Moderne Mobilfunkmessungen
Educational Note

Products:

- R&S®CMW 500

In der Application Note 1MA231 geht es um Messungen an Mobiltelefonen - in Theorie und in der Praxis. Besprochen werden Messungen nach dem derzeit gebräuchlichsten Standard GSM.

Der erste, theoretische Teil der Application Note behandelt zunächst allgemein digitale Modulations- und Zugriffsverfahren. Darauf folgt ein Überblick über die spezifischen Eigenheiten des GSM-Standards und eine Zusammenstellung der wichtigsten Mobilfunktests.

Im zweiten, dem praktischen Teil der Application Note, werden dann einzelne dieser Tests detailliert besprochen und Schritt für Schritt durchgeführt. Dies kann in Labors in kleinen Gruppen geschehen.

Die Messungen und das Auswerten der Ergebnisse sollen die Ausführungen des theoretischen Teils veranschaulichen und das dort vermittelte Wissen vertiefen.

Alle Messungen erfolgen mit dem Wideband Radio Communication Tester R&S®CMW 500 und einem handelsüblichen Serien-Mobiltelefon.

Educational Note
Detlev Liebl
9.2014 - 1MA231_3d

ROHDE&SCHWARZ

Table of Contents

1 Überblick 4

2 Digitaler Mobilfunk 5

2.1 Digitale Modulationsverfahren 5

2.2 Zugriffsverfahren 18

3 Mobilfunkmessungen: Motivation und Struktur 21

4 Der GSM Standard 25

4.1 Der Normal Burst 28

4.2 Circuit Switched und Packet Switched Modes 31

4.3 Messungen an GSM-Mobilstationen 34

5 Ablauf von Mobilfunkmessungen 35

6 Messungen mit dem CMW500 37

6.1 Grundlegende Bedienung des CMW500 38

6.2 Zum Softkey-Konzept des Testers 40

7 GSM-Messungen: CMW Configuration 44

7.1 Vorbereitungen, Messaufbau 44

7.2 Konfigurieren und Starten der GSM Signaling Task 46

7.3 Registrierung des Mobiltelefons 55

7.4 Konfigurieren der TX-Task GSM Multi Evaluation 56

7.5 Konfigurieren der RX-Task 60

7.6 Abspeichern der Geräte-Konfiguration 62

7.7 Verbindungsaufbau 63

7.8 Starten der Measurement Task Multi Evaluation 64

7.9 Messergebnisse / Bildschirmfenster 64

8 GSM Messungen: Burst Power and Timing 67

8.1 Kompensieren der ext. Attenuation 67

8.2 Power versus Time / Circuit Switched 69

8.3 Power versus Time / Packet Switched 76

9 GSM-Messungen: Modulation Quality 79

9.1 Error Vector Magnitude EVM 80

9.2 Magnitude Error 84

9.3 Weitere Basisbandgrößen 86

10 GSM Messungen: Frequency Spectrum 90

10.1 Spectrum Due To Modulation / Circuit Switched 91

10.2 Spectrum Due To Modulation / Packet Switched 94

10.3 Spectrum Due To Switching / Circuit Switched.....96

10.4 Spectrum Due To Switching / Packet Switched 99

11 GSM Messungen: RX Sensitivity..... 107

11.1 RX Sensitivity / Circuit Switched.....107

11.2 RX Sensitivity / Packet Switched 113

12 Literatur 118

Anmerkung: Im Folgenden wird der Wideband Radio Communication Tester R&S®CMW500 nur noch CMW500 oder CMW genannt.

1 Überblick

In der Application Note 1MA231 geht es um Messungen an Mobiltelefonen - in Theorie und in der Praxis. Besprochen werden Messungen nach dem derzeit gebräuchlichsten Standard GSM.

Der erste, theoretische Teil dieser Application Note stellt in Kapitel 2 zunächst digitale Modulations- und Zugriffsverfahren vor. Kapitel 3 begründet, warum Mobilfunkmessungen wichtig sind und gliedert die Vielzahl der Tests in eine überschaubare Struktur. Kapitel 4 gibt einen Überblick über die spezifischen Eigenheiten des GSM-Standards. Dort sind schließlich diejenigen Tests genannt, mit denen man die wesentlichen RF-Eigenschaften eines Mobiltelefons abprüft.

Mobilfunk-Messungen im Signaling-Mode, wie wir sie in dieser Application Note behandeln, folgen einem festen äußeren Ablauf. Dieser wird in Kapitel 5 vorgestellt, bevor diese Abläufe am Radio Communication Tester CMW praktiziert werden.

Mit Kapitel 6 beginnt der praktische Teil der Application Note. Dieser Abschnitt widmet sich zunächst der Bedienung des CMW. In Kapitel 7 geht es darum, eine universelle CMW-Konfiguration zu erarbeiten, die eine reproduzierbare Ausgangsbasis für alle folgenden Messungen darstellt.

Es folgen die Versuche

- Burst Power and Timing (Kapitel 8)
- Modulation Quality (Kapitel 9)
- Frequency Spectrum (Kapitel 10)
- RX Sensitivity (Kapitel 11)

Diese Versuche können in Labors in kleinen Gruppen durchgeführt werden. Die Messungen und das Auswerten der Ergebnisse sollen die Ausführungen des theoretischen Teils veranschaulichen. Begleitende Fragen lassen das hinzugewonnene Wissen überprüfen.

Alle Messungen erfolgen mit dem Wideband Radio Communication Tester R&S®CMW500 und einem handelsüblichen Serien-Mobiltelefon.

2 Digitaler Mobilfunk

2.1 Digitale Modulationsverfahren

Der digitale Mobilfunk ist eine anspruchsvolle praktische Anwendung der Nachrichtentechnik, die sich allgemein mit der Aufnahme, Speicherung, Verarbeitung und Übertragung von Nachrichten, d.h. von Informationen, befasst.

Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich auf das letzte Thema, die Übertragung von Informationen. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Informationen bereits in Form von digitalen Datenströmen vorliegen. Im Mobilfunk handelt es sich hierbei um Sprach-Coder-Daten, um User-Daten (Datendienste) und um Signalisierungs-Informationen (Signaling)[1].

Digitale Datenströme bestehen nur noch aus reiner Information; sie sind dimensionslos und besitzen insbesondere keinen Zeitbezug. Daher ist es problemlos möglich, diese Ströme abzuspeichern, um sie dann z.B. schneller oder langsamer zu übertragen, als sie tatsächlich angefallen sind. Ebenso kann man sehr einfach bestimmte Abschnitte unterschiedlich kodieren, Redundanz-Information ergänzen, die Reihenfolge ändern, Abschnitte wiederholen, Übertragungsfehler korrigieren und verschiedene Datenströme miteinander multiplexen. Die Anforderungen des modernen Mobilfunks,

- Sprache, Daten und Signalisierungs-Information quasi gleichzeitig zu übertragen,
- Gespräche abhörsicher zu verschlüsseln,
- zu garantieren, dass eine maximal zulässige Anzahl an Übertragungsfehlern nicht überschritten wird (Quality of Service, QoS) und
- ggf. diskontinuierlich (z.B. in Zeitschlitzen) zu senden und zu empfangen,

sind mit digitalen Daten und digitaler Signalverarbeitung daher relativ einfach zu realisieren, auf jedem Fall erheblich einfacher als mit analoger Technik.

Darüber hinaus ermöglicht die digitale Signalverarbeitung weitere wichtige Operationen wie z.B. Datenkompression, Filterung oder Echo- und Kanalentzerrung. Mitentscheidend für die Einführung des heutigen Mobilfunks war auch die Erfindung hoch effizienter Sprach-Codecs (Coder / Decoder), die die für die Sprachübertragung erforderliche Datenrate ausreichend senken konnten.

Der Einsatz der digitalen Datenverarbeitung im Mobilfunk legt nahe, ebenso digitale Modulationsverfahren einzusetzen.

---

[1] Signalisierungs-Informationen sind für den Anwender nicht sichtbare Kontrolldaten, die automatisch mitübertragen werden, um eine Funkverbindung aufzubauen, aufrecht zu halten und wieder abzubauen.

Prinzip der IQ-Modulation

Klassische analoge Modulationsarten variieren das Signal eines HF-Trägers in nur einer Dimension.

Die Amplitudenmodulation verändert nur die Amplitude ρ(t); die Frequenz- und die Phasenmodulation wirken nur auf die Frequenz bzw. die Phase φ(t) des Trägers. Die Amplitudenmodulation erfolgt meist in der HF-Ausgangsstufe, die Frequenz- und Phasenmodulation in den Oszillatorstufen. Die Form des Modulationssignals entspricht der Form des Nutzsignals.

Moderne IQ-Modulatoren variieren das HF-Trägersignal in zwei Dimensionen.

Sie synthetisieren das Modulationssignal aus der Summe zweier sogenannter Basisbandsignale, i(t) und q(t). i(t) nennt man die Inphase-, q(t) die Quadrature-Komponente. Orthogonal aufgetragen spannen beide in der IQ-Ebene einen Vektor mit der Länge ρ(t) und der Phase φ(t) auf, siehe Fig. 2-1. i(t) und q(t) sind normiert, also stets ≤ 1.

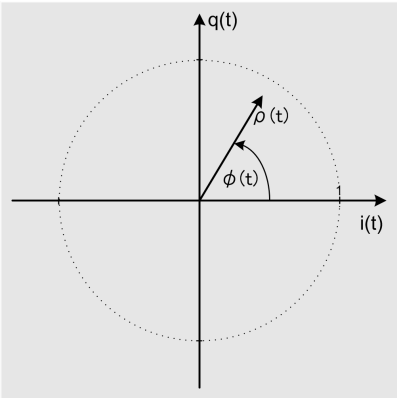


Fig. 2-1: Basisband-Vektor in der IQ-Ebene

Das modulierte HF-Signal entsteht durch Addition je eines mit i(t) und eines mit q(t) modulierten - aber um 90° phasenverschobenen - Trägers, siehe Fig. 2-2.

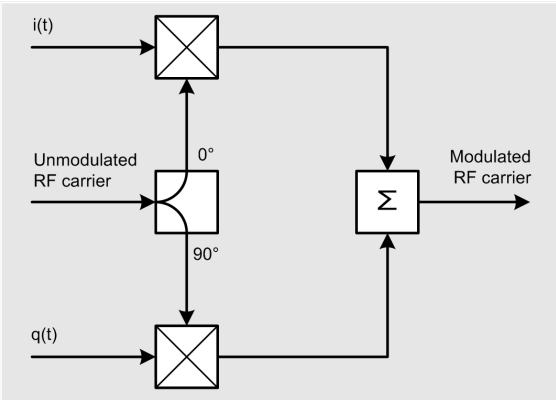


Fig. 2-2: Up-Conversion der Basisbandsignale

Mit Hilfe der zwei Basisband-Signale kann man somit zu jedem Zeitpunkt sowohl Betrag als auch Phase des modulierten Signals festlegen. Damit lassen sich beispielsweise auch die analogen Modulationsarten recht einfach realisieren:

Eine Amplitudenmodulation erzielt man durch Variieren der Länge des Vektors ρ(t) mit der Zeit, ohne die Phase zu ändern. Eine Frequenz- bzw. eine Phasenmodulation erzielt man dadurch, dass man die Phase φ(t) des Summen-Vektors entsprechend variiert, ohne die Amplitude zu ändern.

Digitale IQ-Modulation

Die kleinsten Nachrichten- / Informationselemente, die bei digitaler Modulation über die Luftschnittstelle übertragen werden, nennt man Symbole. Diese fassen - je nach Modulationsart - n einzelne Bits zusammen, wobei n aus der Menge der natürlichen Zahlen stammt. Diese Symbole bilden den Zahlenvorrat, mit dem eine Modulationsart arbeitet. Maßgeblich für den Durchsatz der Luftschnittstelle sind die Symbolrate und die Anzahl der Bits pro Symbol.

Die Anzahl der möglichen Symbole einer digitalen Modulationsart ist abzählbar endlich. (Sie beträgt 2^n, das ist die Anzahl der mit n Bits darstellbaren Zahlen.) Für jedes Symbol wird jetzt in einem sogenannten Konstellationsdiagramm ein spezifischer IQ-Vektor (IQ-Mapping) oder eine spezifische Vektoränderung festgelegt.

Der IQ-Vektor nimmt also bei digitaler IQ-Modulation eine abzählbar endliche Anzahl von Zuständen oder Änderungen mit spezifischer Amplitude und Phase ein. Die digitale Modulation ist so betrachtet nichts anderes als eine analoge Modulation mit einer endlichen Anzahl diskreter Zustände.

Eine Mittelstellung zwischen analoger und digitaler Modulation nimmt das bei GSM verwendete Gaussian Filtered Minimum Shift Keying (GMSK) ein. Es handelt sich dabei um eine optimierte Form der Phasenmodulation. Ein Symbol besteht hier aus einem Bit. Die beiden möglichen logischen Zustände werden durch Drehungen des IQ-Vektors um +/- 90° (+/-π/2) realisiert. Gleiche Bits auf der physikalischen Ebene führen zu einer kontinuierlichen Phasendrehung um +90° pro Symbol, steter Bitwechsel zu einer kontinuierlichen Phasendrehung um -90°. Im Spektrum bewirkt dies eine Frequenzverschiebung von +/- 67.7 kHz, einem Viertel der Symbolfrequenz. Der Pegel des modulierten Signals, d.h. die Länge des IQ-Vektors, bleibt konstant.

Konstellationsdiagramme (Beispiele)

Die folgenden Bilder zeigen die Konstellationsdiagramme einiger Modulationsarten. Dabei sind - wie allgemein üblich - nur die Endpunkte der jeweiligen IQ-Vektoren eingezeichnet. Außerdem ist festzuhalten, dass die eingezeichneten IQ-Zustände nur zu den sogenannten Symbolzeitpunkten eingeschwungen sind. Zwischenzeitlich gibt es naturgemäß Übergänge. Darauf wird später eingegangen.

Die angeführten Konstellationsdiagramme werden in den Standards GSM und 3GPP UMTS verwendet. Es gibt darüber hinaus weitere, teilweise recht komplizierte Systeme. Welcher IQ-Vektor zu welchem Symbol gehört, ist bei den einzelnen Standards verschieden. Die in den folgenden Konstellationsdiagrammen eingezeichneten Bits bzw. Bitkombinationen sind daher beispielhaft gedacht; andere Zuordnungen existieren ebenfalls.

Die Modulation Binary Phase Shift Keying (**BPSK**) überträgt pro Symbol nur ein Bit. Es gibt daher $2^1 = 2$ verschiedene Symbole bzw. Zustände. Die Symbolrate ist gleich der Bitrate.

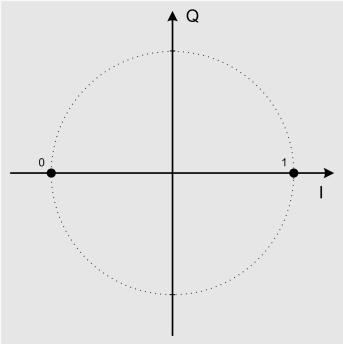


Fig. 2-3: Konstellation-Diagramm für BPSK

Die Modulation Gaussian Filtered Minimum Shift Keying (**GMSK**) überträgt ebenfalls nur ein Bit pro Symbol. Da die Modulation durch Phasendrehung um +/- π/2 erfolgt, gibt es beim Symboltakt theoretisch genau 4 mögliche Zustände. Abhängig von der Vorgeschichte ist aber die tatsächliche Phasendrehung wegen der GMSK-typischen Filterung teilweise etwas größer oder kleiner als genau π/2. Wir beobachten daher pro Quadrant drei mögliche Positionen zum Symboltakt-Zeitpunkt (Intersymbol-Interferenz ISI). Da die Modulationsinformation in der Drehrichtung liegt, kann man den "Zuständen" allein keine logische Null oder Eins zuweisen. Der Wideband Radio Communication Tester CMW500 zeigt daher im IQ-Diagramm für GMSK einen Kreis.

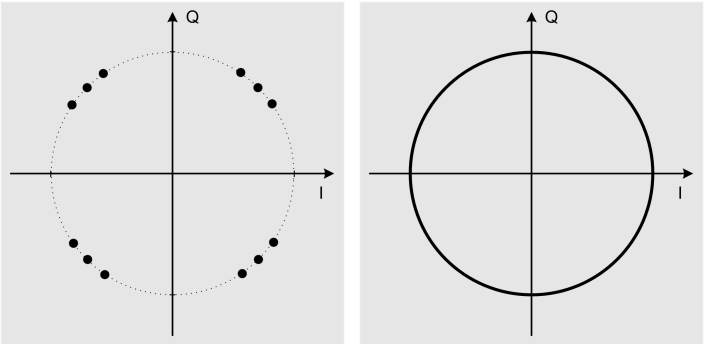


Fig. 2-4: Konstellation-Diagramm für GMSK, Darstellung am CMW500 (rechts)

Die Modulation Quadrature Phase Shift Keying (**QPSK**) überträgt zwei Bit pro Symbol. Es gibt daher 2^2 = 4 verschiedene Symbole. Die Symbolrate ist die Bitrate / 2.

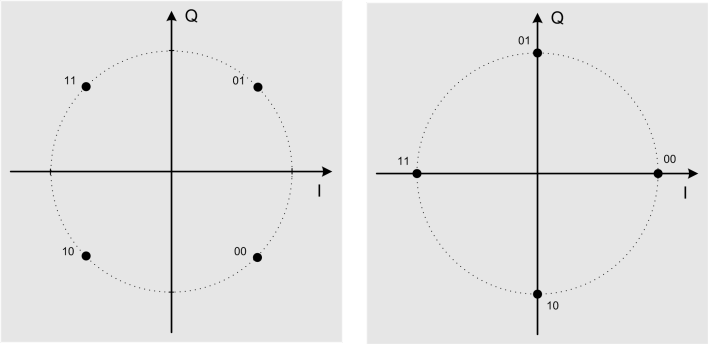


Fig. 2-5: Konstellation-Diagramm e für QPSK

Man beachte, dass hier jeder Zustand von jedem anderen "angesprungen" werden kann. Im Gegensatz zu GMSK entsprechen die eingetragenen Positionen definierten Symbolen.

Die Modulation 8-Phase Shift Keying (**8-PSK**) überträgt drei Bit pro Symbol. Es gibt daher 2^3 = 8 Symbole. Die Symbolrate ist die Bitrate / 3.

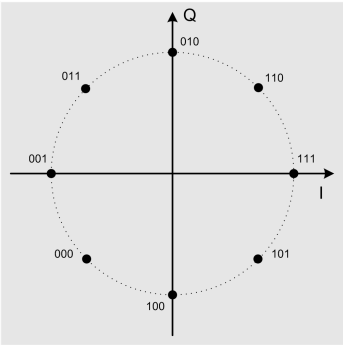


Fig. 2-6: Konstellation-Diagramm für 8-PSK

Die Modulation **16-QAM** (16-Quadrature Amplitude Modulation) überträgt vier Bit pro Symbol. Es daher gibt 2^4 = 16 Symbole. Die Symbolrate ist die Bitrate / 4.

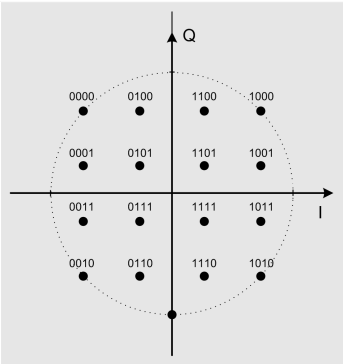


Fig. 2-7: Konstellation-Diagramm für 16-QAM

.Man sieht, wie in der IQ-Ebene der Einheitskreis und die innenliegende Fläche effizient zur Verteilung der Symbole genutzt werden.

Hier sei vorweggenommen: um ein Signal mit der Symbolrate 1 / T_{symbol} zu übertragen, benötigt man im HF-Frequenzbereich (ungefähr) einen Funkkanal der gleichen Breite. Umgekehrt ist bei einem vorgegebenen Kanalraster damit auch die maximal mögliche Symbolrate eines Kanals vorgegeben. Die maximale Übertragungsrate in Bits ist daher umso höher, je mehr Bits in einem Symbol stecken (je höherwertiger die Modulation ist).

Allerdings verringert sich mit zunehmender Anzahl der Symbole zwangsläufig der Abstand benachbarter Zustände. Damit sind die Symbole empfängerseitig schwieriger auseinanderzuhalten, insbesondere, wenn sie bei einer schlechten Funkverbindung verrauscht sind.

Daher kommt beispielsweise die digitale Modulation **256-QAM** (256-Quadrature Amplitude Modulation) nach Fig. 2-8 bei GSM und 3GPP UMTS nicht zum Einsatz. 256 QAM und weitaus höherwertige Modulationen werden aber in pegelsicheren störarmen Breitband-Kabelnetzen verwendet. 256 QAM überträgt acht Bit pro Symbol. Es gibt 2^8 = 256 Symbole. Die Symbolrate ist die Bitrate / 8.

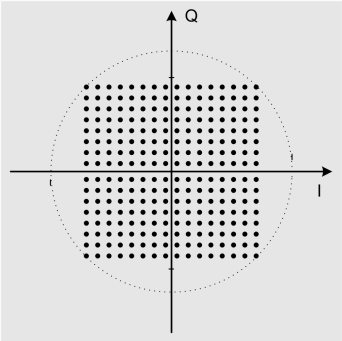


Fig. 2-8: Konstellation-Diagramm für 256-QAM

Je höherwertiger die Modulation, d.h. je geringer die Symbolabstände, desto mehr nähert sich die diskrete Modulation bezüglich der Nutzung von Amplitude und Phase einer kontinuierlichen Modulation. Es gilt jedoch zu beachten, dass die Änderung des IQ-Vektors pro Zeiteinheit bei analoger Modulation relativ gering, hingegen bei der digitalen Modulation im Allgemeinen recht groß ist. Der IQ-Vektor muss zwischen beliebigen Symbolen hin und her "springen".

Error Vector Magnitude

Der Error-Vektor gibt an, wie weit der IQ-Vektor eines realen Systems (zum Symbolzeitpunkt) vom idealen Konstellationspunkt abweicht. Verursacht werden derlei Abweichungen vor allem durch Schaltungs-Unsymmetrien und Nichtlinearitäten, durch Amplituden- und Phasenrauschen sowie durch Störsignale. Die Error Vector Magnitude (EVM) ist das Verhältnis der Beträge der Fehler-Vektoren bezogen auf eine

mittlere Vektor-Länge, die aus den Längen aller ungestörten IQ-Vektoren berechnet wird. Die EVM wird in dB oder in Prozent angegeben.

Hohe EVM-Werte führen dazu, dass bei der Signalrückgewinnung teilweise nicht die richtigen Symbole erkannt werden. Die EVM ist daher ein wichtiges Maß für die Modulationsqualität und wird bei den TX-Messungen an Mobilfunkgeräten immer überprüft. Gemessen werden im Allgemeinen der Peak- und der RMS-Wert.

Es ist offensichtlich, dass höherwertigere Modulationsarten (mit geringeren Symbolabständen) empfindlicher auf Vektor-Fehler reagieren als einfachere Modulationen (mit größeren Abständen) Fig. 2-9 zeigt links das Konstellationsdiagramm eines um 45° gedrehten QPSK-Signales in einem Szenario mit Carrier / Noise (C / N) von 20 dB. Die Peak-EVM beträgt hier 25.8 %; die Symbolerkennung ist nur gering gefährdet. Hingegen ist bei dem 16-QAM-Signal nach Fig. 2-9 rechts bei gleichem C / N nur teilweise eine richtige Symbolabschätzung möglich.

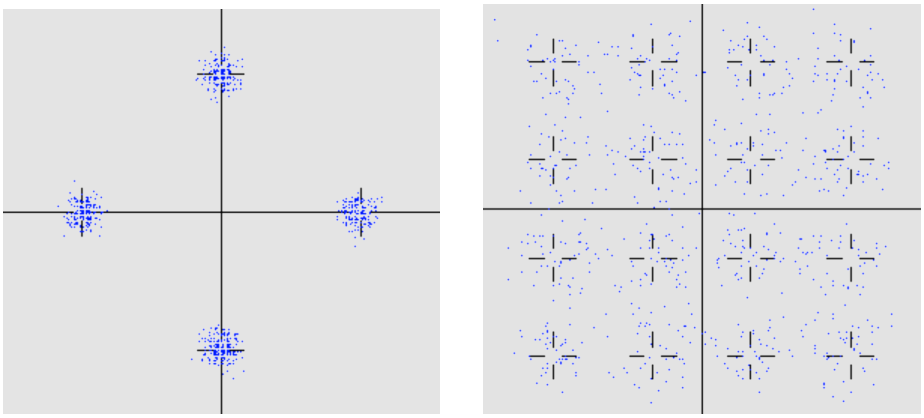


Fig. 2-9: Konstellation-Diagramme für QPSK und 16-QAM mit gleichem C/N

Obwohl Signal- und Rauschleistung bei den Signalen im linken und rechten Bild gleich sind, beträgt die Peak-EVM rechts bei 16-QAM nicht 25.8 % wie bei QPSK, sondern 47.9 %. Dies hängt damit zusammen, dass die mittlere IQ-Vektor-Länge, auf die der Error-Vektor bei der Berechnung bezogen wird, bei 16 QAM deutlich kleiner ist als bei QPSK.

Anmerkung: Da bei GMSK wegen der Intersymbol-Interferenz zum Symboltakt kein eindeutiger IQ-Vektor angegeben werden kann, lässt sich hier keine EVM angeben!

Filterung

Werden digitale Daten in elektrische Zeitsignale gewandelt, müssen diese nur exakt in den jeweiligen Symbolzeitpunkten gültig sein. Das Konstellationsdiagramm zeigt genau diese Zustände, nicht die Zustandsübergänge. Doch gerade die Übergänge

sind für das Spektrum und für die Demodulation des Signals von erheblicher Bedeutung.

Folgen unterschiedliche Daten aufeinander, ändert sich der zeitliche Augenblickswert sprunghaft. Das ist bei einer rechnerischen Signalverarbeitung problemlos möglich, nicht aber in der immer bandbegrenzten physikalischen Realität. Steile Flanken sind zudem in der Praxis unerwünscht, da sie ein breites Frequenzspektrum erzeugen. Jedes Mobilfunksignal muss aber unbedingt die Bandbreite eines zugewiesenen Kanals einhalten, um Funkverbindungen des eigenen Providers oder anderer Dienste nicht zu beeinträchtigen.

Deshalb wird das Sendesignal gefiltert. Aufgrund der Möglichkeiten der digitalen Signalverarbeitung kann dies bereits im Basisband geschehen. Gegenüber einer denkbaren Filterung des späteren HF-Signals ergeben sich dabei folgende Vorteile:

- Die Filterung benötigt keine Bauelemente, sie erfolgt rein rechnerisch.
- Im Basisband genügt ein Tiefpass zur Filterung, es ist kein Bandpass erforderlich.
- Die Filterparameter sind konstant. Es wird kein abstimmbares Filter benötigt (wie es in der HF-Lage für die unterschiedlichen Kanalfrequenzen erforderlich wäre).

Jede Filterung führt zwangsläufig zu einer Verschleifung der Übergänge. Fig. 2-10 zeigt den Verlauf gefilterter Basisbandsignale i(t) und q(t). Es handelt sich hier um ein um 3GPP UMTS-Signal (zweifaches BPSK-Signal).

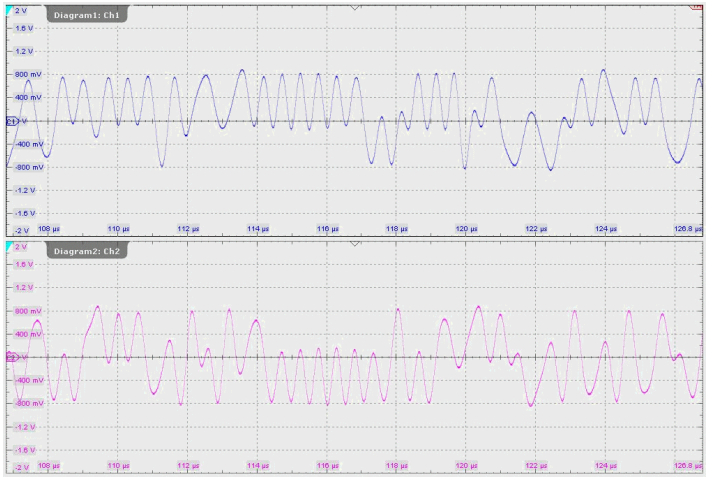


Fig. 2-10: Gefilterte IQ-Signale

Diese Signale erinnern in keiner Weise mehr an sprunghafte Datenwechsel.

Fig. 2-11 auf Seite 13 zeigt links die Positionen des IQ-Vectors zu den Symbolzeitpunkten und rechts den kontinuierlichen Verlauf. Aufgrund der Filterung folgt dieser nicht mehr der kürzesten geraden Verbindung zwischen den Symbolen, sondern beschreibt die Einschwingvorgänge.

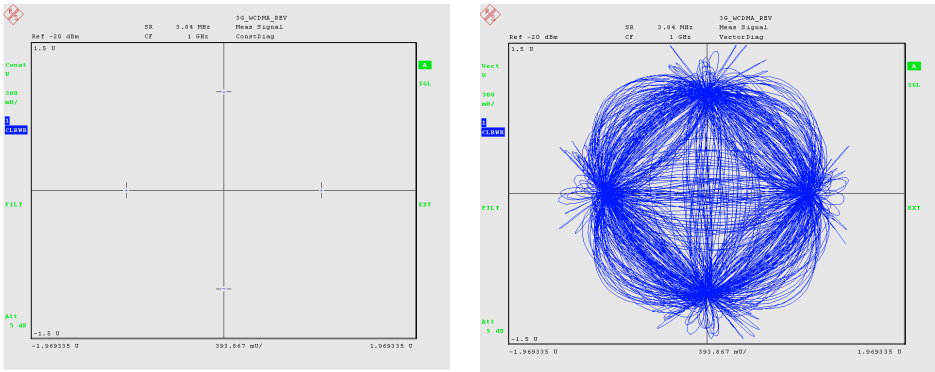


Fig. 2-11: Konstellation (links) und kontinuierliche Vektor-Darstellung

Damit i(t) und q(t) diese weichen Übergänge ausführen können, muss die Taktfrequenz der digitalen Signalverarbeitung höher sein als die Symbolwechselfrequenz.

Crest-Faktor / Linearitätsanforderungen

Die Amplitude des späteren HF-Sendesignals ist stets proportional zu der jeweiligen Vektorlänge im Basisband - auch zwischen den Symbolzeitpunkten. Betrachtet man Fig. 2-11 diesbezüglich, stellt man fest, dass der Einheitskreis bei den Übergängen zwischen den Symbolen häufig überschritten wird. Das Verhältnis von Sptzenwert zum Durchschnitt nennt man den Crest-Faktor. Er bestimmt, welche Leistungsreserven an die TX-Endstufe vorgehalten werden müssen.

Ebenso finden Signaleinbrüche statt, bei Fig. 2-11 rechts bis zu Null (Ursprung). Nun ist es wichtig, den Signalverlauf insgesamt unverzerrt zu senden, um ihn auf der Empfangsseite fehlerfrei demodulieren zu können. Die Sende-Endstufe muss also nicht nur "nach oben hin" Aussteuerreserven bereithalten, sondern bei Fig. 2-11 auch über den gesamten Bereich von 0 Watt bis zur Maximalleistung eine sehr hohe Linearität aufweisen.

GSM verwendet hauptsächlich die beiden Modulationsverfahren GMSK und 8-PSK.

Bei GMSK verläuft der IQ-Vektor idealerweise ausschließlich auf dem Einheitskreis. Der Crestfaktor ist 1; Leistungsspitzen oder Amplituden-Einbrüche gibt es theoretisch nicht.

Bei 8-PSK vermeidet man zumindest die Nulldurchgänge, die beim Wechseln zwischen im IQ-Diagramm gegenüberliegenden Symbolen vorgegeben sind, dadurch, dass das Konstellationdiagramm zwischen den Symboltakten um 3π/8 gedreht wird. Das Vektordiagramm (Fig. 2-12 auf Seite 14) demonstriert die gewünschte Wirkung. Der Verlauf der Sendeleistung, den wir bei den Messungen beobachten werden, zeigt während der Datenübertragung zwar Pegeleinbrüche um ca. 12 dB, aber nicht bis auf Null, siehe Fig. 2-13 auf Seite 14. Die Anforderungen an die Linearität der TX-Endstufe sind etwas gemildert.

Durch die Drehung ergeben sich jetzt quasi 16 Symbol-Zustände, die empfängerseitig zurückgerechnet werden.

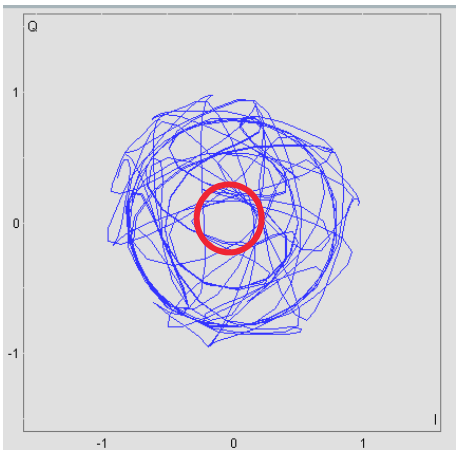


Fig. 2-12: Freihalten einer Zone um den Ursprung durch Rotation der Konstellation

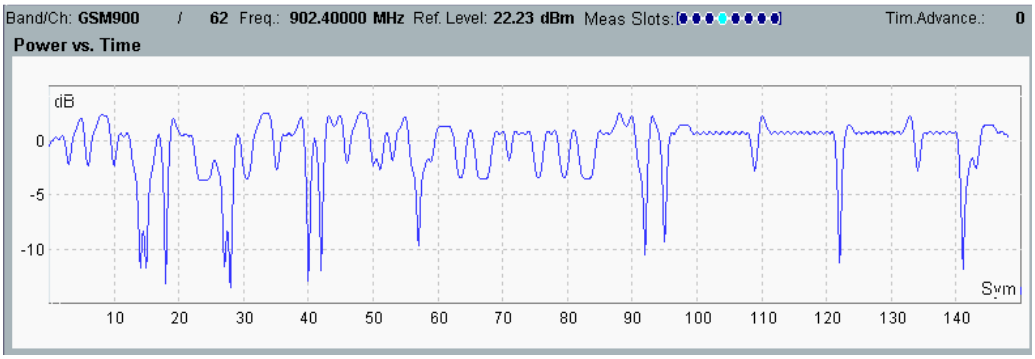


Fig. 2-13: Verlauf der Hüllkurvenleistung eines 8-PSK-modulierten Signals

Filtertypen

In den einzelnen Mobilfunkstandards sind die jeweiligen Filtertypen und -Parameter fest vorgeschrieben.

Beim Standard GSM sind Gauß-Filter im Einsatz. Durch deren Charakteristik nimmt man in Kauf, dass die Position des Vektors im IQ-Diagramm zum Symbolzeitpunkt in bestimmtem Maß vom vorherigen Symbol abhängig ist (Intersymbol-Interference ISI). Ausschlaggebend für die Wahl dieses Filtertyps war, dass damit im Zeitbereich keinerlei Pegel-Überschwinger auftreten. Während der Datenübertragung (im Useful Part des Bursts) zeigt ein GMSK-Signal eine konstante Hüllkurve. Somit nehmen mögliche Nichtlinearitäten im Sender und Empfänger keinen nachteiligen Einfluss auf die Übertragungsqualität. (Die ISI kompensiert man empfangsseitig durch einen Equalizer.)

Beim Standard 3GPP UMTS verwendet man Cosinusfilter, die nach dem sogenannten (zweiten) Nyquist[2]-Kriterium dimensioniert sind. Durch symmetrische

[2] nach dem Forscher Harry Nyquist

Flankencharakteristik gelingt es hier, im Idealfall die Intersymbol-Interferenzen gänzlich auszuschalten. Die im 3GPP UMTS-Standard verwendete Modulation fordert systembedingt Verstärker mit sehr hoher Linearität und Dynamik. Überschwinger sind in gewissem Maß tolerierbar.

Man kann die Filterung auf die TX- und die RX-Seite verteilen. Das Gesamtfilter hat dann die Charakteristik des Produkts der einzelnen Übertragungsfunktionen. Bei 3GPP UMTS sind daher sender- und empfängerseitig Wurzel-Cosinus-Filter im Einsatz.

Erforderliche Filterbandbreite und Spektrum

In einem binären Datenstrom entsteht die höchste Grundfrequenz (die sogenannte erste Harmonische), wenn Nullen und Einsen sich kontinuierlich abwechseln. Eine "Periode" dauert dann zwei Bit:

Fallen die Daten mit der Symbolfrequenz $1 / T_{symbol}$ an, beträgt die im Datenstrom enthaltene höchste Frequenz $1 / (2 * T_{symbol})$. Andere Bit-Abfolgen bilden niedrigere Frequenzen. Man nennt diese höchste Frequenz die Nyquist-Frequenz.

Als Faustregel gilt, dass die benötigte Bandbreite im Basisband mindestens der Nyquist-Frequenz entsprechen muss. Das modulierte HF-Signal belegt die doppelte Bandbreite.

Bei GSM liegt die doppelte Nyquist-Frequenz bei ca. 270 kHz, das Funkkanalraster beträgt aber nur 200 kHz. Daraus folgt, dass sich Signale auf unmittelbar benachbarten Kanälen möglicherweise stören. Dies muss bei der Frequenz-Planung der Funkzellen berücksichtigt werden.

Bei 3GPP-WCDMA (3GPP UMTS) beläuft sich die doppelte Nyquist-Frequenz auf 3.84 MHz, der Kanalabstand im Funkraster beträgt sichere 5 MHz. Ein Überprüfen der sog. Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR), d.h. der Leistung, die in die angrenzenden Kanäle einfließt, soll sicherstellen, dass die gegenseitige Störung der Nachbarn gering bleibt.

Funktionsblöcke der Mobilfunk-Übertragungskette

Fig. 2-14 gibt einen schematischen Überblick, wie in der Übertragungskette auf der Sender- und Empfängerseite digitale und analoge Funktionen Hand in Hand zusammenarbeiten. Die Darstellung soll als prinzipielles Blockschaltbild verstanden werden; sie zeigt die Bearbeitungsschritte für nur einen Mobilfunkteilnehmer bzw. nur einen Funkkanal.

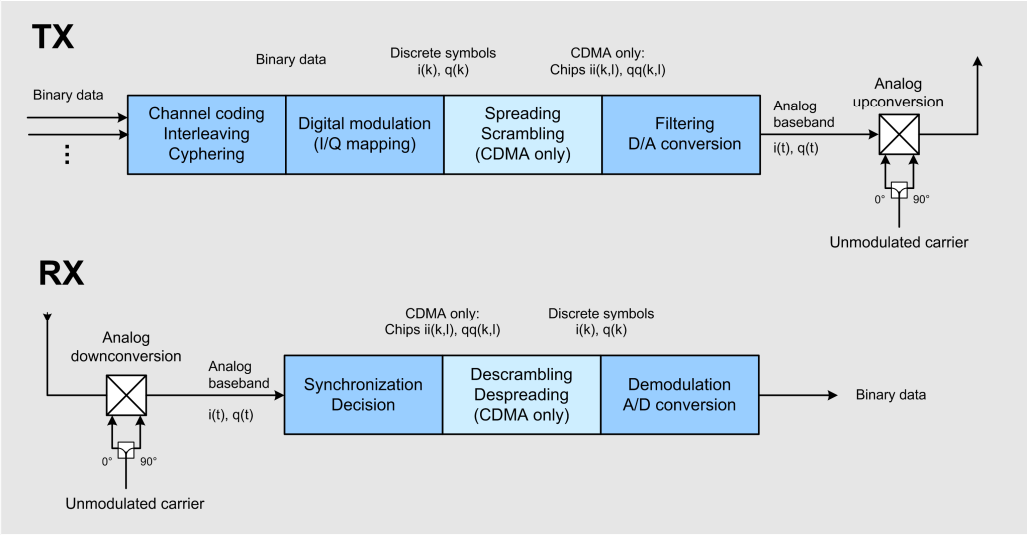


Fig. 2-14: Die Mobilfunk-Übertragungskette

Auf der Sendeseite unterlaufen im ersten Block (links oben in Fig. 2-14) die Quell-Daten zunächst das so genannte Channel-Coding. Dabei wird Redundanz-Information hinzugefügt, mit deren Hilfe spätere Übertragungsfehler entdeckt und teilweise korrigiert werden können.

Die einzelnen Mobilfunkstandards verwenden unterschiedliche Verfahren, z.B. Block-Codes, Fire-Codes, Block Convolutional Codes, Turbo Codes usw. Oft gibt es auch eine Verknüpfung von Modulations- and Coding-Schemes (MCS) abhängig vom geforderten Durchsatz.

Das Channel-Coding erhöht das Datenvolumen (mehr Bruttodaten bei gleicher Anzahl an Nettodaten). Es wird gefolgt vom Interleaving[3]. Gegebenenfalls werden im gleichen Block die Daten auch verschlüsselt (Cyphering). All diese Bearbeitungsschritte haben keinen Einfluss auf das spätere HF-Signal, auf die Modulation oder auf erforderliche Messungen.

Die Datenströme in diesem ersten Block sind binär.

Bei GSM werden hier die verschiedenen Quell-Daten eines Mobilfunkteilnehmers (Sprachdaten, User-Daten und die Signalisierungs-Information) im Zeitmultiplex zu einem binären Datenstrom zusammengeführt.

---

[3] Ändern der Reihenfolge der Bits, damit eigentlich aufeinanderfolgende Bits nicht aufeinanderfolgend übertragen werden. Zeitlich begrenzte Störungen erfassen dadurch keine zusammenhängende Information, sondern verteilen sich über einen größeren Bereich als Einzelbit-Fehler. Diese lassen sich teilweise durch vorhandene Redundanzinformation wieder korrigieren.

3GPP UMTS unterscheidet nicht prinzipiell zwischen Sprache und Daten. Wie die Source-Daten aufbereitet werden, hängt von der jeweiligen Datenrate ab. Up- und Downlink sind unterschiedlich. Zum prinzipiellen Verständnis genügt jedoch die schematische Darstellung nach Fig. 2-14.

Der Modulation Block formt aus den eingehenden Bits die Symbole (I/Q Mapping). Dabei werden aus den binären Daten zeitdiskrete I/Q-Pärchen i(k) und q(k). Diese sind als analoge Werte zu betrachten (man denke z.B. an die I/Q-Koordinaten bei 16-QAM). (Die Verarbeitung erfolgt trotzdem rechnerisch, ebenso wie in den folgenden beiden Blöcken.)

Bei 3GPP UMTS (genauer: bei dem bei 3GPP UMTS verwendeten Verfahren Code Division Multiple Access CDMA) werden die I/Q-Koordinaten der Symbole jetzt gespreizt (Spreading) und verwürfelt (Scrambling).

Wichtig ist, dass bei einer 3GPP UMTS-Basisstation, die viele Mobilfunktteilnehmer auf ein und derselben Frequenz bedient, hier die gespreizten I/Q-Koordinaten aller aktuellen Teilnehmer - ggf. unterschiedlich gewichtet - mathematisch **aufaddiert** werden. Entsprechend belegt das Summensignal einen weitaus größeren Wertebereich als die Koordinaten der Einzelvektoren; Spitzenwerte liegen um mehr als 10 dB über dem Mittelwert.

Im nächsten Block wird (rein rechnerisch) gefiltert, anschließend erfolgt die Umwandlung der rechnerischen Werte in analoge Zeitsignale. Aus den bisher zeitdiskreten Werten entstehen die zeitkontinuierlichen Basisbandsignale i(t) und q(t). Diese Signale werden anschließend um 90° phasenversetzt auf die Sendefrequenz hochkonvertiert; die Summe ergibt das TX-Sendesignal.

Empfängerseitig erzeugt ein Herunterkonvertieren des Eingangssignales auf 0 Hz mit zwei um 90° versetzten Trägern wieder zwei analoge Basisband-Signale i(t) und q(t). Der Empfänger synchronisiert sich auf und erfasst die IQ-Symbole genau zu den Symbolzeitpunkten (Decision). Die Signalverarbeitung geschieht wieder rechnerisch.

Bei 3GPP UMTS wird jetzt das Descambling und Despreading durchgeführt. Das bedeutet, dass aus den gespreizten Koordinaten die jeweiligen Symbole mit den ungespreizten Koordinaten zurückgewonnen werden. Diese Stufe ist bei GSM nicht vorhanden.

Bei der anschließenden Demodulation (De-Mapping) werden aus den analogen Koordinaten i(k), q(k) der Symbole schließlich die Bits, d.h. die Binär-Daten, "ausgelöst".

Anmerkung: Mehrfrequenz- und Mehrantennensysteme gehen im Aufwand über das Schema nach Fig. 2-14 auf Seite 16 hinaus; die prinzipiellen Schritte sind jedoch die gleichen.

Duplex-Betrieb und Mehrfachzugriff (Multiple Access)

Eine zwischen Basis- und Mobilstation aufgebaute Funkverbindung besteht im Allgemeinen in beiden Richtungen, d.h., es herrscht Voll-Duplex-Betrieb.

Verwenden Uplink und Downlink[4] unterschiedliche Frequenzen, spricht man von Frequency Division Duplex **FDD**. In den Standards wird dabei ein fester Frequenzabstand (Duplex spacing) zwischen Up- und Downlink festgelegt, z.B. 45 MHz bei 900 MHz-GSM. Dadurch beanspruchen Up- und Downlink-Kanäle stets die gleiche Bandbreite. FDD ist einfach zu realisieren.

Verwenden Up- und Downlink ein und dieselbe Frequenz im zeitlichen Wechsel[5], spricht man von Time Division Duplex **TDD**. Dieses Verfahren ist effizienter, wenn Up- und Downlink unterschiedliche Datenraten transportieren.

Bei TDD muss eine Mobilstation nie gleichzeitig senden und empfangen. Ein Duplex-Filter zur Entkopplung von TX und RX ist also nicht erforderlich. Allerdings braucht man eine zeitliche Synchronisation zwischen BS und MS, und es sind sogenannte Guard Periods einzurichten, damit an der Basisstation eingehende Signale sich trotz der entfernungsabhängig unterschiedlichen Signallaufzeiten der einzelnen Teilnehmer nie überschneiden.

Die Standards GSM und das in Europa und darüber hinaus übliche 3GPP UMTS arbeiten beide mit Frequency Division Duplex. (In China gibt es eine auch TD-SCDMA genannte 3GPP UMTS TDD-Variante.)

Ein echter Duplex-Betrieb ist im Allgemeinen nur für Sprachverbindungen erforderlich. Datenverbindungen sind in vielen Fällen einseitig (z.B. Up-Load, Down-Load, Streaming) oder bezüglich der Datenrate unsymmetrisch. Dem wird ein paketorientierter Verkehr oft eher gerecht.

2.2 Zugriffsverfahren

Digitale Mobilfunknetze sind zellular eingerichtet. Man nutzt dabei die Tatsache, dass die Reichweite von Funkwellen begrenzt ist und definiert ein Gebiet, innerhalb dessen Mobilfunkteilnehmer von jeweils derselben Basisstation (BS) versorgt werden, als eine Funkzelle. An den Empfangsgrenzen wird ein Mobiltelefon (auch Mobilstation MS, User Equipment UE) automatisch zur Basisstation der am besten geeigneten Nachbarzelle weitergereicht (Handover). Meist findet hier ein Frequenzwechsel statt. In der

---

[4] Uplink, UL, auch Reverse Link: Funkverbindung von der Mobilstation zur Basisstation
Downlink, DL, auch Forward Link: Funkverbindung von der Basisstation zur Mobilstation

[5] Sprachdaten werden dabei portionsweise angesammelt, um sie dann in dem zur Verfügung stehenden kürzeren Zeitfenster mit entsprechend höherer Geschwindigkeit zu übertragen. Empfangsseitig werden die Portionen wieder "gedehnt", so dass der Eindruck einer kontinuierlichen Verbindung entsteht.

nächst-weiteren Zelle ist die ursprüngliche Frequenz möglicherweise bereits wieder nutzbar (Frequency Re-Use).

Weil jede Funkzelle räumlich begrenzt ist, gibt es eine endliche Anzahl zu bedienender Mobilfunkteilnehmer. Oder umgekehrt: die Größe einer Mobilfunkzelle wird vor allem durch die geforderte Kapazität bestimmt. Da die vorhandenen Resourcen Frequenz, Zeit und - hier vorweggenommen - Code begrenzt sind, muss man an Orten mit potenziell hoher Teilnehmerzahl viele Basisstationen mit entsprechend kleiner Leistung einrichten. Regionen mit kleiner Teilnehmerzahl lassen sich in großen Zellen durch entsprechend leistungsstarke Basisstationen versorgen. Es geht darum - unabhängig vom Uplink- / Downlink-Duplex - mehreren Teilnehmern gleichzeitig feste Anteile an den Ressourcen Frequenz, Zeit und Code zur Verfügung zu stellen.

Dazu sind vor allem drei unterschiedliche Verfahren im Einsatz:

- Frequency Division Multiple Access FDMA,
- Time Division Multiple Access TDMA und
- Code Division Multiple Access CDMA.

Fig. 2-15 zeigt die prinzipiellen Unterschiede. Es sind hier vereinfachend jeweils nur fünf (farblich unterschiedlich repräsentierte) Teilnehmer angenommen, die zudem alle mit der gleichen Leistung vertreten sind. Dies ist in der Praxis selten der Fall, aber hier zur Unterscheidung der Verfahren ohne Bedeutung.

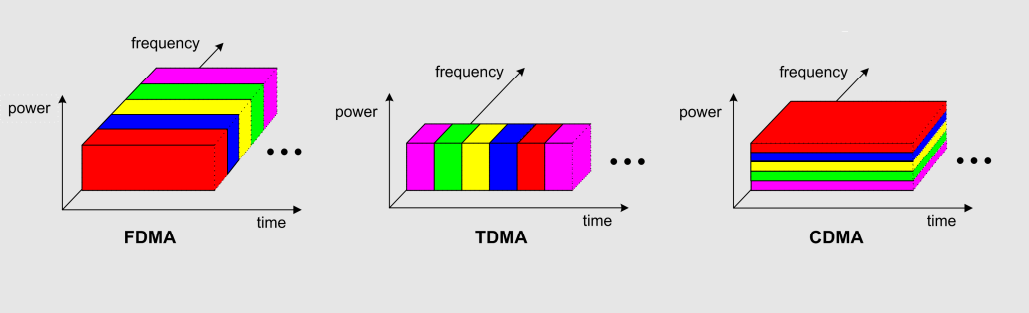


Fig. 2-15: Drei wichtige Zugriffsmethoden

FDMA verteilt die Mobilfunk-Teilnehmer einer Zelle auf verschiedene Frequenzen. In Fig. 2-15 werden fünf Teilnehmern fünf Frequenzen zugewiesen. Bei FDD sind es fünf Frequenz-Pärchen. FDMA ist sehr einfach zu realisieren. Das Verfahren ist vor allem bei kleinen Zellgrößen sinnvoll, wenn die belegten Frequenzen bereits in geringer Entfernung wiederverwendet werden können. FDMA wird häufig in Kombination mit TDD eingesetzt, z.B. bei DECT[6] und WLAN[7] (beide Standards spezialisiert auf Nahverbindungen).

---

[6] Digital Enhanced Cordless Telecommunications

TDMA verteilt die Teilnehmer sequentiell auf Zeitschlitze, sogenannte Time Slots. Die "Bursts" jedes Teilnehmers eines TDMA-Frames müssen am Empfängereingang der Basisstation exakt ins Slot-Raster passen. Bedingt durch die unterschiedlichen entfernungsbedingten Signallaufzeiten ist daher ein zeitliches Feinjustieren jedes MS-Sendesignals nötig.

GSM verwendet in seinem TDMA-Frame 8 Slots und eröffnet dadurch 8 Funkkanäle. Um den weitaus höheren Bedarf an Funkkanälen zu decken, stehen jeder GSM-Zelle mehrere Frequenzen (Uplink- / Downlink-Frequenzpärchen) zur Verfügung.

CDMA codiert die Symbole der verschiedenen Teilnehmer einer Funkzelle individuell. Das Verfahren eignet sich in gleicher Weise für FDD und TDD. 3GPP-WCDMA arbeitet mit FDD, d.h. alle Verbindungen nutzen kontinuierlich je eine gemeinsame Uplink- und eine gemeinsame Downlink-Frequenz. Das in China eingeführte TD-SCDMA verwendet TDD. Uplink- und Downlink einer Zelle arbeiten dort im Zeitmultiplex auf ein und derselben Frequenz; alle Zellen orientieren sich an einem einheitlichen Zeitraster.

CDMA ist sehr flexibel; es eignet sich vor allem dazu, gleichzeitig viele Kanäle mit unterschiedlichen Datenraten zu betreiben. Allerdings benötigt es eine ausgeklügelte Steuerung der jeweiligen Sendeleistungen und fordert z.B. gegenüber GSM einen erheblich höheren Rechenaufwand. Dies erhöht den Stromverbrauch der Mobile Stations und verringert die maximale Betriebsdauer pro Akkuladung.

---

[7] Wireless Local Area Network

3 Mobilfunkmessungen: Motivation und Struktur

Ein modernes Mobilfunksystem soll sicherzustellen, dass jeder berechtigte Teilnehmer jederzeit überall problemlos telefonieren kann. Auch der Datentransfer muss überall jederzeit sicher und ungestört funktionieren.

Dies setzt zum einen eine gut ausgebaute Netz-Infrastruktur voraus[8], zum anderen, dass Basis- und Mobilstationen genau definierte Eigenschaften aufweisen.

- Zunächst müssen alle Funkgeräte gewisse Mindestvoraussetzungen erfüllen, um überhaupt im Netz kommunizieren zu können. Dazu gehört das komplett fehlerfreie Beherrschen der Kommunikationsprotokolle (z.B. Verbindungsauf- und Abbau usw.), aber auch beispielsweise eine Mindest- HF-Ausgangsleistung und eine ausreichende Empfängerempfindlichkeit. Für den universellen Einsatz - z.B. auch in der Nähe von elektrischen Maschinen - ist auch die Einstrahlungs-festigkeit und Robustheit gegenüber Fremdfeldern äußerst wichtig, usw.
- Jedes Gerät muss darüber hinaus bestimmte Toleranzen einhalten, um mit Funkgeräten anderer Hersteller zu kommunizieren (Interoperabilität). Beispielsweise gibt es bei TDMA-Systemen ein Toleranzschema für das Burst-Timing. Wird dies nicht eingehalten, überschneiden sich die Sendesignale verschiedener Funkteilnehmer, der Netzbetrieb wird erheblich beeinträchtigt.
- Ein Funkgerät darf des Weiteren keine anderen Geräte oder Funkdienste stören. Dazu sind wiederum Grenzwerte und Toleranzen einzuhalten für Abstrahlungen ins eigene und in andere Frequenzbänder.

Alle diese Anforderungen sind in den jeweiligen Mobilfunk-Standards spezifiziert. Hier ist genau fesdtgelegt, was gemessen werden muss, damit eine neue Basis- oder Mobilstation die gesetzlich vorgeschriebene Typ-Zulassung (Type Approval) erhält. Hier finden sich alle dazu erforderlichen Tests; hier steht, wie diese Tests durchzu-führen sind, und welche Soll- und Grenzwerte gelten. Darüberhinaus sind "normale" und sogenannte "extremen" Betriebsbedingungen definiert, unter denen die vorgegebenen Toleranzen einzuhalten sind.

---

[8] Beim Einrichten und Optimieren der Netz-Infrastruktur hilft die sogenannte Versorgungsmesstechnik. Messfahrzeuge erkunden die Region und dokumentieren die Qualität der empfangenen Basisstationssignale. Versorgungslücken und Gegenden mit schwierigen Empfangsbedingungen werden ausfindig gemacht. Daraus lassen sich Infrastrukturmaßnahmen ableiten, um die Situation zu verbessern. (Die Versorgungsmesstechnik wird in dieser Application Note nicht behandelt.)

Die Type Approval-Tests werden im Allgemeinen von unabhängigen zertifizierten Testhäusern durchgeführt. (Diese arbeiten großteils mit Testsystemen von Rohde&Schwarz®)

Alle in den jeweiligen Standards beschriebenen Tests müssen beim Type Approval ausnahmslos von jedem Mobiltelefon-Typ bestanden werden. Die Prüfzeit für ein DUT dauert dabei einige Stunden. Ist die Typ-Zulassung eines Modells erfolgt, muss man aber (z.B. in der Fertigung) nicht mehr bei jedem einzelnen Gerät jeden Test aus dem Standard nachvollziehen. Bestimmte, durch die Firmware festgelegte Eigenschaften, z.B. die Protokoll-Abwicklung, sind bei alle Geräten einer Serie gleich. Aufgrund der gleichen Hardware und der gleichen Bauweise aller Telefone einer Serie genügen bei anderen Messungen Stichproben. Die gilt beispielsweise für Spektrum-Messungen.

Die Tests an Mobilfunkstationen lassen sich nach verschiedenen Kriterien klassifizieren, Fig. 3-1 zeigt eine der Möglichkeiten:

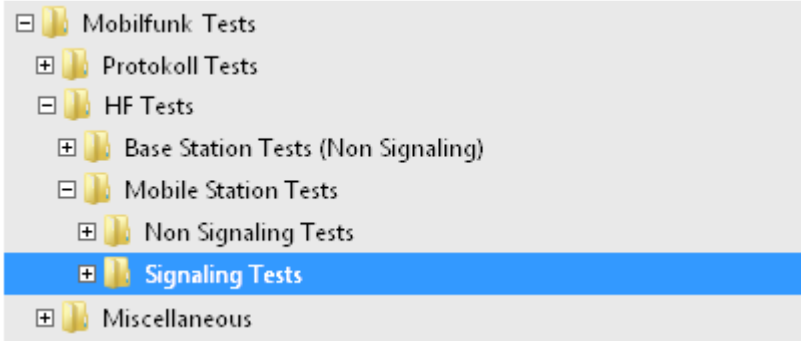


Fig. 3-1: Klassifizierung der Mobilfunktests

Hier wird zunächst unterschieden zwischen Protokoll-Tests und HF-Tests.

Die Protokoll-Abläufe sind als Software implementiert. Werden diese bei einem Typ einer Basis- oder einer Mobilstation einmal erfolgreich abgenommen, müssen sie später an weiteren Einzelgeräten des gleichen Typs nicht mehr überprüft werden.

Wir beschäftigen uns im Folgenden nur mit den HF-Tests. Dabei geht es um das Überprüfen von physikalischen Größen, also um Messungen und deren Auswertung.

Man kann die HF-Tests unterscheiden in Basisstations-Tests (BS-Tests) und Mobilstations-Tests (MS-Tests).

Beide Gruppen beinhalten in etwa die gleiche Art von Tests, jedoch mit anderen Soll- bzw. Grenzwerten und Toleranzen. Ein wesentlicher Unterschied besteht vor allem darin, dass die BS-Tests fast ausschließlich im Non Signaling-Mode ausgeführt werden.

Mobilstationen und Baugruppen werden in der Fertigung ebenfalls im Non Signaling-Mode abgeglichen (kalibriert). Bei der Endprüfung in der Produktion (Functional Tests),

bei Conformance, Precompliance Tests[9] und im Service werden sie jedoch meist im Signaling-Mode betrieben.

Im praktischen Teil dieser Application Note werden wir uns mit Signaling Tests beschäftigen.

Signaling-Mode

Das zu testende Gerät (Device under Test, DUT) baut hier wie für ein Telefongespräch eine Funkverbindung mit dem Tester auf und wird anschließend über die Luftschnittstelle gesteuert.

MS und Tester sind "HF-mäßig" gekoppelt, entweder über Kabel oder Antenne (in einer Schirmkammer). Der Tester simuliert eine Basisstation.

In der MS sorgt eine spezielle Test-SIM dafür, dass das DUT sich nur beim Tester einbucht, nicht in ein öffentliches Netz. (Die Test-SIM ermöglicht auch, bei GSM eine interne Schleife zwischen RX- und TX-Pfad für Bit-Error-Messungen zu schließen.) Anschließend erfolgt zwischen DUT und Test-Equipment (Tester) ein Verbindungsaufbau, der entweder vom Tester ausgeht oder vom Mobiltelefon.

Dann können die Tests beginnen. Über die Luftschnittstelle signalisiert der Tester z.B., dass das DUT auf einer bestimmten Frequenz mit einer bestimmten Leistung senden soll. Dann werden beispielsweise die Frequenzgenauigkeit und die Sendeleistung gemessen (typische TX-Tests). Oder der Tester veranlasst das DUT, eine interne Schleife von RX zu TX zu etablieren, um Bitfehler-Raten zu messen (typischer RX-Test). Der Tester ist stets der Master, der alle Abläufe steuert.

Die entsprechenden Kommandos und Protokolle zur Steuerung des DUTs sind in den Standards festgelegt und gelten daher für alle DUTs. Das heißt, von Seiten des Testers her lassen sich die Mobilstationen aller Hersteller auf die gleiche Weise steuern. Dies ist ein großer Vorteil.

Non Signaling-Mode

Nachteilig ist, dass Signaling-Tests nur an Mobilstationen durchgeführt werden können, die bereits größtenteils funktionieren, d.h. abgeglichen sind und eine funktionsfähige Firmware geladen haben. Nachteilig ist auch, dass ein Verbindungsaufbau wertvolle Testzeit verbraucht.

In früheren Phasen einer MS-Produktion, beispielsweise beim Kalibrieren einzelner Baugruppen, ist jedoch die Luftschnittstelle noch nicht funktionsfähig, also Signaling gar nicht möglich. D.h. bei Abgleichprozeduren in der Fertigung wird immer ohne Signalisierung vorgegangen, das DUT wird durch herstellerspezifische Schnittstellen

---

[9] Precompliance Tests sind eigene Tests eines Herstellers, um vorab zu klären, ob ein Modell die Anforderungen der Type Approval-Tests (Conformance Tests) erfüllen wird.

angesteuert. Ein herstellereigenes Programm steuert auch das Test-Equipment; der Tester arbeitet untergeordnet.

Nachteilig am Non-Signaling-Mode ist, dass DUTs verschiedener Hersteller individuell behandelt werden müssen; es gibt kein einheitliches Vorgehen.

Ein vereinfachtes Beispiel für eine Kalibrierung im Non-Signaling-Mode ist der Abgleich der Automatic Gain Control (AGC):

1. Anlegen eines bestimmten HF-Pegels am RX-Eingang des DUTs
2. Justieren der AGC, Zwischenspeichern des Korrekturwertes
3. Anlegen eines anderen, z.B. niedrigeren HF-Pegels
4. Justieren der AGC, Zwischenspeichern des Korrekturwertes
5. go to 3.

Zuletzt: Schreiben der bei den Schleifendurchgängen ermittelten Korrekturwerte in einen nichtflüchtigen Speicher im DUT.

Der im praktischen Teil dieser Application Note verwendete Wideband Radiocommunication Tester CMW500 arbeitet sowohl im Signaling als auch im Non Signaling Mode [6]. Er vereint damit in einem Gerät die Funktionen einer Basisstation und die Funktionen eines Mobilfunk-Generators und -Analysators.

Durch die enge Zusammenarbeit mit verschiedenen Herstellern von Mobiltelefonen konnten bestimmte Testabläufe komplett als Listen im Non-Signaling-Mode in die Tester-Firmware aufgenommen werden.

4 Der GSM Standard

Die Groupe Spécial Mobile, eine Zusammenschluss innerhalb der CEPT[10] hat in Europa in den 90er Jahren das Global System for Mobile Communication GSM spezifiziert. Das digitale GSM löste die erste analoge Mobilfunk-Generation schlagartig ab. Neben den technischen Vorzügen des neuen Systems war für seinen spektakulären Erfolg vor allem entscheidend, dass schon nach kurzer Zeit handliche und für jedermann erschwingliche "Handies" angeboten wurden. Mobil zu telefonieren war nicht mehr wie bisher teuer und ans Kraftfahrzeug gebunden. Der Netzausbau erfolgte zügig; man war plötzlich nahezu überall erreichbar und konnte von nahezu überall aus so einfach wie übers Festnetz telefonieren. Das "Handy" wurde von da an zum ständigen Begleiter wie zuvor nur Schlüssel und Brieftasche.

Bei den GSM-Messungen, die in dieser Application Note behandelt werden, untersuchen wir in erster Linie das Signal, welches über die Luftschnittstelle übertragen wird, also den sogenannten Physikalischen Layer[11]. Dazu betrachten wir als erstes die wichtigsten physikalischen Kennzeichen des GSM-Systems.

Frequency bands	11 bands from 450 MHz to 1900 MHz
Channel grid	200 kHz
Duplex mode	FDD
Multiple access	TDMA
Modulation	GMSK, 8-PSK (16-QAM, 32-QAM)
Filter	Gaussian, enhanced Gaussian
Symbol rate	270.833 kSym/s

Table 4-1: GSM-System-Parameter

GSM ist ein FDD-System. Es gibt also ein Uplink- und ein Downlink-Frequenzband. Bei den in Deutschland hauptsächlich verwendeten Bändern um 900 MHz (für GSM 900) bzw. um 1800 MHz (für GSM 1800) beträgt der Abstand zwischen jedem Uplink- und Downlink-Kanal 45 MHz bzw. 95 MHz (Duplex Spacing).

Um die Nennung von jeweils zwei Frequenzen zu vermeiden, verwendet man Kanalnummern, die für ein Uplink- / Downlink-Pärchen gleich sind. Zum Beispiel entspricht Channel 62 einer Uplink-Frequenz von 902.4 MHz und einer Downlink-Frequenz von 947.2 MHz. (Channel 62 ist die Default-Einstellung beim CMW.)

---

[10] Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications

[11] Es handelt sich dabei um Layer 1 im ISO-Modell.

GSM verwendet für Sprache (*Voice*) und langsamen Datenverkehr (*Data*) das Modulationsverfahren Gaussian Filtered Minimum Shift Keying (GMSK). Es handelt sich dabei um eine optimierte Form der Phasenmodulation. Dabei bleibt der Pegel des modulierten Signals konstant. Ein Symbol besteht aus einem Bit. Die beiden möglichen logischen Zustände werden durch Phasendrehungen um + 90° oder - 90° dargestellt. Gleiche Bits auf der physikalischen Ebene führen zu einer kontinuierlichen Phasendrehung um +90° pro Symboldauer, steter Bitwechsel zu einer kontinuierlichen Phasendrehung um -90° pro Symboldauer. Im Spektrum bewirkt dies eine Frequenzverschiebung von +/- 67.7 kHz, einem Viertel der Symbolfrequenz.

Für Datenverkehr mit höherem Durchsatz kommt fast ausschließlich die 8-PSK-Modulation zum Einsatz. Ein Symbol besteht jetzt aus drei Bit; dadurch verdreifacht sich die Datenrate. Durch starke Filterung gelingt es, das Kanalraster dennoch einzuhalten. (Mehr zur Datenübertragung weiter unten.)

Kanäle, Frames und Slots

Jede Basisstation betreibt für alle Teilnehmer der Zelle einen gemeinsamen festen physikalischen Kanal (ein Uplink-/Downlink-Frequenz-Pärchen) für allgemeine Broadcasting- und Control-Zwecke. Dieser wird vereinfachend **BCCH** (Broadcast Channel) genannt und einerseits benutzt, um allgemeine Zell-Informationen und Synchronisationssignale zur Verfügung zu stellen. Zum anderen erfolgen auf dem Broadcast Channel - auf weiteren eingebundenen logischen Kanälen - auch das Registrieren von Mobiltelefonen in der Zelle und der Auf- und Abbau der Teilnehmerverbindungen.

Für den Aufbau einer Teilnehmerverbindung weist eine Basisstation jeder einzelnen Mobilstation - nach einem ersten Dialog auf dem BCCH - einen freien Traffic-Kanal zu. Über diesen findet der weitere individuelle Verkehr statt. Der Traffic Channel heißt für *Voice* simpel **TCH**, für *(Packet) Data* **PDCH**. Wir werden uns bei den späteren Messungen auf diese beiden Channels beschränken.

Diese Kanäle sind logische Kanäle. Gemessen werden aber physikalische Größen. Das heißt, wir werden später das HF-Signal auf der speziellen Kanal-Frequenz und in dem speziellen Zeitfenster analysieren, das für einen speziellen Traffic Channel eingerichtet wurde.

Anmerkung

Ein direkter Verkehr zwischen zwei Mobilstationen ist bei GSM nicht vorgesehen. Jede mobile Verbindung geschieht ausschließlich über die Basisstation der aktuellen Zelle. Der Verkehr zum Mobiltelefon erfolgt über das Downlink-Signal, der Verkehr von der Mobilstation über das Uplink-Signal der Basisstation. Diese hält die Verbindung zum Festnetz und anderen Mobilfunkzellen.

Frames und Slots

GSM arbeitet im BCCH und im TCH / PDCH mit einem Zeitraster aus **TDMA-Frames**. Jeder TDMA-Frame besteht seinerseits aus 8 Zeitschlitzen (Time **Slots**). Ein Slot dauert ca. 577 µs (genau: 7500/13 µs), ein Frame ca. 4.62 ms.

Normalerweise erhält jeder Funkteilnehmer einen Slot pro Frame zugeteilt. (Um den Datendurchsatz zu erhöhen, ist es auch möglich, mehrere Slots zu allozieren.)

Im Regelfall eröffnet ein TCH-Frame also 8 Funkkanäle. Um den weitaus höheren Bedarf an Kanälen zu decken, stehen jeder GSM-Zelle mehrere Frequenzen im Uplink und Downlink zur Verfügung. Bei GSM900 gibt es beispielsweise jeweils 124 Kanal-Frequenzen.

Down- und Uplink-Frames sind um drei Slots versetzt. Dadurch wird vermieden, dass ein Mobiltelefon gleichzeitig senden und empfangen muss.

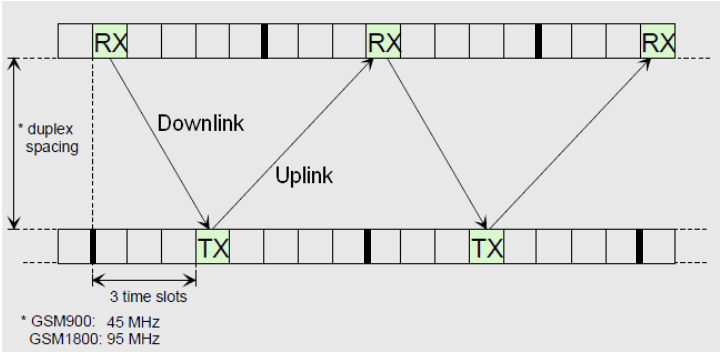


Fig. 4-1: Das Mobiltelefon sendet im 3. Slot nach dem Uplink

Ein (Full Rate-)Teilnehmer-Kanal, ein sogenannter "Physikalischer Kanal", ist somit durch eine Kanalnummer (ein Frequenz-Pärchen) und eine Zeitschlitznummer bestimmt.

Dies gilt für den sogenannten *Circuit Switched (CS) Mode*. Dabei ist der Kanal in jedem Frame für eine Verbindung reserviert. Der CS-Mode wird heute ausschließlich für Sprachverbindungen verwendet.

Für reine Datenübertragung gibt es den *Packet Switched (PS) Mode*. Dieser belegt ebenfalls einen oder mehrere Slots, aber nicht in jedem Frame. Jetzt benötigt man zur Kennzeichnung des Physikalischen Kanals zusätzlich die Information, welcher Frame belegt wird.

Ergänzung

Im BCCH werden 51 Frames zu einem BCCH-Multiframe zusammengefasst.

Beim TCH bilden 26 Frames einen Multiframe; Frame Nr. 12 ist für Signaling belegt, Frame Nr. 25 ist Idle.

Bei PDCH besteht ein Multiframe aus 52 Frames. Frame Nr. 12 und Frame 38 können für Signaling genutzt werden; die Frames 25 und 51 sind Idle.

51 * 26 TDMA-Frames = 1326 Frames bilden einen sogenannten Superframe. Dieser dauert ca. 6.12 s und synchronisiert BCCH und TCH.

Darüber hinaus bilden 2048 Superframes einen Hyperframe. Frames werden daher durchgezählt von Frame-Nummer 0 bis 2715647 (= 51 * 26 * 2048 - 1).

4.1 Der Normal Burst

Das TDMA-HF-Signal in einem Slot nennt man einen Burst. Wir konzentrieren uns bei unseren Messungen ausschließlich auf die Traffic Channels TCH und PDCH. Das hierfür verwendete Format ist das Normal Burst (NB) Format. Die Struktur des Normal Bursts im Up- und im Downlink ist gleich.

Fig. 4-2 zeigt den Verlauf des HF-Signals eines Normal Bursts beim TCH (Voice, GMSK-Modulation).

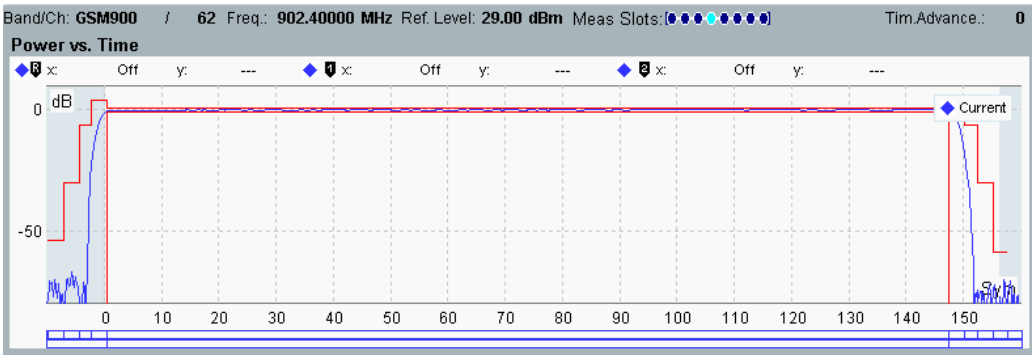


Fig. 4-2: GSM Power versus Time (GMSK)

Um andere TDMA-Teilnehmer nicht zu stören, muss der Burst in ein genau definiertes Toleranzschema (Template, rot in Fig. 4-2) passen. Nach der ansteigenden Flanke beginnt der sogenannte Useful Part des Bursts. Dieser Bereich enthält die "Nutz-Modulation". Wegen des verwendeten GMSK dürfen hier im Idealfall keine Leistungsschwankungen auftreten. Am Ende des Useful Parts fällt die HF-Leistung wieder ab.

Die Steilheit der Burst-Flanken ist einerseits wichtig, um die Nachbar-Slots nicht zu beeinträchtigen. Andererseits wird man versuchen, einen möglichst sanften Anstieg und Abfall innerhalb der vorgegebenen Toleranzen zu realisieren, um unerwünschte Spektralanteile, die durch das Pulsen entstehen, gering zu halten.

Fig. 4-3 auf Seite 29 zeigt die innere Struktur des Normal Bursts.

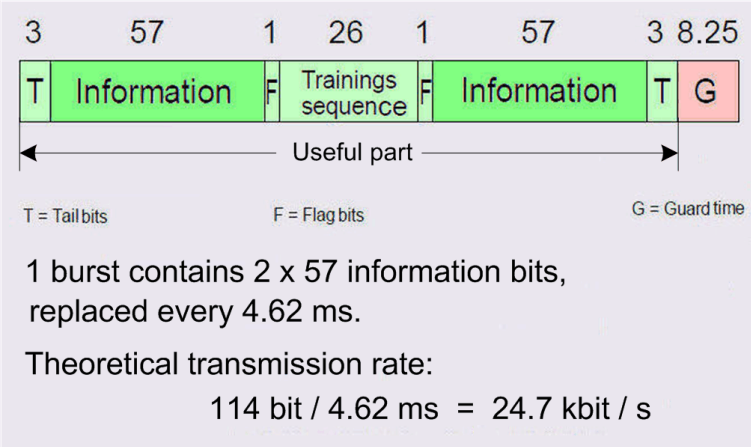


Fig. 4-3: Struktur des Normal Burst (erste Zeile: Anzahl der Bits)

Die Breite eines Slots beträgt ca. 577 µs, das entspricht 156.25 Bit. Der Useful Part eines Bursts belegt davon 148 Bit (3 + 57 + 1 + 26 + 1 + 57 + 3). Die restlichen 8.25 Bit bilden eine sogenannte Guardtime, während der die Leistung des aktuellen Bursts abklingen muss und die Leistung des nächsten Bursts ansteigen darf.

Gesprächs- oder Datenbits sind in den beiden Information Blocks enthalten. Mit einem Burst pro Frame erzielt man eine theoretische Übertragungsrate von 24.7 kbit/s.

Die Trainings Sequence (TSC) in der Mitte des Bursts besteht (beim TCH) aus einer von 8 fest-definierten Bit-Folgen. Sie hat zweierlei Funktionen: zum einen dient sie dazu, dass die Empfänger-Software bit-genau aufsynchronisieren kann. Zum anderen kann der Empfänger anhand der bekannten TSC-Bits sein Equalizer-Filter optimal parametrisieren und damit Signalverschlechterungen durch die Übertragungsstrecke teilweise kompensieren. Da der "Kanal" sich zeitlich ändern kann, ist die Mittenposition ein guter Kompromiss.

Zwei Flagbits F, sogenannte Stealing Bits, flankieren die Midamble. Sind sie "0", zeigt dies an, dass der Slot vom System "gestohlen" wurde, um ad hoc dringende Signalisierung zu übermitteln.

Besonderheiten beim TCH Normal Burst (Voice, GMSK)

Sind die Flagbits gesetzt, wird der Der Traffic Channel *TCH* (für 4 Frames) zum Fast Associated Control Channel *FACCH*. Dies ist z.B. beim Handover[12] erforderlich.

---

[12] Umkonfigurieren der Verbindung auf eine andere Frequenz innerhalb der gleichen Zelle oder Übergabe an eine andere Zelle.

Besondere Bursts sind die im Frame 12 und Frame 25 im 26-er Multiframe, siehe Fig. 4-4.

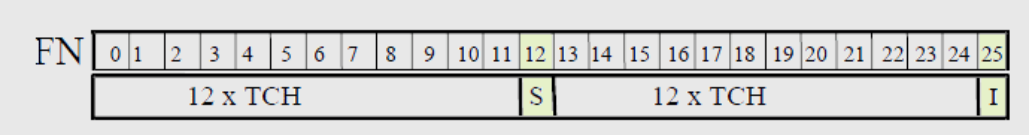


Fig. 4-4: GSM Signaling Frame (S) für SACCH und Idle Frame (I)

In Frame 12 wird an Stelle des Traffic Channel *TCH* der Slow Associated Control Channel *SACCH* übertragen. Dieser enthält im Vergleich zum FACCH langsame Signalisierung, die aber regelmäßig übertragen wird. Eine Aufgabe des SACCH ist beispielsweise die Steuerung der Sendeleistung eines Mobiltelefons.

Im Gegensatz zur allgemeinen Signalisierung im Control-Channel BCCH, sind die zwei Control-Channels FACCH (schnell, temporär) und SACCH (langsam, regelmäßig) jeweils einem speziellen Teilnehmer zugeordnet (assoziiert).

Frame 25 ist der Idle Frame; hier wird nicht gesendet. Die freie Zeit nutzt die Mobilstation, um die Umgebung nach anderen als der aktuellen Basisstation zu scannen. Von der Qualität der Empfangsresultate wird dann abgeleitet, ob ein Wechsel zu einer anderen Basisstation / Zelle (Handover) sinnvoll ist.

Wegen des SACCHs und des Idle Frames beträgt die tatsächliche Brutto-Bitrate bei GMSK-Modulation nur 22.8 kbit/s (statt der theoretischen Rate von 24.7 kbit/s).

Besonderheiten beim PDCH Normal Burst (Packet Data)

Die Struktur der Normal Bursts nach Fig. 4-3 auf Seite 29 gilt für Voice- und Daten-Bursts mit GMSK- ebenso wie für Data-Bursts mit 8-PSK-Modulation. Allerdings muss man dann das Wort "Bit" durch das Wort "Symbol" ersetzen.

Wohl geändert hat sich aber der Verlauf der Power versus Time:

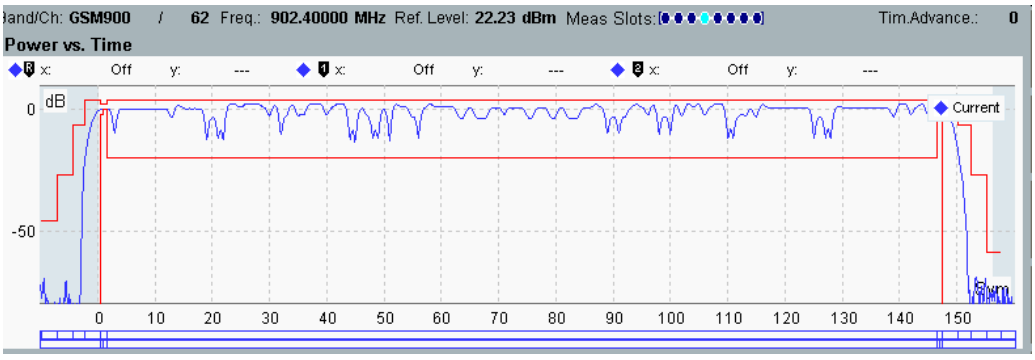


Fig. 4-5: GSM Power versus Time (8-PSK)

Ein 8-PSK-Signal hat einerseits Leistungsspitzen und zugleich -Einbrüche. Entsprechend ist das im Standard spezifizierte Power-Template geweitet. Für die Senderstufen in BS und MS ist eine höhere Linearität gefordert, um das Signal verzerrungsfrei zu übertragen.

Packet Daten werden in sogenannten Radio Blocks "gequantelt". Diese Blocks umfassen den Inhalt von vier Frames (mit 1 Slot pro Frame). Ein 52er Multiframe enthält 12 Radio Blocks, siehe Fig. 4-6.

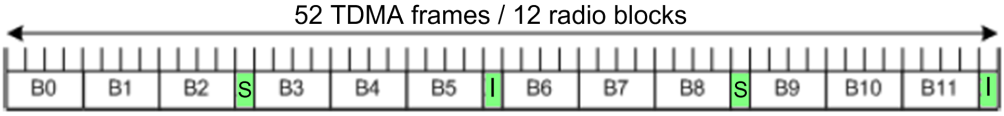


Fig. 4-6: GSM Idle (I) und mögliche Signaling Frames (S) und bei PS-Verbindungen

In den Frames 12 und 38 kann ein Signaling Frame (S) aktiv sein. Es handelt sich dann um den Packet Timing Control Channel PTCCH, der das Timing des Uplink-Signals steuert (Timing Advance, siehe Seite 33). Die Frames 25 und 51 sind immer Idle (I).

4.2 Circuit Switched und Packet Switched Modes

Wir werden im Rahmen dieser Application Note GSM-Messungen sowohl im Circuit Switched Mode, als auch im Packet Switched Mode durchführen. (Beim Verbindungsaufbau wählt man am CMW entweder *CS Connect* oder *PS Connect*.)

Als ***Circuit Switched*** (CS) bezeichnet man eine kontinuierliche Verbindung. Sie wird im Mobilfunk inzwischen nur noch bei der Sprachübertragung verwendet. Eine ursprünglich bei GSM vorgesehene CS-Datenübertragung (High Speed Circuit Switched Data HSCSD) wird nicht mehr eingesetzt. Der Status einer aufgebauten Circuit Switched Connection heißt ***Call Established***.

Als ***Packet Switched*** (PS) bezeichnet man eine Verbindung, die nicht jeden TDMA-Frame fest belegt (d.h. nicht einen oder mehrere Slots in jedem TDMA-Frame). PS ist bei GSM für den Datenverkehr vorgesehen. Dabei sind im Up- und Downlink unterschiedliche Datenraten möglich. Es kann sein, dass für die beiden Richtungen unterschiedliche Modulation and Coding Schemes und eine unterschiedliche Anzahl an Slots verwendet werden. Der Status einer aufgebauten Packet Switched Connection heißt ***TBF Established*** (Temporary Block Flow Established).

Modulation and Coding Schemes für Packet Switched Data

Die Einführung höherer Datenraten im GSM-Paketdienst vollzog sich in mehreren Schritten.

Table 4-2 auf Seite 32 vergleicht diese sogenannten *TBF-Levels*

- **GPRS** (General Packet Radio Service),
- **EGPRS / EDGE** (Enhanced Data for GSM Evolution) und
- **EGPRS2-A** / EDGE Evolution).

Packet Radio Services		
TBF Levels	**Modulation**	**Modulation and Coding Scheme**
GPRS	GMSK	CS-1...CS-4
EGPRS / EDGE	GMSK	MCS-1 ... MCS-4
	8PSK	MCS-5 ... MCS-9
EGPRS2-A	16QAM	UAS-7 ... UAS-11 im Uplink
	32QAM	(nur Downlink)

Table 4-2: GSM Packet Radio Services (TBF Levels)

Für die jeweiligen Levels sind unterschiedliche Kombinationen aus Modulation und Codierung spezifiziert, die sogenannten Modulation and Coding Schemes MCS.

GPRS bot anfänglich eine maximale Datenerate von 14.4 kbit/s. User-Daten wurden wie Speech-Daten GMSK moduliert. Es gab die 4 Coding Schemes CS1...CS4 mit unterschiedlicher Übertragungssicherheit.

EDGE definierte nun sowohl **EGPRS** (Enhanced General Packet Radio Service) als Packet-switched und ECSD (Enhanced Circuit Switched Data) als Circuit-switched Daten-Service. Letzterer konnte sich nicht behaupten, so dass im Folgenden EDGE mit EGPRS gleichzusetzen ist und als Synonym für Paket-orientierten schnellen Datendienst in GSM verwendet wird. Durch die neuen Schemes MCS-1 bis MCS-9 - vor allem durch das Modulationsverfahren 8-PSK - konnte der Datendurchsatz erheblich gesteigert werden, siehe Table 4-3.

EGPRS / EDGE Data Rates		
MCS	**Data Rate (kbit/s pro Slot)**	**Modulation**
MCS-1	8.8	GMSK
MCS-2	11.2	GMSK
MCS-3	14.8	GMSK
MCS-4	17.6	GMSK
MCS-5	22.4	8-PSK
MCS-6	29.6	8-PSK
MCS-7	44.8	8-PSK
MCS-8	54.4	8-PSK
MCS-9	59.2	8-PSK

Table 4-3: MCS-1 - MCS-9 / Data Rates and Modulation

Fasst man 8 Timeslots bei MCS-9 für einen Teilnehmer zusammen, errechnet sich eine theoretische Datenraten von 473,6 kbit/s. Allerdings sind bei aktuellen Mobiltelefonen (Multi-Slot-Klasse 10) nur maximal vier Downlink-Slots sowie zwei Uplink-Slots realisiert. Mit MCS-8 erzielt man maximale Datenübertragungsraten von immerhin ca. 220 kbit/s im Downlink und ca. 110 kbit/s im Uplink.

Mit **EGPRS2-A** (EDGE Evolution) wurden zur weiteren Steigerung des Datendurchsatzes auch die Modulationsarten 16-QAM und 32-QAM eingesetzt. Dies war bei einigen Mobiltelefonen allein durch einen Software-Update möglich. Zusammen mit einem sogenannten Turbo-Coder kam man auf Übertragungsraten bis zu 1 Mbit/s.

EGPRS2-A stand jedoch sehr bald unter starker Konkurrenz durch 3GPP UMTS mit seinen überlegenen High-Speed-Kanälen. Eine breitere Verwendung von 16-QAM- und 32-QAM-Modulationen fand daher nicht statt, ebenso wenig wie eine weitere EDGE-Entwicklung.

Anmerkung

Modulation and Coding Schemes für höhere Datenraten enthalten weniger Redundanz-Information. Dadurch sinkt die Robustheit der Funkverbindung gegenüber Störungen. Welche MCSs verwendet werden können, hängt daher von der Qualität des Funkkanals ab (und natürlich davon, welche Modulation and Coding Schemes von BS und MS unterstützt werden).

Timing Advance

Um sich nicht gegenseitig zu stören, müssen die TX-Bursts aller Mobilstationen an der RX-Antenne einer Basisstation exakt im TDMA-Slot-Raster eintreffen. Aufgrund der individuellen Entfernungen zwischen den einzelnen MS und der Basisstation, gibt es aber unterschiedliche laufzeitbedingte Signalverzögerungen. Fig. 4-7 zeigt ein Beispiel.

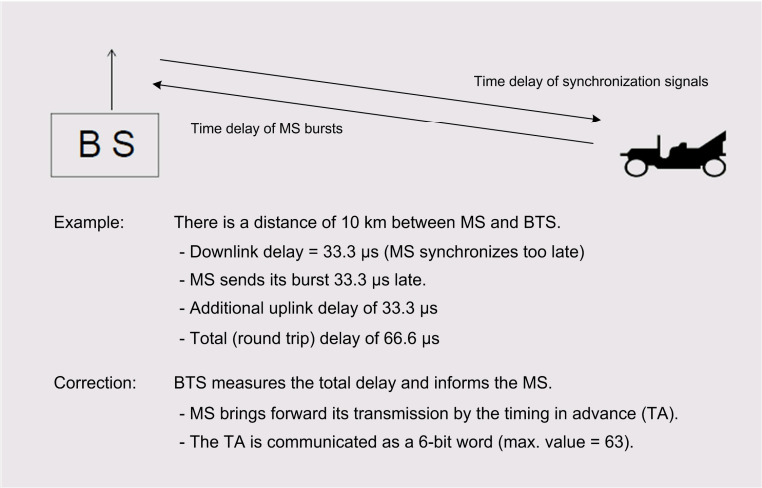


Fig. 4-7: Beispiel für Signalverzögerung durch Laufzeiten

Da die Mobilstation erst auf das bereits mit Laufzeit beschlagene Downlink-Signal aufsynchronisiert, fallen Verzögerungen für Hin- und Rückweg, also über die zweifache Entfernung an.

Bei der GSM-Symbolrate von 270.833 kHz beträgt die Dauer eines Bits 3.69 µs. Die 66.6 µs im Beispiel entsprechen einer Verzögerung um ca. 18 Bit, also ein "Nachhinken" im Slot-Raster um mehr als 10 %.

Dies gilt es zu kompensieren. Die Basisstation veranlasst dazu jeden einzelnen Teilnehmer, individuell vorzeitig zu senden. Dieses sogenannte Timing in Advance TA wird über den schnellen Signalisierungskanal FACCH übermittelt.

4.3 Messungen an GSM-Mobilstationen

Die Grundlage für nahezu alle Messungen, die bei GSM-Mobilstationen erforderlich sind, bildet die ETSI-Vorschrift TS 51.010-1. Die darin aufgeführten Tests sind verpflichtend (mandatory) für die Zulassung jedes neuen Handy-Modells. Für die Mobile-Fertigung und den Service definieren sie die Solleigenschaften und die zulässigen Toleranzen.

Die folgende Übersicht konzentriert sich auf wesentliche Hochfrequenz-Tests. Die ersten vier werden ab Kapitel 6 dieser Application Note detailliert besprochen und mit dem Radio Communication Tester CMW durchgeführt.

Wir unterscheiden zwischen TX- und RX-Messungen.

Die wichtigsten Themen bei den TX-Messungen sind

- Transmitter Output Power

  Hierbei geht es um die absolute Burst Power bei den einzelnen Power Control Levels und das Burst Timing.

- Modulation Quality

  Hierzu gehören Phase und Frequency Error, Magnitude Error und Error Vector Magnitude. Mit dem CMW kann man darüberhinaus die IQ-Imbalance und den IQ-Offset ermitteln.

- Output RF Spectrum

  Man unterscheidet bei GSM zwischen den Ausstrahlungen, die durch die Modulation verursacht werden (Spectrum Due To Modulation, DTM) und denjenigen, die von den Burstflanken herrühren (Spectrum Due To Switching, DTS). Gemessen wird nur an diskreten Frequenzen.

RX-Messungen ermitteln in erster Linie die Empfänger-Empfindlichkeit (Sensitivity) unter normalen und erschwerten Bedingungen. Dies geschieht stets indirekt: über Messungen der Bit- und Blockfehlerraten oder dem erreichbaren Durchsatz.

Die wichtigsten Themen bei den RX-Messungen sind

- RX-Sensitivity
- Blocking measurements
- Co- / adjacent channel, intermodulation rejection

Für die Messungen *Blocking* und *Interferer-Rejection*, benötigt der Testaufbau außer dem CMW weitere zusätzliche Instrumente, z.B. Generatoren. Um den Rahmen der Application Note nicht zu sprengen, gehen wir daher hier auf diese Tests nicht ein.

5 Ablauf von Mobilfunkmessungen

Die Messungen im Signaling Mode betreiben eine Mobilstation (das DUT) genau so, wie es später im Netzbetrieb arbeiten soll: Nach dem Einschalten muss ein Mobiltelefon eine Basisstation (Zelle) suchen, bei der sie sich aufsynchronisiert und anmeldet. Diese Basisstation wird vom CMW repräsentiert. Erst danach kann das Telefon einen Anruf tätigen (eine Verbindung herstellen) oder angerufen werden. Ist ein Anruf beendet, kann erneut angerufen werden. Geht die Synchronisation mit der Basisstation verloren, kann es zweckmäßig sein, die Mobilstation aus- und wieder einzuschalten, um schnell wieder aufzusynchronisieren. (Die Suche nach einer Basisstation beginnt nämlich stets bei der Frequenz der zuletzt genutzten Zelle.)

Messungen erfolgen beim CMW durch eine Measurement Task. Fig. 5-1 zeigt, wie die Messungen in den (gelb hinterlegten) Bereich eingebettet sind, in dem die Signalsierung der Zelle (die Signaling-Task des CMW) aktiv ist. Die eingezeichneten Abläufe gelten für GSM und 3GPP WCDMA in gleicher Weise.

Bemerkung

Signaling- und Measure-Tasks müssen beide "vorher" konfiguriert werden!

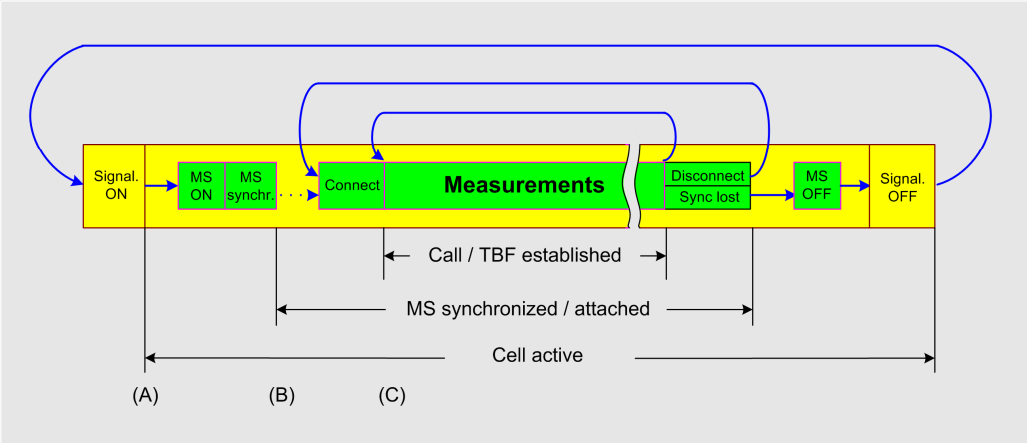


Fig. 5-1: Schematischer Ablauf der Mobilfunkmessungen[13]

Für alle Ihre Messungen gilt daher stets die gleichen Vorgehensschritte:

1. Sie konfigurieren die Signaling-Task. Dann starten Sie die Signaling-Task (Signaling ON (A)).

[13] "Temporary Block Flow TBF Established" ist bei GSM das Pendant einer Packet Switched Connection zu einem Circuit Switched "Call Established". "Attached" ist das Pendant zu "Synchronized".

2. Sie schalten das DUT ein (MS ON). Die Mobilstation registriert und synchronisiert sich in der vom CMW erzeugten Testzelle (B).
3. Sie konfigurieren die Messaufgabe, d.h. die Measure-Task.
4. Sie starten einen einen Anruf vom DUT aus oder lassen den CMW anrufen (Connect). Die Funk-Verbindung wird aufgebaut (Call / TBF Established, (C)).

(Wenn Sie vom CMW aus einen CS-Anruf (CS Connect) tätigen, müssen Sie diesen am Mobiltelefon entgegennehmen (abheben). Erst dann ist die Verbindung etabliert. Bei einem PS Connect nimmt das Mobiltelefon den Anruf automatisch entgegen.)

5. Sie starten die Messung (die Measurement Tasks).
6. Sie werten die Messergebnisse aus.

Wenn keine weiteren Messungen erfolgen sollen, trennen Sie die Verbindung (Disconnect) und schalten das DUT (die MS) aus und das Signaling am CMW.

Sollen weitere Messungen anschließen, gilt zu klären, welche Parameter dafür neu einzustellen sind: Ein anderer Power Level oder ein anderes Modulation and Coding Scheme MCS lässt sich direkt <u>während einer bestehenden Verbindung</u> einstellen.

7. Konfigurieren Sie in diesem Fall die entsprechende Task, und messen Sie erneut (Punkt 5).

Manch andere Parameter lassen sich nur verändern, wenn <u>keine</u> Sprach- oder Datenverbindung etabliert ist (MS not connected). Dazu gehört z.B. die Wahl der Test-Loops bei GSM (Wahl der Test / Service-Modes), Während einer aktiven Verbindung lässt der CMW hier gar keine Änderung zu.

8. Trennen Sie in diesem Fall die Verbindung (Disconnect). Modifizieren Sie den entsprechenden Parameter in der Signaling bzw. der Measurement Task, und bauen Sie die Verbindung erneut auf (Punkt 4).

Bei manchen Tests kann die Verbindung während der Messung abreißen; die Synchronisation ist dann verloren. Bei den RX-Empfindlichkeits-Messungen ist dies der Regelfall, wenn der Downlink-Pegel zu weit abgesenkt wird. Da nur das DUT die Kenntnis hat, ob es noch synchronisiert ist oder nicht, zeigt der CMW in diesem Fall weiterhin "Synchronized" bzw. "Attached" an. Somit wird der MS die Möglichkeit gegeben, ohne Registrierungsprozedur erneut aufzusynchronisieren.

► Schalten Sie in diesem Fall sicherheitshalber am CMW das Signaling *OFF* (erhöhen Sie ggf. den Downlink-Pegel), und schalten Sie Signaling wieder *ON*.

► Schalten Sie sicherheitshalber auch Ihr DUT aus und wieder ein, warten Sie die Registrierung ab und bauen Sie die Verbindung wieder auf.

9. Nach Beendigung aller Messaufgaben trennen Sie die Funk-Verbindung zwischen DUT und CMW (Disconnect), und schalten Sie die MS und das Signaling am CMW aus.

6 Messungen mit dem CMW500

Der Wideband Radio Communication Tester CMW500 ist ein Universal-Tester für die Luftschnittstelle drahtloser Geräte und Baugruppen. Er kann in allen Phasen der Produktentwicklung eingesetzt werden und unterstützt alle gängigen zellularen und nicht-zellularen Technologien. Die Tabelle 6-1 gibt einen Überblick:

Use of the R&S®CMW500 for cellular wireless technologies

Technology	RF generator	RF analyzer	Network emulation	Protocol test	End-to-end application test
LTE FDD	•	•	•	•	•
LTE TDD (TD-LTE)	•	•	•	•	•
Mobile WiMAX™	•	•	•		•
CDMA2000® 1xRTT	•	•	•		•
CDMA2000® 1xEV-DO	•	•	•		•
TD-SCDMA	•	•			
WCDMA/HSPA+	•	•	•	•	•
GSM/GPRS/EDGE/EDGE Evolution	•	•	•	•	•

Use of the R&S®CMW500 for non-cellular wireless technologies

Technology	RF generator	RF analyzer
GPS	•	
Bluetooth®	•	•
WLAN a/b/g/n	•	•

Use of the R&S®CMW500 for broadcast technologies

Technology	RF generator
DVB-T	•
T-DMB	•
MediaFLO™	•
CMMB	•
FM stereo	•

Table 6-1: Einsatzmöglichkeiten für den Wideband Radio Communication Tester CMW

Der CMW500 eignet sich demnach für folgende Bereiche:

- Baugruppentests, System- und Integrationstests, Regressions-, Precompliance- und Fertigungstests
- alle Phasen der Entwicklung, Verifikation und Produktion
- alle Protokoll-Layer, von RF- und Protokoll-Tests bis zu End-to-End-Application-Tests

Wir beschäftigen uns in dieser Application Note nur mit einem kleinen Teil der angebotenen Funktionen, nämlich mit Messungen an GSM-Mobiltelefonen.

Vor dem "Hands on" geht es zunächst darum, das Testinstrument selbst etwas näher kennenzulernen. Die Kapitel 6.1 und 6.2 dieser Application Note befassen sich daher mit der Bedienung des CMW.

In Kapitel 7 wird eine Geräte-Konfiguration erstellt, die die Ausgangsbasis für alle GSM-Messungen bildet. Mit Kapitel 8 beginnen schließlich die praktischen Versuche.

Hinweise:

Das Arbeiten mit dem CMW soll durch häufig wiederkehrende ähnliche Bedienschritte vertraut werden (learning by doing). Dies bedeutet zwangsläufig, dass nicht alle Möglichkeiten des Instruments angesprochen werden können. Die Antworten auf offene Fragen finden sich in den meisten Fällen im Geräte-Manual [6]. Auch erhält man über die (gelbe) Help-Taste am Gerät eine rasche kontext-sensitive Unterstützung.

Darüberhinaus wird dringend empfohlen, vor allem das Handbuch *GSM Firmware Applications, User Manual* [7] vorab zu studieren und sie bei den praktischen Versuchen bei der Hand zu haben. Dort findet sich unter anderem ein Index-Verzeichnis, das schnell zu den wichtigsten Begriffen führt, außerdem zahlreiche Tabellen z.B. mit den Funk-Frequenzbändern, Angaben zu Leistungsklassen, Geräte-Klassen usw.

6.1 Grundlegende Bedienung des CMW500

Die Aufgaben, die der Radio Communication Tester CMW ausführen soll, nennt man Tasks. Diese Tasks müssen

- ausgewählt,
- konfiguriert und letzlich
- aktiviert / gestartet werden.

Das Auswählen einer Task bedeutet, dass die entsprechende Software geladen und die Task in eine CMW-interne Liste aufgenommen wird. Dadurch erscheint sie beispielsweise in der Task-Softkeyleiste. Die Task ist damit aber noch nicht aktiv.

Jede Task hat ein eigenes Konfigurationsmenu, das vor dem Starten (Aktivieren) der Task bearbeitet werden muss.

Aktiviert / gestartet wird eine geladene Task durch die Gerätetaste *ON/OFF*.

Der CMW kennt zweierlei Tasks:

- *SIGNALING / GENERATOR* -Tasks, bei denen Signaling (und / oder. ein Generator-Signal) zur Verfügung gestellt wird (z.B. GSM Generator, GSM Signaling, WCDMA Generator usw.)

- *MEASURE*-Tasks für Messaufgaben (z.B. GSM Multi Evaluation, GSM RX Measurement, WCDMA TX / RX Measurement, LTE Extended BLER u.v.m.)

Die Trennung von Signaling und Messaufgaben ist gut begründet: der CMW betrachtet Messungen unabhängig vom Signaling-Mode. Denn in der Praxis ist es gleichgültig, ob

ein DUT - z.B. für eine TX-Messung - durch Signaling über die HF zum Senden gebracht wurde oder über eine proprietäre drahtgebundene Testschnittstelle.

Die Gerätetasten *SIGNAL / GEN* und *MEASURE* führen direkt in Menus, in denen Sie die benötigten Tasks zusammenstellen können.

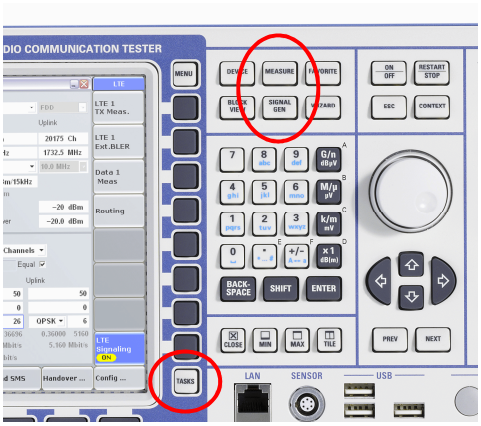


Fig. 6-1: Hardkeys zur Auswahl von Signaling und Measurement Tasks bzw. zur Task-Leiste

Auswahl der Signaling und Measurement Tasks

Fig. 6-2 zeigt die Auswahlfenster, die sich durch dii beiden Gerätetasten *SIGNAL / GEN* und *MEASURE* öffnen:

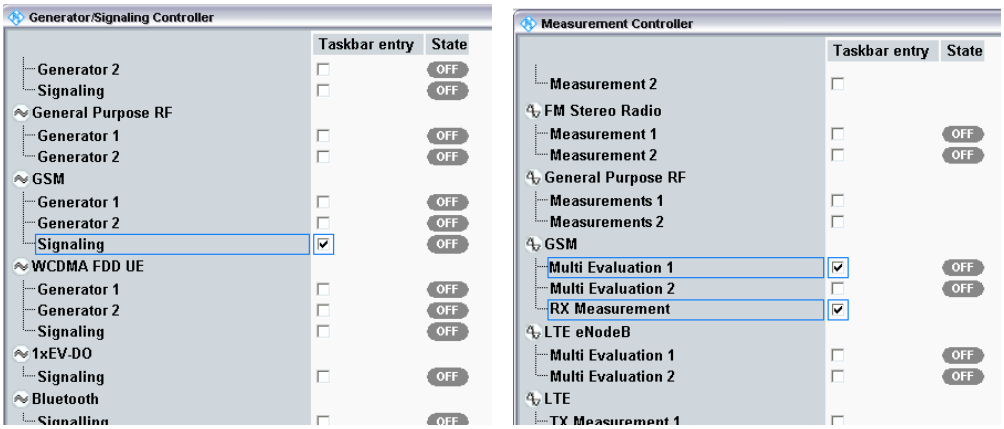


Fig. 6-2: Menus zur Auswahl von Signaling (links) und Measurement Tasks (rechts)

Wir beschäftigen uns in der vorliegenden Application Note ausschließlich mit Signaling Tests. Der CMW verhält sich dabei wie eine Basisstation und steuert das DUT über die HF-Schnittstelle. Gebraucht wird also für GSM die GSM Signaling Task.

In Fig. 6-2 links ist diese Task bereits angewählt, aber noch nicht aktiv (*State OFF*).

Für die Messungen verwenden wir dann die sogenannte Multi Evaluation Task (für TX) und die RX Measurement Task. In Fig. 6-2 rechts sind diese beiden Tasks ebenfalls bereits angewählt, aber ebenfalls noch nicht aktiv (*State OFF*). (Bei dem für Fig. 6-2 verwendeten zweikanaligen Tester gibt es zwei GSM Multi Evaluation Tasks; benötigt wird nur eine.)

Die Gerätetaste *TASKS* öffnet eine Softkeyleiste, die alle geladenen (plus von der CMW-Firmware automatisch vorgeschlagenen) Tasks aufführt. Hier kann man beispielsweise einfach zwischen Tasks hin und her wechseln, siehe auch Fig. 6-3.

Die Auswahl (d.h. das Laden) der Tasks muss nur einmal für alle Messungen erfolgen. Die Konfiguration der Tasks hingegen ändert sich im Allgemeinen von Messung zu Messung.

Bevor wir uns dieser Konfiguration zuwenden, einige Ausführungen zum Softkey-Bedienkonzept des CMW.

6.2 Zum Softkey-Konzept des Testers

Den CMW zu bedienen heißt, Tasks zu bedienen, in diesem Fall (GSM) die Signaling, die Multi Evaluation und die RX Measurement Task.

Anwählen kann man eine Task beispielsweise über die Task-Auswahlleiste (über die Gerätetaste ***TASKS***). Fig. 6-3 zeigt diese Leiste mit den drei wichtigen GSM-Tasks.

Fig. 6-3: Die Task-Leiste

Die blaue Tönung des linken Softkeys in Fig. 6-3 zeigt an, dass diese Task bereits angewählt ist. Das heißt, dass der restliche Bildschirminhalt bereits zur Signaling Task gehört.

Hier wechselt man zu einer anderen Task, indem man die (graue) Softkey-Taste einer nicht angewählten Task drückt.

Hinweis: Drücken eines blauen Softkeys in der Task-Leiste schließt diese Task!

Jede Task hat einen eigenen Grundbildschirm (Main View), eine eigene senkrechte und eine eigene waagrechte Softkey-Leiste sowie diverse Anzeige- und Einstellfenster.

Wir haben es für GSM also mit den drei Grundbildschirmen der drei Tasks zu tun.

Die Bedienhierarchie ist bewusst flach und überschaubar gehalten: Die Task-Ebene ist die höchste Bedienebene. Durch Softkeys und Einstellfenster gelangt man in eine, maximal zwei Unterebenen. Die Gerätetaste ***ESC*** schließt das aktuelle Bildschirmfenster; man gelangt wieder eine Bedienebene höher (bis zur Taskebene).

Fig. 6-4 zeigt den Grundbildschirm (Taskebene) und die Softkey-Leisten der Task GSM Signaling, Fig. 6-5 den Grundbildschirm und die Softkey-Leisten der Task GSM TX Measurement 1 / Multi Evaluation.

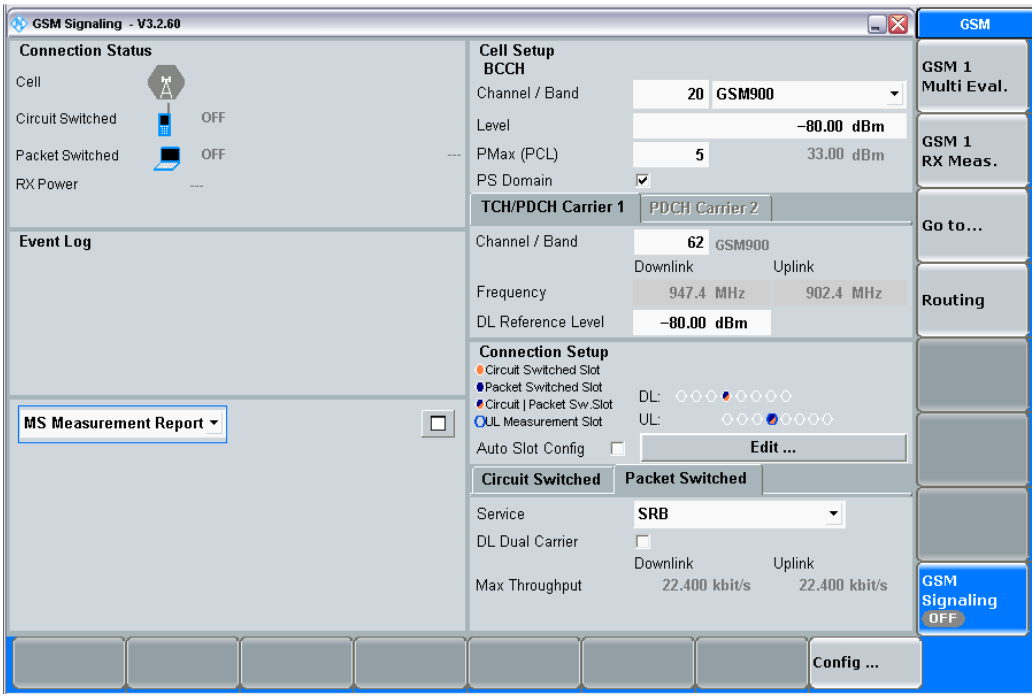


Fig. 6-4: Grundbildschirm der Task GSM Signaling

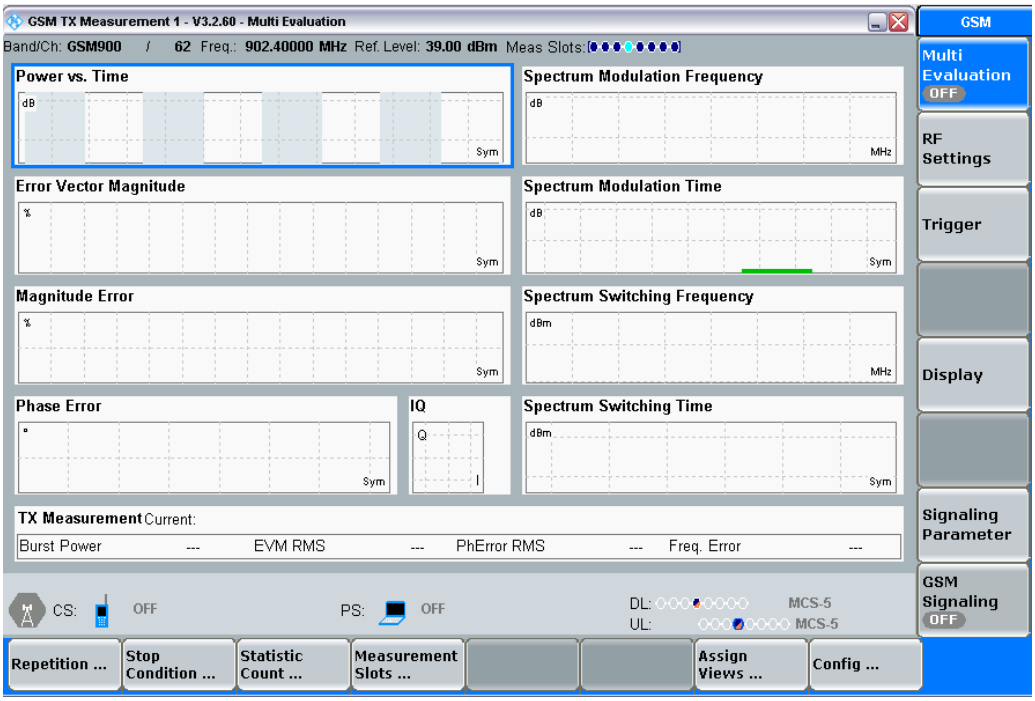


Fig. 6-5: Grundbildschirm der Task GSM TX Measurement 1 / Multi Evaluation

In beiden Fällen ist die jeweilige Task noch nicht aktiv, deshalb ist der Bildschirminhalt noch nicht sehr aufschlussreich. Wir konzentrieren uns hier auf die senkrechte und die waagrechte Softkey-Leiste. (Außer den Softkeys gibt es noch Eingabefelder und Edit-Fenster am Bildschirm, zwischen denen man mit Cursor und Drehrad navigieren kann. Diese Felder und Fenster werden in späteren Kapiteln behandelt.)

Allgemein gilt: die Softkeys in der senkrechten Leiste bieten eine übergeordnete Themenauswahl. Sie bilden quasi die Überschrift für die Softkeys in der waagrechten Leiste. Letztere steuern die Bedienung der Messung und die Auswertung der Ergebnisse.

Beim Vergleich der beiden Grundbildschirme auf Seite 42 ist folgendes bemerkenswert:

1. In der rechten senkrechten Softkey-Leiste der Signaling-Task (Fig. 6-4 auf Seite 42) kann man jede der beiden Measurement-Tasks anwählen, in der rechten Leiste der Multi Evaluation-Task (wie auch der RX-Task) die Signaling-Task. Ein Task-Wechsel kann also auch hier vorgenommen werden; er muss nicht ausschließlich über die Task-Leiste erfolgen:

   Um aus dem Signaling Menu unmittelbar ins Grundmenu einer Measurement-Task zu gelangen, drückt man den jeweiligen Measurement-Task-Softkey einmal.

   Um aus einem Measurement-Menu vollständig ins Signaling-Menu zu gelangen, drückt man den Signaling-Softkey zweimal. Bein ersten Mal wechselt nur die waagrechte Softkey-Leiste[14].

2. Jede Task enthält in der waagrechten Softkey-Leiste die Taste *Config*, über die diese Task konfiguriert wird. Die *Config*-Tasten der verschiedenen Tasks führen naturgemäß zu unterschiedlichen task-spezifischen Konfigurations-Fenstern.

Ein gedrückter Softkey in der senkrechten Softkey-Leiste wird blau. Handelt es sich dabei um einen Task-Softkey, wird damit angezeigt, dass die Gerätetaste ON / OFF jetzt genau diese Task aktiviert bzw. deaktiviert, und dass mit dem *Config*-Softkey das Konfigurations-Menu genau dieser Task geöffnet wird.

So ist beispielsweise im Signaling-Bildschirm (Fig. 6-4 auf Seite 41) die Signaling Task angewählt (blauer Softkey in der sekrechten Softkey-Leiste). Mit *ON/OFF* schalten Sie in diesem Fall die Signaling-Task an.

Im Multi-Evaluation-Bildschirm (Fig. 6-5 auf Seite 41) ist die Multi-Evaluation-Task angewählt (blauer Softkey in der sekrechten Softkey-Leiste). Mit der Gerätetaste *ON/OFF* schalten Sie in diesem Fall die Multi-Evaluation-Task an.

In beiden Bildern ist keine der Tasks angeschaltet (aktiv). Eine aktive Task erkennt man an einem gelben Status-Feld im entsprechenden Softkey, siehe Fig. 6-6 auf Seite 43.

---

[14] Dadurch kann man einige Signaling-Einstellungen schnell vornehmen, ohne die Mess-Task aus dem Auge zu verlieren. Dazu gehört beispielsweise, den DUT-Sendepegel oder das Modulationsschema zu variieren.

Sie sehen hier eine Messung an einer GSM-Datenverbindung. Zwei Tasks sind aktiv: die Multi Evaluation Task läuft im Vordergrund, die Signaling Task im Hintergrund.

Der Bildschirm und die waagrechte Softkey-Leiste gehören zur Multi Evaluation Task.

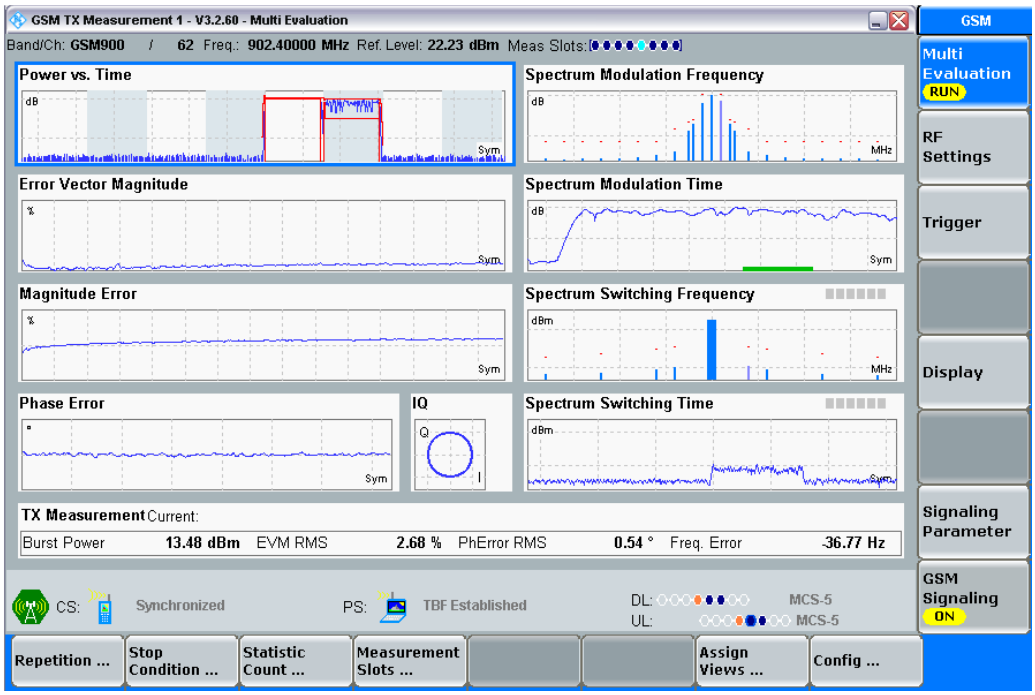


Fig. 6-6: Multi-Evaluation- und Signaling-Task aktiv

Drückt man hier den *Signaling*-Softkey einmal, erhält man die waagrechte Softkey-Leiste der *Signaling* Task, ohne die Ergebnisdarstellung zu verlassen. Drückt man den *Signaling*-Softkey ein zweites Mal, welchselt man ganz zum *Signaling*-Bildschirm mit den entsprechenden Softkey-Leisten.

In allen Bildschirmen gelangt man durch die Softkeys der waagrachten Leiste und ggf. durch Einstellfenster in Unterebenen mit Auswahllisten oder Eingabemenus.

Beispielsweise wählt man hier unter dem Softkey *Repetition* aus zwischen *SingleShot* oder *Continuous.* Unter *Stop Condition* wählt man aus zwischen *None* und *On Limit Fail*, usw. Die Gerätetaste *ESC* schließt die jeweilige Auswahlliste. Im Allgemeinen wird dadurch eine vorgenommene Auswahl oder eine Parameter-Eingabe (ohne *Enter*) übernommen.

7 GSM-Messungen: CMW Configuration

In diesem Abschnitt geht es sehr detailliert um die Konfiguration des Wideband Radio Communication Testers CMW und um die immer wiederkehrenden Schritte zum Auf- und Abbau einer Verbindung zwischen Mobiltelefon und Tester.

Zunächst werden wir eine universelle Konfiguration des CMW für alle GSM-Messungen erstellen und im Gerät abspeichern. Anschließend werden wir erstmals eine Verbindung aufbauen und eine TX-Messung starten. Ohne dabei detaillierter auf die Messergebnisse einzugehen, soll dieser Teil Sie in die Lage versetzen, die erforderlichen Einzelschritte soweit zu verinnerlichen, dass diese bei den späteren Messungen nicht mehr explizit beschrieben werden müssen.

Anmerkung: Alle Bildschirmkopien in dieser Application Note stammen von Messungen an einem durchschnittlichen Mobiltelefon im Frequenzband GSM 900. Es ist ausgerüstet für Power Class 4. Um Mobilstationen zu testen, die andere Frequenzbänder oder z.B. Power-Class 5 benutzen, muss die CMW Configuration entsprechend angepasst werden. Die Eigenschaften des DUTs, seine *Mobile Capabilities*, können beim ersten Registrieren vom Tester CMW ausgelesen werden.

7.1 Vorbereitungen, Messaufbau

Der CMW etabliert für Signaling-Messungen eine GSM-Funkzelle, konkret zwei bidirektionele Duplex-Kanäle auf zwei unterschiedlichen Frequenz-Pärchen. Der erste Kanal übernimmt u.a. die Broadcast-Signalisierung für gleichzeitig alle potentiellen Funkteilnehmer der Zelle. Deswegen wird dieser Kanal hier vereinfachend Broadcast Channel BCCH genannt. (Tatsächlich erfolgen auf diesen Kanal über weitere eingebundene Kanäle auch die Registrierung, die Zeit- und Frequenzsynchronisation und der Verbindungs-Auf- und Abbau.)

Der zweite Kanal überträgt den Voice-Verkehr (Traffic Channel TCH) bzw. die Paket-Daten (Packet Data Channel PDCH). Dieser Kanal ist individuell reserviert für einen speziellen Teilnehmer, hier das DUT. Dieser Kanal wird später für alle Messungen herangezogen: der Downlink für die RX-Tests, der Uplink für die TX-Tests.

Außer Voice und Data enthalten der TCH und der PDCH über die eingebundenen logischen Kanäle SACCH / FACCH bzw. PACCH auch Signalisierungsinformation, die ebenfalls ausschließlich für einen individuellen Teilnehmer bestimmt sind. Über diese Kanäle erfolgt z.B. die Leistungssteuerung des Mobiltelefons oder eine Änderung des Modulations- und Codierungsschemas.

Bei den folgenden Versuchen verwendet der TCH/PDCH immer die HF-Buchse RF1COM und der BCCH die HF-Buchse RF3COM. Beide befinden sich an der Gerätefront des CMW.

Die Mobilstation unter Test muss "über die Hochfrequenz" an den CMW angekoppelt werden, ohne dass die Sendeleistung des Testers oder des DUTs in die Umgebung gelangt. Hierzu dienen die Schirmkammern CMU-Z11 oder CMW-Z11, bei denen das Mobiltelefon reproduzierbar fixiert werden kann.

Im Innern der jeweiligen Schirmkammer befindet sich eine Koppelantenne, die über eine N-Buchse von außen zugänglich ist. Dieser Punkt wird über einen Power Splitter an RF1COM und RF3COM angeschlossen, siehe Fig. 7-1.

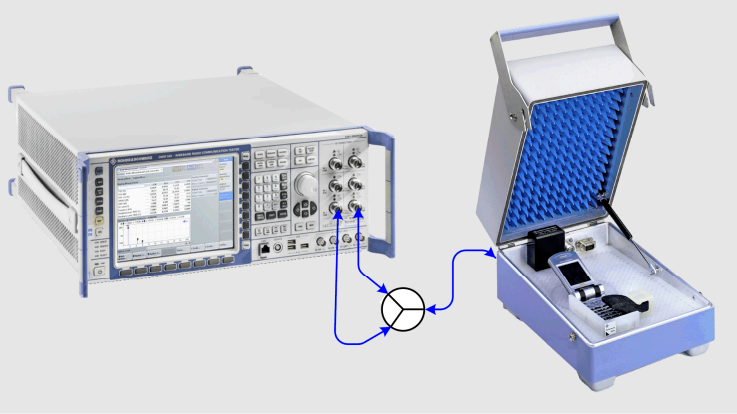


Fig. 7-1: Hardware Test Setup

► Führen Sie RF1COM und RF3COM mit einem Power-Splitter / Combiner[15] zusammen.

► Verbinden Sie den Antennenanschluss Ihrer Schirmkammer mit dem Summenanschluss des RF-Power-Splitters.

Die Pfad-Dämpfungen, d.h. die Koppeldämpfung der Schirmkammer, die Einfügungsdämpfung des Splitters und die Dämpfung der HF-Kabel werden später im CMW kompensiert.

SIM-Karte

Für den Test von Mobilfunkstationen gibt es (auch von Rohde&Schwarz®) spezielle Test-SIM-Karten. Diese verhindern einen Verbindungsaufbau mit vorhandenen Mobilfunknetzen und ermöglichen, dass der Tester im DUT sogenannte Test-Loops aktivieren kann.

► Schalten Sie das Test-Telefon (DUT) aus.

► Legen Sie die Test-SIM ein.

---

[15] Geeignet ist beispielsweise das Modell ZFSC-2-2500 der Fa. Mini Circuits.

RESET

► Setzen Sie den CMW zurück. Drücken Sie dazu die blaue *RESET*-Taste am linken oberen Geräterand. Setzen Sie global alle Applications zurück, wie es am Bildschirm angeboten wird, und wählen Sie anschließend *Preset*, um die im CMW vorbereiteten globalen Default-Werte einzustellen.

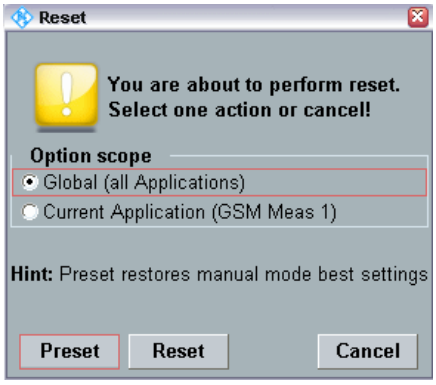


Fig. 7-2: CMW Preset

Diese Default-Werte gewähren einen reproduzierbaren Startpunkt. Darauf aufbauend werden wir im Folgenden eine eigene universelle Gerätekonfiguration erstellen und als Geräte-Setup abspeichen. Diese dient ab dann als fester Ausgangspunkt für alle weiteren Messungen.

7.2 Konfigurieren und Starten der GSM Signaling Task

Allgemeines, Anwählen von Tasks

Jede Task hat einen Grundbildschirm (Main View). der den Namen der Task in der Überschrift trägt, z.B. *GSM Signaling, GSM TX Measurement Multi Evaluation, GSM RX Measurement* usw. Jede Task hat ein eigenes Konfigurationsmenu.

Tasks können im Vordergrund laufen. In diesem Fall "gehören" der Bildschirminhalt und die Softkeys zu dieser Task. Tasks können auch im Hintergrund laufen. Bei TX- oder RX-Messungen im Signaling Mode läuft beispielsweise die Signaling-Task im Hintergrund.

Wir wählen zunächst die *GSM Signaling*-Task an, wie in Kap. 6.1 beschrieben.

► Drücken Sie die Gerätetaste *SIGNAL / GEN*

Es erscheint das *GSM Signaling Controller* Menu, siehe Fig. 7-3 auf Seite 47.

Der hier verwendete CMW ist mit zwei Kanälen ausgerüstet. Bei einem einkanaligen Gerät wird jeweils nur ein Generator angezeigt.

► Wählen Sie die Task *GSM Signaling* an.

► Wählen Sie alle ggf. noch angewählte Signaling und Generator-Tasks ab.

Die *Signaling*-Task ist hier noch nicht gestartet (der *State* ist *OFF*). Dies geschieht später über die *ON/OFF*-Gerätetaste.

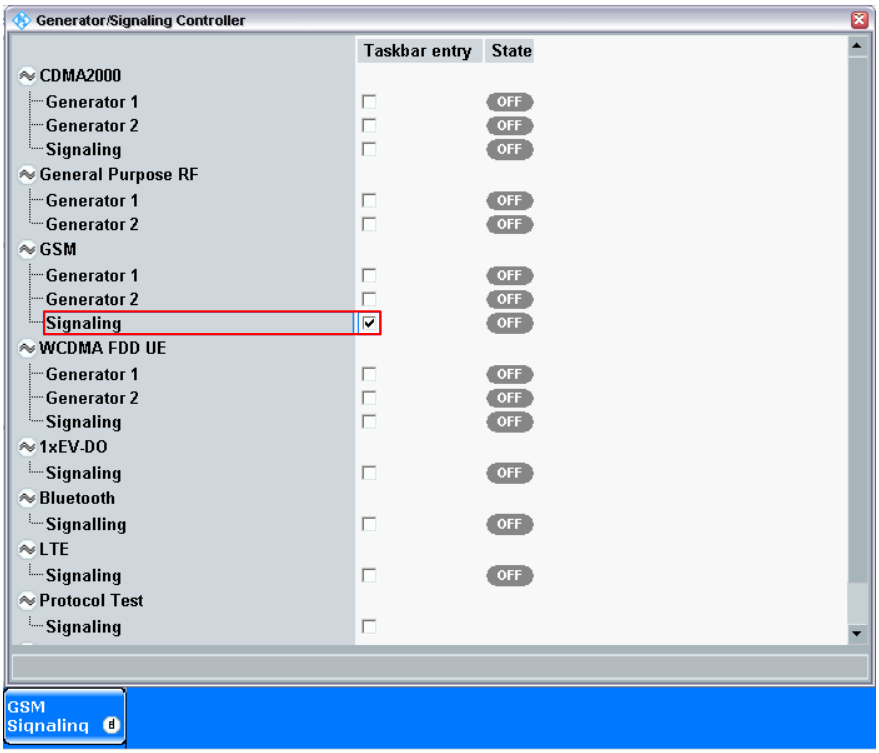


Fig. 7-3: Auswahl der Signaling Task

► Drücken Sie die Gerätetaste *ESC*.

Sie schließen damit das aktive Fenster und gelangen ins Grundmenu für GSM Signaling.

Hinweis: Verwenden Sie immer ausschließlich die Gerätetaste *ESC*, um Einstellfenster zu schließen! Die Gerätetaste *CLOSE* schließt zwar ebenso das aktuelle Fenster. Wird *CLOSE* aber versehentlich im Grundbildschirm verwendet, beendet es die aktuelle Task!

Wir werden jetzt die *Signaling*-Task so konfigurieren, dass sowohl Circuit Switched als auch Packet Switched-Verbindungen zwischen DUT und Tester möglich sind.

Zuvor jedoch ein kurzer Überblick über die Inhalte des Grundbildschirms der *Signaling* Task:

Anzeige- und Eingabefelder im Grundbildschirm GSM Signaling

Betrachten Sie zunächst die rot gerahmten Felder in Fig. 7-4:

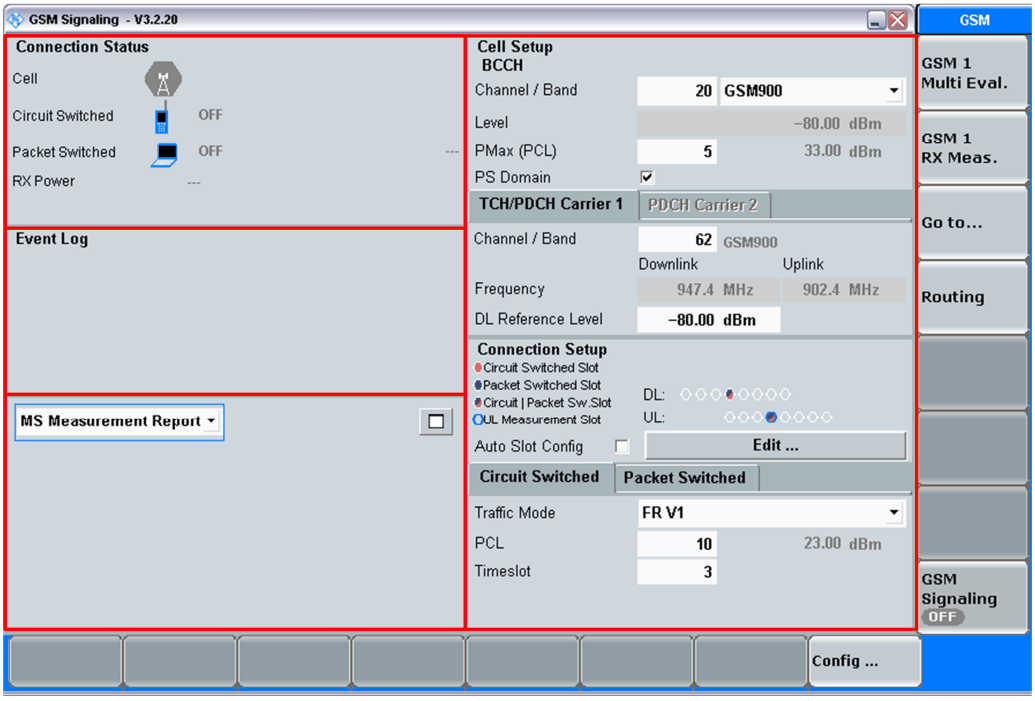


Fig. 7-4: Anzeige- und Eingabefelder im Grundbildschirm GSM Signaling

Die drei roten Fenster in der linken Bildschirmhälfte sind Anzeigefenster.

Im Feld *Connection Status* erkennen Sie, dass hier die Testzelle noch nicht etabliert ist: die "Wolke" um den Sendemast ist grau. (Bei einer aktiven Zelle ist sie grün.) Es gibt entsprechend noch keine Verbindung zwischen DUT und Tester: *Circuit* und *Packet Switched* (Connections) sind beide OFF. Es wird keine *RX Power* angezeigt.

Der *Event Log* und das Fenster für den *Measurement Report* sind noch leer. Der Event Log enthält später das Protocol des CMW. Im Measurement Report finden Sie im Betrieb das Protokoll der Mobile Station under Test. Sie können sich hier aber auch u.a. die *Mobile Capabilities* und die DUT-spezifische *MS-Info* anzeigen lassen.

In der rechten Bildschirmhälfte können Sie Parameter eingeben bzw. ändern. Sie sehen hier die Voreinstellungen nach dem *RESET / Preset*.

► Aktivieren Sie beim BCCH die Checkbox PS Domain. Dies bewirkt, dass auch PS-Verbindungen aufgebaut werden können.

► Verwenden Sie im TCH/PDCH-Feld die Default-Einstellungen: Channel 62, DL Reference Level - 80 dBm (genauere Besprechung erfolgt später).

Besondere Bedeutung hat der *Connection Setup*. Hier geht es um die wichtigsten physikalischen Einstellungen: die Slot-Auswahl, die verwendeten Leistungen und die Modulation and Coding Schemes. Sie werden hier am häufigsten editieren.

Auto Slot Config. soll niemals aktiv sein. Wir konfigurieren selbst.

► Wählen Sie *Edit ...*

Sie gelangen ins Menu der Slot Configuration.

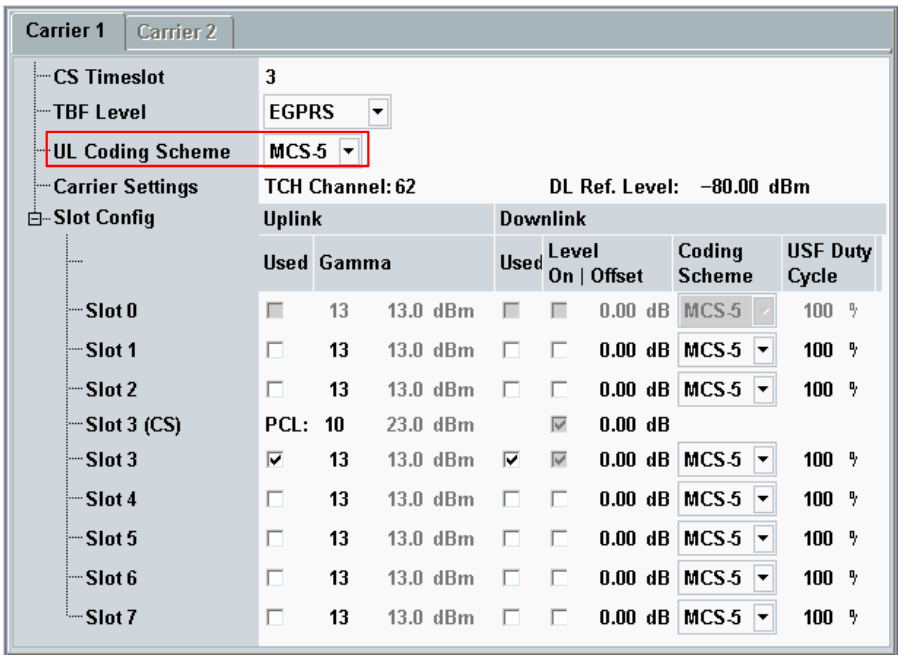


Fig. 7-5: Slot Configuration mit den essentiellen Burst-Parametern.

Per Default ist hier der Slot 3 sowohl für Circuit Switched als auch für Packet Switched vorgesehen. Das ist eine praktische Wahl: wenn Sie nach einer CS-Messung eine PS-Messung starten, muss der Slot nicht in der Measurement Task umgestellt werden.

Nur die erste Zeile (*CS Timeslot* 3) und die bei Slot 3 vorgesehene Eingabemöglichkeit des *Power Control Levels PCL* betreffen den Circuit Switched Mode. Alle anderen Settings beziehen sich auf die Packet Switched-Konfiguration:

Der *TBF Level* (das bedeutet in etwa das Technologie-Niveau der aufzubauenden PS-Verbindung) steht auf Enhanced GSM Packet Radio Service EGPRS. Dies bedeutet, dass die Modulation and Coding Schemes MCS-1 bis MCS-9 gewählt werden können. MCS-1 bis MCS-4 verwenden GMSK-, MCS-5 bis MCS-9 8-PSK-Modulation. Je höher der Index, desto höher ist die Datenrate - auf Kosten der jeweiligen Fehlerkorrektur.

► Stellen Sie das *UL Coding Scheme* auf *MCS-5*. Damit wird 8-PSK eingestellt.

► Stellen Sie das *Downlink Coding Scheme* ebenfalls auf *MCS-5*.

Wir betrachten die Pegel, zunächst im Uplink:

Für Circuit Switched wird der TX Output Level über den *Power Control Level PCL*, für *Packet Switched* Signale durch die Größe *Gamma* definiert. Entnehmen Sie den Zusammenhang zwischen Output Level und *PCL* bzw. *Gamma* der untenstehenden Tabelle.

Mobile Output Power								
Power Class 2	3	4	5	**Power Control Level PCL**	**Gamma**	**TX Output Level dBm**
x				2	0	39
x	x			3	1	37
x	x			4	2	35
x	x	x		5	3	33
x	x	x		6	4	31
x	x	x	x	7	5	29
x	x	x	x	8	6	27
x	x	x	x	9	7	25
x	x	x	x	10	8	23
x	x	x	x	11	9	21
x	x	x	x	12	10	19
x	x	x	x	13	11	17
x	x	x	x	14	12	15
x	x	x	x	15	13	13
x	x	x	x	16	14	11
x	x	x	x	17	15	9
x	x	x	x	18	16	7
x	x	x	x	19	17	5
x	x	x	x	etc.	etc.	etc.

Table 7-1: Zum Einstellen des TX Uplink Levels

Der Pegel eines Packet Switched Signals berechnet sich (bei GSM900) zu

$L_{P/1mW}$ = 39 dBm - Gamma * 2 dB.

Wir werden bei den späteren Messungen den PCL = 5 für max. Output einer Voice-und Gamma = 6 für max. Output einer Daten-Verbindung verwenden. Für kleine Leistungen arbeiten wir mit den PCL = 19 bzw. Gamma = 17.

PCL = 10 und Gamma = 13 sind die Default-Einstellungen.

Man beachte, dass ein Mobiltelefon seine Sendeleistung nicht selbst einstellt, sondern dass diese ausschließlich von der Basisstation (in diesem Fall vom CMW) bestimmt wird.

Der Pegel des Downlink-Signals heißt *DL Reference.Level* (*DL Ref.Level),* weil er über diesen Einstellwert hinaus in jedem Slot individuell um bis zu 40 dB abgesenkt werden kann. Wir nutzen diese Möglichkeit nicht.

(Das Uplink Status Flag USF hat seine Bedeutung, wenn mehrere PS-Verbindungen im gleichen Slot auf die Frames verteilt werden. Hier ist es ohne Relevanz.)

► Kehren Sie mit *ESC* zum Grundbildschirm *GSM Signaling* zurück.

Die weiteren Einstellungen in der rechten Hälfte des *GSM Signaling*-Grundbildschirms (Fig. 7-4 auf Seite 48) sind alle ebenfalls im Konfigurationsmenu der Signaling-Task aufgeführt. Wir wollen sie jetzt da behandeln:

► Drücken Sie die Softkey-Taste *Config...*

Sie gelangen ins Konfigurationsmenu der *GSM Signaling*-Task. Die folgenden Seiten behandeln nur diejenigen Felder, die besonderere Bedeutung für unsere Messungen haben und die, bei denen vom Default-Setting abweichende Einstellungen erforderlich sind. Unterebenen, die für die späteren Messungen ohne Bedeutung sind, werden nicht besprochen.

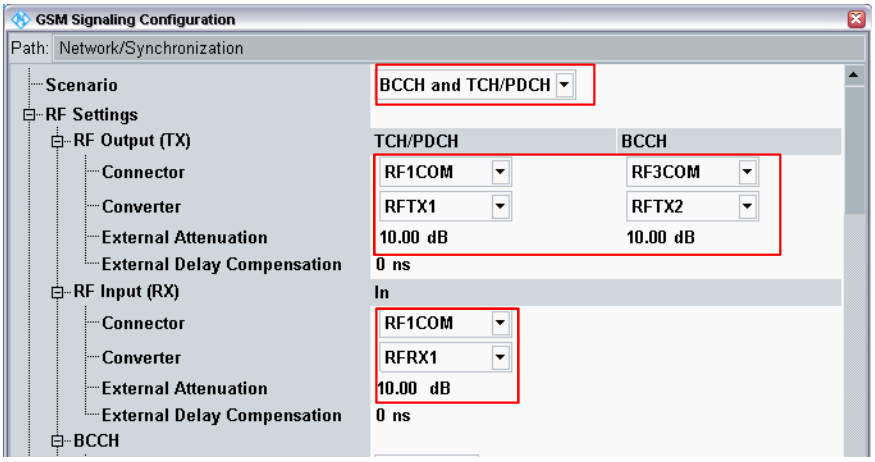


Fig. 7-6: GSM Signaling Configuration 1

► Wählen Sie als *Scenario BCCH and TCH/PDCH.* Sie erreichen damit, dass der CMW - wie eine richtige GSM-Basisstation - beide Duplex-Kanäle etabliert (diese Einstellung weicht von der Preset-Einstellung ab).

Mit diesem Scenario verwendet der CMW immer die Buchse RF1Com für den TCH/PDCH, die Buchse RF3COM für den BCCH.

► Geben Sie für die Pfad-Dämpfungen bei Output und Input als Ansatzwert eine *External Attenuation* von jeweils 10 dB ein. Dies ist ein vorläufiger Wert, der später fein justiert wird.

Bei den Parametern in Fig. 7-7 auf Seite 52 belassen wir es bei den Default-Settings:

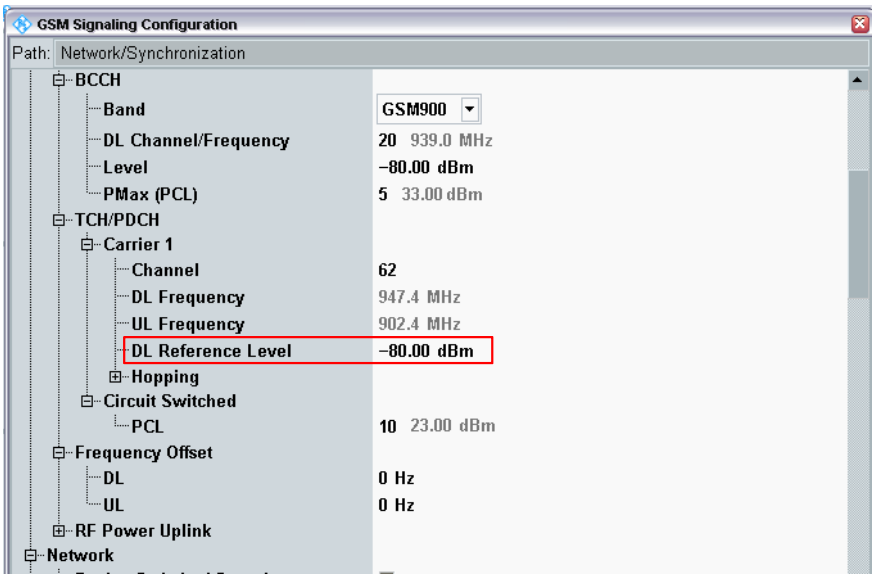


Fig. 7-7: GSM Signaling Configuration 2

Hinweis: Der *DL Reference Level* ist auch im Connection Setup editierbar.

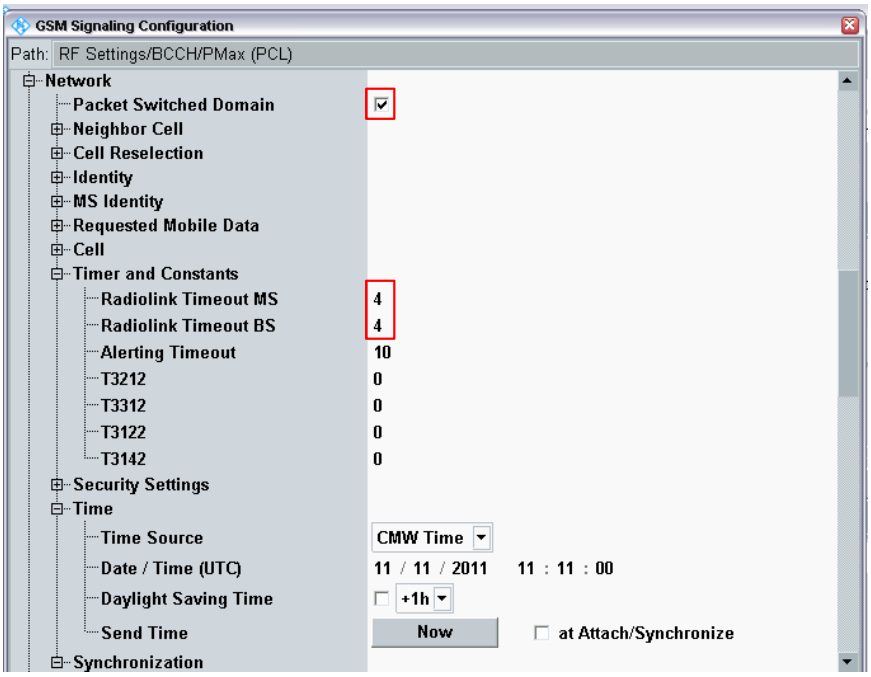


Fig. 7-8: GSM Signaling Configuration 3

Ist die Checkbox PS Domain gesetzt, können auch PS-Devices aufsynchronisieren. Hier spiegelt sich der Eintrag aus dem Signaling Grundbildschirm.

Ist eine GSM-Funkverbindung bei geringen Feldstärken verrauscht oder gestört, wird eine Entscheidung, ob die Verbindung aufrecht erhalten oder abgebrochen werden soll, davon abhängig gemacht, ob der Signaling-Kanal *SACCH* noch auswertbar empfangen werden kann oder nicht.

Mit dem Parameter *Radiolink Timeout* in Fig. 7-8 auf Seite 52 bestimmen Sie, nach wie vielen nicht mehr auswertbaren *SACCH*-Blocks die Funkverbindung abgebrochen wird. Eine Vier entspricht jeweils einer Spanne von ungefähr 2 Sekunden.

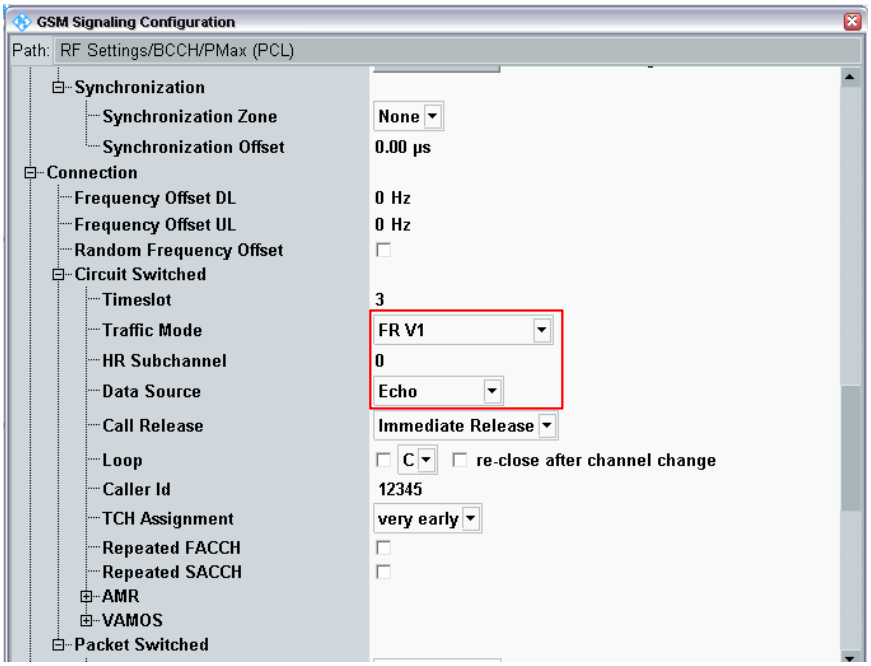


Fig. 7-9: GSM Signaling Configuration 4

Der CMW verwendet für eine (Circuit Switched) Sprach-Verbindung als Grundeinstellung einen *Full Rate (FR)* Speech Coder gemäß der im Standard spezifizierten Version 1 (*V1)*. Wir behalten diese Einstellung bei; *Half Rate (HR)* Subchannels werden nicht verwendet.

Mit *Data Source Echo* soll der CMW im Downlink die im Uplink empfangenen Speech-Frames zum DUT zurücksenden.

Die *Caller Id* ist die Rufnummer, die der CMW sich selbst als Rufnummer zuweist. Um den CMW vom Mobiltelefon aus mit einer Test-SIM "anzurufen" (Mobile Originated Call, MOC), können Sie aber eine beliebige Rufnummer wählen.

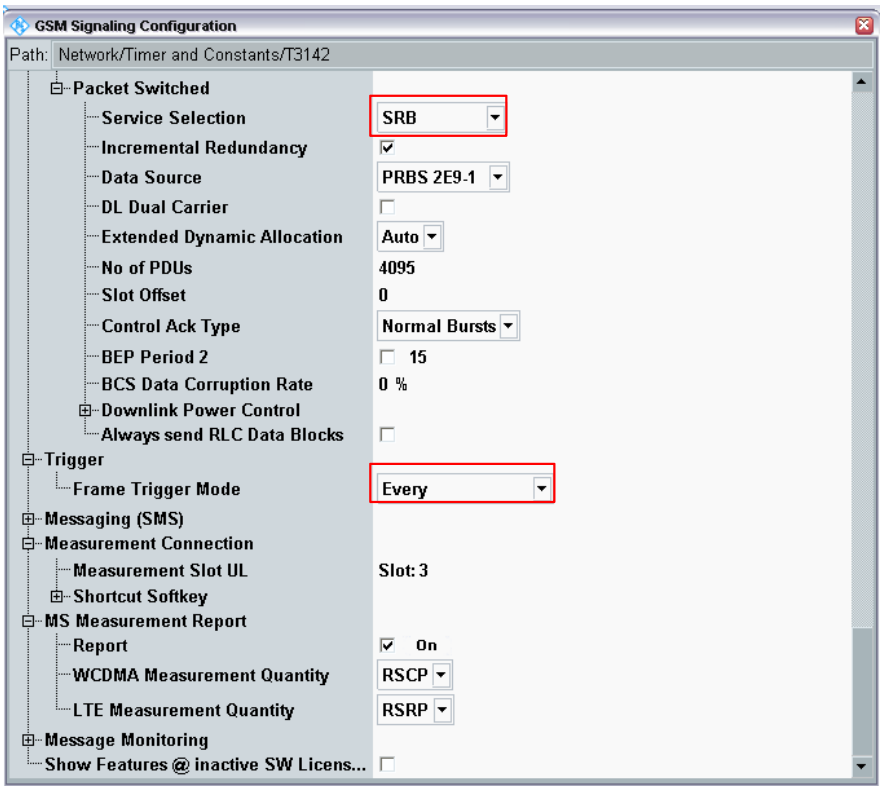


Fig. 7-10: GSM Signaling Configuration 5

Für Bit-Error-Messungen etabliert der Packet Switched-Service *SRB* eine der möglichen Test-Loops im DUT. (Die Packet Switched-Services werden bei den RX-Messungen ausführlicher behandelt.)

Das (später verwendete intern generierte) Trigger-Signal soll bei jedem Frame erscheinen.

Der Measurement Report kann an- oder ausgeschaltet sein.

Damit ist die Konfiguration der Signalisierungs Task für Circuit und Packet Switched Connections abgeschlossen.

► Drücken Sie die Gerätetaste *ESC*.

Sie schließen damit das Config-Fenster und gelangen zurück ins Grundmenu für GSM Signaling.

Wir werden die vorgenommenen Einstellungen nach der Konfiguration der Multi Evaluation- und der RX-Task als eigene Gesamtkonfiguration im CMW abspeichern.

Welche Leistung (Watt) stellt man mit PCL = 5, welche mit PCL = 10 ein?

Wie gross ist der Frequenzabstand zwischen Up- und Downlink bei GSM900?

Was wird bei der gewählten Data Source Echo im Hörer des DUT zu hören sein?

7.3 Registrierung des Mobiltelefons

Die folgenden Sequenzen müssen Sie soweit verinnerlichen, dass sie fast automatisch abläufen!

Der CMW soll das Grundmenu für GSM Signaling zeigen.

Das zu testende Mobiltelefon soll zunächst noch ausgeschaltet sein.

1. Drücken Sie am CMW den Softkey GSM Signaling. Das Tastenfeld wird blau.
2. **Schalten Sie die Signalisierung ein.** (Drücken Sie am CMW die Gerätetaste ON / OFF)

Im Connection Fenster wird die "Wolke" um den Sendemast grün. Die Signaling Software wird gestartet.

3. **Warten Sie**, bis *Cicuit Switched* und *Packet Switched* auf *ON* wechseln.
4. **Schalten Sie die** zu testende **Mobilstation ein** und positionieren Sie diese in Ihrer Schirmkammer.

Nach einiger Zeit meldet sich das DUT beim CMW an. Dieser Vorgang kann durchaus über 1 Minute dauern.

5. **Warten Sie**, bis sich Ihre Mobilstation auf den CMW-Tester aufsynchronisiert hat.

Der Circuit Switched-Status wechselt dann auf *Synchronized*, der Packet Switched-Status auf *Attached*, siehe Fig. 7-11 auf Seite 56.

Wenn das Mobiltelefon nach max. 2 min noch nicht synchronisiert hat,

- ► Schalten Sie das Mobiltelefon und die Signaling Task aus.
- ► Überprüfen Sie die Verkabelung und die Pegeleinstellungen. Erhöhen Sie ggf. den Downlink-Pegel.
- ► Beginnen Sie erneut mit Schritt 1.

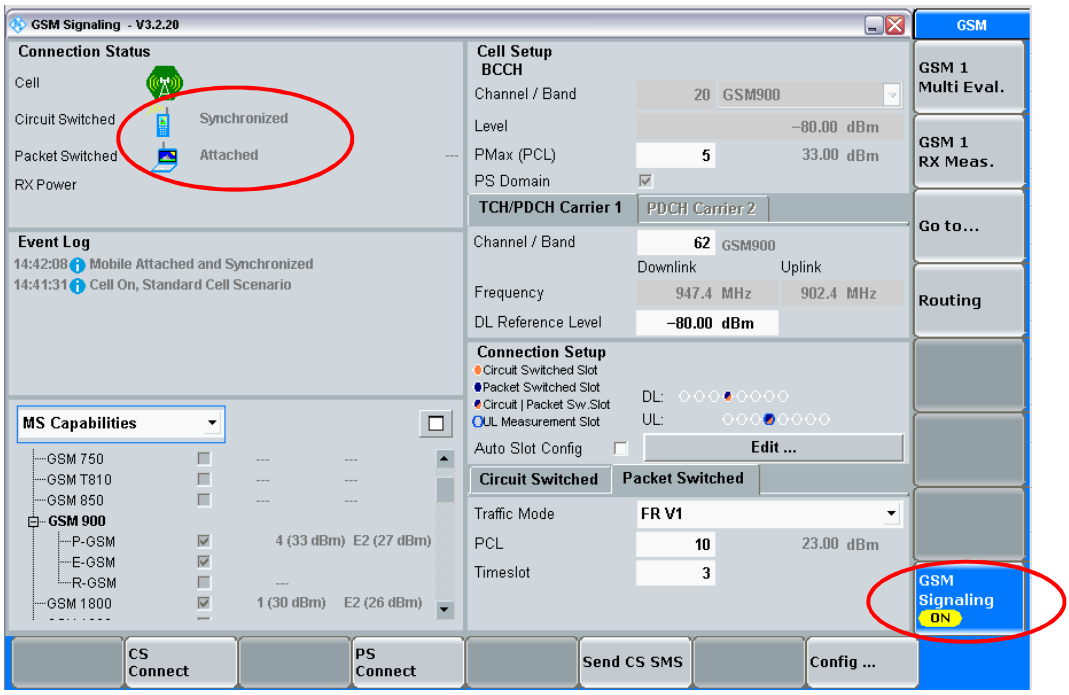


Fig. 7-11: Registrieren des Mobiltelefons

Die Softkeys *CS Connect* und *PS Connect* erscheinen (nur) bei *Signaling = ON*. Sie funktionieren aber erst, wenn das DUT aufsynchronisiert ist!

► Beachten Sie das Protokoll im Event Log.

► Sehen Sie sich jetzt die MS Capabilities Ihres DUTs an. Notieren Sie die möglichen Frequenzbänder, die jeweiligen Power Classes bei den verschiedenen Modulationsverfahren sowie die unterstützten Multislot Classes.

► Zeigen Sie die MS Info an.

7.4 Konfigurieren der TX-Task GSM Multi Evaluation

Der CMW wurde speziell daraufhin entwickelt, Messzeiten zu minimieren. Es gibt daher keine Einzeltests, wie bei anderen Mobilfunk-Testern üblich, sondern nur noch eine Task, die alle erforderlichen TX-Tests und eine, die alle erforderlichen RX-Tests ausführt.

Die Task für die GSM-TX-Messungen ist die *GSM Multi Evaluation*-Task. Diese leitet aus der Aufzeichnung eines GSM-Frames (8 Timeslots) eine ganze Reihe von Messwerten gleichzeitig ab. Wir erhalten Ergebnisse im Zeit-, im Spektral- und im Basisband-Bereich. Werden bestimmte vom Gerät angebotene Resultate nicht benötigt, deaktiviert man die entsprechende Auswertung und erzielt dadurch einen Geschwindigkeitsvorteil.

Tests sind Messungen, bei denen das Ergebnis dahingehend überprüft wird, ob vorgegebene Grenzwerte eingehalten werden. Der CMW verwendet per Default die Messparameter, die Messabläufe sowie die Grenzwerte und Toleranzen aus dem ETSI-Standard 3GPP TS 51.010. Darüberhinaus können Sie eigene Limits definieren.

Table 7-2 weist auf die Kapitel im o.g. Standard hin, nach denen bei den TX-Messungen vorgegangen wird.

Wir unterscheiden zwischen Leistungsmessungen (Time Domain-Messungen), Messungen der Modulationsqualität (Messungen in der IQ Domain) und Spektrummessungen (Frequency Domain).

Subject	TX-Tests	3GPP TS 51.010
Power (Time Domain)	Transmitter output power and burst timing	Sections 13.3, 13.7, 13.16.2, 13.17.3
Modulation (IQ Domain)	EVM, IQ-Offset	Section13.17.1
Modulation (IQ Domain)	Frequency and phase error	Sections 13.1, 13.6, 13.16.1, 13.17.1
Spectrum (Freq. Domain)	Output RF spectrum	Sections 13.4, 13.8, 13.16.3, 13.17.4

Table 7-2: GSM TX-Messungen mit der Task Multi Evaluation

Wir werden im Rahmen der vorliegenden Application Note aus jedem dieser Gebiete ausgewählte Messungen durchführen.

(Manche Tests nach dem ETSI Standard erfordern zusätzliches Instrumentarium, z.B. Signal-Generatoren als zusätzliche Interferer, Spektrum-Analysatoren oder Fading-Simulatoren. Diese Tests lassen sich ebenfalls (zusammen) mit dem Radio Communication Tester CMW durchführen. Um den Umfang dieser Application Note nicht zu sprengen, werden sie jedoch hier nicht behandelt.)

Auswählen der GSM-Measurement-Tasks

► Drücken Sie die Gerätetaste *MEASURE*. Es erscheint eine Auswahl der implementierten Messungen, siehe Fig. 7-12 auf Seite 58.

► Wählen Sie für TX-Messungen die *GSM - Multi Evaluation 1.*

(Wie beim SIGNAL- / GEN-Menu gibt es bei dem für Fig. 7-12 auf Seite 58 verwendeten zweikanaligen Tester zwei Multi Evaluation Tasks.)

► Wählen Sie für RX-Messungen die *GSM - RX Measurement* Task.

► Wählen Sie andere ggf. noch angewählte Tasks ab.

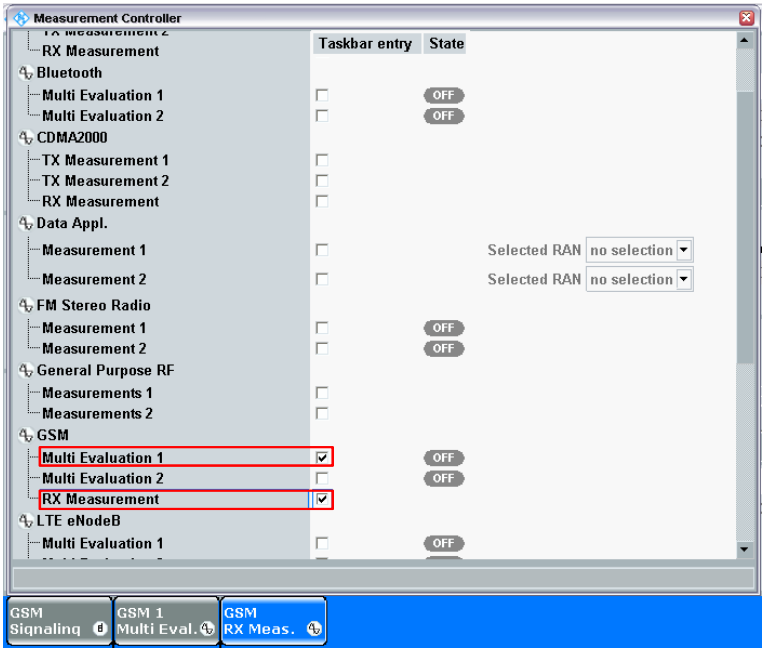


Fig. 7-12: Auswahl der Measure Tasks

Die beiden ausgewählten Tasks sind noch nicht aktiviert, aber sie erscheinen bereits in der Task-Leiste.

Konfigurieren

► Drücken Sie in der Taskleiste *GSM - Multi Eval.*

Sie gelangen damit ins noch leere Ergebnisfenster der Multi Evaluation Task:

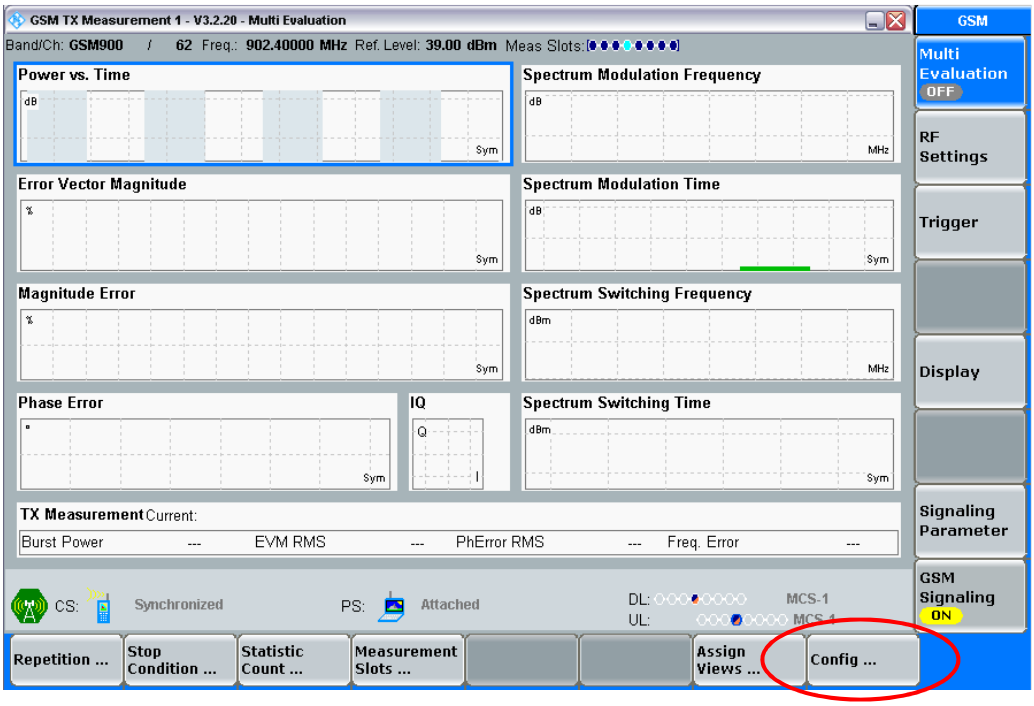


Fig. 7-13: Der noch leere Ergebnisbildschirm der Multi Evaluation Task

► Drücken Sie den Softkey *Config...*

Sie gelangen ins Menu *GSM Multi Evaluation Configuration*, siehe Fig. 7-14. Dort sind die meisten Unter-Ebenen geschlossen. Die "dahinterliegenden" Settings werden später bei den jeweils aktuellen Messungen detailliert behandelt.

Wichtig ist die Einstellung des *Scenario:*

► Stellen Sie *Combined Signal Path* ein.

Damit übernimmt die Task *GSM Multi Evaluation* viele Einstellungen aus dem Konfigurationsmenu der Signaling Task. Dies betrifft z.B. die Frequenzkanäle und die Ext. Attenuation.

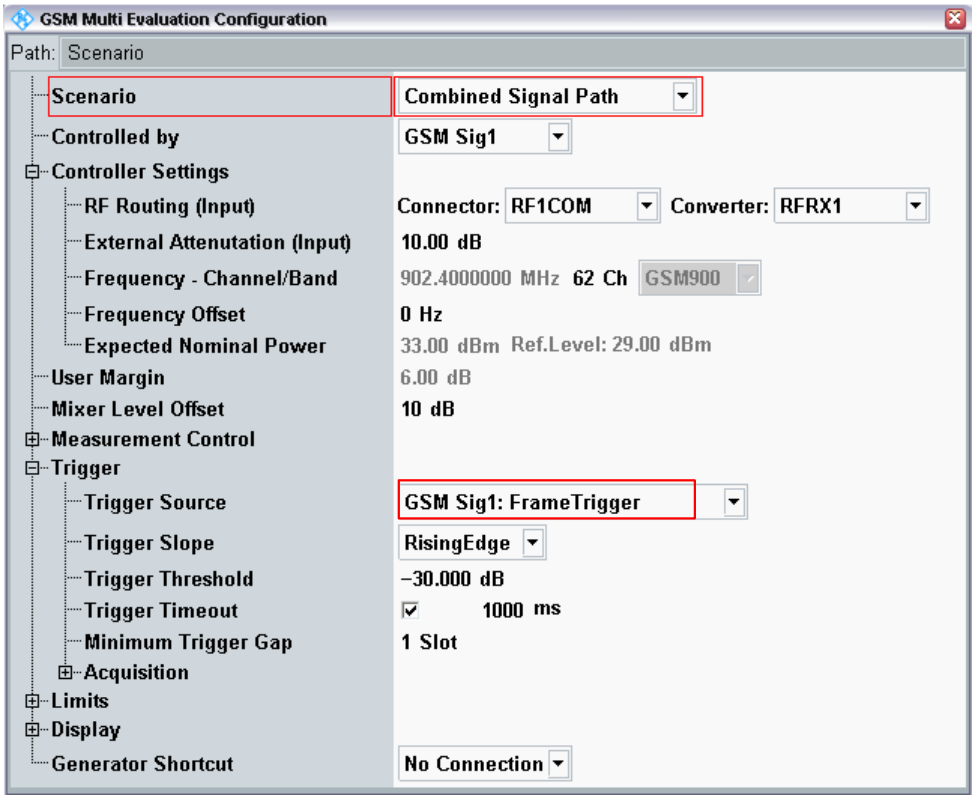


Fig. 7-14: GSM Muli Evaluation Configuration

Wichtig ist ebenfalls die Wahl der richtigen *Trigger Source:*

► Stellen Sie hier *GSM Sig1: Frame Trigger* ein.

Dadurch liefert die CMW-Software, nicht das DUT-Signal, den Trigger. Es gibt keine Einstellprobleme, die z.B. mit einem Power Trigger auftreten können.

Für alle anderen Parameter verwenden Sie die Default-Settings.

Damit ist die Konfiguration der Multi Evaluation-Task abgeschlossen.

► Drücken Sie die Gerätetaste *ESC*. Sie schließen damit das aktive Fenster und gelangen zurück ins Grundmenu der GSM Multi Evaluation.

7.5 Konfigurieren der RX-Task

► Drücken Sie in der Taskleiste *GSM - RX Meas.*

Sie gelangen damit ins noch leere Ergebnisfenster der RX Measurement Task:

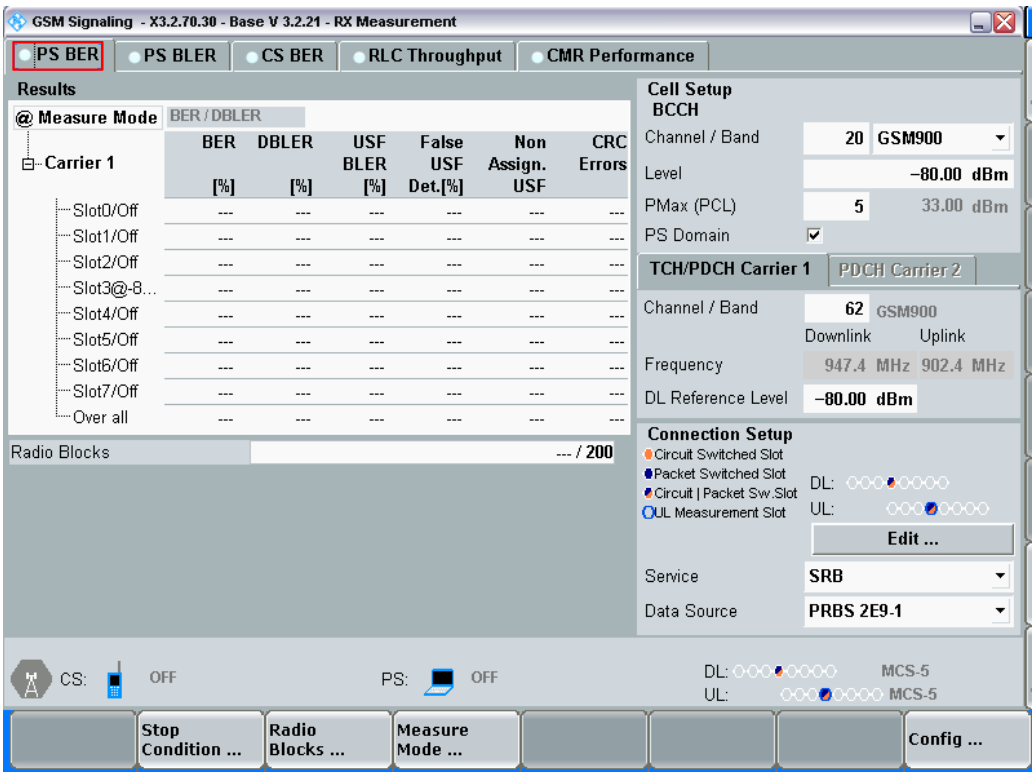


Fig. 7-15: Konfiguration der Mess-Modi für PS BER der RX Measurement Task

Über horizontale Tabs kann man hier verschiedene RX-Tests auswählen. Wir beschäftigen uns später ausführlicher mit den ersten drei.

- PS BER Packet Switched Bit Error Rate
- PS BLER Packet Switched Block Error Rate
- CS BER Circuit Switched Bit Error Rate

Für die PS BER-Messung setzen Sie

► *Stop Condition auf None*.

► *Radio Blocks auf 200*. Diese Anzahl an Radio Blocks entspricht einer Messzeit knapp unter 4 Sekunden.

► Measure Mode auf BER / DBLER. Damit werden jeweils Bit-Fehler (nicht Block-Fehler) gezählt.

► Kontrollieren und korrigieren Sie ggf. den *Service*. Er soll auf *SRB* (Switched Radio Block) stehen. Damit wird eine RX-Loop geschlossen, die Burst für Burst ohne Fehlerkorrektur zum Tester zurückspiegelt.

► Wählen Sie anschließend PS BLER.

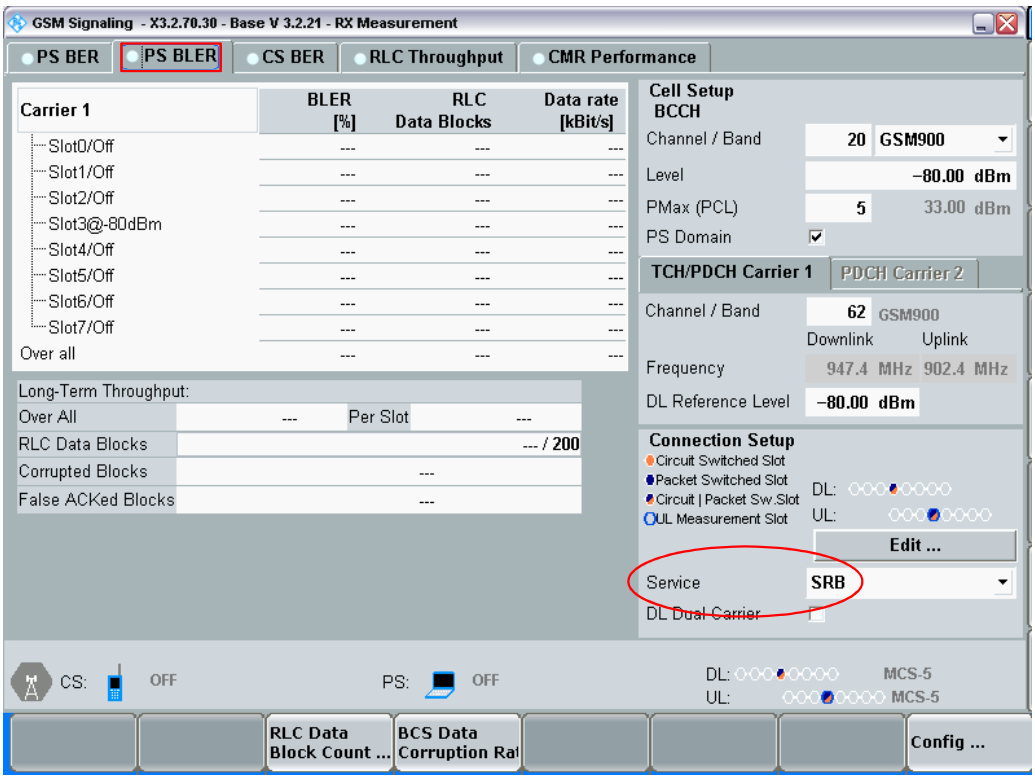


Fig. 7-16: Konfiguration der Mess-Modi für PS BLER der RX Measurement Task

Stellen Sie hier ein:

► RLC Data Block Count = 200.

Vor der Durchführung der PS BLER-Messung muss der *Service* (vor dem Verbindungsaufbau) auf *BLER* umgesetzt werden.

Wir lassen die Einstellung hier jedoch unverändert, weil der Parameter *Service* nur einmal für alle RX-Messungen vorhanden ist, und die Einstellung *SRB* für die PS BER-Tests, welche zuersts anfallen, gebraucht wird.

► Wählen Sie anschließend CS BER.

Setzen Sie wie in

► *Stop Condition auf None*. Eine andere Möglichkeit wäre, die Messung abzubrechen, wenn eine vorgebbare Fehlerrate überschritten wird.

► *Bursts auf 200*. Diese Anzahl an Radio Blocks entspricht einer Messzeit von ca. 1 Sekunde.

► Measure Mode auf Burst by Bursts. Damit wird (wie bei PS BER) eine RX-Loop geschlossen, die Burst für Burst ohne Fehlerkorrektur zum Tester zurückspiegelt.

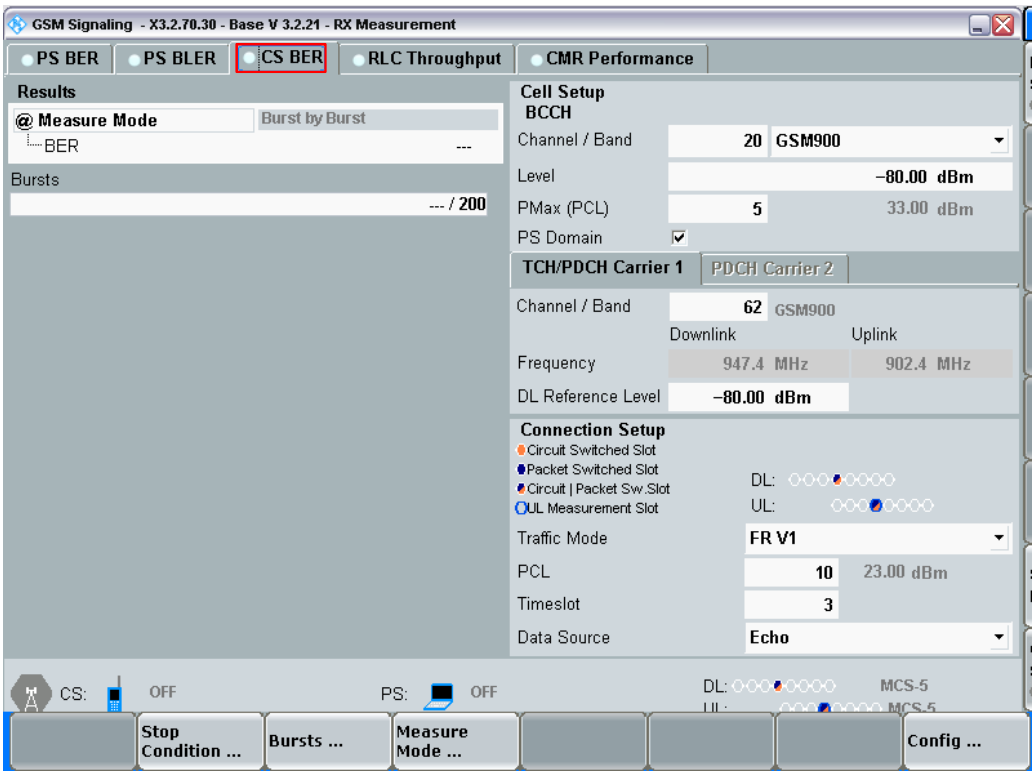


Fig. 7-17: Konfiguration der Mess-Modi für CS BER der RX Measurement Task

Damit ist die Konfiguration der RX Measurement-Task abgeschlossen.

7.6 Abspeichern der Geräte-Konfiguration

Nach der Konfiguration der Signaling-, der Multi Evaluation- und der RX-Task sollen die aktuellen Einstellungen des CMW als eigene erste Gesamtkonfiguration im Gerät abgespeichert werden.

Für diese Prozedur empfiehlt es sich, ein Keyboard und eine Mouse zu verwenden.

► Drücken Sie die Gerätetaste SAVE / RCL.

► Erzeugen Sie ein eigenes Verzeichnis (Softkey Add folder).

► Speichern Sie dort Ihre Gerätekonfiguration ab (Softkey Save) unter dem Namen ***LabConfig0.dfl***.

Im Versuch GSM Messungen: Burst Power and Timing wird diese Konfiguration wegen des dort genau ermittelten Betrags der *Externen Attenuation* noch einmal korrigiert. Daher darf dieser Versuch nicht übersprungen werden!

Wir werden diese erarbeitete Geräte-Konfiguration vor jedem der GSM-Versuche neu laden. Dadurch kann es nicht vorkommen, dass ungeeignete ggf. "versteckte" Einstellung unerwartete Probleme bereiten.

7.7 Verbindungsaufbau

Das zu testende Mobiltelefon soll zunächst noch ausgeschaltet sein.

► Starten Sie mit einem *RESET*[16] des CMW, laden Sie anschließend Ihre abgespeicherte Gerätekonfiguration *LabConfig0.dfl*.

► Gehen Sie ins *GSM Signaling-Grundmenu.*

► Schalten Sie die *GSM Signaling*-Task an.

Wenn der Connection Status für *Circuit Switched* und für *Packet Switched* jeweils auf *ON* gewechselt hat,

► schalten Sie Ihr DUT ein, und warten Sie, bis der *Circuit* bzw. der *Packet Switched-Status* auf *Synchronized* bzw. *Attached* gewechselt haben.

Wenn das Mobiltelefon nach max. 2 min noch nicht synchronisiert hat,

► Schalten Sie das Mobiltelefon und die Signaling Task aus.

► Überprüfen Sie die Verkabelung und die Pegeleinstellungen. Erhöhen Sie ggf. den Downlink-Pegel auf -60 dBm.

► Wiederholen Sie die beschriebenen Schritte (nach dem *RESET*).

Circuit Switched

► Drücken Sie den Softkey **CS** Connect.

► Wenn das DUT "klingelt", öffnen Sie die Schirmkammer und "heben" Sie ab.

► Schließen Sie die Schirmkammer wieder.

Packet Switched

► Drücken Sie den Softkey **PS** Connect.

Ein "Abheben" ist nicht nötig!

Wie lautet der Connection Status?

Mit welchem Pegel (dBm) soll das DUT senden?

Welcher Leistung (mW) entspricht dieser Pegel? (Pegel sind bezogene Größen, Einheit z.B. dBm. Leistungen sind absolute Größen, Einheit z.B. mW).

---

[16] In diesem Fall ist kein *PRESET* nötig, da alle Einstellungen neu geladen werden.

7.8 Starten der Measurement Task Multi Evaluation

► Drücken Sie in der senkrechten Softkey-Leiste *GSM 1 Multi Eval.*

► Drücken Sie die Gerätetaste *ON/OFF.*

7.9 Messergebnisse / Bildschirmfenster

Die Messungen starten. Sie erhalten einen Ergebnisbildschirm (Overview) vergleichbar mit der Aufzeichnung in Fig. 7-18.

Man bekommt hier einen raschen Überblick über das DUT-Sendesignal. Zu sehen sind 10 Ergebnis-Fenster mit haupsächlich graphischen Resultaten.

Bei den kommenden Messungen werden wir die jeweils wichtigen Fenster zur genaueren Ansicht auf Bildschirmgröße bringen. Dabei tauchen dann eine Reihe zusätzlicher Details auf, z.B. eine Skalierung, aber auch weitere Bedienelemente, die hier nicht sichtbar sind.

Fig. 7-18: GSM TX Overview

Im Fenster *Power vs. Time* sind die 8 Time Slots eines Frames zu sehen, den gefundenen Burst und (rot) das Power Template, das der Burst einhalten muss. Die Skalierung erfolgt automatisch.

Im Fenster Error Vectro Magnitude sehen wir einen Verlauf der EVM, bei der die ISI der GMSK-Modulation herausgerechnet wurde. (Wegen der ISI ist diese Messung im Standard bei GMSK nicht vorgesehen, kann aber in R&D sehr hilfreich sein.) Angezeigt werden hier maximal 149 Symbole, also etwas mehr als der Useful Part eines Bursts.

Im Fenster Magnitude Error und im Fenster Phase Error wird ebenfalls etwas mehr als der Useful Part eines Bursts angezeigt, wieder maximal 149 Symbole.

Das Fenster IQ dient dazu, schnell die Modulationsart zu erkennen.

Die Fenster Spectrum Modulation Frequency und Spectrum Switching Frequency zeigen die Anteile Due To Modulation und Due To Switching an den im Standard vorgeschriebenen festen Frequency Offsets. Eingeblendet sind die ETSI-Limits.

Die Fenster Spectrum Modulation Time und Spectrum Switching Time zeigen den zeitlichen Verlauf der Leistung bei einem der Frequency Offsets. Der Darstellbereich beim Spectrum Modulation Time ist etwas größer als ein Burst, beim Spectrum Switching Time beinahe 2 Frames.

Welche Ergebnis-Fenster überhaupt am Bildschirm erscheinen, wird in zwei Stufen bestimmt.

- Über den Softkey *Assign Views...*in der *GSM Multi Evaluation* Task wird festgelegt, welche Ergebnisse aus dem aufgezeichneten TX-Signal der MS evaluiert werden:

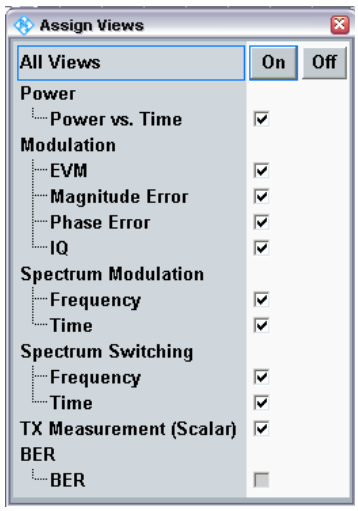


Fig. 7-19: Assigned Views

Müssen nicht alle Resultate evaluiert werden, deaktiviert man die betreffenden Checkboxen. Dadurch erhöht sich die Messgeschwindigkeit. Diese ist beim Handbetrieb nicht wichtig, so dass zunächst alle Views angeschaltet bleiben sollen.

- Über *Display / Select View...* kann man dann die ausgewählten Ergebnisse zusammen (als *Overview*) oder einzeln anzeigen; im letzten Fall werden sie dann auf Bildschimformat vergrößert.

Wird nur 1 Resultfenster angezeigt, nutzt der CMW die Anzeigefläche für weitere zusätzliche Informationen. Es gibt z.B. bei der Burst Power jetzt numerische Angaben über die Leistungen in den einzelnen Slots, die jeweilige Training Sequence TSC, den Burst Typ und das relative Burst-Timing. Oder es lassen sich verschiedene Mess-Modi einstellen, z.B. Min / Max / Average. Darüberhinaus sind die Graphik-Darstellungen jetzt skalierbar.

Statt der graphischen Ergebnisdarstellung lassen sich die meisten Messergebnisse auch als ausschließlich numerische Größen ausgeben.

Außer mit den aktuellen Messergebnissen hält der CMW den Benutzer im Feld über der waagrechten Softkey-Leiste über den Status der Verbindung auf dem Laufenden, siehe Fig. 7-18 auf Seite 64.

Sie sehen hier (wieder an der grünen Wolke), dass Signaling aktiv ist. Es ist ein CS Call aufgebaut (*CS CALL Established*). Up- und Downlink verwenden im Downlink DL und Uplink UL Time Slot 3 (blau / orange Markierung). Bei einer PS-Verbindung wäre das *Modulation and Coding Scheme 5 (MCS-5*) im Einsatz. Up- und Downlink-Slots 3 sind für CS und PS vorgewählt.

Hinweis: Der CMW zeigt nur Messergebnisse an, wenn ein Signal gefunden wird. D.h., der Idle Burst kommt nicht zur Anzeige!

► Probieren Sie verschiedene Resultfenster.

► Variieren Sie die Einstellungen, die hinter den Softkeys *Repetition, Stop Condition, Statistic Count und Measurement Slots* stecken.

► Beenden Sie die CS- oder PS-Verbindung (GSM Signaling / ... Disconnect).

► Üben Sie jetzt den Verbindungs Auf- und Abbau sowie den Wechsel zwischen Signalisierungs- und Multi Evaluation-Task und den jeweiligen Konfigurationen.

► Verstellen Sie während einer CS- und während einer PS-Messung den Uplink-Pegel (im Connection Setup).

► Repetieren Sie Kapitel 5, Ablauf von Mobilfunkmessungen.

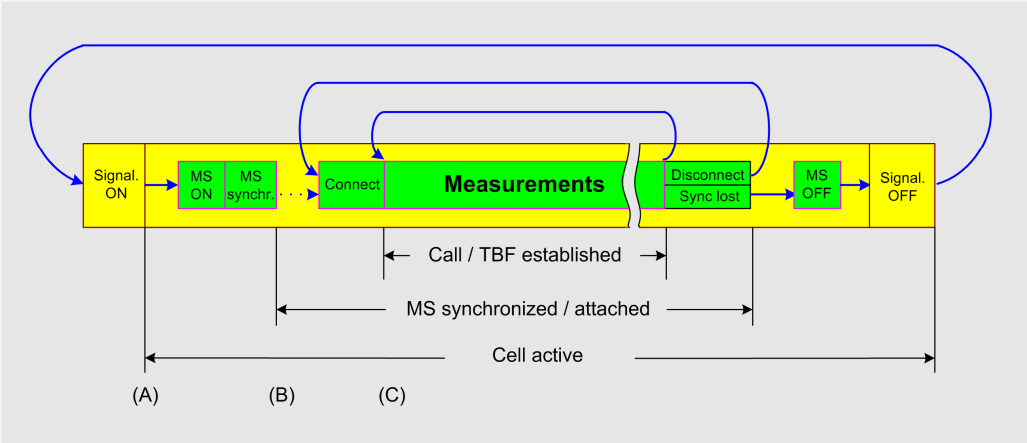


Fig. 7-20: Schematischer Ablauf der Mobilfunkmessungen

Nach diesen Vorarbeiten sind Sie sicher in der Lage, die in den folgenden Kapiteln besprochenen vier wichtigen GSM-Messungen durchzuführen.

8 GSM Messungen: Burst Power and Timing

In diesem Abschnitt geht es darum, die Bursts einer Gesprächs- und einer Datenverbindung zu vergleichen. Im Blickpunkt stehen die Power versus Time PvT und die IQ-Konstellation.

Vorher wird noch die Einfügungsdämpfung der HF-Messpfade fein justiert. Die sich dadurch ergebende neue Gerätekonfiguration wird die bisherige erste Gerätekonfiguration ersetzen.

Vorbereitungen

Das zu testende Mobiltelefon soll zunächst noch ausgeschaltet sein.

► Starten Sie mit einem *RESET* des CMW, laden Sie anschließend Ihre abgespeicherte Gerätekonfiguration *LabConfig0.dfl*.

► Gehen Sie ins *GSM Signaling-Grundmenu.*

► Schalten Sie die *GSM Signaling*-Task an.

Wenn der Connection Status für *Circuit Switched* und für *Packet Switched* jeweils auf *ON* gewechselt hat,

► schalten Sie Ihr DUT ein, und warten Sie, bis der *Circuit* bzw. der *Packet Switched-Status* auf *Synchronized* bzw. *Attached* gewechselt haben.

► Starten Sie eine Circuit Switched Verbindung.

► Wechseln Sie zur Multi Evaluation Task.

► Starten Sie die Multi Evaluation Task.

8.1 Kompensieren der ext. Attenuation

Nehmen wir an, dass das DUT bei PCL 10 (dem aktuellen Default-Wert) mit genau dem richtigen Pegel sendet. Dann können wir die External Attenuation exakt kompensieren.

Fig. 8-1 auf Seite 68 zeigt die aktuelle Burst Power, die der CMW im Versuchsaufbau der Application Note misst.

Die Abweichung des Pegels vom Idealwert 23 dBm beträgt hier 0.57 dB.

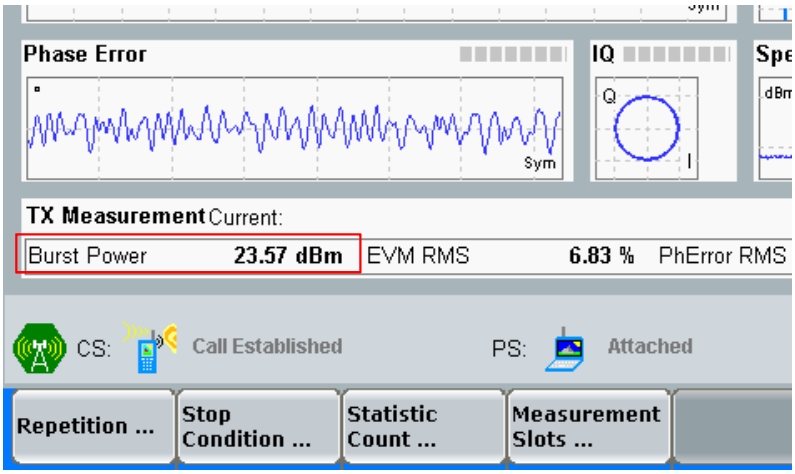


Fig. 8-1: Burst Power, numerical result

► Gehen Sie ins Configurationsmenu der Signaling Task (GSM Signaling, Config) und korrigieren Sie die External Attenuation des RF Inputs (Uplink-Signal) um den Betrag der Abweichung, den Sie festgestellt haben, siehe Fig. 8-2.

Der TCH/PDCH Up- und Downlink verwenden das gleiche Kabel. Daher gilt für den TCH/PDCH RF Output die gleiche External Attenuation.

Die Up- und Downlink-Frequenzen liegen nicht sehr weit auseinander. Man kann daher davon ausgehen, dass die gleiche Dämpfung auch für den RF Output des BCCH gilt.

► Korrigieren Sie die External Attenuations der beiden RF Outputs ebenfalls entsprechend.

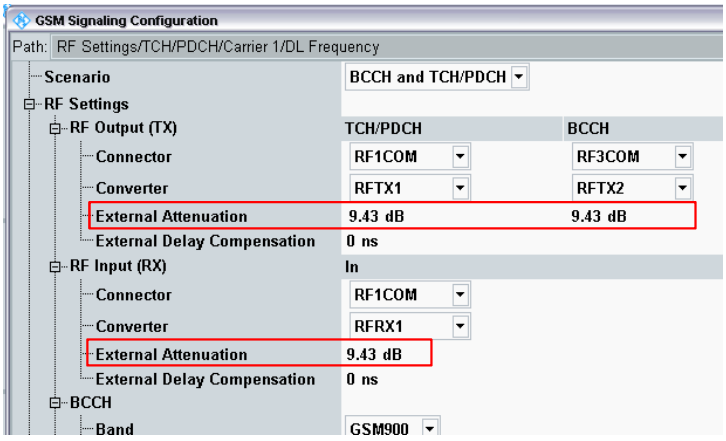


Fig. 8-2: Feinkorrektur der Ext. Attenuation

► **Speichern Sie die aktuelle Konfiguration des CMW als neue Grundkonfiguration ab unter dem Namen *LabConfig.dfl*.**

Die External Attenuation des RF Input-Pfads könnte man auch im Config Menu der Multi Evaluation Task vornehmen. Kann man dort auch die External Attenuation des RF Output-Pfades einstellen? Warum (nicht)?

8.2 Power versus Time / Circuit Switched

Wenn die Circuit Switched Verbindung nicht mehr existiert,

- ► Starten Sie eine Circuit Switched Verbindung.
- ► Wechseln Sie zur Multi Evaluation Task.
- ► Starten Sie die Multi Evaluation Task.
- ► Vergrößern Sie das Fenster Power vs. Time auf Vollbild (*Display / Select View / Power vs. Time*).

Sie sehen jetzt außer der Timing-Darstellung auch eine Tabelle mit numerischen Ergebnissen für alle 8 Slots eines Frames.

Aktiv ist der Timeslot 3. Der CMW detektiert einen Normal Burst (NB) mit der Trainingssequenz (TSC) 0. Das Modulationschema ist GMSK.

- ► Vergrößern Sie die Darstellung des aktiven Burst in x-Richtung (*Display / X-Scale*)
- ► Ändern Sie ggf. den Ausschnitt in Y-Richting.

Welcher Ripple ist festzustellen? Welcher Ripple wäre theoretisch zu erwarten?

Was ist in der Gegend der Trainingssequenz zu beobachten?

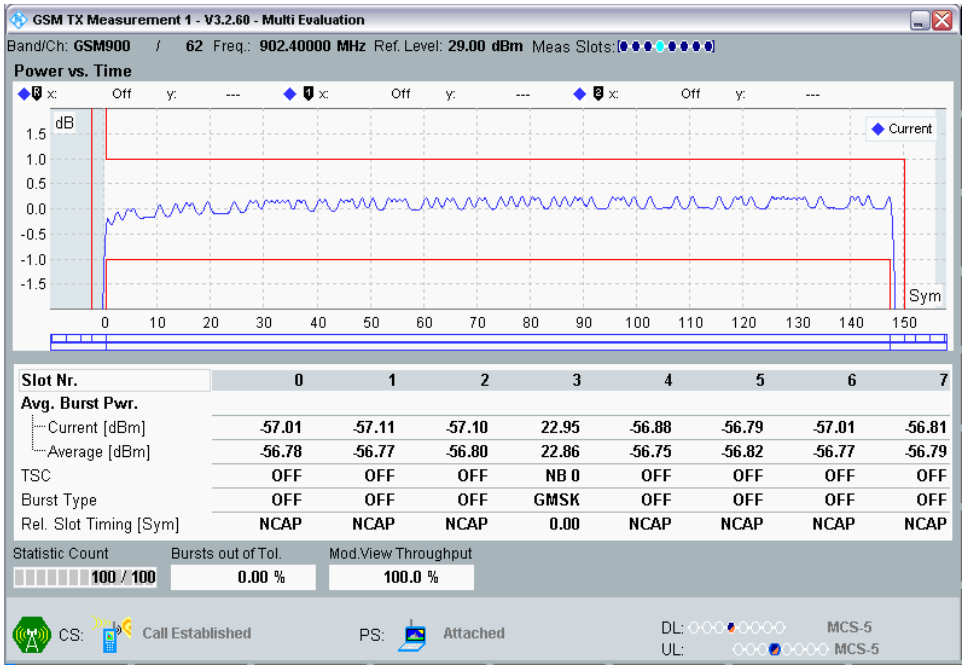


Fig. 8-3: CS: Power versus Time

► Wechseln Sie auch die Trace-Darstellungen (*Select Trace*...)

Überprüfen Sie, was geschieht, wenn die Messbandbreite vergrößert wird:

► Stellen Sie die Messbandbreite auf 1 MHz. (*Config* der Multi Eval.-Task, *PvT-Filter*)

Fig. 8-4: Änderung der Messbandbreite

Wie ist der festgestellte GMSK-Ripple begründet?

Limits

In der blauen waagrechten Schiene unterhalb der Timing-Darstellung wird angezeigt, wenn obere Limit-Lines überschritten und untere unterschritten wurden. Wahrscheinlich hält Ihr DUT alle Grenzwerte ein. Wir simulieren eine Limit-Verletzung.

Dies kann man z.B. dadurch erreichen, indem man im Config-Menu der Multi Evaluation-Task die Limits (das Template) verschärft.

Wir wählen eine andere Möglichkeit, wir reduzieren die Uplink-Power.

Wie wird die Uplink-Power des DUTs gesteuert?

Im Konfigurationsmenu der Signaling Task stellt man nicht nur den PCL für die Uplink Power ein, sondern auch den Aussteuerbereich des CMW, siehe Fig. 8-5 auf Seite 71.

Es geht dabei darum einzustellen, welcher maximale Pegel an den Eingangsbuchsen zu erwarten ist.

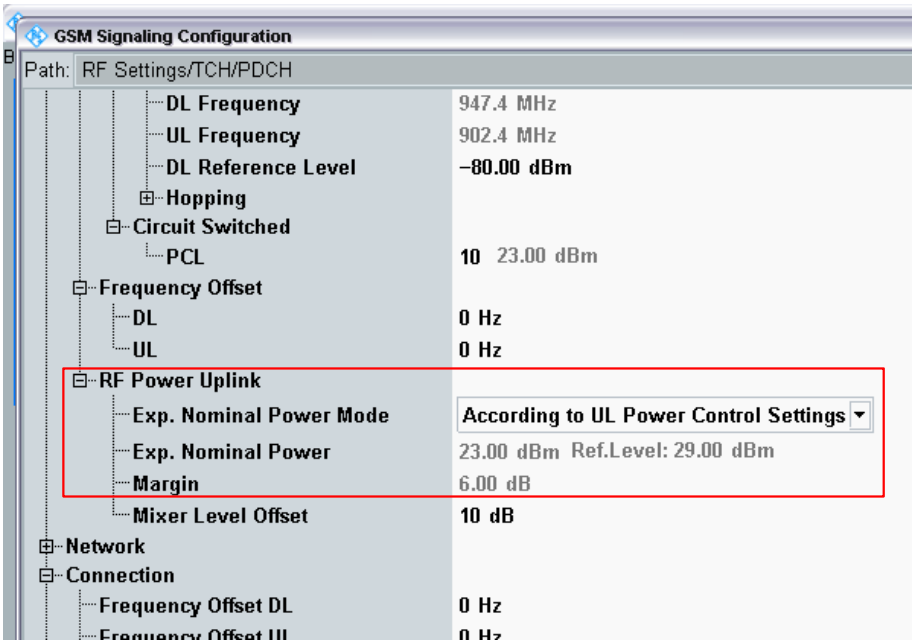


Fig. 8-5: Aussteuerungseinstellungen für den RX des CMW

Mit der Einstellung *According to UL Power Control Settings* geht der CMW von genau der *Expected Nominal Power* aus, die er am DUT eingestellt hat (in diesem Fall 23 dBm mittels PCL10).

Als Reserve räumt das Instrument (bei GMSK-Modulation) einen *Margin* von 6 dB ein, so dass sich daraus ein *Ref.Level* von 29 dBm ableitet. Dieser erscheint auch am Bildschirm in der Kopfzeile jeder Ergebnisdarstellung.

(Belassen Sie die Einstellung des *Mixer Level Offset* beim Default-Wert.)

► Stellen Sie im Konfigurationsmenu der Signaling Task (*GSM Signaling / Config*) die *Expected Nominal Power* auf *Manual*.

► Stellen Sie den Power Control Level *PCL* auf 31, siehe Fig. 8-6 auf Seite 72.

Welcher Leistung (in mW) entspricht dieser Level?

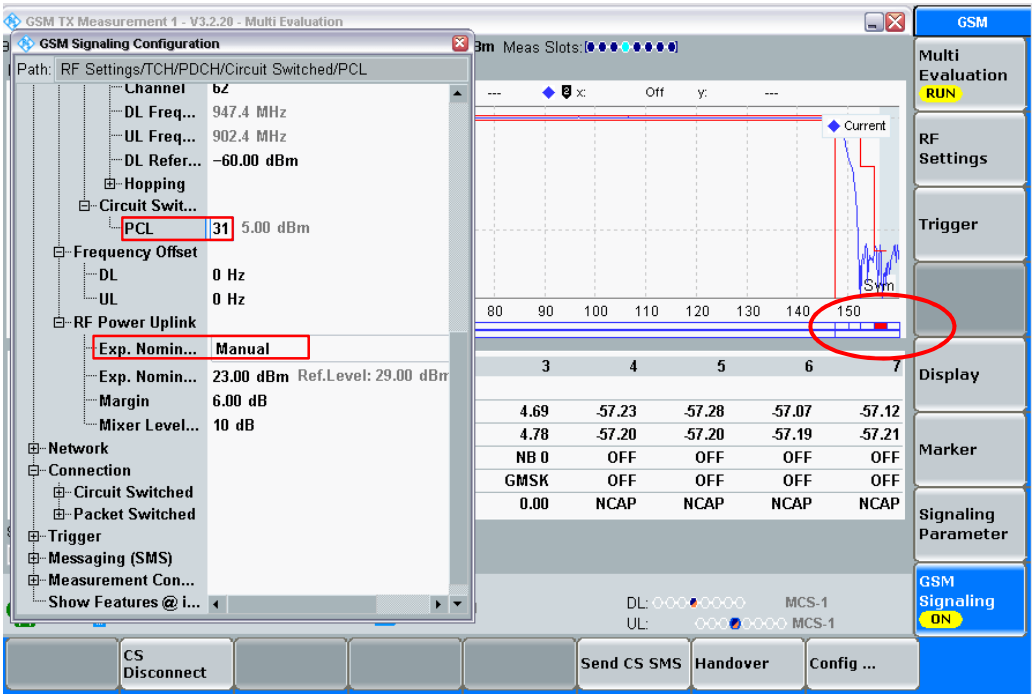


Fig. 8-6: Limit Violation beim Power Template

Sie sehen jetzt am Ende des Bursts eine Verletzung des Templates. Fällt das DUT hier wirklich aus der Toleranz, oder liegt ein Messfehler vor?

► Stellen Sie anschließend im Konfigurationsmenu der Signaling Task (*GSM Signaling / Config*) die Expected Nominal Power auf 5 dBm.

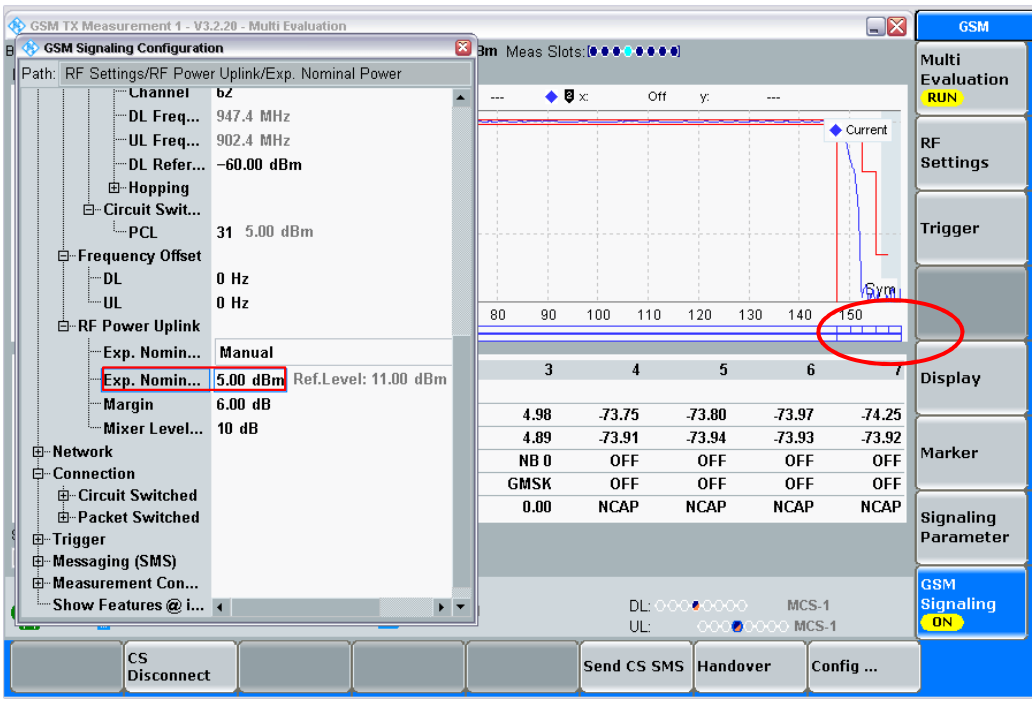


Fig. 8-7: Power versus Time im richtig eingestellten Arbeitsbereich des CMW-Receivers

Wird das Template noch verletzt? Warum nicht mehr?

► Machen Sie sich weiter mit der Timing-Darstellung vertraut. Beobachten Sie zusätzliche Burst-Details, beispielsweise über Display / Display Areas.

Fig. 8-8: Unterschiedliche Display Ausschnitte

► Beenden Sie die Session mit *CS Disconnect* (Task *GSM Signaling*).

► Schalten Sie das Mobiltelefon aus.

Timing und Konstellation

► Starten Sie mit einem *RESET* des CMW, laden Sie anschließend Ihre abgespeicherte Gerätekonfiguration *LabConfig.dfl*.

Warum?

► Gehen Sie ins *GSM Signaling-Grundmenu.*

► Schalten Sie die *GSM Signaling*-Task an.

Wenn der Connection Status für *Circuit Switched* und für *Packet Switched* jeweils auf *ON* gewechselt hat,

► schalten Sie Ihr DUT ein, und warten Sie, bis der *Circuit* bzw. der *Packet Switched-Status* auf *Synchronized* bzw. *Attached* gewechselt haben.

► Starten Sie (wieder) eine Circuit Switched Verbindung.

► Wechseln Sie zur Multi Evaluation Task.

► Starten Sie die Multi Evaluation Task.

Wählen Sie, welche Auswertungen (Evaluations) stattfinden sollen:

► Wählen Sie unter *Assign Views...* *Power vs. Time und IQ*.

(Schalten Sie alle anderen Evaluations ab.)

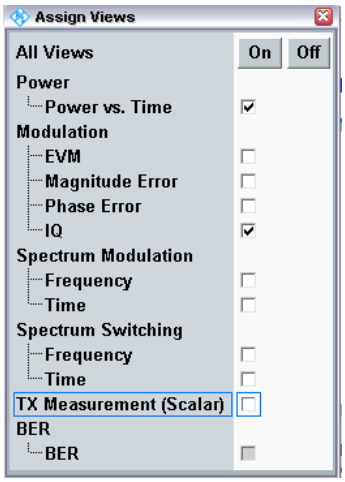


Fig. 8-9: Evaluation von nur zwei Ergebnissen

Wählen Sie, welche Evaluations angezeigt werden sollen:

► Wählen Sie unter Display / Select View *Power vs Time.*

Nur *Power vs. Time* wird angezeigt.

► Wählen Sie unter *X-Scale* XMax = 160, XMin = -10.

► Wählen Sie unter *Y-Scale* YMax = 5 dBm, YMin = -20 dBm.

Die Möglichkeit einer Skalierung ist nur vorhanden, wenn der Bildschirm exklusiv für eine Ergebnis, hier *Power versus Time,* reserviert ist!

► Wählen Sie jetzt unter Display / Select View *Overview*.

Nun werden *Power vs. Time* und *IQ* dargestellt. (Die Möglichkeit einer Skalierung der Timing-Darstellung ist jetzt nicht mehr gegeben.)

Sie erhalten eine Darstellung ähnlich Fig. 8-10:

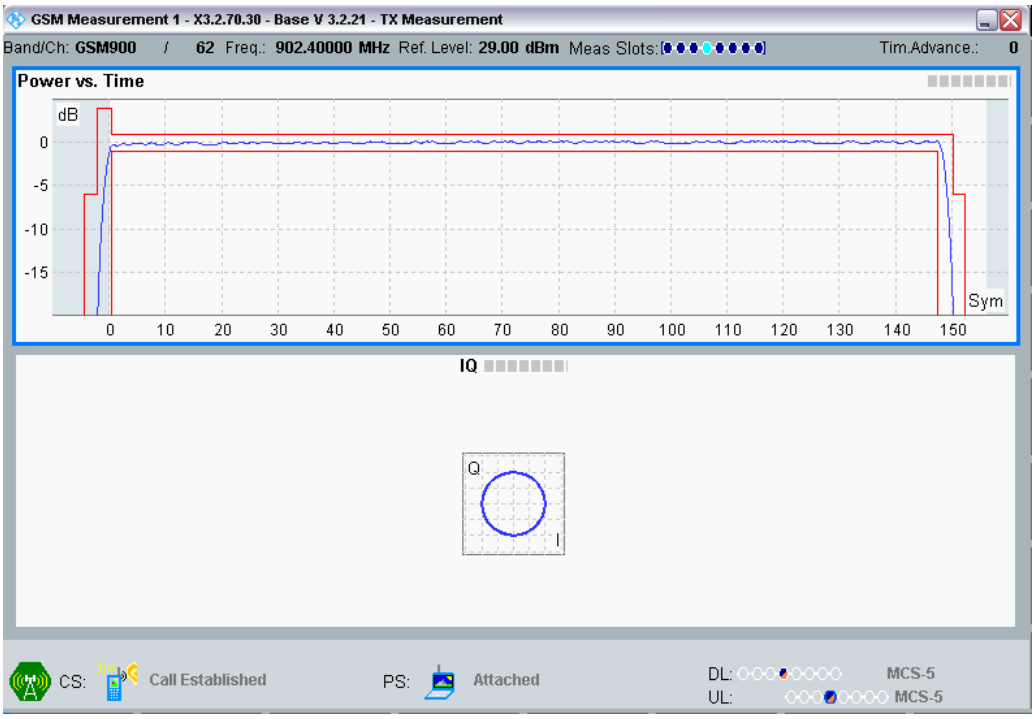


Fig. 8-10: Kombination von Power versus Time und IQ (GMSK)

Welche Modulation liegt vor?

Wie würde sich ein deutlicher Crestfaktor in der IQ-Darstellung sichtbar machen?

► Beenden Sie die CS-Verbindung.

8.3 Power versus Time / Packet Switched

Ist der Verbindungsstatus noch Synchronized und Attached?

► Starten Sie eine Packet Switched Connection.

Sie erhalten eine Darstellung ähnlich Fig. 8-11:

Fig. 8-11: Kombination von Power versus Time und IQ / PS

Was hat sich beim Signal gegenüber der CS-Verbindung geändert?

Was hat sich beim Template gegenüber der CS-Verbindung geändert?

Welche Modulation ist erkennbar?

Mit welcher Burst Power wurde gemessen (Gamma ist eingestellt im Signaling Grundbildschirm / Connection Setup / Edit)?

► Kontrollieren Sie in der Konfiguration des Signaling Menus die *Exp. Nominal Power*.

Welchen Margin hat der CMW hier automatisch eingestellt?

Warum?

Sind die Signalspitzen nach "oben" und "Unten" gleich groß?

Bei der hier konfigurierten Packet Switched Verbindung ist MCS-5 mit 8-PSK eingestellt. Dies gilt für eine Datenübertragung.

Wie bei Circuit Switched-Verbindungen mit den Kanälen SACCH / FACCH gibt es auch hier auf dem Traffic Channel zwischendurch Signalisierung, und zwar über den Packet Timing Control Channel PTCCH. Dieser Kanal ist nicht mit 8-PSK, sondern mit GMSK moduliert! Der PTCCH tritt hier im Messszenario (bei unveränderten Signal-Laufzeiten) selten auf, lässt sich aber mit dem CMW detektieren.

Schalten Sie im *Config-Menu* der *Multi Evaluation Task* das Anzeige-Filter *(Modulation View)* auf *GMSK*, siehe Fig. 8-12.

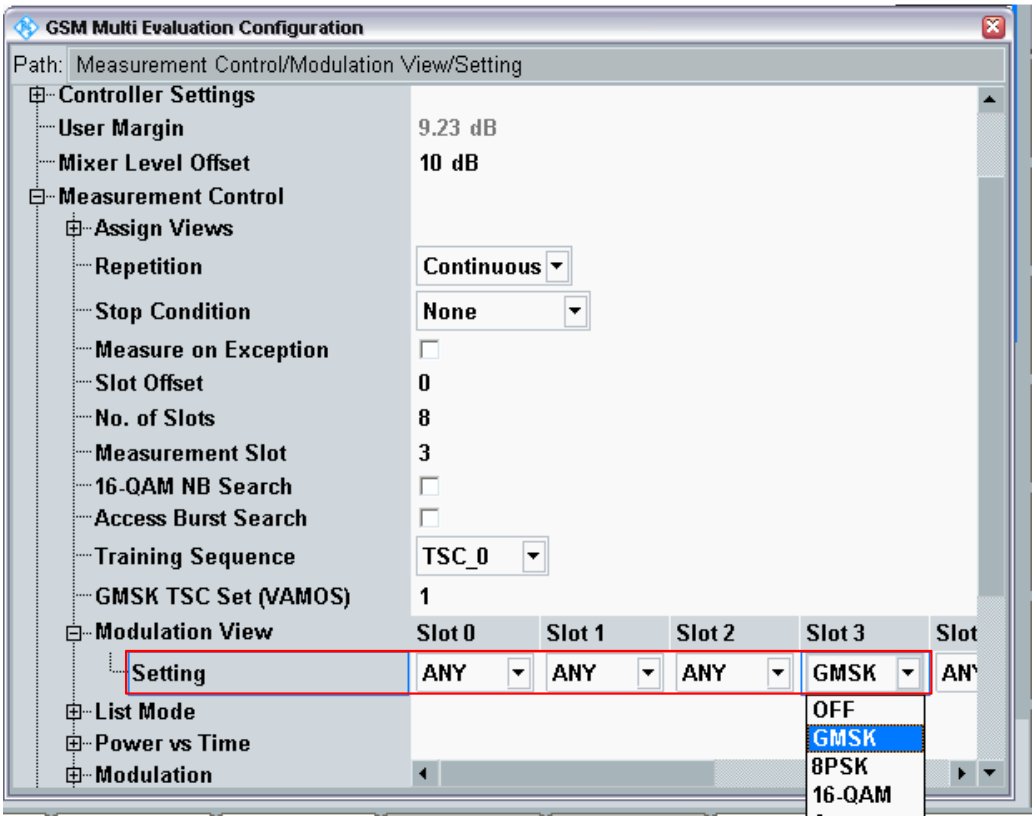


Fig. 8-12: Auswahl der anzuzeigenden Modulation

Wenn Sie jetzt das Konfigurationsfenster schließen, sehen Sie diesen GMSK-Burst, siehe Fig. 8-13 auf Seite 78.

Dieser Kanal ist selten belegt, daher blinkt permanent die Fehlermeldung *Input Underdriven*.

(Der CMW zeigt nur Messergebnisse an, wenn ein Signal gefunden wird.)

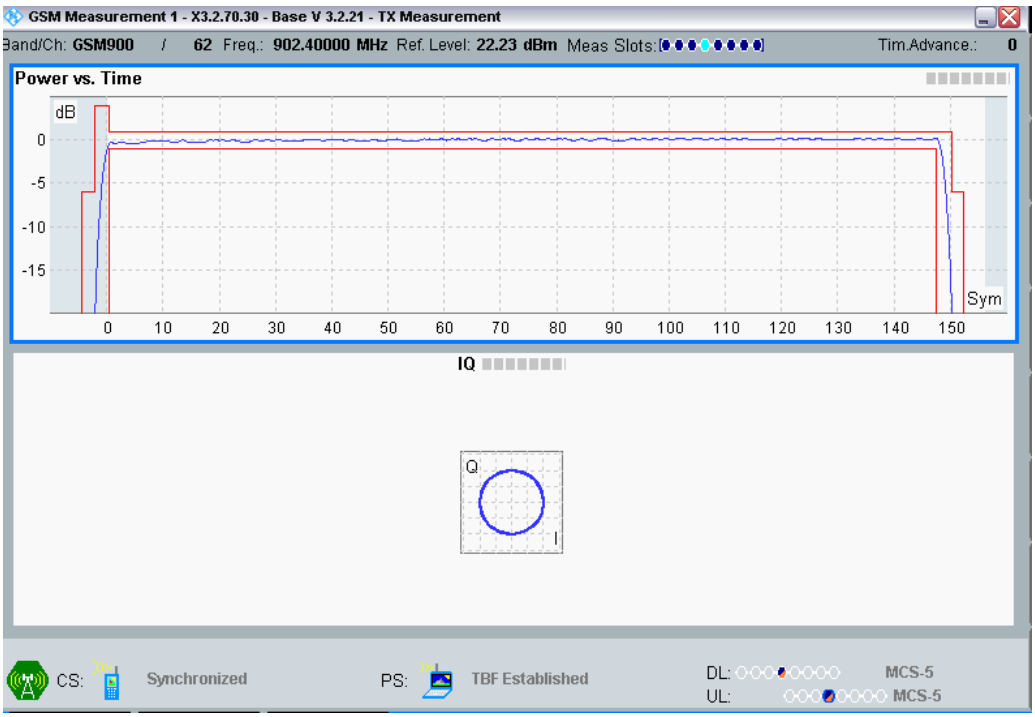


Fig. 8-13: Signaling Burst bei einer PS-Verbindung

Fassen Sie die Ergebnisse der Messungen am Burst mit eigenen Worten zusammen (Unterschiede CS / PS bezüglich Signalform und Modulation, Crest-Faktor, etc.)

9 GSM-Messungen: Modulation Quality

Im Mittelpunkt dieses Kapitels steht die Modulationsqualität eines Mobiltelefons. Wir untersuchen die

- Error Vector Magnitude EVM[17], den
- Magnitude Error und den
- Phase Error.

In allen Fällen geht es um die Abweichung des IQ-Vektors von der theoretisch idealen Position. Die Messungen erfolgen im CMW am ins Basisband herunterkonvertierten HF-Signal. Hier kann man außerdem folgende weitere Größen ermitteln:

- IQ-Offset (Verschiebung der Konstellation aus der zentrierten Position),
- IQ-Imbalance (Unsymmetrien der Konstellation),
- Frequency Error
- Timing Error

Ziel dieses Kapitels ist herauszufinden, ob und wie sich die Modulationsqualität ändert, wenn man die Sendeleistung variiert oder das Modulation and Coding Scheme MCS wechselt.

Vorbereitungen

Das DUT soll zunächst noch ausgeschaltet sein.

► Starten Sie mit einem *RESET* des CMW, laden Sie anschließend Ihre abgespeicherte Gerätekonfiguration *LabConfig.dfl*.

► Gehen Sie ins *GSM Signaling-Grundmenu.*

► Schalten Sie die *GSM Signaling*-Task an.

Wenn der Connection Status für *Circuit Switched* und für *Packet Switched* jeweils auf *ON* gewechselt hat,

► schalten Sie Ihr DUT ein, und warten Sie, bis der *Circuit* bzw. der *Packet Switched-Status* auf *Synchronized* bzw. *Attached* gewechselt haben.

► Starten Sie eine Circuit Switched Verbindung.

► Wechseln Sie zur Multi Evaluation Task.

► Starten Sie die Multi Evaluation Task.

---

[17] Für GMSK-Modulation ist wegen der Intersymbol-Interferenz ISI im Standard keine EVM definiert. Der CMW kompensiert daher in einem ersten Schritt die ISI und berechnet die EVM als Abweichung von den dann eindeutigen Endpunkten der IQ-Vektordrehung.

9.1 Error Vector Magnitude EVM

Error Vector Magnitude EVM / Circuit Switched

► Wählen Sie unter *Display / Select View...* die *EVM*

► Wählen Sie unter *Display / Select Trace* alle drei Traces

► Passen Sie ggf. den Maßstab *Y Scale* etwas an.

Welcher PCL ist eingestellt?

Fig. 9-1 zeigt typische Messergebnisse:

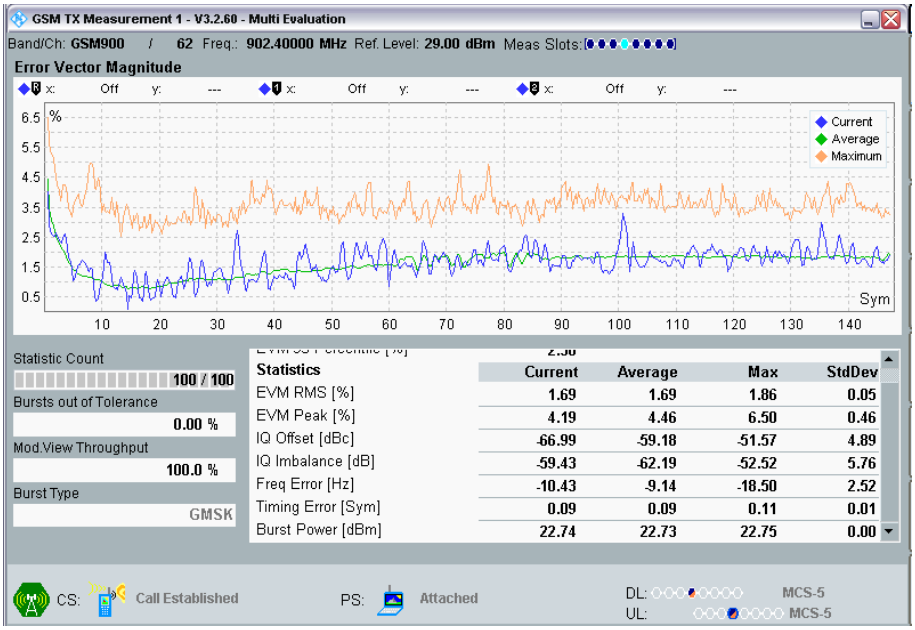


Fig. 9-1: CS Error Vector Magnitude versus Time

Current (blau) zeigt die EVM pro Symbol im aktuellen Slot.

Average (grün) mittelt die EVM-Werte pro Symbol über die Anzahl der Slots, die als *Statistic Counts eingetragen ist*.

Maximum (orange) nimmt den jeweils größten EVM-Wert pro Symbol aus derselben Anzahl der Slots.

Die EVM in Fig. 9-1 ist relativ niedrig. Sie ist am größten zu Beginn des Bursts, fällt dann ab und bleibt in etwa bis zum Ende des Bursts konstant.

► Beschreiben Sie kurz den Verlauf Ihrer Kurven.

► Richten Sie eine Tabelle ein wie Table 9-1 auf Seite 81. Tragen Sie dort bei medium Power die skalaren Average-Werte der EVM RMS und der EVM Peak ein.

► Messen Sie anschließend bei PCL= 0 und PCL = 31, vergleichen Sie den Verlauf der Kurven, und tragen Sie wieder die jeweiligen Average RMS- und Peak-Werte in Ihre Tabelle bei high und bei low Power ein.

Modulation Quality			
Power	**low**	**medium**	**high**
CS EVM RMS	2.39 %	1.69 %	1.20 %
CS EVM Peak	4.14 %	4.46 %	3.81 %
PS EVM RMS			
PS EVM Peak			

Table 9-1: CS Modulation Quality: EVM

Mit welcher Leistung sendete Ihr Mobiltelefon bei PCL = 0? Welche maximale Leistung war bei Ihrem Mobiltelefon bei den MS Capabilities für GSM900 / CS spezifiziert?

Ist die Midamble erkennbar?

Zeigt sich bei Ihren Messungen eine deutliche Abhängigkeit der EVM von der Sendeleistung?

Bei dem für die Application Note verwendeten Mobiltelefon ist keine Abhängigkeit der EVM (bei einer CS-Verbindung) von der Sendeleistung festzustellen. Auch der Verlauf der EVM über die Zeit ist bei den drei Sendeleistungen vergleichbar (größter Fehler am Anfang). Die rauschähnlichen Kurven zeigen keine ausgeprägten Spitzen.

► Trennen Sie die CS-Verbindung. Wenn das DUT dabei die PS-Synchronisation aufhebt (PS-Status nicht mehr *Attached*), warten Sie, bis sich der Status *Attached* wieder einstellt.

Error Vector Magnitude EVM / Packet Switched

► Starten Sie eine Packet Switched Verbindung.

► Messen Sie die EVM (mit dem Default-Wert Gamma = 13).

Fig. 9-2 auf Seite 82 zeigt typische Messergebnisse:

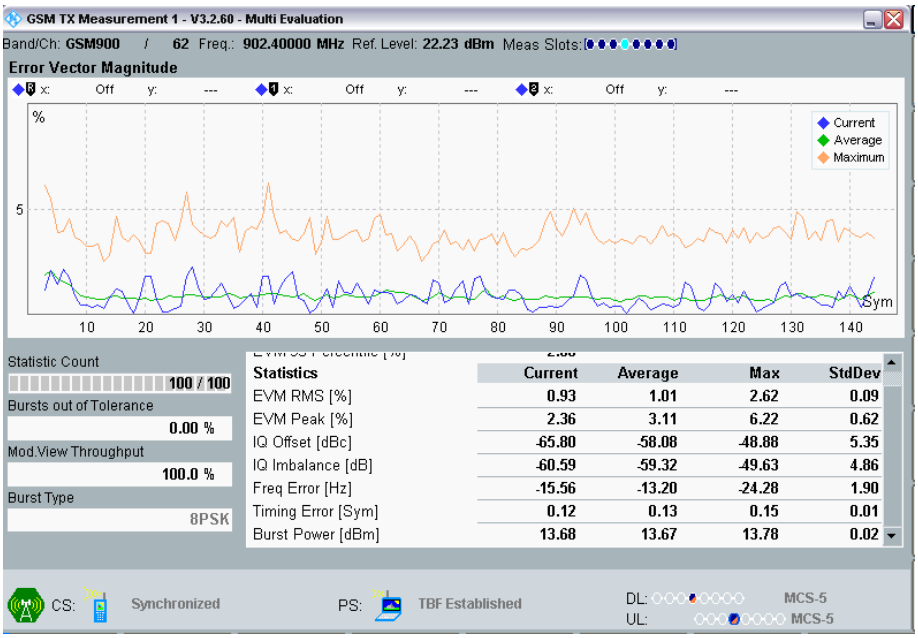


Fig. 9-2: PS Error Vector Magnitude versus Time

► Beschreiben Sie wieder kurz den Verlauf Ihrer Kurven, und tragen Sie wieder die jeweiligen Average RMS- und Peak-Werte in Ihre Tabelle ein (Power = medium).

► Messen Sie anschließend mit Gamma = 0 und Gamma = 17, vergleichen Sie den Verlauf der Kurven, und tragen Sie Ihre Messergebnisse ebenfalls in Ihre Ergebnistabelle ein.

Table 9-2 zeigt typische Messergebnisse:

Modulation Quality			
Power	**low**	**medium**	**high**
CS EVM RMS	2.39 %	1.69 %	1.20 %
CS EVM Peak	4.14 %	4.46 %	3.81 %
PS EVM RMS	0.95 %	1.01 %	1.00 %
PS EVM Peak	2.93 %	3.11 %	3.02 %

Table 9-2: CS und PS Modulation Quality: EVM

Mit welcher Leistung sendete Ihr Mobiltelefon jeweils? Für welche maximale Leistung war Ihr Mobiltelefon bei den MS Capabilities für GSM900 / PS spezifiziert?

Zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der EVM von der Sendeleistung?

Bei dem für die Application Note verwendeten Mobiltelefon ist auch bei einer PS-Verbindung keine signifikante Abhängigkeit der EVM von der Sendeleistung festzustellen. Auch der Verlauf der EVM über die Zeit ist bei den drei Sendeleistungen vergleichbar (die Werte sind gleichmäßig über den Burst verteilt).

► Vergleichen Sie die Messergebnisse für CS und PS.

Sind deutliche Unterschiede erkennbar?

Bei dem für die Application Note verwendeten Mobiltelefon sind keine deutlichen Unterschiede zwischen CS und PS, d.h. zwischen GMSK- und 8PSK-Modulation, erkennbar. Ausgeprägtere EVM-Spitzen der 8PSK-Bursts können daher rühren, dass bestimmte Symbolfolgen größere IQ-Sprünge erfordern.

Betrachten Sie noch einmal die Funktionsblöcke der Übertragungskette in Fig. 9-3.

Wo entstehen die Modulationsfehler?

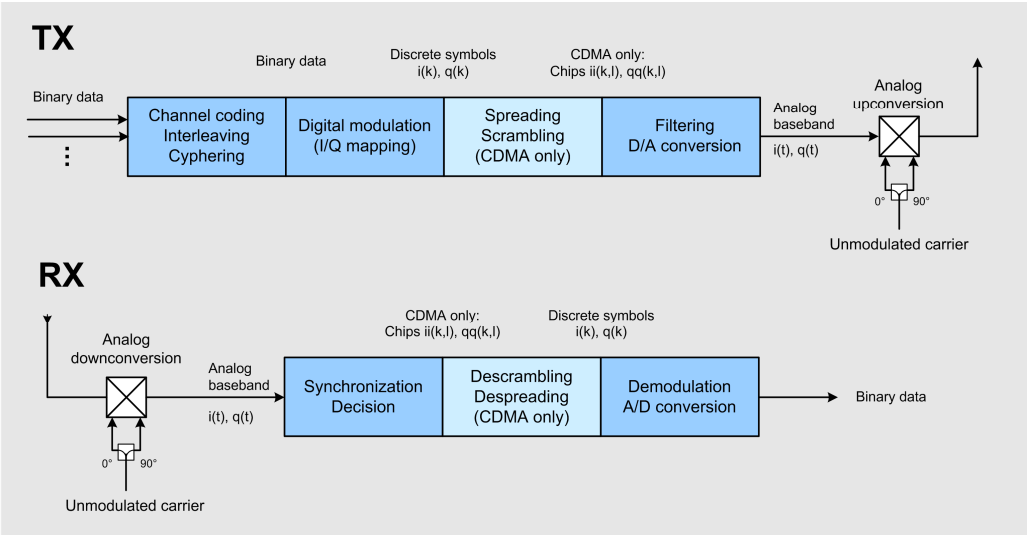


Fig. 9-3: Die Mobilfunk-Übertragungskette

► Trennen Sie die PS-Verbindung.

9.2 Magnitude Error

Ermitteln und beurteilen Sie in ähnlicher Weise den Magnitude Error (*Display / Select View.../ Magnitude Error*).

► Messen Sie bei einer CS-Verbindung mit den Pegel PCL = 0, 10 und 31.

► Beurteilen Sie den Kurvenverlauf der drei Messungen.

► Tragen Sie die Average-Werte in eine Tabelle ein.

Fig. 9-5 zeigt typische Messergebnisse für Circuit Switched:

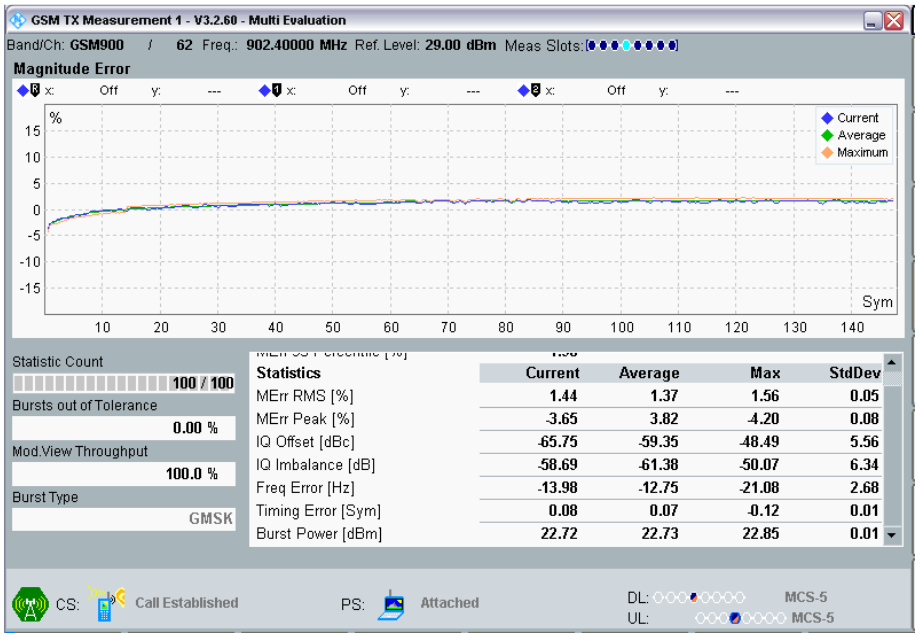


Fig. 9-4: CS Modulation Quality: Magnitude Error

► Messen Sie bei einer PS-Verbindung mit Gamma = 0, 13 und 17.

► Beurteilen Sie den Kurvenverlauf der drei Messungen.

► Tragen Sie die Average-Werte in eine Tabelle ein.

Fig. 9-5 auf Seite 85 zeigt typische Messergebnisse für Packet Switched:

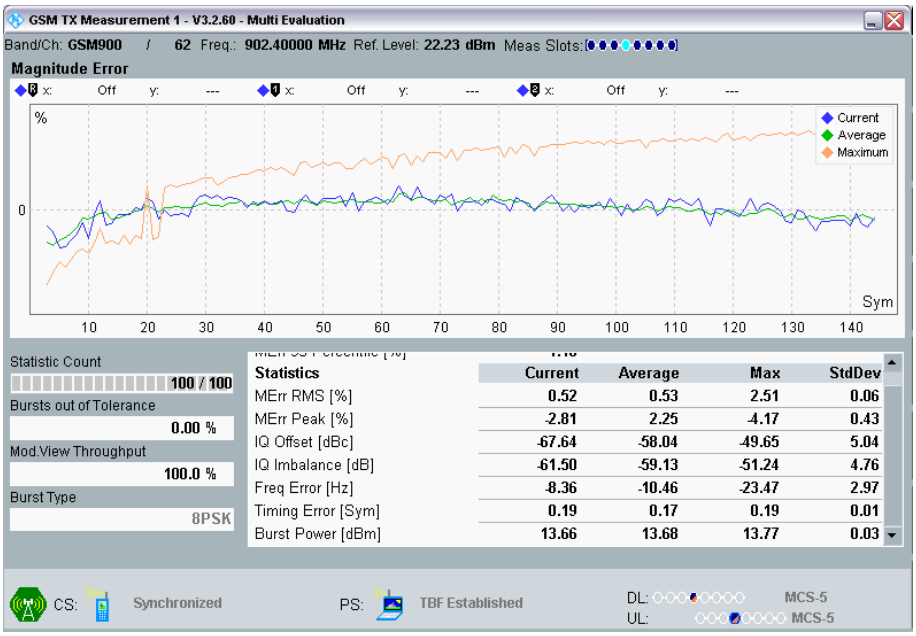


Fig. 9-5: PS Modulation Quality: Magnitude Error

Table 9-3 zeigt typische Messergebnisse:

Modulation Quality			
Power	**low**	**medium**	**high**
CS Magn. Error RMS	2.17 %	1.37 %	0.58 %
CS Magn. Error Peak	3.40 %	3.82 %	2.28 %
PS Magn. Error RMS	0.49 %	0.53 %	0.51 %
PS Magn. Error Peak	2.00 %	2.25 %	1.66 %

Table 9-3: CS und PS Modulation Quality: Magnitude Error

Wie interpretieren Sie Ihre Messergebnisse? Sind deutliche Abhängigkeiten des Magnitude Errors von Sendeleistung oder Modulation erkennbar?

9.3 Weitere Basisbandgrößen

Ermitteln und beurteilen Sie in ähnlicher Weise den Phase Error (*Display / Select View... / Phase Error*) und weitere Größen, die im Basisband ermittelt werden:

- ► Messen Sie bei einer CS-Verbindung mit den Pegel PCL = 0, 10 und 31.
- ► Beurteilen Sie den Kurvenverlauf der drei Messungen.
- ► Tragen Sie die Average-Werte in eine Tabelle ein.
- ► Notieren Sie auch die Average-Werte von
  - IQ Offset
  - IQ Imbalance
  - Frequency Error
  - Timing Error

Fig. 9-6 zeigt typische Messergebnisse für Circuit Switched:

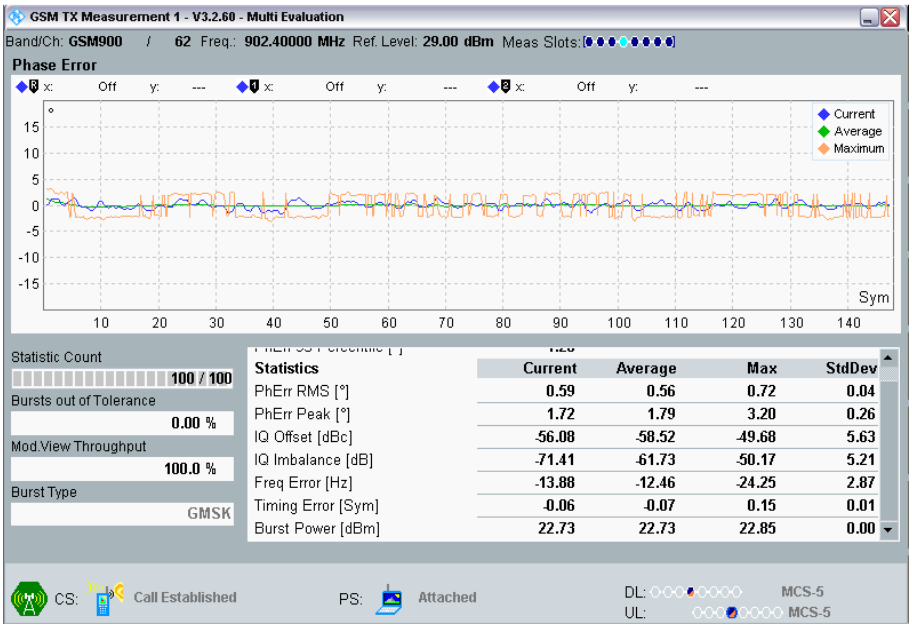


Fig. 9-6: CS Phase Error versus Time

- ► Messen Sie bei einer PS-Verbindung mit Gamma = 0, 13 und 17.
- ► Beurteilen Sie den Kurvenverlauf der drei Messungen.
- ► Tragen Sie die Average-Werte in eine Tabelle ein.

Fig. 9-7 zeigt typische Messergebnisse für Packet Switched:

Fig. 9-7: PS Phase Error versus Time

Table 9-4 zeigt typische Messergebnisse:

Modulation Quality			
Power	**low**	**medium**	**high**
CS Phase Error RMS	0.57 °	0.56 °	0.59 °
CS Phase Error Peak	1.79 °	1.79 °	1.97 °
CS IQ Offset	-59.16 dBc	-58.52 dBc	-59.13 dBc
CS IQ Imbalance	-60.15 dB	-61.73 dB	-63.19 dB
CS Freq Error	-11.49 Hz	-12.46 Hz	-14.40 Hz
CS Timing Error	-0.05 Sym.	-0.07 Sym.	-0.20 Sym.
PS Phase Error RMS	0.58 °	0.67 °	0.65 °
PS Phase Error Peak	1.74 °	2.02 °	1.93 °
PS IQ Offset	-57.42 dBc	-58.17 dBc	-56.86 dBc
PS IQ Imbalance	-59.61 dB	-59.17 dB	-60.28 dB
PS Freq Error	-8.43 Hz	-8.75 Hz	-7.55 Hz
PS Timing Error	-0.23 Sym.	0.20 Sym.	0.23 Sym.

Table 9-4: Modulation Quality Over view

Zusammenfassung:

Bei dem für die Application Note verwendeten Mobiltelefon ist weder bei einer CS-, noch bei einer PS-Verbindung eine Abhängigkeit der Modulation Quality von der Sendeleistung erkennbar. Ebenso ist die Modulationsqualität nahezu unabhängig davon, ob ein GMSK- oder ein 8-PSK-Signal gemessen wurde.

Offensichtlich arbeitet die HF-Endstufe des hier verwendeten Mobiltelefons ausreichend linear, um den Crest-Faktor des 8-PSK-Signals unverzerrt abzuliefern.

Wie interpretieren Sie Ihre Messergebnisse? Sind deutliche Abhängigkeiten des Phase Errors von Sendeleistung oder Modulation erkennbar?

Sind deutliche Abhängigkeiten der anderen IQ-Größen von Sendeleistung oder Modulation erkennbar?

Wie lässt sich dies begründen?

Wenn keine graphische Darstellung von Interesse ist, erhält man unter der Ansicht *Display / Select View... / TX Measurement Scalar* eine vollständige Übersicht mit allen Zahlen-Ergebnissen.

Für CS erhalten Sie eine Darstellung ähnlich wie in Fig. 9-8.

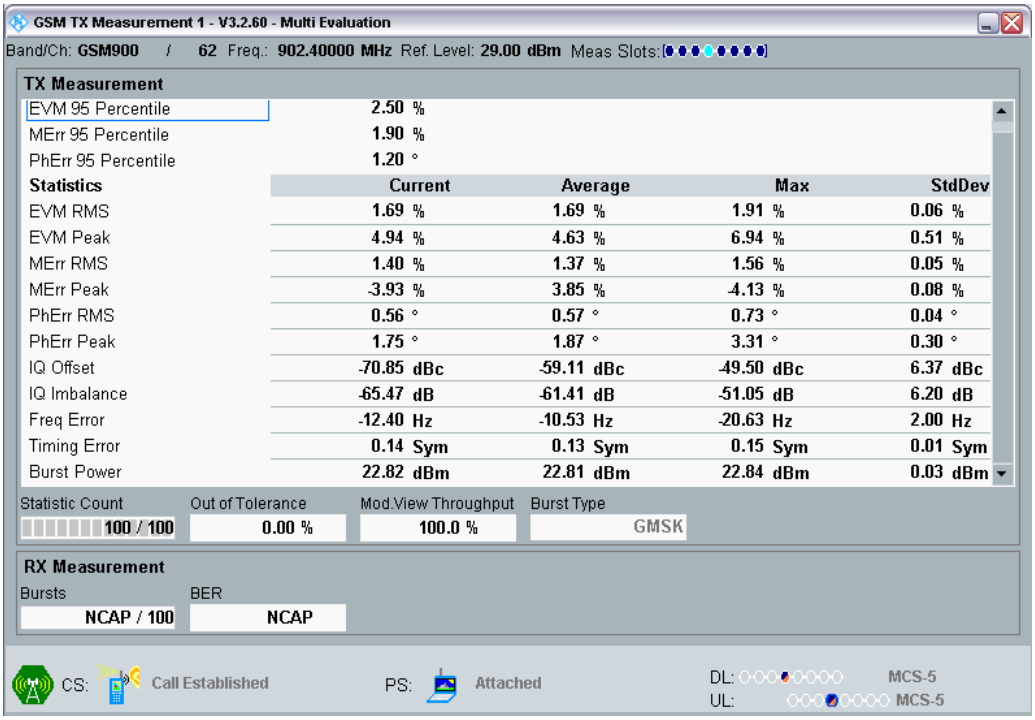


Fig. 9-8: CS Alle Basisband-Resultate auf einen Blick

Für PS ergibt sich für das verwendete DUT folgende Übersicht:

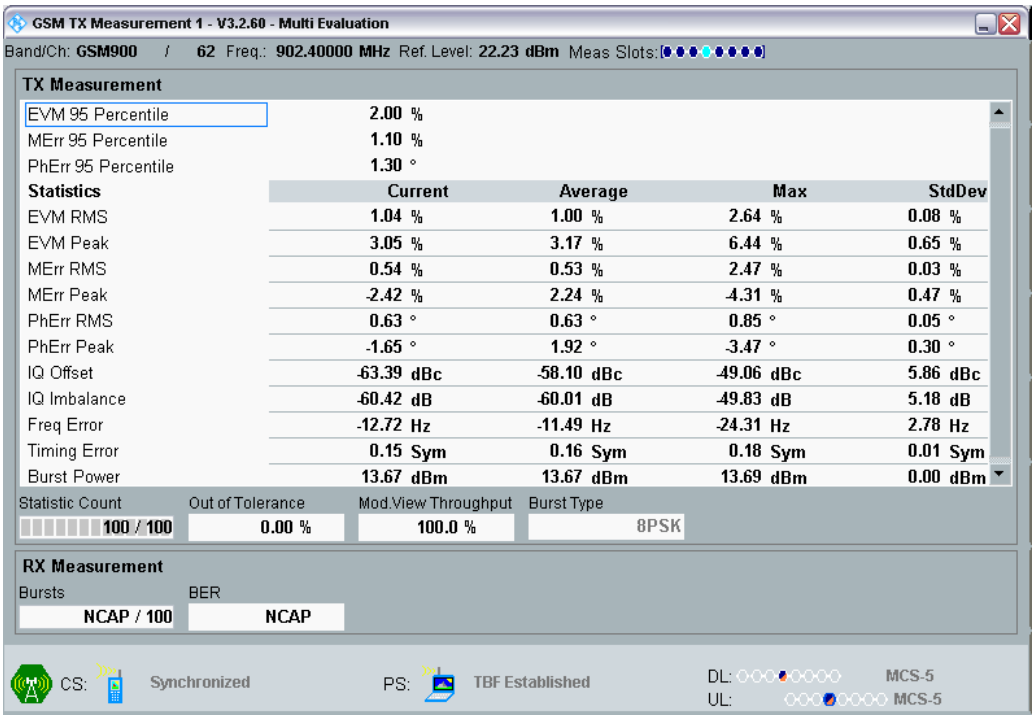


Fig. 9-9: PS Alle Basisband-Resultate auf einen Blick

Fassen Sie die Ergebnisse Ihrer Messungen mit eigenen Worten zusammen.

10 GSM Messungen: Frequency Spectrum

In diesem Abschnitt geht es darum, die Ausstrahlungen eines Mobiltelefons im Frequenzbereich zu ermitteln. Ziel ist, mit den besonderen Messverfahren bekannt zu werden und "ein Gefühl" dafür zu bekommen, wie die Nebenausstrahlungen zustandekommen.

Das Spektrum eines GSM-Signales wird verursacht durch

- die Modulation und
- die ansteigenden und abfallenden Burst-Flanken.

Die beiden Effekte werden nach Standard 3GPP TS 11.10 getrennt und unterschiedlich gemessen, zum einen als Spectrum Due To Modulation DTM, zum anderen als Spectrum Due To Switching DTS. Beide Male wird das Spektrum nicht kontinuierlich abgesucht, sondern es werden nur wenige diskrete Frequenz-Offsets abgeprüft. Dies verkürzt die Testzeit erheblich.

(Die wenigen Frequenzen, die überprüft werden, lassen diesen Test als nicht sonderlich streng erscheinen. Zusätzlich sind etliche Limit-Überschreitungen erlaubt.)

Das Spectrum Due To Modulation misst jeweils nur innerhalb eines 40 bis 45 Symbole langen Zeitfensters im "Useful Part" der aktiven Bursts. Hier wird über eine Anzahl von Messungen gemittelt. Am DTM erkennt man, ob die (Basisband-) Filterung richtig implementiert ist.

Das Spektrum DTS erfasst hingegen die gesamte Dauer der Bursts und stellt damit ein Maß für alle zeitlich anfallenden Spektralanteile des Sendesignals dar. Hier geht es darum, wie stark die Nachbarkanäle gestört werden. Festgehalten wird der jeweilige Spitzenwert einer Anzahl von Messungen. Man geht dabei davon aus, dass die gemessenen Leistungen hauptsächlich von den Burstflanken herrühren und die miterfassten Anteile des Spectrum Due To Modulation keinen wesentlichen Beitrag liefern.

Im Gegensatz zu einer echten Power-Messung mit der (Signal-) Bandbreite von ca. 300 kHz kommt bei DTM und DTS ein 30 kHz-Filter zum Einsatz. Dieses fängt naturgemäß nur einen Teil der Signalleistung ein: die *Ref Power*, die am CMW den Bezugswert beim Frequenz-Offset 0 anzeigt, liegt daher bei DTM und GMSK-Modulation um ca. 8 dB unterhalb der tatsächlichen gesamten Burst-Power. Bei DTS und 8-PSK ist die *Ref Power* wegen des Crest-Faktors des Signals und des verwendeten Peak-Detektors leicht über der tatsächlichen Burst-Power.

Folgende Messungen sind vorgesehen, jeweils bei hohem und niedrigem Pegel:

11.1 Spectrum DTM, Circuit Switched

11.2. Spectrum DTM, Packet Switched

11.3 Spectrum DTS, Circuit Switched

11.4 Spectrum DTS, Packet Switched

Um einen Vergleich mit einer PS-Verbindung zu ermöglichen, messen wir bei CS nicht mit dem maximalen CS-Pegel, sondern mit dem niedrigeren max. PS-Pegel (27 dBm).

Vorbereitungen

Das DUT soll zunächst noch ausgeschaltet sein.

► Starten Sie mit einem *RESET* des CMW, laden Sie anschließend Ihre abgespeicherte Gerätekonfiguration *LabConfig.dfl*.

► Gehen Sie ins *GSM Signaling-Grundmenu.*

► Schalten Sie die *GSM Signaling*-Task an.

Wenn der Connection Status für *Circuit Switched* und für *Packet Switched* jeweils auf *ON* gewechselt hat,

► schalten Sie Ihr DUT ein, und warten Sie, bis der *Circuit* bzw. der *Packet Switched-Status* auf *Synchronized* bzw. *Attached* gewechselt haben.

10.1 Spectrum Due To Modulation / Circuit Switched

1a. DTM / Circuit Switched / 27 dBm

► Stellen Sie im Signaling Grundmenu einen CS-Uplink-Pegel von 27 dBm ein. (*Connection Setup, Edit, Slot 3 (CS) PCL=..., ESC*)

► Starten Sie eine Circuit Switched Verbindung

► Wechseln Sie zur Multi Evaluation Task.

(Lassen Sie unter *Assign Views* alle Messungen angewählt.)

► Starten Sie die Multi Evaluation Task.

► Wählen Sie unter *Display / Select View...* das *Spectrum Modulation Freq.*

Sie erhalten eine Darstellung ähnlich wie Fig. 10-1 auf Seite 92. Sie sehen die vom Standard vorgeschriebenen diskreten Messfrequenzen, die Messwerte und die rot eingezeichneten Limits. (Default sind hier die Grenzwerte aus dem Standard; Sie können aber Messpunkte auslassen und eigene dazudefinieren. Dann kann es auch sinnvoll sein, die graphische Darstellung anders zu skalieren.)

Zu welchem "Oberbegriff" gehört eigentlich jetzt die waagrechte Softkey-Leiste?

Hinweis: Eine CS-Verbindung arbeitet mit GMSK-Modulation. Diese ist im Idealfall eine reine Phasenmodulation ohne Amplitudenänderung. Daher ist das Spektrum DTM symmetrisch.

Über den Softkey *Time Curve Off / ON* in der "Display-Softkey-Leiste" können Sie eine Zeitdarstellung der Leistung an jedem der spezifizierten Frequenzpunkte aufrufen. Davon werden wir beim Spectrum Due To Switching Gebrauch machen.

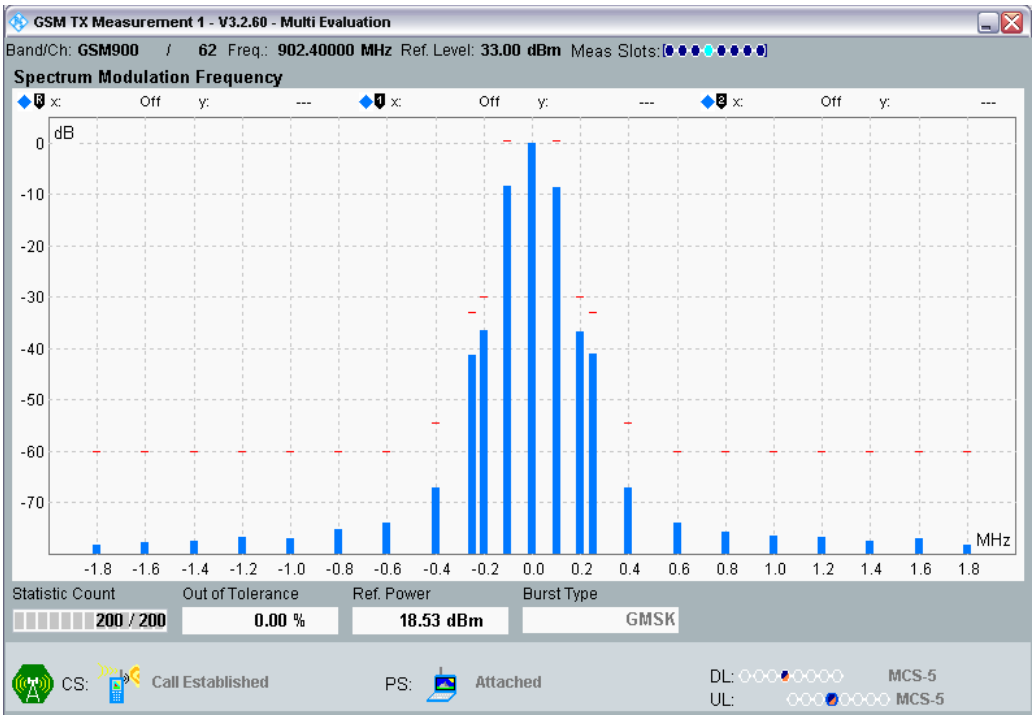
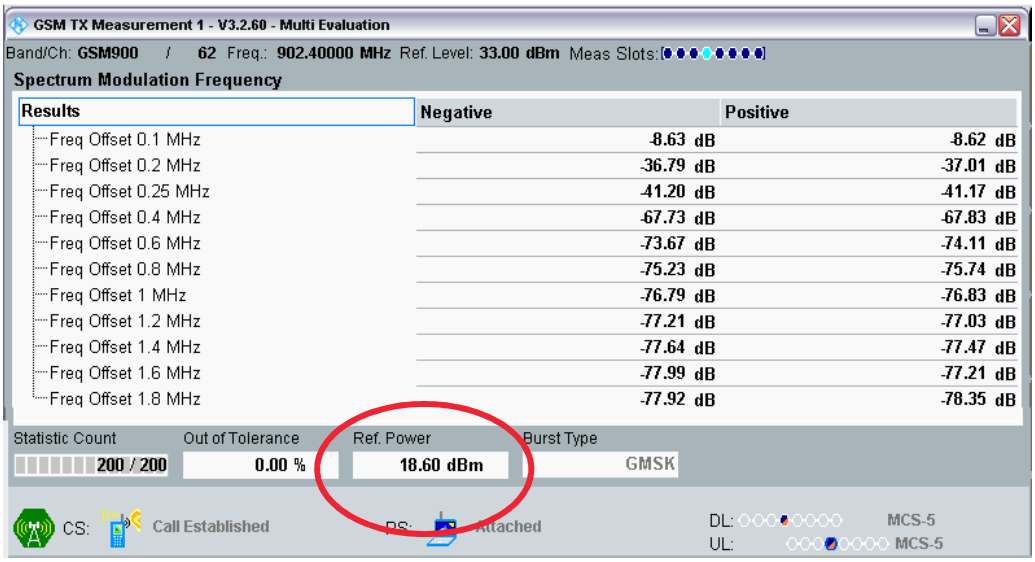


Fig. 10-1: CS Spectrum DTM / 27 dBm

Über den Softkey "Marker" in der senkrechten Softkey-Leiste könnten Sie die einzelnen Messpunkte der graphischen Darstellung anfahren und die Skalar-Werte auslesen.

► Schalten Sie stattdessen in der "Display-Softkey-Leiste" die Darstellung um vom *Diagram View* auf *Fig. View*. Sie erhalten eine Darstellung ähnlich wie in Fig. 10-2:

Sie sehen hier alle skalaren Messergebnisse. Diese sind relativ zur sogenannten *Ref. Power*, der Leistung bei Frequency Offset = 0 (gemessen mit 30 kHz-Bandbreite).



Results	Negative	Positive
Freq Offset 0.1 MHz	-8.63 dB	-8.62 dB
Freq Offset 0.2 MHz	-36.79 dB	-37.01 dB
Freq Offset 0.25 MHz	-41.20 dB	-41.17 dB
Freq Offset 0.4 MHz	-67.73 dB	-67.83 dB
Freq Offset 0.6 MHz	-73.67 dB	-74.11 dB
Freq Offset 0.8 MHz	-75.23 dB	-75.74 dB
Freq Offset 1 MHz	-76.79 dB	-76.83 dB
Freq Offset 1.2 MHz	-77.21 dB	-77.03 dB
Freq Offset 1.4 MHz	-77.64 dB	-77.47 dB
Freq Offset 1.6 MHz	-77.99 dB	-77.21 dB
Freq Offset 1.8 MHz	-77.92 dB	-78.35 dB

Fig. 10-2: CS Spectrum DTM / 27 dBm

► Wählen Sie in der rechten Softkey-Leiste wieder "Multi Evaluation".

Zu welchem "Oberbegriff" gehört jetzt die waagrechte Softkey-Leiste?

Um eine Einzelmessung mit stabilen Ergebnissen zu erhalten,

► schalten Sie über den Softkey *Repetition* den CMW auf *Single Shot.*

Sie können eine neue Einzelmessung mit der Geräte-Taste RESTART / STOP anstoßen (oder zweimal *ON / OFF*).

► Notieren Sie die Messergebnisse einer der beiden Spalten (z.B. der mit neg. Frequency Offset).

Sind die Anteile für positive und Negative Frequency Offsets annähernd gleich? Woher kommt dies?

Kann man einen Zusammenhang zwischen den vorgeschriebenen Messfrequenzen und dem GSM-Kanalraster erkennen?

1b. DTM / Circuit Switched / 5 dBm

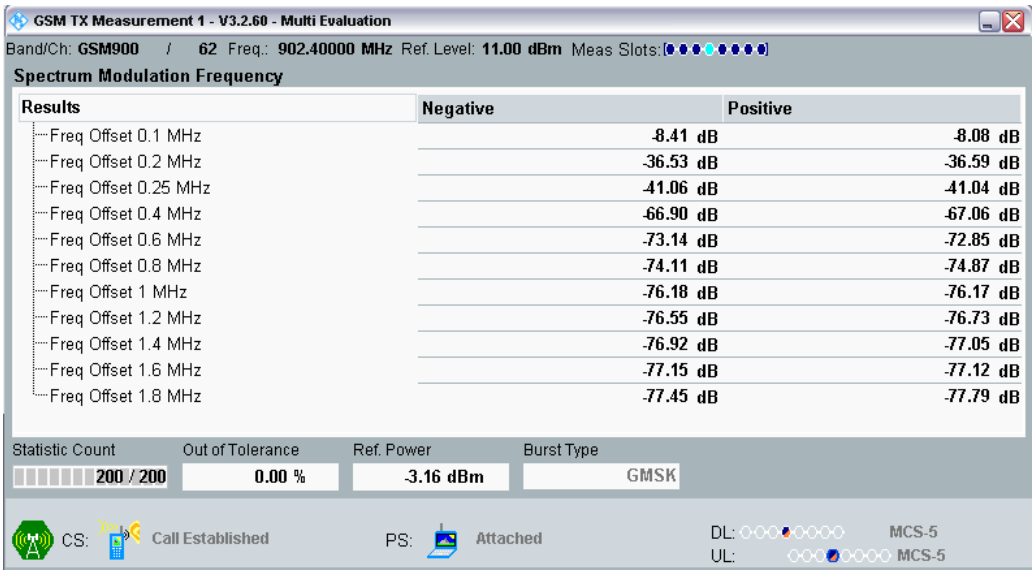
► Stellen Sie einen CS-Uplink-Pegel von 5 dBm ein. Nehmen Sie zur Abwechslung die Einstellung diesmal im Configuration Menu der Signaling Task vor (*Config, RF-Settings, TCH/PDCH, Circuit Switched, PCL=..., ESC*). Wählen Sie dann in der rechten Softkey-Leiste wieder "Multi Evaluation".

► Starten Sie eine neue Einzelmessung mit der Geräte-Taste *RESTART / STOP*.

► Notieren Sie die Ref. Power.

► Vergleichen Sie die Messergebnisse mit denen bei 27 dBm (einige Zehntel-dB Unterschied können vernachlässigt werden, vor allem bei sehr kleinen Pegeln).

Fig. 10-3 zeigt die Ergebnisse mit dem für diese Application Note verwendeten Telefon:



Results	Negative	Positive
Freq Offset 0.1 MHz	-8.41 dB	-8.08 dB
Freq Offset 0.2 MHz	-36.53 dB	-36.59 dB
Freq Offset 0.25 MHz	-41.06 dB	-41.04 dB
Freq Offset 0.4 MHz	-66.90 dB	-67.06 dB
Freq Offset 0.6 MHz	-73.14 dB	-72.85 dB
Freq Offset 0.8 MHz	-74.11 dB	-74.87 dB
Freq Offset 1 MHz	-76.18 dB	-76.17 dB
Freq Offset 1.2 MHz	-76.55 dB	-76.73 dB
Freq Offset 1.4 MHz	-76.92 dB	-77.05 dB
Freq Offset 1.6 MHz	-77.15 dB	-77.12 dB
Freq Offset 1.8 MHz	-77.45 dB	-77.79 dB

Fig. 10-3: CS Spectrum DTM / 5 dBm

Sind die hier aufgeführten Spektren DTM für GMSK proportional zur Sendeleistung?

Gilt das auch für Ihre Messergebnisse?

Ist es sinnvoll, dass die Grenzwerte für DTM relativ definiert sind?

► Trennen Sie die CS-Verbindung.

10.2 Spectrum Due To Modulation / Packet Switched

2a. DTM / Packet Switched / 27 dBm

► Stellen Sie im Signaling Grundmenu einen PS-Uplink-Pegel von 27 dBm ein. (*Connection Setup, Edit, Slot 3, Gamma =..., ESC*)

► Starten Sie eine Packet Switched Verbindung.

► Wechseln Sie zur Multi Evaluation Task.

► Starten Sie die Multi Evaluation Task.

► Starten Sie eine neue Einzelmessung mit der Geräte-Taste *RESTART / STOP*.

► Wählen Sie unter *Display / Diagram View... wieder die graphische Darstellung.*

Sie erhalten ein Spectrum ähnlich wie Fig. 10-4 auf Seite 95.

Hinweis: Das in dieser Application Note bei PS verwendete Modulation and Coding Scheme MCS-5 arbeitet mit 8-PSK. Es enthält daher Anteile sowohl von Amplituden- als auch von Phasenmodulation. Daher ist das Spektrum DTM hier unsymmetrisch.

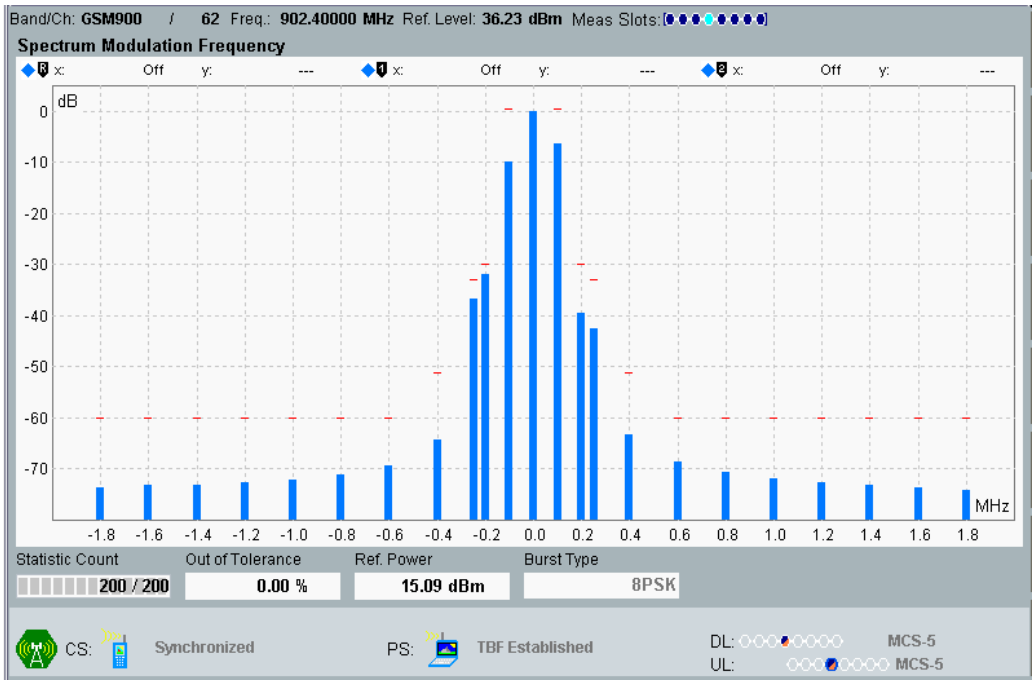
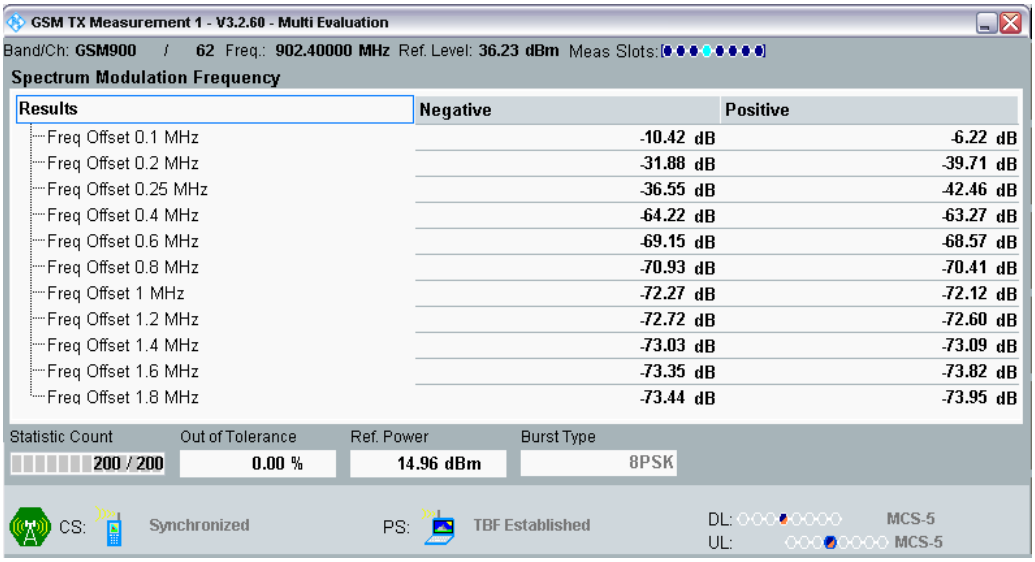


Fig. 10-4: PS Spectrum DTM / 27 dBm

Sind die Emissionen größer als bei der Circuit Switched-Messung mit GMSK-Modulation?

Warum?

► Schalten Sie in der "Display-Softkey-Leiste" die Darstellung um vom *Diagram View* auf *Fig. View*. Sie erhalten eine Darstellung ähnlich wie in Fig. 10-5:



Results	Negative	Positive
Freq Offset 0.1 MHz	-10.42 dB	-6.22 dB
Freq Offset 0.2 MHz	-31.88 dB	-39.71 dB
Freq Offset 0.25 MHz	-36.55 dB	-42.46 dB
Freq Offset 0.4 MHz	-64.22 dB	-63.27 dB
Freq Offset 0.6 MHz	-69.15 dB	-68.57 dB
Freq Offset 0.8 MHz	-70.93 dB	-70.41 dB
Freq Offset 1 MHz	-72.27 dB	-72.12 dB
Freq Offset 1.2 MHz	-72.72 dB	-72.60 dB
Freq Offset 1.4 MHz	-73.03 dB	-73.09 dB
Freq Offset 1.6 MHz	-73.35 dB	-73.82 dB
Freq Offset 1.8 MHz	-73.44 dB	-73.95 dB

Fig. 10-5: PS Spectrum DTM / 27 dBm

► Notieren Sie die Messergebnisse einer der beiden Spalten (z.B. der mit neg. Frequency Offset).

Sind die Anteile für positive und negative Frequenz-Offsets annähernd gleich?

Welche Begründung gibt es dafür?

2b. Spectrum Due To Modulation / Packet Switched / 5 dBm

► Stellen Sie einen PS-Uplink-Pegel von 5 dBm ein. Wählen Sie dann in der rechten Softkey-Leiste wieder "Multi Evaluation".

► Starten Sie eine neue Einzelmessung mit der Geräte-Taste *RESTART / STOP*.

► Notieren Sie die Ref. Power.

► Vergleichen Sie die aktuellen Messergebnisse mit denen bei 27 dBm (einige Zehntel-dB Unterschied können vernachlässigt werden).

Sind auch die Spektren DTM für 8-PSK proportional zur Sendeleistung?

► Trennen Sie die CS-Verbindung (*CS Disconnect* in der Signaling Task).

Formulieren Sie in eigenen Worten, was für DTM bei CS und PS gleich, und was unterschiedlich ist.

Wodurch wird das Spektrum DTM geformt?

10.3 Spectrum Due To Switching / Circuit Switched

3a. DTS / Circuit Switched / 27 dBm

Das Spektrum DTS stellt ein Maß für alle relevanten anfallenden Spektralanteile des Sendesignals dar. Insbesondere geht es hier darum, wie stark Nachbarkanäle gestört werden.

► Stellen Sie einen CS-Uplink-Pegel von 27 dBm ein.

► Starten Sie eine Circuit Switched Verbindung.

► Wechseln Sie zur Multi Evaluation Task.

► Starten Sie die Multi Evaluation Task.

► Wählen Sie unter *Display / Select View...* das *Spectrum Switching Freq.*

Sie erhalten eine Darstellung ähnlich wie Fig. 10-6 auf Seite 97.

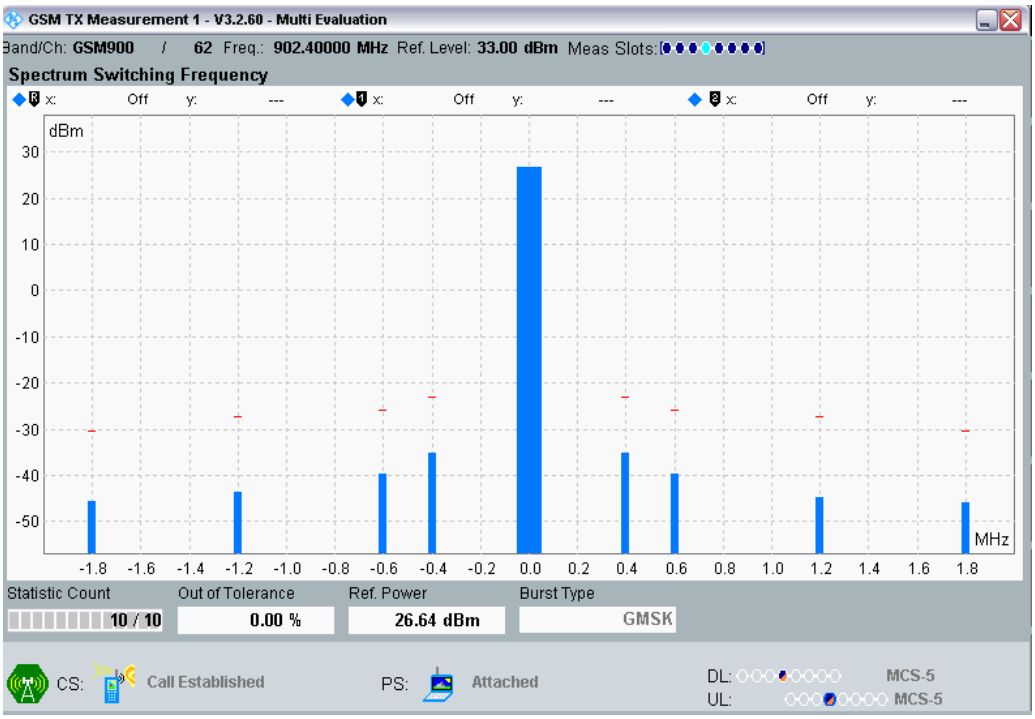


Fig. 10-6: CS Spectrum DTS / 27 dBm

Sie sehen wieder die vom Standard vorgeschriebenen diskreten Messpunkte im Spektrum, die Messwerte und die rot eingezeichneten Limits.

Im Gegensatz zum Spectrum Due To Modulation werden hier Absolut-Leistungen gemessen. Table 10-1 zeigt die Limits für GSM900 und die unterschiedlichen Uplink-Level:

Power level	Maximum level for various offsets from carrier frequency			
	400 kHz	600 kHz	1 200 kHz	1 800 kHz
39 dBm	-13 dBm	-21 dBm	-21 dBm	-24 dBm
37 dBm	-15 dBm	-21 dBm	-21 dBm	-24 dBm
35 dBm	-17 dBm	-21 dBm	-21 dBm	-24 dBm
33 dBm	-19 dBm	-21 dBm	-21 dBm	-24 dBm
31 dBm	-21 dBm	-23 dBm	-23 dBm	-26 dBm
29 dBm	-23 dBm	-25 dBm	-25 dBm	-28 dBm
27 dBm	-23 dBm	-26 dBm	-27 dBm	-30 dBm
25 dBm	-23 dBm	-26 dBm	-29 dBm	-32 dBm
23 dBm	-23 dBm	-26 dBm	-31 dBm	-34 dBm
<= +21 dBm	-23 dBm	-26 dBm	-32 dBm	-36 dBm

Table 10-1: GSM Spectrum Limits DTS

► Schalten Sie in der "Display-Softkey-Leiste" die Darstellung um vom *Diagram View* auf *Fig. View*. Sie erhalten eine Darstellung ähnlich wie in Fig. 10-7 auf Seite 98:

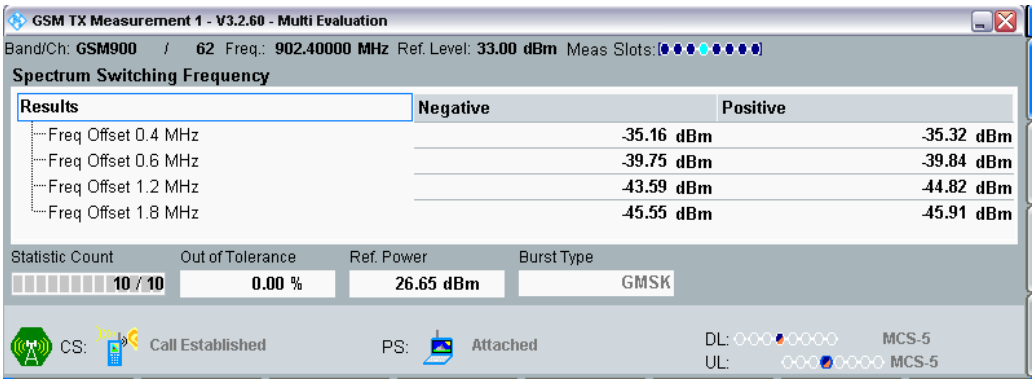


Fig. 10-7: CS Spectrum DTS / 27 dBm

► Notieren Sie die Messergebnisse einer der beiden Spalten (z.B. der mit neg. Frequency Offset).

Sind die Anteile für positive und Negative Frequency Offsets annähernd gleich?

Welche Begründung kann es dafür geben?

3b. DTS / Circuit Switched / 5 dBm

► Stellen Sie einen CS-Uplink-Pegel von 5 dBm ein. Wählen Sie dann in der rechten Softkey-Leiste wieder "Multi Evaluation".

► Starten Sie eine neue Einzelmessung mit der Geräte-Taste *RESTART / STOP*.

Sie erhalten ähnliche Ergebnisse wie in Fig. 10-8:

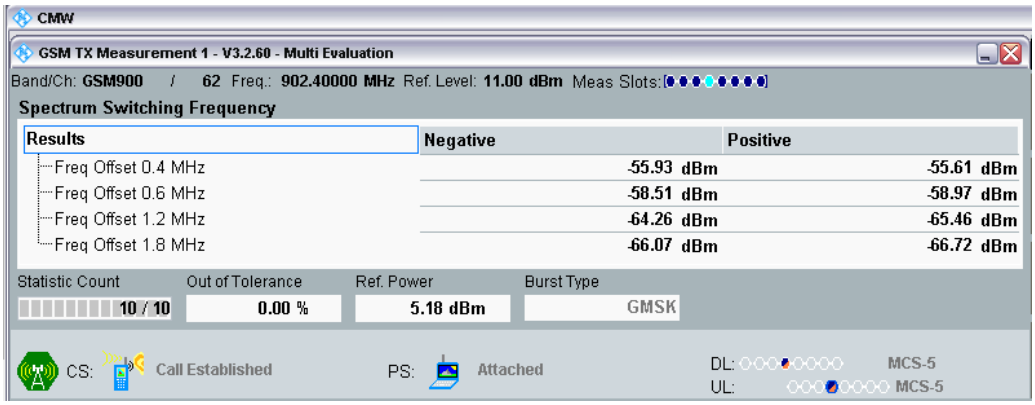


Fig. 10-8: CS Spectrum DTS / 5 dBm

► Berechnen Sie die Differenz d der beiden Ref. Powers (DTS, CS). Hier ergibt sich ca. d = 21.5 dB.

► Subtrahieren Sie diese Differenz von jedem entsprechenden Ergebnis der Messungen bei 27 dBm, so wie in Table 10-2 mit den Resuöltaten der AN.

► Vergleichen Sie die neuen Werte mit denen bei 5 dBm (einige Zehntel-dB Unterschied können vernachlässigt werden).

Comparision DTS@27 dBm and DTS@5 dBm / CS-Connection		
Freq. Offset	**DTS @ 27 dBm - d**	**DTS @ 5 dBm**
0.4 MHz	-35.16 dBm - 21.5 dB = -56.66 dBm	-55.93 dBm
0.6 MHz	-39.75 dBm - 21.5 dB = -61.25 dBm	-58.51 dBm
1.2 MHz	-43.59 dBm - 21.5 dB = -65.09 dBm	-64.26 dBm
1.8 MHz	-45.55 dBm - 21.5 dB = - 67.05 dBm	-66.07 dBm

Table 10-2: Vergleich der beiden Levels

Hier sind die Ergebnisse offensichtlich nicht genau proportional zur Sendeleistung.

Gilt dies auch für Ihre Messergebnisse?

► Trennen Sie die CS-Verbindung (*CS Disconnect* in der Signaling Task).

10.4 Spectrum Due To Switching / Packet Switched

4a. DTS / Packet Switched / 27 dBm

► Stellen Sie im Signaling Grundmenu einen PS-Uplink-Pegel von 27 dBm ein.

► Starten Sie eine Packet Switched Verbindung (*PS Connect*).

► Wechseln Sie zur Multi Evaluation Task.

(Lassen Sie unter *Assign Views* alle Messungen angewählt.)

► Starten Sie die Multi Evaluation Task.

► Starten Sie eine neue Einzelmessung mit der Geräte-Taste *RESTART / STOP*.

► Wählen Sie unter *Display / Diagram View... wieder die graphische Darstellung.*

Sie erhalten ein Spektrum ähnlich wie Fig. 10-9 auf Seite 100.

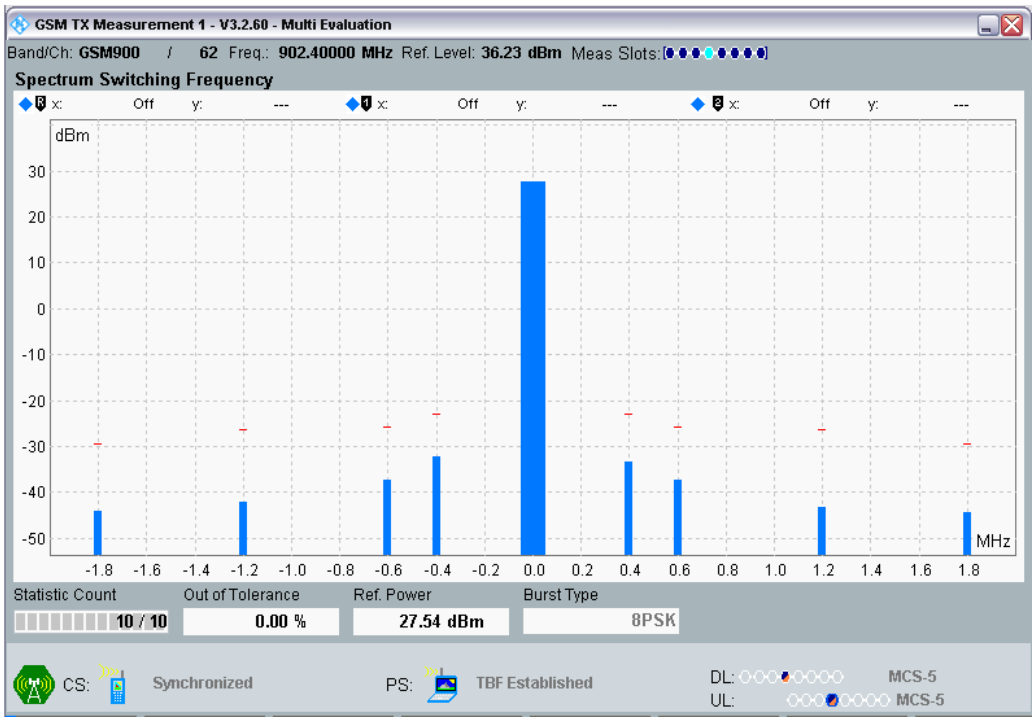


Fig. 10-9: PS Spectrum DTS / 27 dBm

► Schalten Sie in der "Display-Softkey-Leiste" die Darstellung um vom *Diagram View* auf *Fig. View*. Sie erhalten eine Darstellung ähnlich wie in Fig. 10-10:

►

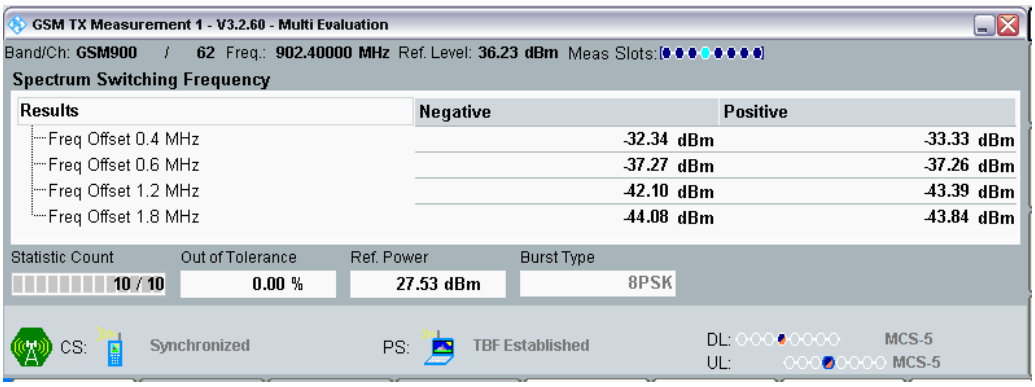


Fig. 10-10: PS Spectrum DTS / 27 dBm

Sind die Emissionen größer als bei GMSK-Modulation? (Berücksichtigen Sie den Detektor...

Ist das Spektrum in etwa symmetrisch?

Welche Begründung kann es dafür geben?

► Notieren Sie die Messergebnisse einer der beiden Spalten (z.B. der mit neg. Frequency Offset).

4b. DTS / Packet Switched / 5 dBm

► Stellen Sie einen PS-Uplink-Pegel von 5 dBm ein. Wählen Sie dann in der rechten Softkey-Leiste wieder "Multi Evaluation".

► Starten Sie eine neue Einzelmessung mit der Geräte-Taste *RESTART / STOP*.

Sie erhalten wahrscheinlich ähnliche Ergebnisse wie in Fig. 10-11.

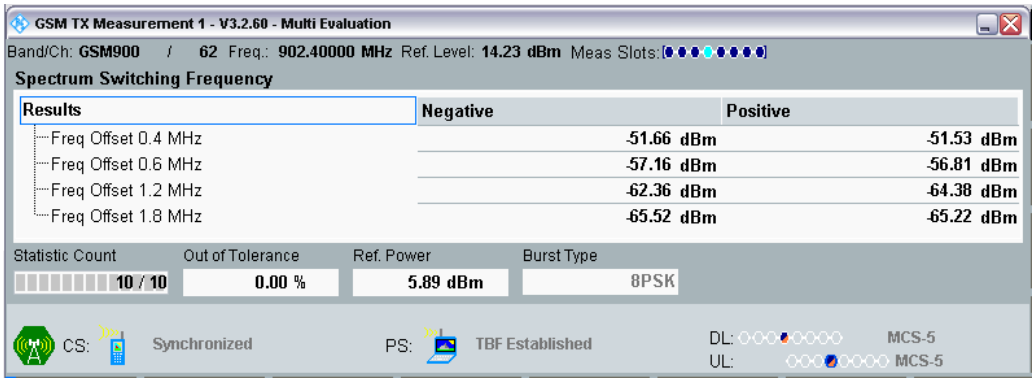


Fig. 10-11: PS Spectrum DTS / 5 dBm

► Berechnen Sie die Differenz d der beiden Ref. Powers (DTS, PS). Hier ergeben sich ebenfalls ca. d = 21.5 dB.

► Subtrahieren Sie diese Differenz von jedem entsprechenden Ergebnis der Messungen bei 27 dBm, so wie in Table 10-3 mit den Resuöltaten der AN.

► Vergleichen Sie die neuen Werte mit denen bei 5 dBm (einige Zehntel-dB Unterschied können vernachlässigt werden).

Comparision DTS@27 dBm and DTS@5 dBm / PS Connection		
Freq. Offset	**DTS @ 27 dBm - d**	**DTS @ 5 dBm**
0.4 MHz	-32.34 dBm - 21.5 dB = -53.84 dBm	-51.66 dBm
0.6 MHz	-37.27 dBm - 21.5 dB = -58.77 dBm	-57.16 dBm
1.2 MHz	-42.10 dBm - 21.5 dB = -63.60 dBm	-62.36 dBm
1.8 MHz	-44.08 dBm - 21.5 dB = -65.58 dBm	-65.52 dBm

Table 10-3: Vergleich der beiden Levels

Hier ist das Spektrum ähnlich, die Ergebnisse sind aber nicht genau proportional zur Sendeleistung.

Gilt dies auch fü Ihre Messergebnisse?

Formulieren Sie in eigenen Worten, was für DTS bei CS und PS gleich, und was unterschiedlich ist.

Herkunft der Anteile des Spectrum DTS

Wenn das Spectrum DTS allein von den Flanken bestimmt würde, müssten CS und PS das gleiche Spektrum aufweisen.

► Vergeichen Sie die Messergebnisse für CS und PS bei DTS und 5 dBm Pegel.

Sind die Spektren gleich?

Um die Anteile des Spectrum DTS zu ermitteln, betrachten wir das Zeitverhalten an den Messfrequenzen.

► Wählen Sie *Display / Select View... / Diagram View*.

► Schalten Sie wieder *Time Curve On*.

Es öffnet sich ein zweites Bildschirmfenster mit einer Timing-Darstellung, siehe Seite.

► Wählen Sie erneut *Multi Evaluation* in der rechten Softkey-Leiste.

► Stellen Sie *Repetition* auf *Continuous*.

► Starten Sie die Dauermessung.

► Drücken Sie in der waagrechten Softkey-Leiste *Frequency Offsets.*

Sie sehen jetzt eine Liste der aktuellen *Freq. Offsets*; derzeit handelt es um die Default-Offset-Frequenzen für GSM. Mit den Indizes -4 bis +4 sind die Messpunkte im der Spektrum-Darstellung anzuwählen. (Sie können diese Tabelle editieren, d.h. z.B. erweitern.)

Fig. 10-12: Tabelle der Frequenz-Offsets für die Spektrum-Messungen

► Schließen Sie dieses Fenster.

► Wählen Sie (in der waagrechten Softkey-Leiste) *Time Dom, @ Freq. Select...*

► Beobachten Sie das Zeitverhalten bei den Indizes -4 bis +4.

Bei dem für diese Application Note verwendeten Mobiltelefon überwiegt bei den Offsets +/- 400 kHz (Fig. 10-13) eindeutig der Anteil der Modulation, erst bei einem Offsets +/- 600 kHz (Fig. 10-14 auf Seite 104) der Anteil der Schaltflanken.

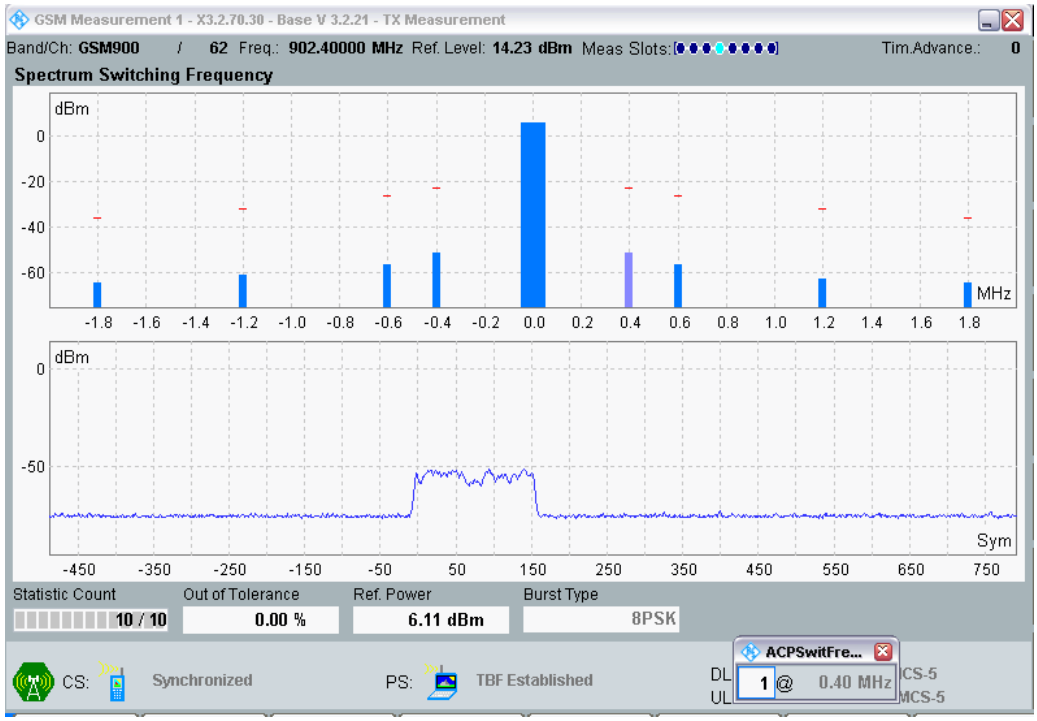


Fig. 10-13: PS Power versus Time @ 0.4 MHz Offset, Bandwidth 30 kHz

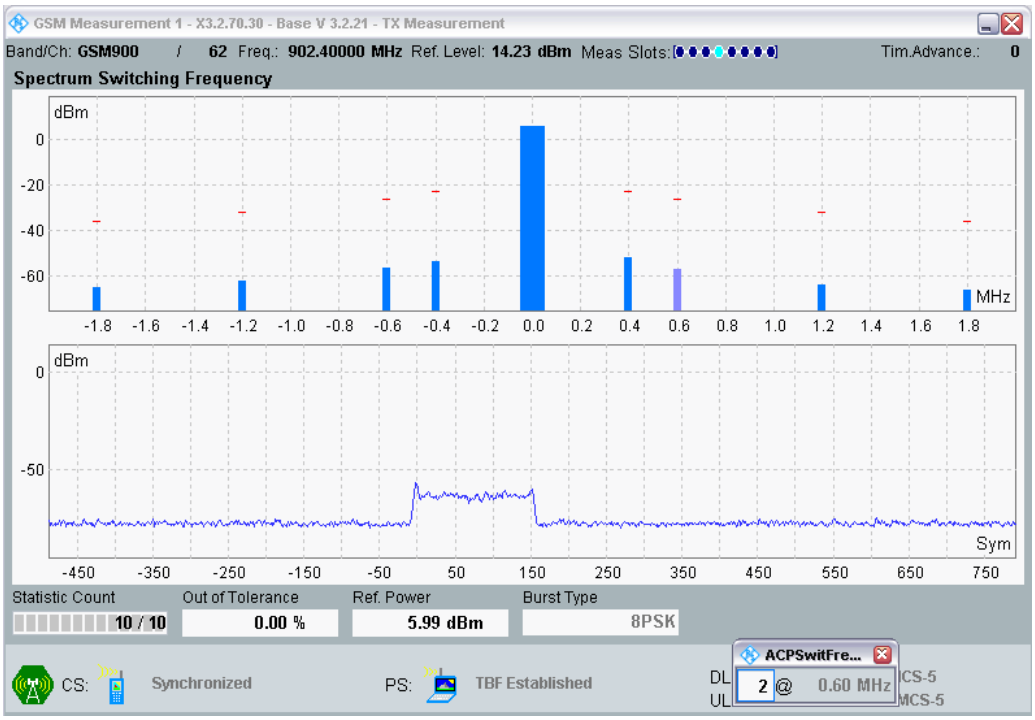


Fig. 10-14: PS Power versus Time @ 0.6 MHz Offset, Bandwidth 30 kHz

Ist das auch bei Ihren DUT zu beobachten?

Die Bilder bis stammen von Messungen am 8-PSK-modulierten Signal. Wir überprüfen das Timing bei einem GMSK-modulierten Signal.

Ist bei GMSK ein anderes Verhalten zu erwarten?

► Trennen Sie die PS-Verbindung.

► Führen Sie die korrespondierende Messung durch für CS (Pegel ebenfalls 5 dBm).

Bild 10-15 auf Seite 106 zeigt das Timing bei dem bisher für diese Application Note verwendeten Mobiltelefon (bei einem Offsets von 400 kHz). Der Einfluss der Modulation ist hier nicht mehr so deutlich, aber immer noch vorhanden.

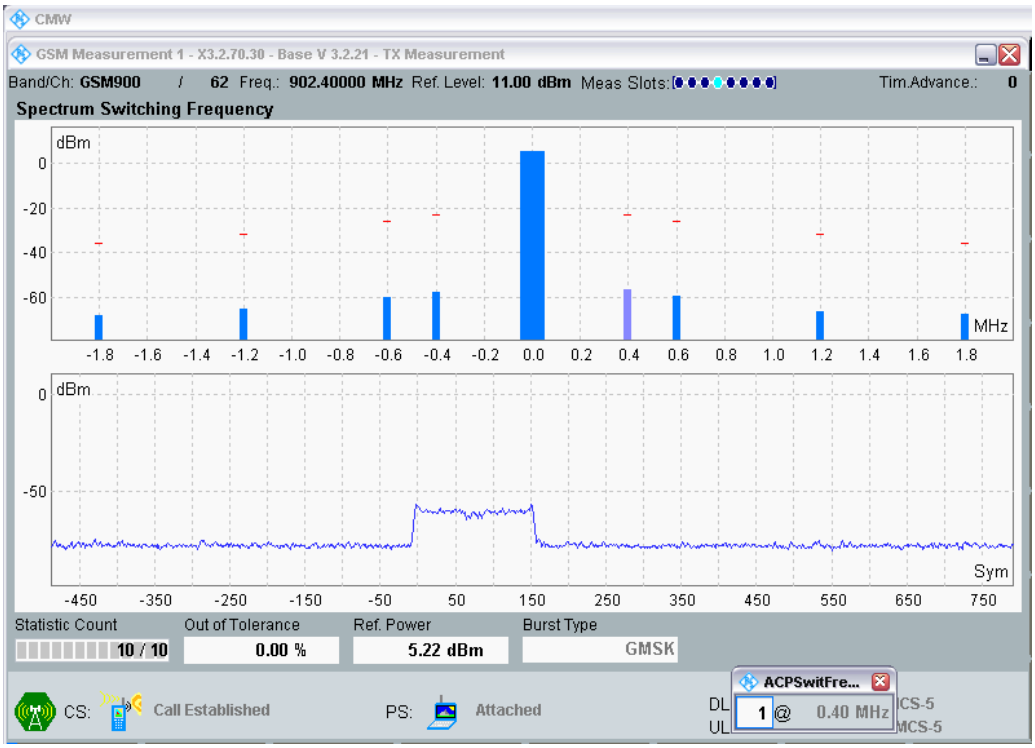


Fig. 10-15: CS Power versus Time @ 0.4 MHz Offset, Bandwidth 30 kHz

Gilt dies auch für Ihre Messergebnisse?

Nach Fig. 10-15 erscheint es zunächst nicht sinnvoll, - wie im Standard vorgeschrieben - beim Spektrum DTS über die gesamte Burst-Dauer aufzuzeichnen.

Eine Messung an einem anderen älteren Mobiltelefon lässt die bisherigen Messergebnisse aber in einem anderen Licht erscheinen, siehe Fig. 10-16 auf Seite 106.

Dort erkennt man zweierlei:

- Der Anteil der ansteigenden Flanke liegt jetzt deutlich über den Beiträgen der Modulation (und dem der abfallenden Flanke).
- Die Anteile bei den Offsets 1 und 2 sind jetzt um fast 20 dB höher.

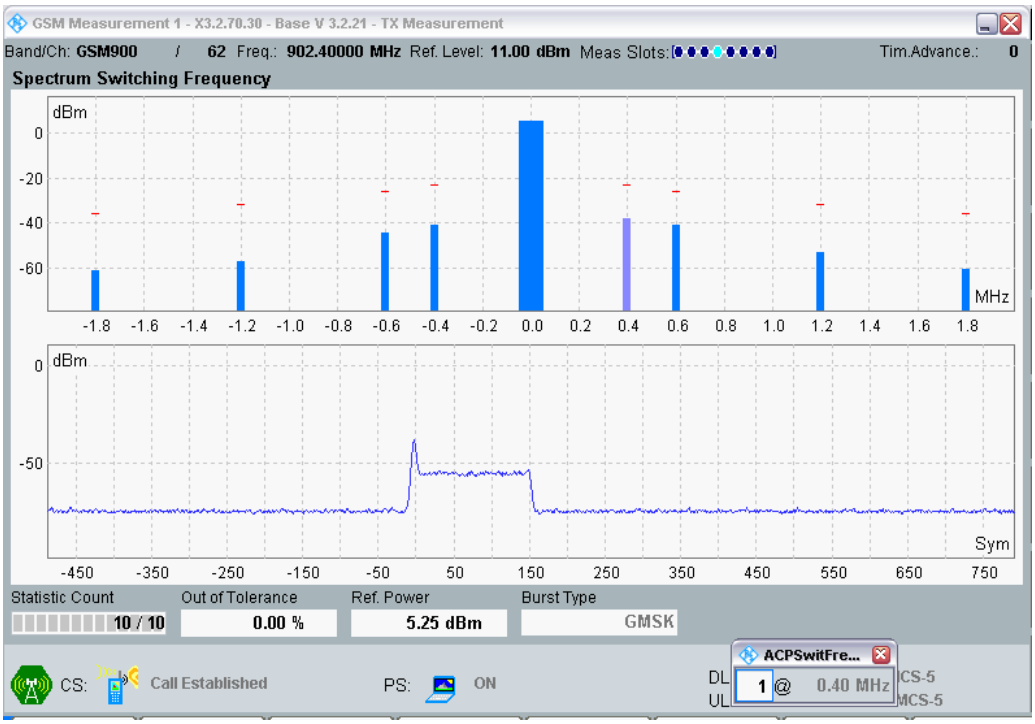


Fig. 10-16: DUT-Wechsel: CS Power versus Time @ 0.4 MHz Offset, Bandwidth 30 kHz

Daraus folgt, dass das modernere DUT ein derart niedriges Spektrum DTS aufweist, dass die Ergebnisse in der Größe des Spektrums DTM liegen. Dies ist eine auf jeden Fall begrüßenswerte Überraschung.

Fassen Sie die Ergebnisse der Spektrumsmessungen mit eigenen Worten zusammen (Unterschiede DTM / DTS, Messmethoden, Symmetrie des Spektrums, Einfluss der Power, etc.)

11 GSM Messungen: RX Sensitivity

RX-Messungen sind Messungen der HF-Empfindlichkeit der Empfänger. Diese wird beim digitalen Mobilfunk indirekt gemessen: bei einem jeweils vorgeschriebenen niedrigen Downlink-Pegel (reference sensitivity level) darf eine bestimmte Zahl von Übertragungsfehlern nicht überschritten werden.

Ziel ist, den charakteristischen Verlauf von Bit- und Block-Error-Messungen vor und nach einer Fehlerkorrektur kennenzulernen und Messwerte bei Circuit und Packet Switched-Verbindungen aufzunehmen und zu vergleichen.

Wie ist die Empfindlichkeit bei analogen Funkgeräten definiert?

Circuit und Packet Switched-Inhalte unterscheiden sich bei GSM in zweierlei Hinsicht:

Bei Circuit Switched (Voice-) Verbindungen gibt es Bit-Klassen, die entsprechen Ihrer Bedeutung unterschiedlich fehlergeschützt sind und demgemäß aufgeschlüsselt gemessen werden:

- Class Ia Bits: sehr guter Schutz
- Class Ib Bits: geringerer Schutz
- Class II Bits: ohne Schutz

Bei Packet Switched Verbindungen sind alle Daten gleich wichtig.

Circuit Switched Verbindungen verwenden stets die GMSK-Modulation. Packet Switched Verbindungen können GMSK-, 8-PSK- und teilweise auch 16-QAM- und 32-QAM-Modulation einsetzen.

11.1 RX Sensitivity / Circuit Switched

Wir beschäftigen uns zunächst mit den Circuit Switched Messungen:

- Burst by Burst (Bit Error Rate ohne Fehlerkorrektur)
- BER (Bit Error Rate mit Fehlerkorrektur)
- RBER/FER (Residual Bit Error Rate / Frame Erasure Rate)

In allen drei Fällen wird im DUT durch Signaling eine Schleife (Loop) geschlossen, die das empfangene Downlink Signal über den Uplink zurück zum Tester leitet, siehe Fig. 11-1 auf Seite 108. Im Tester findet dann eine Auswertung statt. Ein ausreichend hoher Sendepegel des DUTs gewährleistet, dass im "Rückkanal" keine zusätzlichen Übertragungsfehler hinzukommen.

Loop C liefert alle empfangenen Daten Burst für Burst "unbesehen" zurück. Der CMW berechnet die Bit Error Rate, d.h. das Verhältnis der fehlerhaften zur Gesamtzahl der übertragenen Bits. (Dies ist möglich, weil der CMW die Sendedaten kennt.) Getestet werden die analogen Stufen und der Demodulator.

Die anderen Loops beziehen zusätzlich den Decoder (mit seiner Fehlerkorrektur) ein. Während Loop C in erster Linie die analogen Komponenten des Empfängers testet, zeigen Loop A bis I den tatsächlichen Einsatzbereich eines Mobiltelefons. Die Loops A, B und I unterscheiden sich nur darin, welche Daten zur Auswertung zum Tester zurückgeschickt werden.

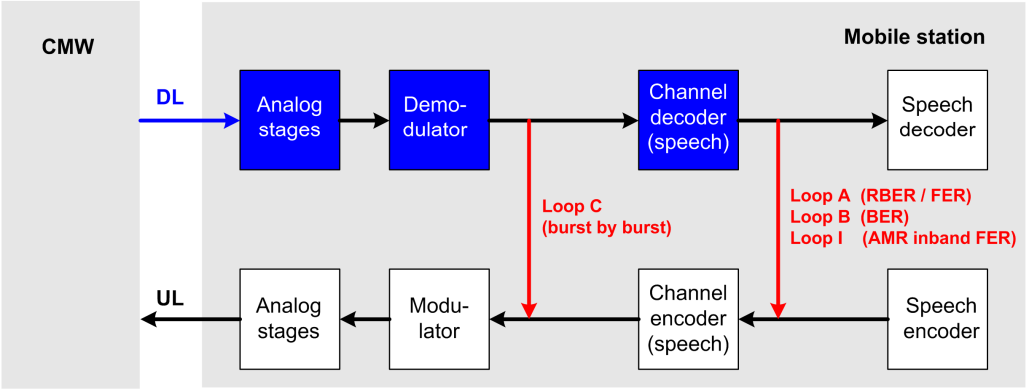


Fig. 11-1: RX-Loops für Circuit Switched

Loop B (für die Ermittlung der Bit Error Rate BER) sendet die decodierten Bits jeder Klasse - wie Loop C - ebenfalls zurück, aber nach erfolgter Fehlerkorrektur im Decoder. Der CMW berechnet das Verhältnis der fehlerhaften zur Gesamtzahl der übertragenen Bits.

Loop A markiert Frames, bei denen der Decoder fehlerhafte Class Ia Bits nicht mehr korrigieren konnte, als Erased Frames und schickt lauter Nullen zurück. Der CMW ermittelt dann das Verhältnis dieser Frames zur Gesamtzahl, die Frame Erasure Rate FER.

Für die Bit Error Ermittlung werden also bei Loop A nur noch Frames herangezogen, die eine Mindestqualität aufweisen. Dies kann dazu führen, dass bei sinkendem Downlink-Pegel die BER der Bit-Klassen Ib und II vorübergehend sogar besser werden kann, weil zunehmend stärker fehlerhaftete Frames als Erased Frames nicht mehr in die Berechnung eingehen.

Bit-Fehler in den Frames, die nach Abzug der Erased Frames übrigbleiben, werden bei Loop A in der Residual Bit Error Rate RBER angezeigt.

Messbereich

Nach Standard TS 151 010 wird nur überprüft, ob bei dem sogenannten Reference Sensitivity Level eine bestimmte Fehlerrate nicht überschritten wird. Der Reference Sensivity Level ist für GSM900-Mobiltelefone auf -104 dBm festgelegt (CS).

Wir messen im Folgenden darüberhinaus die Fehlerraten ab -95 dBm mit stufenweise abgesenktem Eingangspegel, bis der Pegel des Eingangssignals so gering ist, dass die Verbindung abbricht.

Hinweis: Tester und Mobilstation verfügen jeweils über einen Timeout-Zähler, der dann gestartet wird, wenn kein SACCH mehr dekodiert werden kann. Bis zum Ablauf des jeweiligen Zählers wird laufend überprüftt, ob die Signalstärke wieder ausreichend angestiegen ist. In diesem Fall wird die Verbindung weitergeführt, andernfalls nicht. Diese Timeout-Zähler wurden im Config-Menu der Signaling Task eingestellt.

Vorbereitungen:

Das DUT soll zunächst noch ausgeschaltet sein.

► Starten Sie mit einem *RESET* des CMW, laden Sie anschließend Ihre abgespeicherte Gerätekonfiguration *LabConfig.dfl*.

► Gehen Sie ins *GSM Signaling-Grundmenu.*

► Schalten Sie die *GSM Signaling*-Task an.

Wenn der Connection Status für *Circuit Switched* und für *Packet Switched* jeweils auf *ON* gewechselt hat,

► schalten Sie Ihr DUT ein, und warten Sie, bis der *Circuit* bzw. der *Packet Switched-Status* auf *Synchronized* bzw. *Attached* gewechselt haben.

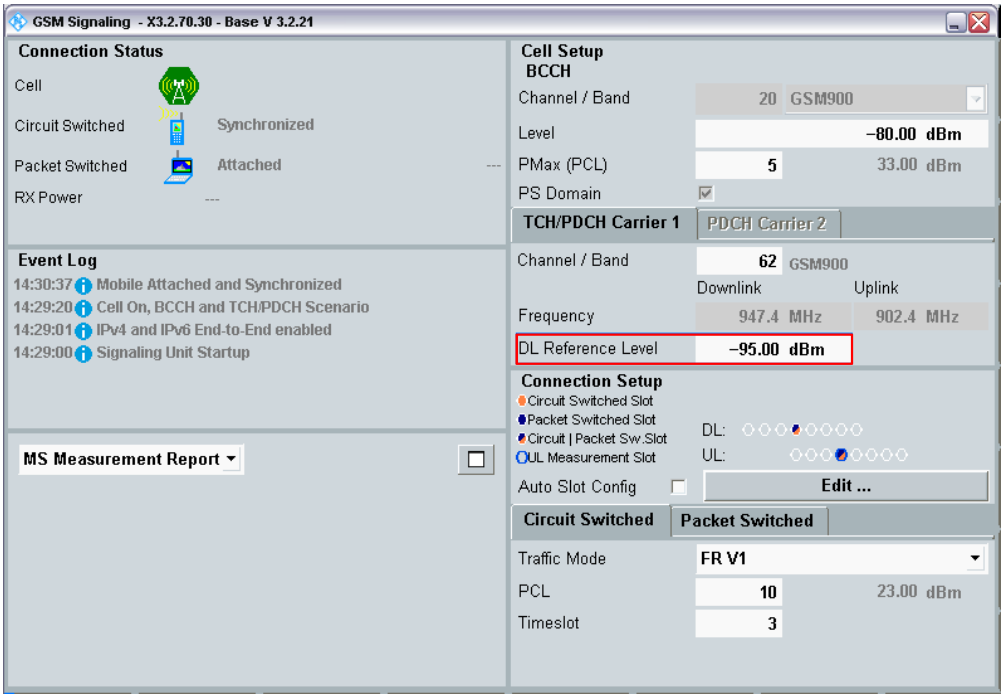


Fig. 11-2: GSM Signaling Grundbildschirm / Startpegel für die RX-Messungen

► Stellen Sie den *DL Reference Level* auf -95 dBm.

► Drücken Sie den Softkey CS Connect.

► Wenn das DUT "klingelt", öffnen Sie die Schirmkammer und "heben" Sie ab.

► Schließen Sie die Schirmkammer wieder.

► Überprüfen Sie, ob der Connection Status zu *Call Established* gewechselt hat.

Starten Sie die BER-Messung

► Gehen Sie ins Menu *GSM RX Meas*. (Die Mess-Task sei noch *OFF*:)

► Wählen Sie den Reiter *CS BER*.

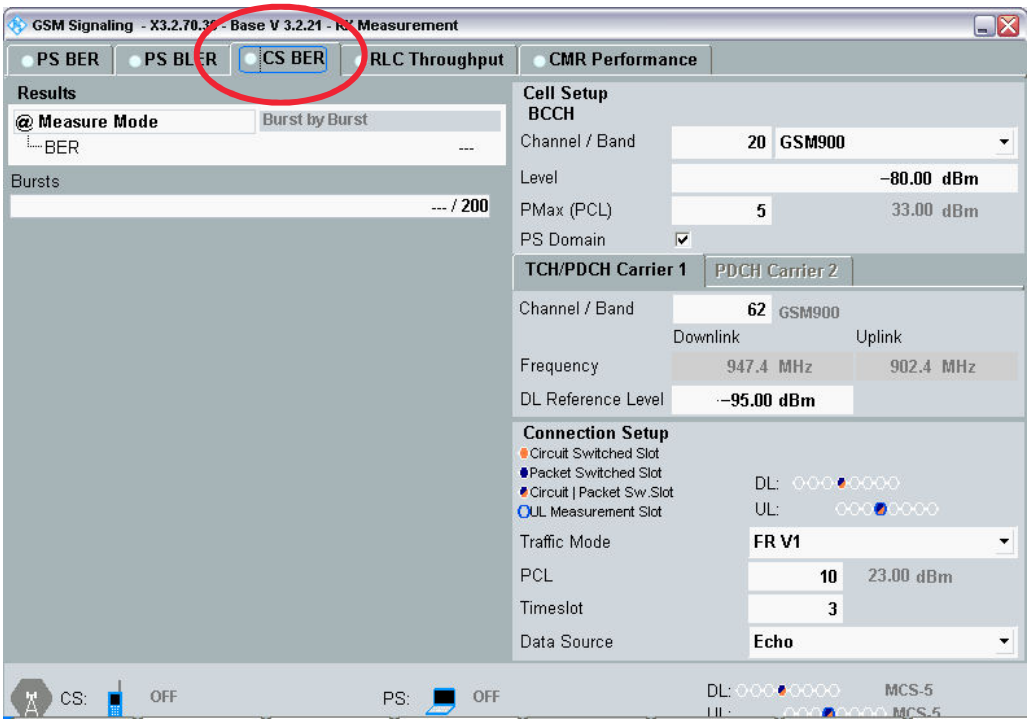


Fig. 11-3: CS BER Grundmenu

Um statistisch zuverlässige Aussagen zu erhalten, sind für die Sensitivity-Messungen im GSM Standard sehr große Datenmengen vorgeschrieben; die Testdauer beträgt teilweise Stunden. Um dies abzukürzen, beschränken wir uns hier auf 200 zu messende Frames. Der damit erzielte Geschwindigkeitsvorteil geht einher mit einer geringeren Messgenauigkeit. Dies wird bewusst in Kauf genommen. Es kommt hier nicht auf die absoluten Zahlen an, sondern darum, prinzipielle Verläufe und Unterschiede zu erkennen.

► Überprüfen Sie die Einstellungen:

Stop Condition (Softkey) None.

Anzahl der Speech Frames (Softkey) 200.

Measure Mode (Softkey) Burst by Burst. Dies entspricht Loop C, siehe Fig. 11-1 auf Seite 108.

Loop C, BER, Burst by Burst

► Starten Sie die Mess-Task (Hardkey *ON/OFF*).

Wenn eine Messung über die eingestellten 200 Bursts beendet ist, zeigt die Status-Anzeige im Softkey *BER Circuit Switched* der Status *RDY*. Mit dem Hardkey *RESTART / STOP* (oder zweimal *ON*) starten Sie erneut.

► Erstellen Sie eine Reihe von Messungen mit jeweils um 1 dB sinkendem Eingangspegel (*DL Reference Level*), bis die Verbindung abbricht.

► Notieren Sie Ihre Ergebnisse.

Wenn die Verbindung abbricht, meldet der CMW "Radio Link Timeout". Der Verbindung-Status zeigt noch "Synchronized". In diesem Fall:

► Schalten Sie Ihr DUT aus.

► Erhöhen Sie den DL Reference Level.

► Schalten Sie Signaling *OFF*, dann wieder *ON*.

Wenn der Connection Status für *Circuit Switched* und für *Packet Switched* jeweils auf *ON* gewechselt hat,

► schalten Sie Ihr DUT ein, und warten Sie, bis der *Circuit* bzw. der *Packet Switched-Status* auf *Synchronized* bzw. *Attached* gewechselt haben.

► Bauen Sie die Verbindung mit .. *Connect* erneut auf.

► Gehen Sie die nächste Messreihe an.

Loop B, BER

- ► Stellen Sie den *DL Reference Level* auf -95 dBm.
- ► Stellen Sie den Measure Mode (Softkey) auf BER. Dies entspricht Loop B, siehe Fig. 11-1 auf Seite 109. Diese Einstellung weicht von dem abgespeicherten Setup ab!
- ► Erstellen Sie eine Reihe von Messungen mit jeweils um 1 dB sinkendem Eingangspegel (*DL Reference Level*), bis die Verbindung abbricht.
- ► Notieren Sie Ihre Ergebnisse (Class II, Class Ib, CRC Errors).

Loop A, RBER, FER

- ► Stellen Sie den *DL Reference Level* auf -95 dBm.
- ► Stellen Sie den Measure Mode (Softkey) auf RBER, FER. Dies entspricht Loop A, siehe Fig. 11-1 auf Seite 109. Diese Einstellung weicht von dem abgespeicherten Setup ab!
- ► Erstellen Sie eine Reihe von Messungen mit jeweils um 1 dB sinkendem Eingangspegel (*DL Reference Level*), bis die Verbindung abbricht.
- ► Notieren Sie Ihre Ergebnisse (Class II, Class Ib, FER, CRC Errors).
- ► Beenden Sie die CS-Verbindung.

- ► Tragen Sie Ihre Messergebnisse graphisch auf.

(Wegen der geringen Anzahl der Bursts sind die Messergebnisse nicht recht genau. Es kommt hier nicht auf die absoluten Zahlen an, sondern den erkennbaren Trend!)

Fig. 11-4 zeigt die BER-Kurven des für die Application Note verwendeten Mobiltelefons.

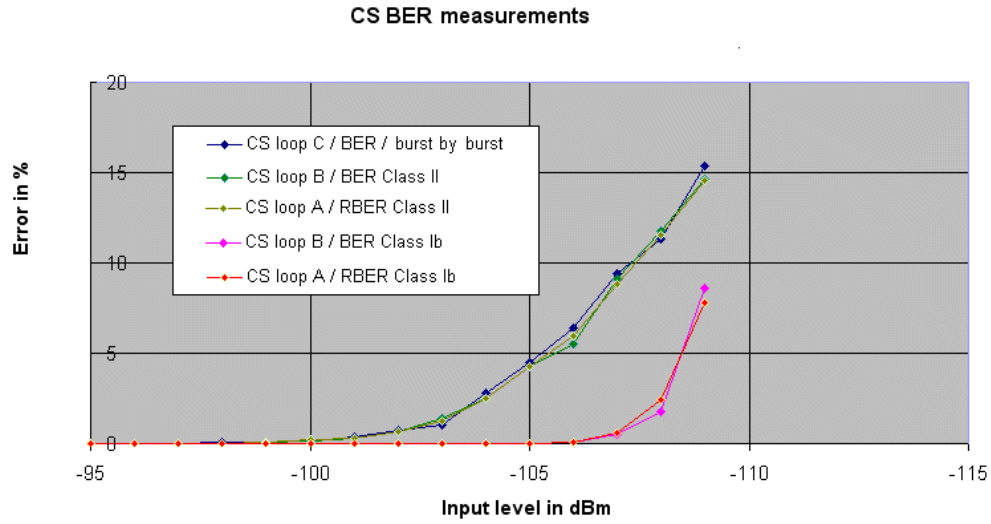


Fig. 11-4: CS Bit Error Gesamtdarstellung

Sind Ihre Messergebnisse vergleichbar?

Was ist zum Verlauf der einzelnen Kurven zu sagen?

Was ist beim Vergleich der Ergebnisse von Loop C und Loop B / Class II festzustellen?

Begründung?

Was ist beim Vergleich der Ergebnisse von Loop B und Loop A festzustellen?

Begründung?

Man erkennt, dass sich der Verlauf der Bit-Fehler der ungeschützten Class II-Bits nach dem Decoder sich nicht von der Fehlerrate vor dem Decoder unterscheidet. Die Fehlerkorrektur im Decoder für die Class Ib-Bits kann zunächst eine bestimmte Anzahl an Fehlern ganz beheben. Mit zunehmender Fehlerrate lassen sich jedoch prozentual immer weniger Fehler korrigieren.

11.2 RX Sensitivity / Packet Switched

Wir beschäftigen uns jetzt mit zwei Packet Switched Messungen:

- PS BER, DBLER (Bit Error Rate, Data Block Error Rate ohne Fehlerkorrektur) und
- PS BLER (Block Error Rate mit Fehlerkorrektur)

Packet Daten sind allgemein (nicht nur für eine Berechnung der Bit- oder Block Error-Raten) in sogenannte Radio Blocks gegliedert. Diese beinhalten jeweils den Dateninhalt von vier Slots. Um einen Radio Block zu übertragen, benötigt man also 4 Frames, das entspricht einer Spanne von ca. 18.5 ms.

Für kurze Messzeiten beschränken wir uns im Folgenden auf 200 zu messende Blocks. Die resultierende Messunsicherheit wird bewusst in Kauf genommen.

Messungen ohne Fehlerkorrektur / PS SRB-Loop / BER, DBLER

In diesem Fall etabliert der Tester im Mobiltelefon eine sogenannte *SRB*-Loop. *SRB* steht für Switched Radio Block und bedeutet, dass Blöcke mit Packet Daten übertragen werden. Die *SRB*- Loop spiegelt - wie Loop C bei Circuit Switched-Messungen - jeden empfangenen Radio Block Bursts by Burst ohne Fehlerkorrektur zum Tester zurück, siehe Fig. 11-5.

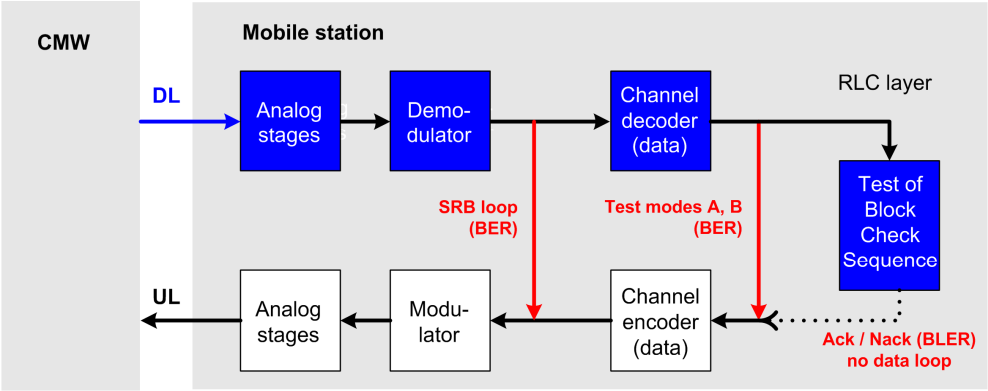


Fig. 11-5: RX-Loops für Packet Switched

Normalerweise besteht ein Radio Block aus einem Header, einem Datenabschnitt und einer Checksumme (Block Check Sequence BCS). Für die *SRB*-Schleife sendet der CMW Radio Blocks ohne diese Checksumme. Die verwendeten Daten sind bekannte Pseudo-Random-Sequenzen. Daher kann der CMW jeden Bitfehler detektieren. Ein Blockfehler liegt vor, wenn darin mindestens ein Bitfehler vorgekommen ist.

► Gehen Sie ins Menu *GSM RX Meas*. (Die Mess-Task sei noch *OFF*:)

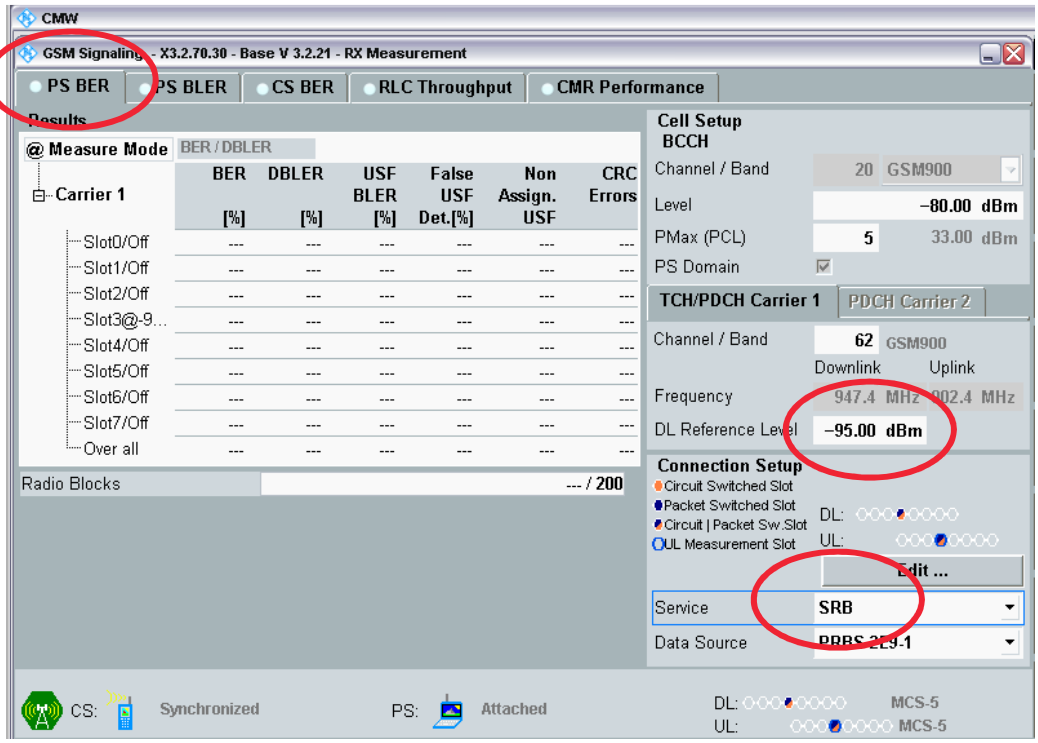


Fig. 11-6: PS BER Grundmenu

► Wählen Sie die Messung *PS BER* (linker Tab.), siehe Fig. 11-6.

► Stellen Sie den *DL Reference Level* auf -95 dBm.

► Falls ein anderer Service gewählt ist, stellen Sie *SRB* ein.

► Überprüfen und korrigieren Sie ggf. in der waagrechten Softkey-Leiste die Einstellungen von

Stop Condition (None)

Radio Blocks (200)

Measure Mode (BER / DBLER)

Wie lange wird die Messung voraussichtlich dauern?

Messung

- ► Bauen Sie eine PS-Verbindung auf.
- ► Starten Sie die Mess-Task (Hardkey *ON/OFF*).
- ► Erstellen Sie eine Reihe von Messungen mit jeweils um 1 dB sinkendem Downlinkpegel (*DL Reference Level*), bis die Verbindung abbricht.
- ► Tragen Sie Ihre Messergebnisse für BER und DBLER graphisch auf.
- ► Beenden Sie die PS-Verbindung.

Die BER-Kurven des für die Application Note verwendeten Mobiltelefons finden sich in Fig. 11-9 auf Seite 117 zusammen mit den Ergebnissen des RLC Layers.

Wie interpretieren Sie Ihre aufgenommenen Kurven?

Warum ist die Block Error Rate DBLER viel größer als die Bit Error Rate?

Was ist beim Vergleich der Ergebnisse von PS BER (SRB Loop) und CS BER (Loop C) festzustellen?

Welche Begründung gibt es dafür?

Warum gibt es keine CRC Errors?

Warum kann man nicht unmittelbar mit der nächsten, der untenstehenden Messung (BLER-Loop) beginnen, ohne die Verbindung zu unterbrechen?

Messungen mit Fehlerkorrektur / PS BLER

Wir messen jetzt die Block Error Rate, die der RLC-Layer[18] nach der Fehlerkorrektur durch den Channel Decoder noch feststellt. (Die Bit Error Raten in den Test Modes A und B werden hier nicht betrachtet.)

In diesem Fall verwendet der CMW Radio Blocks, die aus Header, einem Datenkörper und einer Checksumme (Block Check Sequence BCS) bestehen. Ein Block gilt als fehlerhaft, wenn die im Mobiltelefon neuberechnete Checksumme des empfangenen Blocks nicht mit der mitgelieferten Block Check Sequence BCS übereinstimmt. Die BCS leitet sich aus Header und Datenabschnitt des jeweiligen Radio Blocks ab. Im Gegensatz zur DBLER-Messung führen hier auch Übertragungsfehler im Header zu einer Ablehnung des Radio Blocks.

Es gibt dabei keine Daten-Loop. Die Mobile Station führt die Auswertung selbst durch und schickt eine Ack / Nack-Information zurück zum Tester, siehe Fig. 11-7 auf Seite 116.

---

[18] Radio Link Controller-Layer, beschäftigt sich mit den dekodierten und fehlerkorrigierten Radio Blocks.

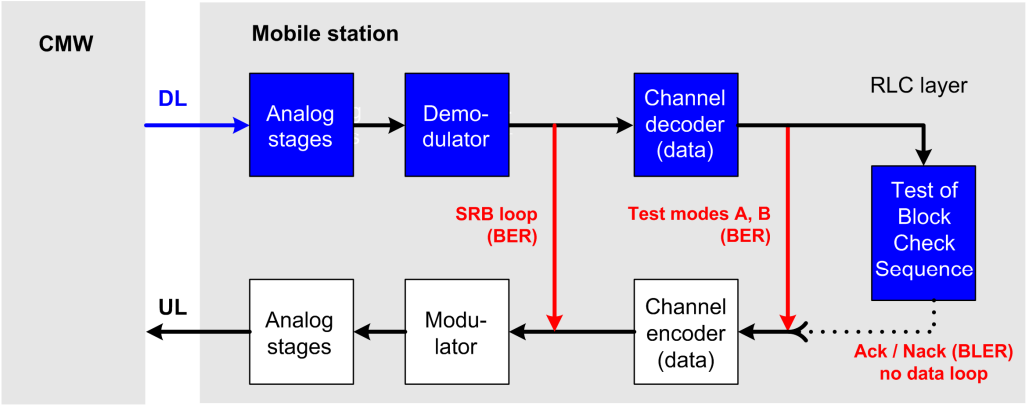


Fig. 11-7: RX-Loops für Packet Switched

- ► Gehen Sie ins Menu *GSM RX Meas*. (Die Mess-Task sei noch *OFF*:)
- ► Wählen Sie die Messung *PS BLER*, siehe Fig. 11-8.
- ► Stellen Sie den *DL Reference Level* auf -95 dBm.
- ► Stellen Sie den Service *BLER* ein.

  Diese Einstellung weicht von der abgespeicherten Geräteeinstellung.ab!
- ► Überprüfen und korrigieren Sie ggf. in der waagrechten Softkey-Leiste die Einstellungen des RLC Data Block Count (200).

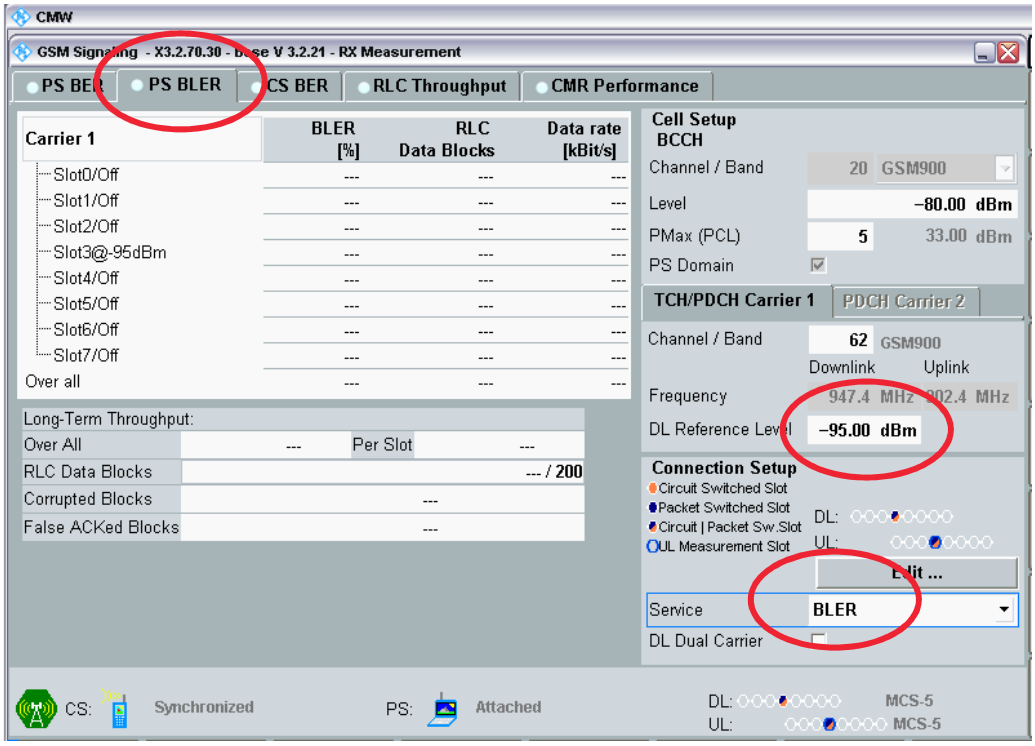


Fig. 11-8: PS BLER Grundmenu

Wie lange wird eine Messung diesmal voraussichtlich dauern?

Messung

- ► Bauen Sie eine PS-Verbindung auf.
- ► Starten Sie die Mess-Task (Hardkey *ON/OFF*).
- ► Erstellen Sie eine Reihe von Messungen mit jeweils um 1 dB sinkendem Downlinkpegel (*DL Reference Level*), bis die Verbindung abbricht.
- ► Tragen Sie Ihre Messergebnisse graphisch auf.
- ► Beenden Sie die PS-Verbindung.

Fig. 11-9 zeigt eine derartige Darstellung zusammen mit de Kurven der letzten Messung.

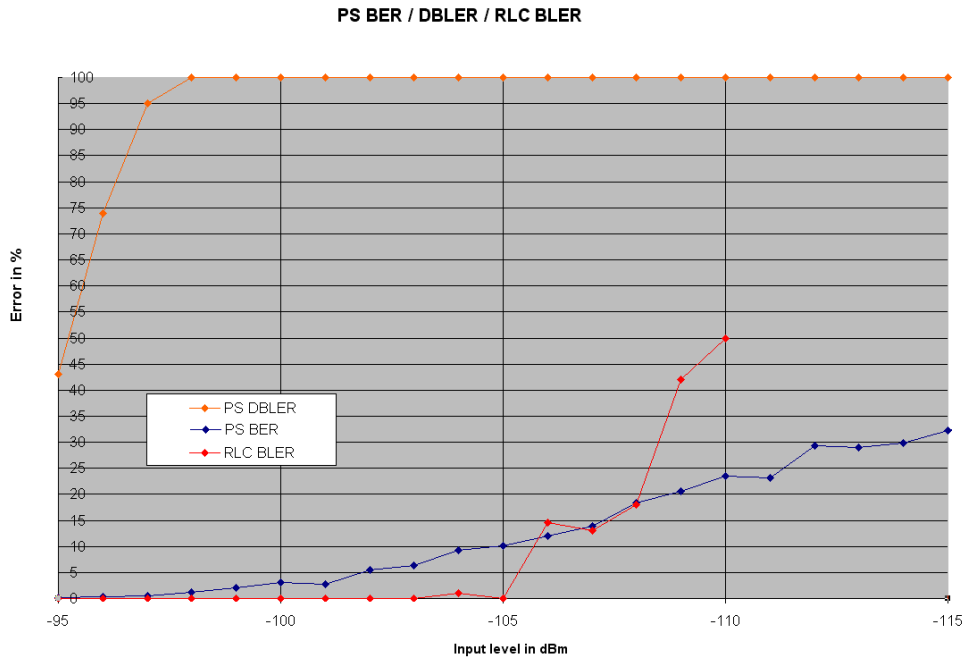


Fig. 11-9: PS Bit Error Gesamtdarstellung

Sind Ihre Messergebnisse vergleichbar?

Was ist allgemein zur Steigung der einzelnen Kurven zu sagen?

Was ist beim Vergleich der Ergebnisse der CS BER in Fig. 11-4 auf Seite 112 und der PS BER und DBLER in Fig. 11-9 festzustellen?

Welche Begründung gibt es dafür?

Fassen Sie die Ergebnisse Ihrer RX-Messungen mit eigenen Worten zusammen.

12 Literatur

[1] Analoge und digitale Modulationsverfahren, Rudolf Mäusl / Jürgen Göbel, Hüthig-Verlag Heidelberg, 2002

[2] Einstieg in die digitalen Modulationsverfahren, Gerhard Sonnde / Dr. Klaas N. Hoekstein, Franzis-Verlag München, 1992

[3] Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile Station (MS) conformance specification; Part 1: Conformance specification, 3GPP TS 51.010-1 version 10.3.0 Release 10, 2013

[4] The GSM System for Mobile Communications, Michel Mouly / Marie-Bernadette Pautet, Cell & Sys Correspondence, Palaiseau / France, 1992

[5] GSM-Signalisierung, Gunnar Heine, Franzis-Verlag München, 1998

[6] R&S®CMW500 Wideband Radio Communication Tester, User Manual, Rohde&Schwarz® , 2013

[7] R&S®CMW-KG2xx/-KM2xx/-KS2xx, GSM Firmware Applications, User Manual, Rohde&Schwarz® , 2013

About Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz is an independent group of companies specializing in electronics. It is a leading supplier of solutions in the fields of test and measurement, broadcasting, radiomonitoring and radiolocation, as well as secure communications. Established more than 75 years ago, Rohde & Schwarz has a global presence and a dedicated service network in over 70 countries. Company headquarters are in Munich, Germany.

Regional contact

Europe, Africa, Middle East
+49 89 4129 12345
customersupport@rohde-schwarz.com

North America
1-888-TEST-RSA (1-888-837-8772)
customer.support@rsa.rohde-schwarz.com

Latin America
+1-410-910-7988
customersupport.la@rohde-schwarz.com

Asia/Pacific
+65 65 13 04 88
customersupport.asia@rohde-schwarz.com

China
+86-800-810-8228 /+86-400-650-5896
customersupport.china@rohde-schwarz.com

Environmental commitment

- Energy-efficient products
- Continuous improvement in environmental sustainability
- ISO 14001-certified environmental management system

Certified Quality System
ISO 9001

This and the supplied programs may only be used subject to the conditions of use set forth in the download area of the Rohde & Schwarz website.

R&S® is a registered trademark of Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG; Trade names are trademarks of the owners.

PAD-T-M: 3573.7380.02/02.00/CI/1/EN/

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
Mühldorfstraße 15 | D - 81671 München
Phone + 49 89 4129 - 0 | Fax + 49 89 4129 – 13777

www.rohde-schwarz.com