

In Band on Channel (IBOC) bei FM und AM

In der Region 2 („die Americas“) ist fast alles größer als in der Region 1 („old Europe“).

- Die räumlichen Abstände zwischen den Sendern sind größer, was auf eine geringere Sender-Dichte führt, verglichen mit der Region 1;
- Das Kanalraster ist weiter:

FM : 200 KHz (Region 2) statt 100 KHz (Region 1)

AM : 10 KHz statt 9 KHz in Region 1

Dies führt auf eine geringere frequenzmäßige Überlappung, verglichen mit Region 1.

- Dafür sind die Leistungen der Sender in der Region 2 geringer, speziell auf Mittelwelle. Der „normale“ Mittelwellensender liegt in der Größenordnung 1 KW; viele lokale kommen nur auf 10 — 100 W; die maximal zugelassene Leistung liegt bei 50 KW.

Alle diese Punkte führen dazu, daß sich die Sender in der Region 2 viel weniger gegenseitig stören, als man es in der Region 1 gewohnt ist.

Näher betrachtet, ist speziell bei FM in der Region 2 spektral noch „viel Luft“ drin. Und genau das ist der Ansatz, der dazu führte, vorhandene Lücken im Spektrum mit digitalen Übertragungen zu füllen. Zur Minimierung des technischen Aufwandes und der Kosten werden dabei vorhandene Standorte (Sender, Antennen) aufgerüstet. Den vorhandenen analogen Sendesignalen werden damit digitale zugesetzt.

Damit keine Lizenz für eine neue Träger-Frequenz erforderlich wird, hieß das Verfahren ursprünglich „In Band on Channel“ IBOC. Eine Analyse zeigt aber sehr schnell, daß dies eine unzutreffende Bezeichnung ist, da die (zusätzlichen) digitalen Signale spektral zu beiden Seiten außerhalb des nominellen Kanals zu liegen kommen und damit Nachbarkanäle stören, wenn dieses Verfahren auf die Region 1 übertragen wird. Mittlerweile wurde IBOC umgetauft zu „HD Radio“, was besser klingt.

Spektren der IBOC — HD Radio Signale

Viele Publikationen zu diesen Themen behandeln nur die Vorteile von HD Radio und gehen auf Störungen nur insofern ein, wie HD Radio durch vorhandene FM bzw. AM Sender gestört wird.

Es soll hier der umgekehrte Fall betrachtet werden, nämlich wie durch IBOC Signale die vorhandenen analogen AM und FM Übertragungen beeinträchtigt werden. Als Kriterium hierfür wird die Spektralverteilung der Sendungen herangezogen. Als störungsfrei soll dabei der Fall gelten, daß sich die Spektren gegenseitig nicht überlappen.

1 UKW-FM IBOC

Die Berechnung eines FM-Spektrums ist kompliziert, weil es sich bei der FM um eine nichtlineare (exponentielle) Modulation handelt. Es sind daher für praktische Bedürfnisse verschiedene Näherungsrechnungen üblich, wobei vereinfachende Annahmen getroffen werden.

Nachricht ist Cosinus-förmig : Das Spektrum ist linienförmig. Die Größe der Linien berechnet sich mit Hilfe der Besselfunktionen 1. Art und hängt ab von der Amplitude der Cosinus-Schwingung und von deren Frequenz. Der Linienabstand ist gleich der Nachrichtenfrequenz f_m . Die Bandbreite der FM ist (viel) größer als die doppelte Nachrichtenfrequenz.

Nachricht hat eine sehr kleine Amplitude : Es ergibt sich eine „Schmalband-FM“. Die FM-Bandbreite ist gleich dem doppelten Wert der höchsten Frequenz in der Nachricht. Es besteht eine Ähnlichkeit zum Spektrum einer AM (gilt für die PM, Phasenmodulation).

Nachricht hat eine sehr niedrige Grenzfrequenz : Es ergibt sich eine „Breitband-FM“, wobei die Form des FM-Spektrums der Form der Amplitudendichte-Verteilung des Nachrichtensignals entspricht.

In vielen Lehrbüchern wird nur die erstgenannte Näherung (mit den Besselfunktionen) behandelt, welche allerdings aber für meßtechnische Anwendungen (mit Cosinus-Signalen) eine praktische Relevanz hat.

Alle diese Näherungen treffen auf eine im Radio übliche Modulation mit Sprache oder Musik nicht zu. Diese Modulations-Signale sind weder Cosinus-förmig, noch haben sie eine kleine Amplitude oder eine tiefe Grenzfrequenz.

1.1 FM Spektrum

Die Form eines FM-Spektrums bei Modulation mit „Programm“, Bild 1.2 [1], kann man näherungsweise erklären, wenn man die FM-Spektren für eine Cosinus-Schwingung¹ bei unterschiedlicher Amplitude betrachtet, Bild 1.1 [4], und berücksichtigt, daß die Amplitude zwischen Null und einem Maximalwert dabei schwankt. Mittelt man die einzelnen Spektren für die unterschiedlichen Amplituden, was ein Spektral-Analysator auch tut, erhält man näherungsweise eine dreiecksförmige Spektralverteilung der FM. Linien sind dabei keine zu sehen, weil das Nachrichtensignal hier nicht Cosinus-förmig ist, sondern das gesamte NF Frequenzband umfaßt.

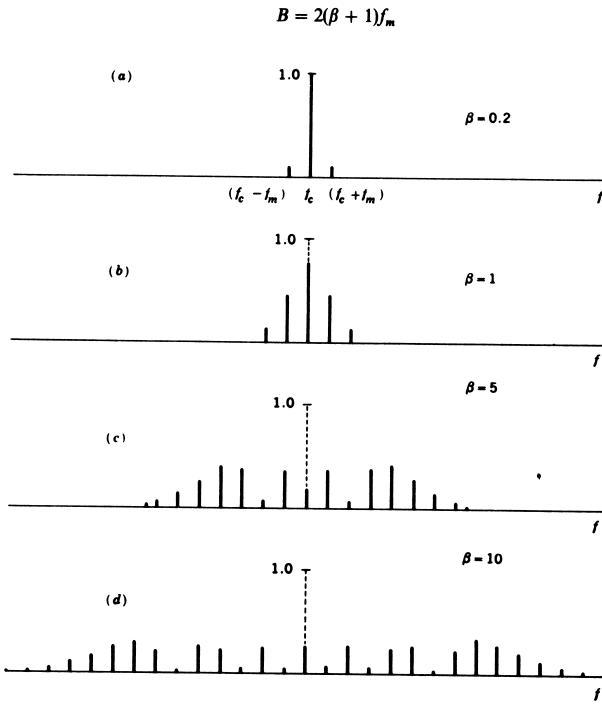


Bild 1.1: FM-Spektren für Cosinus Signal bei unterschiedlicher Amplitude; $\beta = k_{FM} \cdot \hat{u}_m / f_m$

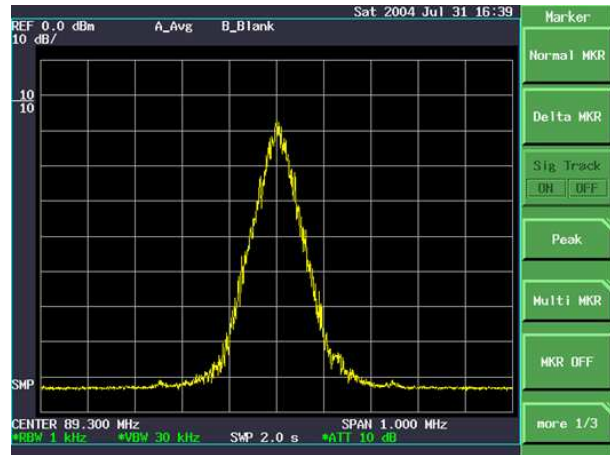


Bild 1.2: FM-Spektrum eines UKW-Senders mit Programm (Jazzmusik), KVOB, Denver, Colorado USA, Region 2 [1]. Der Spektrum-Analysator zeigt ein gemitteltetes Spektrum. Man kann dies auffassen als Mittelwert aus verschiedenen Bessel-Spektren mit unterschiedlichen Werten für f_m und β . Bei leisen Passagen ist $\beta \rightarrow 0$.

1.1.1 FM-Sender mit Kompression

Bei vielen Sendern ist es heute üblich, das Audio-Signal einer (erheblichen) Kompression zu unterziehen. Im Radio klingen sie dadurch lauter, was speziell für die Werbung gewünscht wird. Kommen jedoch leise Passagen kaum noch vor, so ändert sich die gemessene Spektralverteilung. Aus der Dreiecks-Form bei einem unkomprimierten Sender, Bild 1.2, wird dadurch eine Trapez-Form, Bild 1.3 [3].

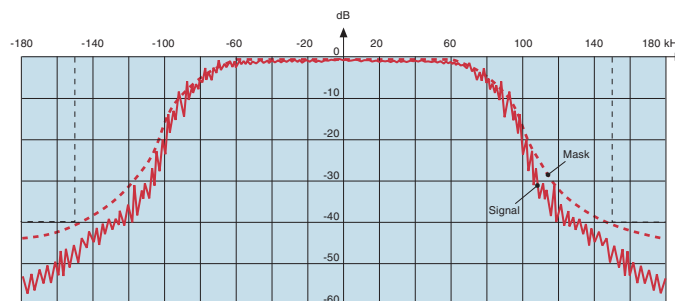


Bild 1.3: FM-Spektrum für komprimiertes Nachrichten-Signal

¹Für Cosinus-förmige Nachricht $u_m(t) = \hat{u}_m \cos(\omega_m t)$ und Modulatorkonstante k_{FM} wird der Frequenzhub $\Delta f = k_{FM} \cdot \hat{u}_m$ und der Modulations-Index $\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$. Es ergibt sich die FM-Bandbreite (Carson-Bandbreite) $B \approx 2(\beta + 1) \cdot f_m$, die damit von der Amplitude der Nachricht \hat{u}_m abhängt.

1.2 UKW FM Spektrums-Maske

Die UKW FM Spektrums-Masken in USA (Region 2, FCC FM Mask) und Europa (Region 1, ETSI FM Mask) unterscheiden sich deutlich, insbesondere bezüglich der Nachbarkanäle, Bild 1.4. Das Kanalraster beträgt in Region 1 nur 100 KHz, im Unterschied zur Region 2 mit einem Raster von 200 KHz. Frequenzmäßig liegen die UKW Sender in Region 1 daher viel dichter gedrängt. Würden den Europäischen UKW Sendern gestattet, mit der Bandbreite zu senden, wie es in USA üblich ist, gäbe es bereits im analogen UKW Rundfunk praktisch keinen ungestörten Empfang mehr. Ein Vergleich mit dem gemessenen Spektrum in Bild 1.2 zeigt, daß ein UKW FM Sender auch in Region 2 die ETSI Maske (fast) einhalten kann, wenn er keine Kompression für das Audiosignal anwendet.

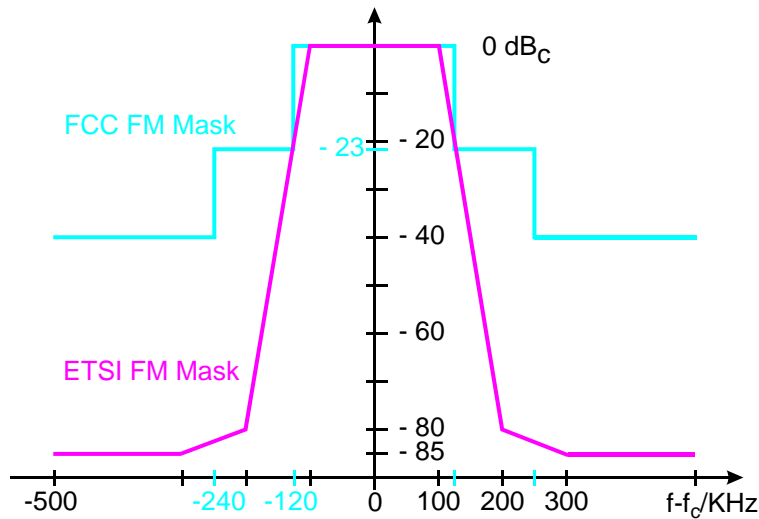
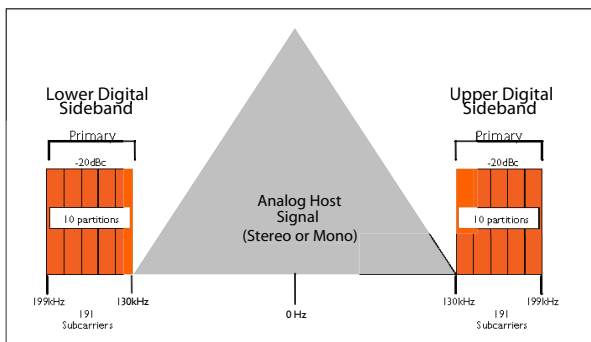


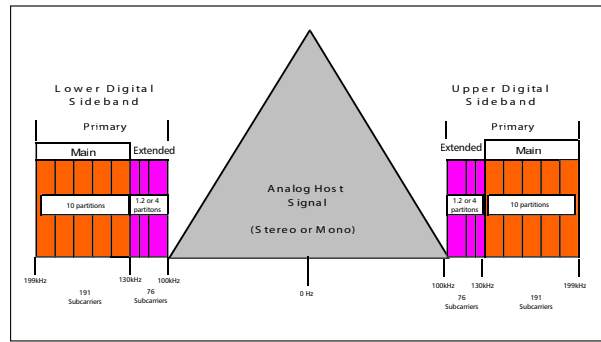
Bild 1.4: FM-Spektrums Maske für Region 1 und Region 2. Unter der Maske für Region 2 (FCC FM Mask) ist „viel Luft“.

1.3 UKW FM HD Spektren

Die FCC FM Maske gestattet es, zusätzliche digitale Signale zu beiden Seiten **außerhalb** des analogen FM Kanals auszusenden, Bilder 1.5 & 1.6 [2]. Die Spektren der digitalen Signale liegen eindeutig außerhalb der nominalen Breite des Kanal-Rasters. In soweit trifft der Name „In Band on Channel“ (IBOC) nicht den tatsächlichen Sachverhalt. Korrekter wäre sicher „In Band on Adjacent Channels“ (IBAC).



FM HD Radio—Hybrid Mode



FM HD Radio—Extended Hybrid Mode

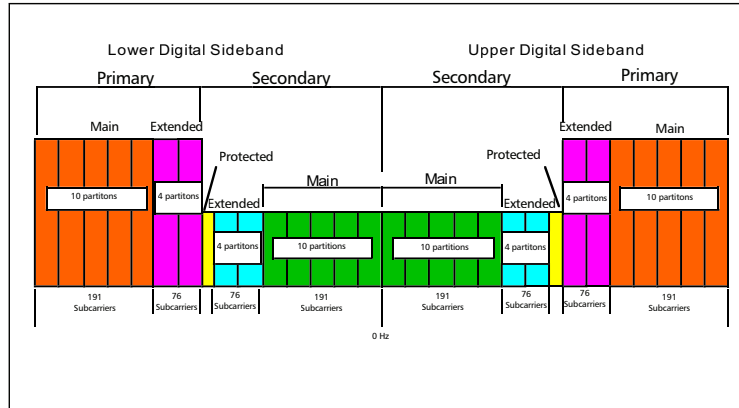
Bild 1.5: FM-Spektrum IBOC analog (Dreiecksform) und digital (Vielträger-Signal)

Bild 1.6: FM-Spektrum IBOC analog (eingeschränkt) und digital (erweitert)

Wie Bild 1.6 zeigt, soll im „Extended Hybrid Mode“ die analoge Übertragung zu Gunsten der digitalen (qualitativ) eingeschränkt werden. Nach einer Übergangszeit ist geplant, die analoge Übertragung einzustellen und

nur noch digital zu übertragen.

Bei der rein digitalen Übertragung im „Full Digital Mode“ soll das analoge FM-Signal (im Kanal) ebenfalls durch ein digitales Signal ersetzt werden, wodurch sich spektrale Verhältnisse gemäß Bild 1.7 ergeben. Man erkennt, daß in den unmittelbar angrenzenden Nachbarkanälen (*adjacent channels*) mehr Leistung übertragen wird als im eigentlichen (nominellen) Kanal.



FM HD Radio—Full Digital Mode

Bild 1.7: FM-Spektrum IBOC voll digital: HD Radio. Die Spektralanteile in den unmittelbar angrenzenden Nachbarkanälen (*adjacent channels*) sind größer als die Spektralanteile innerhalb des nominellen Kanals.

Aufgrund des Spektrums Bild 1.7 ist beim HD-Radio in der Region 1 mit erheblichen Störungen in den angrenzenden analogen FM Kanälen zu rechnen. Kompatibel mit der EBU/ETSI Spektrumsmaske für UKW FM ist HD-Radio jedenfalls nicht.

1.3.1 Gemessene UKW FM HD-IBOC Spektren

In [1] sind weitere Meßergebnisse angegeben. Zunächst wird in Bild 1.8 das gemessene FM HD-IBOC Spektrum gezeigt.

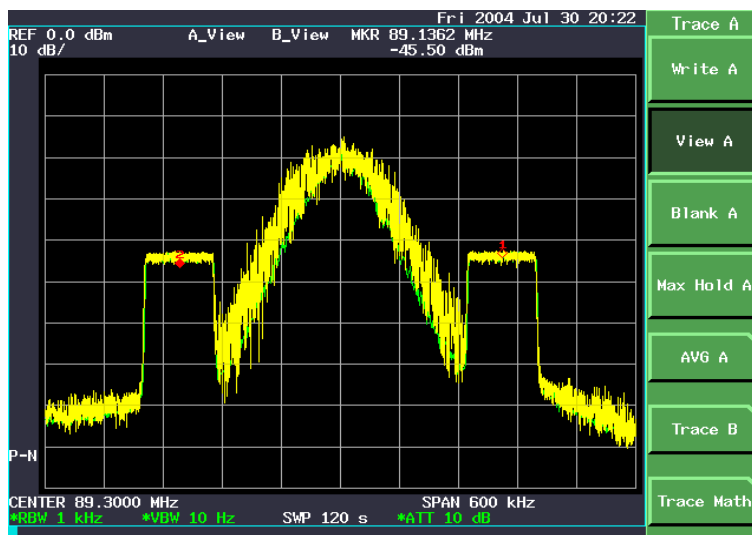


Bild 1.8: FM-Spektrum IBOC gemessen

Zu erkennen sind die digitalen Spektralanteile (rechteckförmig) zu beiden Seiten des analogen Spektrums (glockenförmig). Ein Vergleich mit Bild 1.2 zeigt sofort, daß die digitalen Spektren außerhalb des analogen Spektrums — und damit außerhalb des FM-Kanals — liegen.

In Bild 1.9 ist dies noch deutlicher zu erkennen. Zusätzlich wird hier erkennbar (grüne Spektralverteilung), daß nur bei einer sorgfältigen Dimensionierung des Senders derartige Störanteile vermieden werden können.

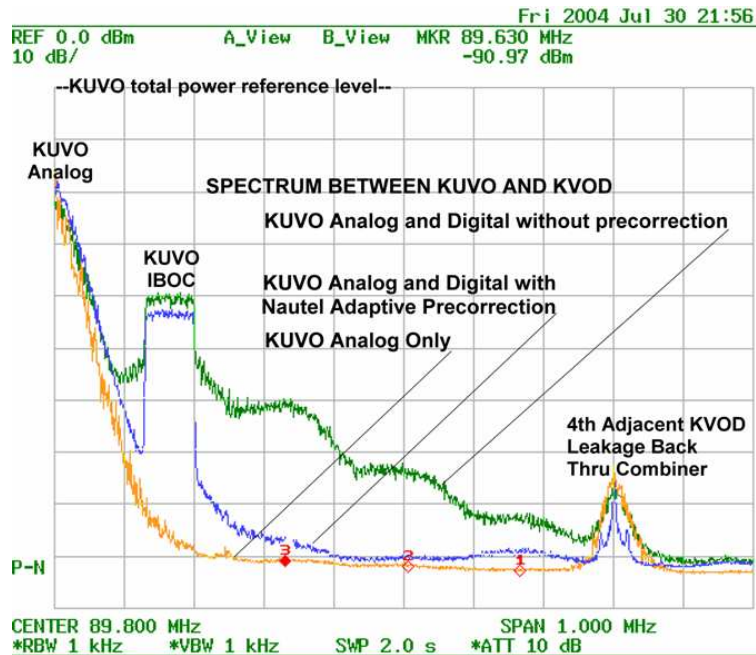


Bild 1.9: Vergleich der gemessenen FM-IBOC Spektren. Der grün gezeichnete Spektralverlauf (Ohne Precorrection) zeigt die bei dieser Technik durchaus zu erwartenden Störspektren. Der Nachbarsender ist in diesem Beispiel 800 KHz entfernt und wird deshalb praktisch nicht gestört.

1.3.2 Einfluss der Messbandbreite

Bei der Spektrumsmessung besteht ein Zusammenhang zwischen dem Meßergebnis und der verwendeten Bandbreite des Analysers. Dies wirkt sich für unterschiedliche Signale verschieden aus.

- Bei Cosinus-förmigen Signalen (z.B. Trägerschwingung) ist das Ergebnis unabhängig von der Bandbreite, Bild 1.10.
- Bei rauschähnlichen Signalen (z.B. COFDM) wird die Anzeige des Spektrums um so größer, je größer die Bandbreite gewählt wird, Bild 1.11.

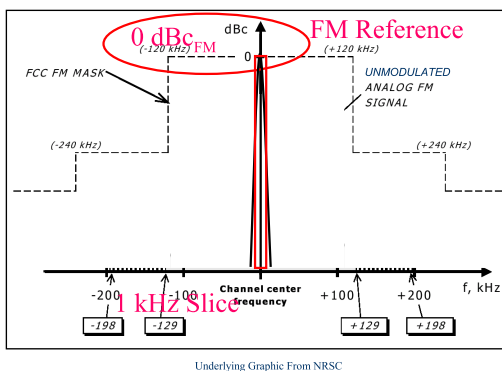


Bild 1.10: Spektrum der FM-Schwingung

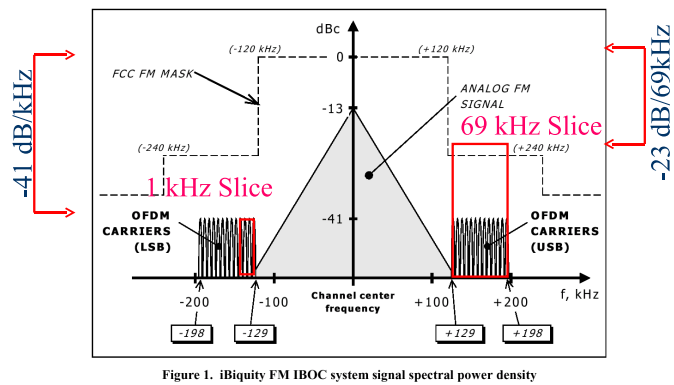


Bild 1.11: Spektrum der COFDM: Gemessener Wert ist abhängig von der Messbandbreite.

Ein gemessenes Spektrum ist daher nur aussagekräftig, wenn auch die Meßbandbreite bekannt ist.

1.4 Die Modulation für die digitale Übertragung

Das IBOC-Verfahren verwendet als Modulation für das digitale Signal die COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex Modulation). COFDM (uncodiert: OFDM) ist eine „Vielträger“-Modulation.[5] Der Ausdruck „Vielträger“ ist eigentlich nicht korrekt; vielmehr handelt es sich um die (frequenzmäßig) parallele Übertragung von vielen schmalen Teil-Kanälen (subchannels), Bild 1.12. „Träger“-Linien existieren in den Sub-Kanälen nicht.²

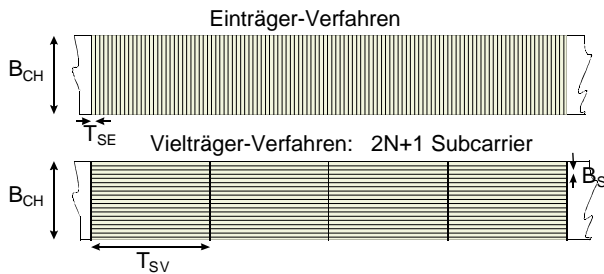


Bild 1.12: Datenstruktur bei „Einträger“- und „Mehrträger“-Modulation. Die Breite des Übertragungskanal ist in beiden Fällen gleich.

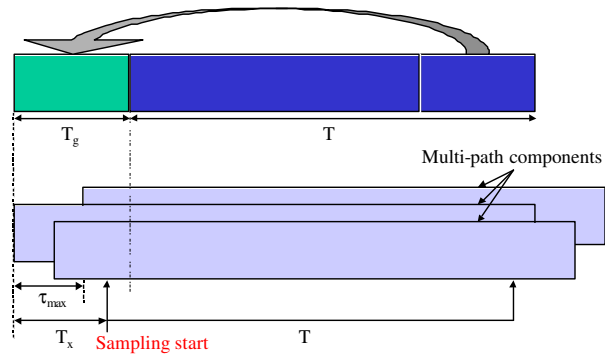


Bild 1.13: Bildung des Guard-Intervalls bei OFDM

Weil die Teilkanäle schmal sind, werden die darin übertragenen digitalen Symbole entsprechend verlängert. Der „Trick“ der OFDM besteht darin, daß die Länge der digitalen Symbole so groß gewählt wird, daß sie mindestens 4 mal so lang andauern wie die größte Echo-Zeit τ_{max} , die im Funk-Kanal infolge Mehrwege-Ausbreitung entsteht.

Das erste Viertel eines jeden digitalen Symbols, wo Überlagerungen von Echos mit unterschiedlich langer Laufzeit entstehen können, wird „Guard“-Intervall T_g genannt und im Empfänger verworfen, Bild 1.13. In den letzten 3/4 jedes digitalen Symbols besteht ein „eingeschwungener“ Zustand, welcher vom OFDM Demodulator ausgewertet werden kann.³

Die Funk-Übertragung mit Echos bewirkt, daß sich die zu (leicht) unterschiedlichen Zeiten eintreffenden Funk-Signale (je nach Frequenz) konstruktiv oder destruktiv überlagern. Aus dem Physik-Unterricht sind vielleicht noch entsprechende Experimente mit Interferenzen bekannt.

Für ein Beispiel mit einer 3 Wege-Ausbreitung erhält man dadurch einen „Amplitudengang“ des Funk-Kanals gemäß Bild 1.14.

Die destruktiven Überlagerungen führen zu den „Löchern“ (Notches). Diese Notches aber bewirken, daß bis zu 1/4 aller Teil-Kanäle im Empfänger nicht auswertbar sind, weil diese zu schwach ankommen und damit das Signal-zu-Geräusch-Verhältnis zu gering ist.

Abhilfe schafft eine Fehlerschutz-Codierung, in diesem Fall eine Faltungs-Codierung. Daher gibt es praktisch keine OFDM, sondern nur eine COFDM.

1.5 OFDM Zeitsignale

Weil die Sub-Kanäle einer OFDM praktisch von einander statistisch unabhängige Signale übertragen, hat das Summen-Signal im Kanal ziemlich genau die Eigenschaften einer mit einer Gauß-verteilten Rausch-Spannung in der Amplitude und Phase modulierten Trägerschwingung⁴. Betrachtet man die Zeitverläufe vor der Modulation, die aus 2 Zeitsignalen bestehen, so erkennt man den rauschähnlichen Charakter, Bild 1.15.

Die Amplitude $A(t)$ der OFDM erhält man aus der geometrischen Addition der beiden $I(t)$ und $Q(t)$ Signale, $A(t) = \sqrt{I(t)^2 + Q(t)^2}$. Man erkennt daraus, daß die Amplitude $A(t)$ erheblich schwankt. Ein Maß dafür ist der Crest-Faktor C_F , welcher das Verhältnis von Spitzen-Amplitude zum Effektivwert der Amplitude beschreibt. COFDM hat Crest-Faktoren von ca. 13 dB (Faktor 4,47 in der Spannung; 19,9 in der Leistung)⁵.

²Die Modulationsart in den Sub-Kanälen ist eine QDSB-SC (Quadratur Double Sideband suppressed Carrier: analoge Bezeichnung) bzw. eine QAM (Quadratur Amplitude Modulation. 16QAM, 64QAM: digitale Bezeichnung).

³Praktisch geschieht die Auswertung nach $T_x \leq T_g$, Bild 1.13, mit Hilfe einer Fast-Fourier-Transformation (FFT).

⁴Die Amplitude hat eine Rayleigh-Verteilung und die Phase hat eine Gleich-Verteilung.

⁵In der Praxis werden Methoden angewendet, um den Crest-Faktor zu verringern. Diese bewirken entweder eine Verringerung der Netto-Datenrate oder eine Verschlechterung des Signal-zu-Geräusch Verhältnisses.

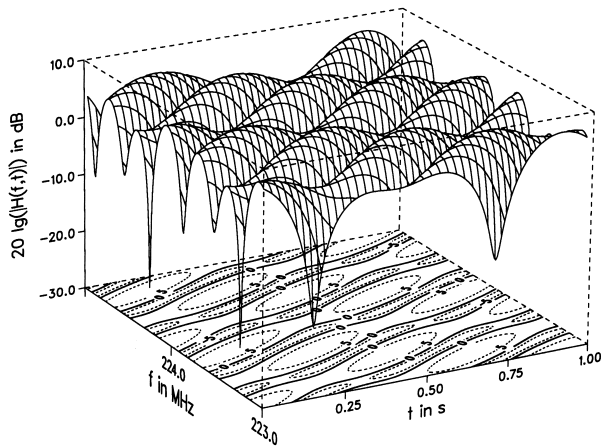


Bild 1.14: Betrag der Kanal-Übertragungs-Funktion bei 3 Wege-Ausbreitung und gleichmäßiger Bewegung des Empfängers

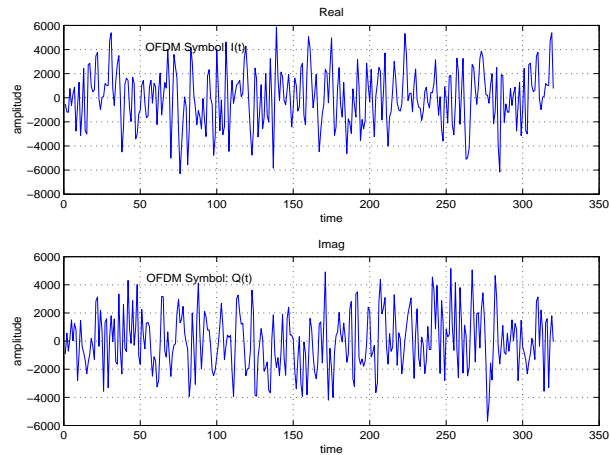


Bild 1.15: Zeitverläufe des Inphasen- $I(t)$ und Quadratur-Signals $Q(t)$ einer OFDM (eine Symbollänge).

1.5.1 OFDM und Kreuzmodulation in UKW FM Empfängern

UKW FM Empfänger reagieren empfindlich auf amplitudenmodulierte Signale, die z.B. bis zum Mischer kommen, weil sie frequenzmäßig in der Nachbarschaft von empfangenen UKW FM Sendungen sind. In diesen Fällen entsteht eine Kreuzmodulation.

Die Entstehung von dieser Kreuzmodulation müßte nicht sein, jedoch sind die bisherigen Anforderungen an UKW FM Empfänger für deren Vermeidung nicht ausreichend. Es muß daher davon ausgegangen werden, daß ein **OFDM-Sender im UKW-Band erhebliche Störungen bei zahlreichen Teilnehmern** zur Folge hat.

Zeitlich erstmalig trat dieser Effekt auf, als unterhalb des UKW Bandes die amplitudenmodulierten „Euro-Piep“ Paging-Sender (Europäischer Funkruf) in Betrieb waren. Hier gab es je nach Empfängertyp **Störungen, die über das ganze UKW Band** zu hören waren. Zur Beseitigung dieser Störungen mußten diese Sender auf FM umgestellt werden. Heute sind sie abgeschaltet.

Im Jahre '85 wurden Untersuchungen im IRT bezüglich der Störwirkung digitaler Modulationen auf den Empfang von UKW FM gemacht [6]. Zum damaligen Zeitpunkt stand die Systementscheidung für DAB noch nicht fest und es wurde bereits daran gedacht, die (damals noch) vorhandenen Frequenzlücken im UKW Band mit digitaler Übertragung „aufzufüllen“ um so schließlich eine Migration von analog zu digital zu erreichen.

- Die Untersuchung des IRT zeigte jedoch, daß je nach Empfängertyp **ein digitales Signal in 400 KHz Abstand zur Empfangsfrequenz zwischen 18 dB und 30 dB weniger Leistung haben müßte als ein FM Signal um keine größere Störwirkung zu verursachen.**

Daß sich moderne Empfänger diesbezüglich nicht besser verhalten, hat sich in einer neuen Messreihe gezeigt.

- **Da der UKW FM Rundfunk z.Z. den allgemein üblichen Qualitätsrundfunk darstellt, ist eine entsprechende Störung durch eine digitale Versuchssendung nicht tolerierbar. Dies könnte schnell zu einem Politikum und damit zu einem weiteren k.o. Kriterium werden.**[7]

2 AM IBOC

AM IBOC Systeme (AM HD Radio) sind wegen der großen erforderlichen Bandbreite nur in Region 2 auf Mittelwelle realisierbar.¹

Auch bei IBOC führt der Name (IBOC: *in Band on Channel*) zu einer unrichtigen Vorstellung, denn hier handelt es sich ebenfalls um ein IBAC System (IBAC: *in Band adjacent Channels*). Aufgrund der vergleichsweise leistungsschwachen MW Sender und der dünnen Senderdichte in der Region 2 ist ein solches System dort realisierbar. In Region 1 wird es dagegen aufgrund der Überbelegung des MW und LW Bandes mit starken Sendern nicht gehen.

¹Im Rest der Welt soll DRM (*Digital Radio Mondiale*) eingeführt werden. Nominell wird für diese Aussendungen jeweils nur ein Kanal von 9 KHz (10 KHz auf Kurzwelle) benötigt.

2.1 AM IBOC Spektren

Das nominelle Spektrum von AM IBOC zeigt Bild 2.1.[8]

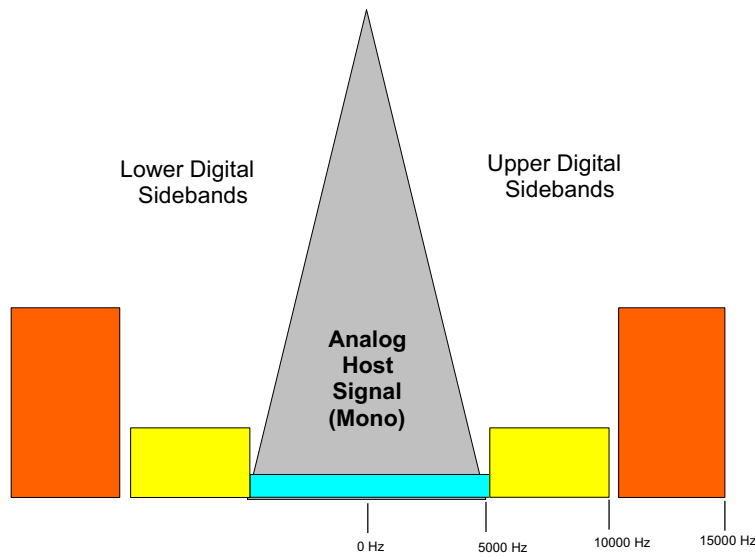


Bild 2.1: Nominelles AM IBOC Spektrum für Region 2

Wie aus Bild 2.1 erkennbar ist, benötigt ein AM IBOC Signal (HD Signal auf LW, MW, KW) 3 (drei) störungsfreie Kanäle, wenn ein entsprechender Empfänger dieses verarbeiten soll.

Aus Bild 2.1 geht ferner hervor, daß auch innerhalb der Bandbreite des analogen Kanals zusätzlich ein Teil des digitalen Signals übertragen werden soll (blau). Dies ist tatsächlich ohne größere Störung für das analoge Signal möglich, wenn das digitale Signal einen kleinen Betrag hat und zusätzlich senderseitig auf einen Sinusträger moduliert wird, während das analoge Signal auf einen Cosinusträger moduliert wird.

Bild 2.2 zeigt die Phasenbeziehungen des Spektrums des digitalen Signals schematisch.

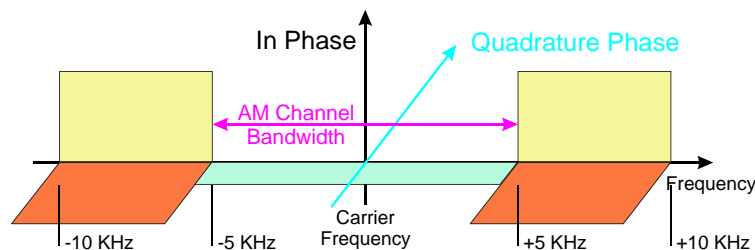


Bild 2.2: Schematisches AM IBOC Spektrum des digitalen Signals (perspektivisch). Die Inphase Anteile werden auf einen Cosinusträger moduliert und die Quadratur Anteile auf einen Sinusträger.

Auch bei AM IBOC wird als Modulation für das digitale Signal COFDM verwendet. Die Aussagen zu OFDM vom vorigen Kapitel gelten hier entsprechend.

2.2 AM IBOC Sender

Das prinzipielle Blockschaltbild eines AM IBOC Senders ist in Bild 2.3 dargestellt. Es handelt sich im Prinzip um eine additive Zusammenschaltung eines analogen AM Senders und eines digitalen COFDM Senders. Beide Teile verwenden einen gemeinsamen Trägergenerator. Bei dieser Struktur erfolgt die Zusammenschaltung von analogem und digitalem Signal an der Antenne.

Zu einem vorhandenen AM Sender wäre in diesem Fall ein zusätzlicher digitaler OFDM Sender anzuschaffen. Dieser muß notwendigerweise einen linearen Leistungsverstärker enthalten, der grundsätzlich nur einen geringen Wirkungsgrad aufweist.

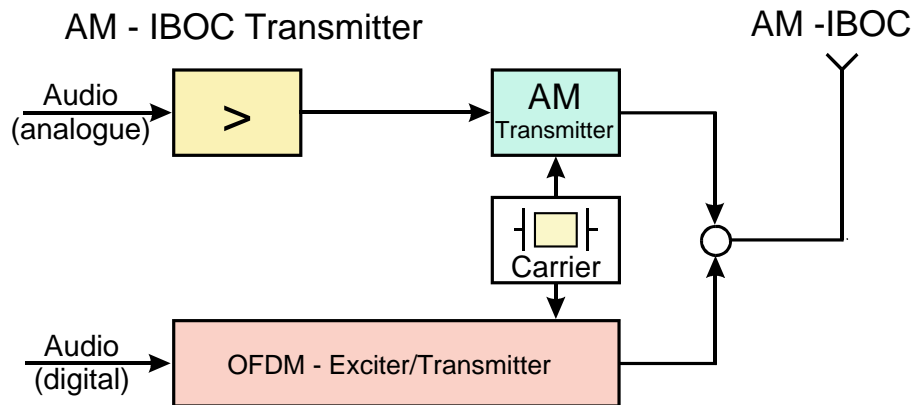


Bild 2.3: Blockschaltbild eines AM IBOC Senders mit linearem Leistungsverstärker für das digitale Signal

Um den Wirkungsgrad des Senders zu verbessern, wird mittlerweile auch bei IBOC die EER-Technik (EER: *Envelope Elimination and Restoration*) verwendet². Dadurch ergibt sich für IBOC ein Blockschaltbild gemäß Bild 2.4.

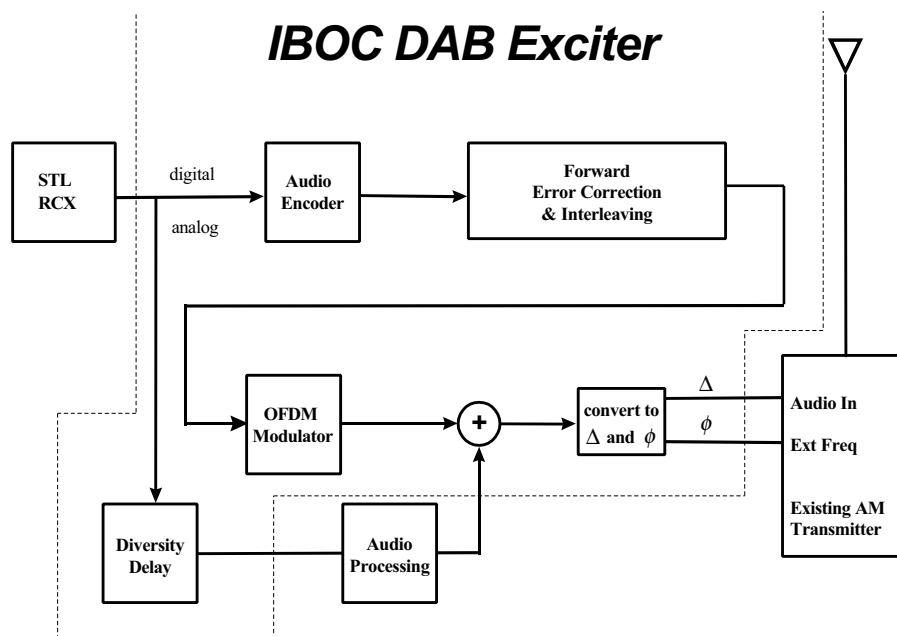


Bild 2.4: Blockschaltbild eines AM IBOC Senders in EER Technik

Die EER-Technik erzeugt ein Amplituden-Signal (hier mit Δ bezeichnet) und ein phasenmoduliertes Hochfrequenz-Signal (hier mit ϕ bezeichnet). Damit wird es möglich, einen konventionellen AM-Sender als Leistungs-Verstärker mit großem Wirkungsgrad zu verwenden.[9]

2.3 AM IBOC Empfänger

Der AM IBOC Empfänger muß den analogen und den digitalen Teil des Empfangssignals trennen können. Gemäß dem prinzipiellen Spektrum, Bild 2.1, könnte man nur die beiden Anteile außerhalb von ± 5 KHz durch Filterung trennen; für den Anteil im AM Kanal geht das nicht.

Daher muß ein anderer Ansatz gewählt werden. Hierbei hilft, daß das digitale Signal im AM Kanal eine Phasendrehung von 90^0 zum analogen AM Signal aufweist. Das bedeutet, daß das analoge Signal durch das Datensignal leicht phasen-moduliert ist.

²Bei DRM (*Digital Radio Mondiale*) wurde diese Technik gleich von Anbeginn vorausgesetzt.

Eine geringe Phasen-Modulation eines Trägers bei einer Amplituden-Modulation ist praktisch nicht störend, da durch die Phasen-Modulation die Größe der Amplituden kaum beeinträchtigt wird. Daher kann die AM wie üblich mittels eines Hüllkurven-Demodulators zurückgewonnen werden.

Wird nun noch mit Hilfe eines Begrenzer-Verstärkers die Trägerschwingung (in der Zwischenfrequenz-Ebene) zurückgewonnen, so kann die analoge Amplituden-Modulation im Empfänger alleine erzeugt werden. Dieses Signal wird vom Empfangssignal subtrahiert, wodurch das digitale OFDM Signal alleine übrig bleibt. Dieses kann dann in einem OFDM Demodulator demoduliert werden, Bild 2.5.

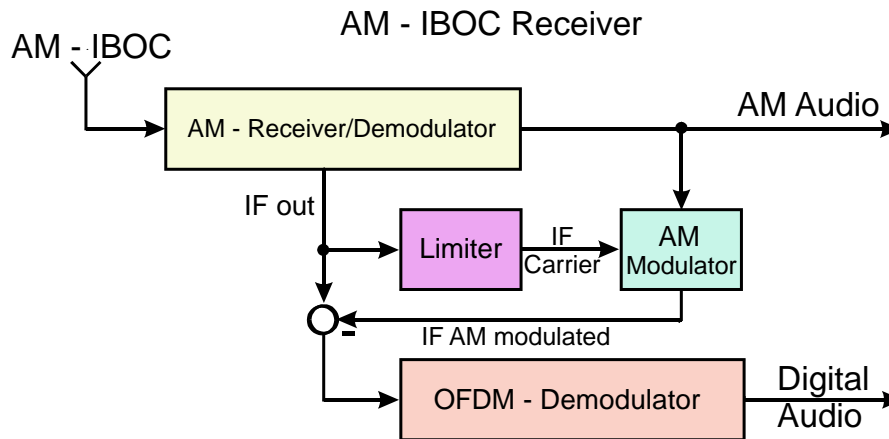


Bild 2.5: Blockschaltbild eines AM IBOC Empfängers

AM IBOC würde in Region 1 zu erheblichen Störungen des AM-Empfanges führen.

Literatur

- [1] Maxson, D; Woods, M.; Mahaney, C.: *Measuring Your IBOC Spectrum*,
<http://www.broadcastsignallab.com>
- [2] Broadcast Electronics, Inc.: *The BE Guide to HD Radio, All the Basics and More*,
<http://www.bdcast.com>
- [3] Stokke, K.N.: *Some Quality and Coverage Problems in Audio Broadcasting*, *Teletronikk* 2.2000, pp. 80 — 84
- [4] Stremmler, F.G.: *Introduction to Communication Systems*, Addison-Wesley, 3rd. ed., 1990
- [5] Kammeyer, K.-D.: *Nachrichtenübertragung*, Teubner, 3.A. 2004
- [6] Schneeberger, G.: *Verträglichkeit von UKW-Heimempfängern und Digitalmodulation*, Aktennotiz, Institut für Rundfunktechnik, Juli 1985
- [7] Rudolph, D.: *Digital Radio Mondiale — eine Machbarkeitsstudie zu DRM 120*, „Wissen Heute“, Fachzeitschrift der Telekom Training für Technik, Wirtschaft und Kommunikation, Deutsche Telekom A.G., 59. Jahrgang, 2006, pp. 292 — 304.
- [8] USA: *IBOC DSB SYSTEM FOR OPERATION BELOW 30 MHZ*, International Telecommunication Union (ITU), Radio Communication Study Group, Document 6-6/7-E, 11. October 2000
- [9] Zusätzliche Informationen sind zu finden unter: <http://www.tfh-berlin.de/~rudolph>
Hier die Skripte zu „Signale und Systeme“ und zu „Digitale Funksysteme“ jeweils betreffend die Modulationen und die EER-Technik.