden. Untersuchungen haben gezeigt, dass unter Lichtverhältnissen im Freien keine andere Anzeige die gleiche Lesbarkeit bietet. Und darauf kommt es im Feldeinsatz an. In dunkler Umgebung lässt sich die Hinterleuchtung einschalten. Außerdem verlängert die geringere Stromaufnahme des monochromen Displays die Akkulaufzeit.

Auswertung direkt vor Ort

Im öffentlichen und privaten Bereich gibt das SRM rasch einen Überblick über die relevanten Feldquellen und ihre Feldstärken, aufgeteilt z.B. nach Fernseh- und Radio-Rundfunk, GSM-900, GSM-1800.. In Multifrequenzumgebungen, wo mehrere Betreiber sich einen Standort für ihre Antennen teilen (Shared Sites), lassen sich z.B. innerhalb des Mobilfunkbandes einzelne



Bild 8: Messgerät und Sonde lassen sich zu einer Einheit verbinden und überall hin mitnehmen.

Frequenzbereiche getrennt erfassen. Das macht es dem Messdienst einfach. Und wenn der Betreiber die Feldstärken seiner Steuer- oder Sprachkanäle einzeln messen möchte, geht das selektiv ohne Probleme – auch zur Langzeitüberwachung.

Auch die Bewertung der einzelnen Spektralanteile und die Integration des Leistungsdichtespektrums zur Bildung des Gesamtwerts übernimmt das SRM selbst – ohne externen PC. Intern gespeichert sind die Grenzwertungskurven nach ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), nach IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineering), nach der US-amerikanischen FCC (Federal Communications Commission), der deutschen BGV B11 (Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit), der österreichischen ÖNORM S1120 und der kanadischen Norm, Safety Code 6. Weitere Grenzwertkurven sind in Vorbereitung.