



جمهوری اسلامی ایران

معاونت توسعه فناوری رسانه

سند راهبردی ملاحظات عدم تداخل پخش رادیو اف ام روی هوانوردی

(نسخه ۱)



پاییز ۱۳۹۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



رهبر معظم انقلاب (مدظله العالی)

زنجیره‌های تخصصی را با برنامه‌ی عملیاتی و نقشه‌ی راه تشکیل بدهید، دنبال کنید؛ یعنی از تولید علم، فناوری، طراحی و مهندسی تا ساخت تجهیزات، تا ماشین‌آلات، تا تأمین موادّ اولیه، تا تولید محصول، بازاریابی، توزیع، اینها همه کارهایی است که بر عهده‌ی شما است که باید ان شاء الله انجام بدهید.



دکتر عبدالعلی علی عسکری

رئیس سازمان صداوسیما

در دنیای امروز، ماهیت رسانه‌ها به توانمندی رقابت پذیری آنها بستگی دارد. نقش فناوری رسانه نیز در این رقابت بسیار تعیین‌کننده است، بنابراین فناوری رسانه در عرصه‌های گوناگونی از جمله تولید، که عنصر رقابتی بسیار مهمی است، می‌تواند به این امر کمک کند. ما باید به سمت HD شدن و 4K شدن تلویزیون پیش رویم و این جریانی است که ادامه دارد و امیدواریم که در خط راس تکنولوژی و فناوری بایستیم.



دکتر رضا علی‌دادی

معاون توسعه و فناوری رسانه

توسعه نسل دوم پلتفرم انتشار زمینی تلویزیون دیجیتال، به دلیل محدودیت های نسل اول و تغییر فناوری‌ها، اهمیت فراوانی برای این سازمان دارد. با مطالعه دقیق و بررسی روندهای جهانی فناوری، استاندارد DVB-T2 و HEVC برای سازمان صداوسیما در این مقطع زمانی انتخاب شد که نقش مهمی در جهت تحول و توسعه های آتی سایر حوزه‌های زیرساختی و محتوایی این سازمان ایفا خواهد کرد.

سند راهبردی

ملاحظات عدم تداخل پخش رادیو اف ام روی هوانوردی

سند راهبردی

ملاحظات عدم تداخل پخش رادیو اف ام روی هوانوردی
(نسخه ۱)

به اهتمام: اداره کل نظارت و ارزیابی فنی
گروه پژوهش: امور فناوری های نوین طیف فرکانس

پاییز ۱۳۹۹

فهرست مطالب

تعاریف برخی اصطلاحات هوانوردی	۱۳
۱ مقدمه	۱۹
۲ مفهوم اینترمدولاسیون	۲۱
۳ مکانیزم‌های تداخل	۲۴
۳-۱ تداخل نوع A	۲۴
۳-۱-۱ تداخل نوع A1	۲۴
۳-۱-۲ تداخل نوع A2	۲۴
۳-۲ تداخل نوع B	۲۵
۳-۲-۱ تداخل نوع B1	۲۵
۳-۲-۲ تداخل نوع B2	۲۶
۴ پارامترهای ارزیابی سازگاری	۲۷
۴-۱ مشخصات سیستم‌های هوانوردی	۲۷
۴-۱-۱ مکان‌یاب ILS	۲۷
۴-۱-۲ VOR	۲۹
۴-۱-۳ COM	۳۰
۴-۲ مشخصات ایستگاه‌های برو دکست FM	۳۱

- ۴-۲-۱ حداکثر توان تشعشعی مؤثر ۳۱
- ۴-۲-۲ پترن تشعشع افقی ۳۱
- ۴-۲-۳ پترن تشعشع عمودی ۳۲
- ۴-۲-۴ حذف (Suppression) تشعشعات ناخواسته ۳۲
- ۴-۲-۵ فرکانس ها و پلاریزاسیون ۳۲
- ۴-۲-۶ محاسبه شدت میدان فضای آزاد برای سیگنال های ورودی ۳۳
- ۴-۲-۷ توان ورودی گیرنده ۳۴
- ۴-۲-۸ کمباینرها و فیلترها ۳۶
- ۴-۲-۸-۱ فیلترها ۴۰
- ۴-۲-۸-۲ کوپلرهای جهتی ۴۱
- ۴-۲-۸-۳ کمباینرها ۴۲
- ۵ ضوابط ارزیابی سازگاری ۵۲
- ۵-۱ تداخل نوع A1 ۵۲
- ۵-۲ تداخل نوع A2 ۵۴
- ۶- توصیه ها و نتیجه گیری ۵۶
- ۱۰- منابع ۵۸

تعاریف برخی اصطلاحات هوانوردی

Aeronautical Information Publication (AIP)

نشریه اطلاعات هوانوردی

سندی که توسط یک کشور ارائه دهنده منتشر می شود که در آن علاوه بر موضوعات دیگر، مشخصات و DOC افزاران هوانوردی هم تعریف شده است.

Antenna corrections

تصحیحات آنتن

این تصحیحات، کاهشی در توان تشعشی مؤثر (e.r.p.) در زوایای افقی و زوایای ارتفاعی خاصی، نسبت به مقدار e.r.p. در جهت حداکثر تشعشع هستند. آن‌ها معمولاً به عنوان اصلاحات افقی و عمودی برحسب dB مشخص می‌شوند.

COM

COM

یک سیستم ارتباط رادیویی دو-طرفه (هوا-زمین) که در باند 118-137 MHz کار می‌کند.

Course deflection current

جریان انحراف مسیر

خروجی گیرنده که به نشانگر خلبان و خلبان اتوماتیک تغذیه می‌شود. این خروجی، برای گیرنده مکان‌نمای ILS فراهم کننده راهنمایی چپ/راست نسبت به DDM سیگنال‌های 90 Hz و 150 Hz برای جابجایی زاویه‌ای از خط مرکزی باند است. این خروجی، برای یک گیرنده VOR، فراهم کننده راهنمای چپ/راست نسبت به اختلاف فاز دو سیگنال 30 Hz است.

Course line

خط مسیر

تصویر مسیری که یک هواپیما هنگام دنبال کردن نشانگر گیرنده مکان‌نمای ILS نشان‌دهنده انحراف مسیر صفر (یعنی DDM=0) پرواز می‌کند، روی صفحه افقی. برای تقرب ILS نرمال، خط مسیر باید با خط مرکزی باند یکسان باشد (شکل ۱).

قطاع مسیر**Course sector**

قطاعی در صفحه افقی که از آنتن مکان‌نمای ILS شروع شده، شامل خط مسیر می‌شود و به حد انحراف مقیاس کامل پرواز به چپ و مقیاس کامل پرواز به راست نشانگر گیرنده مکان‌نمای ILS محدود می‌شود. انحراف نشانگر مقیاس کامل برابر است با $\pm 150 \mu A$ نسبت به جریان انحراف مسیر ($DDM = 0.155$).

مقدار برش**Cut-off value**

حداقل سطح توان یک سیگنال برودکست در ورودی یک گیرنده هوانوردی که این سیگنال برای آن به عنوان ایجادکننده یک منبع بالقوه تداخل نوع B1 در نظر گرفته می‌شود.

پوشش عملیاتی تعیین شده (DOC)**Designated Operational Coverage (DOC)**

حجمی که در داخل آن ملزومات عملیاتی سرویس هوانوردی تأمین شده است، این حجم پوشش در اسناد هوانوردی اعلام شده است.

تفاوت در عمق مدولاسیون (DDM)**Difference in Depth of Modulation (DDM)**

عمق مدولاسیون عبارت است از نسبت دامنه مدولاسیون سیگنال 90 Hz یا 150 Hz به دامنه حامل. DDM عبارت است از عمق مدولاسیون سیگنال قوی تر منهای عمق مدولاسیون سیگنال ضعیف‌تر.

فاصله و محاسبه فاصله**Distance and distance calculation**

در جایی که دو مکان بیش از ۱۰۰ کیلومتر فاصله داشته باشند، آنگاه فاصله بین آن‌ها به صورت فاصله کوتاه‌تر زمینی دایره-بزرگ (great-circle) محاسبه می‌شود. برای فواصل کمتر از ۱۰۰ کیلومتر، ارتفاع آنتن فرستنده برودکست و ارتفاع نقطه تست نیز در نظر گرفته می‌شوند و اگر یک مسیر دید مستقیم بین آن‌ها وجود داشته باشد، فاصله مسیر شیب محاسبه می‌شود.

Effective Earth radius**شعاع مؤثر زمین**

از شعاع مؤثر زمین معادل $4/3$ برابر مقدار واقعی برای محاسبات فاصله استفاده می‌شود.

Elevation angle**زاویه ارتفاع**

زاویه نسبت به افقی بین دو مکان (بالای افقی مثبت)، با استفاده از مقدار شعاع مؤثر زمین که در بالا تعریف شد.

Flag**پرچم**

یک دستگاه هشدار بصری که در نشانگر خلبان مربوط به مکان‌نمای ILS یا گیرنده VOR نشان داده می‌شود و نشان دهنده غیر فعال بودن گیرنده، عملکرد غیر مطلوب آن یا زمانی که سطح سیگنال یا کیفیت سیگنال دریافتی به کمتر از مقادیر قابل قبول می‌رسد، می‌باشد.

Front course sector**قطاع مسیر جلو**

به قطاع مسیر که شامل باند پرواز است، قطاع مسیر جلو گفته می‌شود. پهنای قطاع مسیر جلو بین 3° درجه و 6° درجه (معمولاً 5° درجه) تنظیم می‌شود به طوری که فاصله بین انحراف مقیاس پرواز به چپ و انحراف مقیاس پرواز به راست نشانگر گیرنده مکان‌نمای ILS برابر با عرض تقریباً 210 m در آستانه باند باشد (شکل ۱).

Future immunity aeronautical receivers**گیرنده‌های هوانوردی ایمنی آینده**

گیرنده‌هایی که حداقل دارای ایمنی در مقابل تداخل نوع B را طبق تعریف ICAO Annex 10 هستند. از اول ژانویه 1998 تمام گیرنده‌های مورد استفاده دارای این درجه از ایمنی در نظر گرفته می‌شوند. به این گیرنده‌ها همچنین با عنوان گیرنده‌های ICAO Annex 10 1998 نیز اشاره می‌شود.

Glide path**مسیر پرواز در حال سرخوردن**

پروفايل نزول برای یک باند، معمولاً ۳ درجه، که توسط یک فرستنده مسیر سرخوردن ILS و سیستم آنتن فعال در باند 329.3-335.0 MHz ارائه می‌شود.

ICAO Annex 10**ضمیمه ۱۰ ICAO**

"استانداردهای بین‌المللی، اقدامات و روش‌های توصیه شده برای سرویس‌های ناوبری هوایی: ارتباطات هوانوردی، ضمیمه ۱۰ به کنوانسیون هواپیمایی شهری بین‌المللی، جلد I، سازمان هواپیمایی شهری بین‌المللی، مونترآل، ۱۹۸۵

Instrument Landing System (ILS)**سیستم فرود با دستگاه**

یک سیستم ناوبری رادیویی تعیین شده در ICAO Annex 10 که به طور بین‌المللی به عنوان استاندارد جاری کمک به تقرب دقیق و فرود هواپیماها مورد توافق قرار گرفته است.

ILS localizer**مکان‌نمای ILS**

مؤلفه یک ILS که راهنمایی در صفحه افقی را فراهم می‌کند. فرستنده با سیستم آنتن همراه آن یک پترن میدان ترکیبی مدولاسیون دامنه با 90 Hz و 150 Hz تولید می‌کند. پترن میدان تشعشعی به نحوی است که اگر یک ناظر از انتهای تقرب باند به مکان‌نمای نگاه کند، عمق مدولاسیون حامل با فرکانس رادیویی نسبت به تون 150 Hz در طرف راست غالب است و نسبت به تون 90 Hz در طرف چپ غالب است. DDM در خط مرکز باند و امتداد خط مرکزی باند برابر با صفر است.

Line-of-sight**دید-مستقیم**

مسیر بدون مانع بین دو نقطه با استفاده از شعاع مؤثر زمین تعریف شده در بالا.

Minimum separation distances

حداقل فاصله تفکیک

حداقل فاصله تفکیک افقی و عمودی تعیین کننده منطقه‌ای اطراف یک آنتن برود کست که در داخل آن به طور معمول هواپیما پرواز نمی‌کند.

Montreal aeronautical receivers

گیرنده‌های هوانوردی مونترآل

یک مکان‌نمای ILS یا گیرنده VOR که مشخصات آن توسط معادلات بیان شده در بخش 4.2 از Annex 1 تعریف شده است. (این مشخصات در جلسه 1992 کار گروه Task Group 12/1 در مونترآل مورد توافق قرار گرفته بودند). این عبارت شامل گیرنده‌هایی که قبلاً به صورت "ایمنی فعلی" و "ایمنی ضعیف" خوانده می‌شدند می‌شود.

Potential incompatibility

ناسازگاری بالقوه

ناسازگاری بالقوه هنگامی رخ می‌دهد که ضوابط حفاظت مورد توافق در یک نقطه تست برآورده نشود.

Provider state

کشور ارائه دهنده

مرجع مسئول برای ارائه سرویس‌های هوانوردی برای یک کشور یا دیگر مناطق مشخص.

Runway threshold

آستانه باند

ابتدای بخشی از باند که برای قروود قابل استفاده است.

Runway touchdown point

نقطه لمس فرود باند

نقطه‌ای روی یک باند که مشخص کننده شروع سطحی است که چرخ‌های هواپیما می‌توانند با زمین تماس پیدا کنند، که معمولاً از آستانه باند داخل تر قرار دارد.

Slant path distance**فاصله مسیر شیب**

کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه بالای سطح زمین (مثلاً بین یک آنتن برودکست و یک نقطه تست)

Test point**نقطه تست**

نقطه‌ای که محاسبات سازگاری برای آن نقطه انجام می‌شود. نقطه تست به طور کامل توسط پارامترهای موقعیت جغرافیایی و ارتفاع تعریف می‌شود.

Trigger value**آستانه تحریک**

حداقل مقدار یک سیگنال برودکست FM که در صورت اعمال به ورودی یک گیرنده هوانوردی، قادر به شروع ایجاد یک مؤلفه اینترمدولاسیون مرتبه سوم با توان کافی برای ایجاد تداخل بالقوه باشد.

VHF Omnidirectional Radio Range (VOR)**دامنه رادیویی تمام جهت (VOR)**

یک دامنه کوتاه (تا حدود 370 km یا ۲۰۰ مایل هوانوردی) کمک کننده به ناوبری که ارائه خودکار و دائمی اطلاعات bearing را از یک مکان مشخص زمینی را برای هواپیما فراهم می‌کند.

۱ مقدمه

در این سند به بحث ضوابط، روش‌ها و توصیه‌های چگونگی سازگاری بین سرویس بروودکست صدا در باند 108-137 MHz و سرویس‌های هوانوردی در باند 108-137 MHz پرداخته می‌شود.

تداخل سرویس بروودکست مدولاسیون فرکانس (FM) در تجهیزات هوانوردی شامل:

- مکان‌نمای سیستم فرود با دستگاه یا مکان‌نمای ILS^۱
- دامنه رادیویی تمام جهت VHF یا VOR^۲
- ارتباطات VHF یا COM^۴

یک مشکل کاملاً شناخته شده در هوانوردی است.

در گیرنده‌های VOR و مکان‌نمای ILS هوایی مشکل تداخل با شکل‌هایی از صدای پس‌زمینه مختل‌کننده تا دریافت درهم و دارای اعوجاج سیگنال‌های کنترل ترافیک هوایی و خطا در عملکرد پرچم^۵ و انحراف مسیر^۶ بروز می‌کند. تداخل در این گیرنده‌های ناوبری مشکل جدی‌تری است زیرا یک خطا در انحراف مسیر، به ویژه در طول فاز حساس تقرب^۷ و فرود، برای خلبان به آسانی

^۱ Localizer

^۲ Instrument Landing System Localizer- ILS localizer

^۳ VHF omnidirectional radio range- VOR

^۴ VHF communications- COM

^۵ flag

^۶ course deviation

^۷ Approach

به عنوان اختلال در ارتباطات آشکار نمی شود. تداخل در گیرنده های هواپیما بسته به ساخت و مدل گیرنده ارتباطی و ناوبری متفاوت است. به دلیل نیاز روزافزون برای تخصیص های فرکانسی جدید هوانوردی و ورود کست، احتمال تداخل مضر نیز همواره بیشتر می شود.

۲ مفهوم اینترمدولاسیون

ممکن است بین دو مدار که در فرکانس‌های مختلفی کار می‌کنند به دلیل تشعشع در فرکانس‌هایی غیر از فرکانس‌های عملیاتی، تداخل متقابل ایجاد شود. یک فرستنده ممکن است هارمونیک‌هایی از فرکانس‌های عملیاتی خود را تشعشع کند که بر گیرنده‌ای که روی یکی از آن هارمونیک‌ها تنظیم شده است، تأثیر بگذارد.

مؤلفه‌های اینترمدولاسیون هنگامی منجر به تداخل می‌شوند که دو یا چند سیگنال در یک دستگاه غیرخطی ترکیب می‌شوند و یک سیگنال ناخواسته بر روی فرکانس تنظیم شده یک گیرنده و یا نزدیک آن ایجاد می‌کنند. فرآیند ترکیب ممکن است در زنجیره تشعشع فرستنده یا در RF مدار میکسر اولیه گیرنده رخ دهد.

هنگامی که تعداد فرستنده‌ها افزایش می‌یابد، تعداد فرکانس‌های اینترمدولاسیون ممکن نیز به سرعت افزایش می‌یابد. مهم‌ترین این فرکانس‌ها عبارتست از مؤلفه‌های مرتبه سوم شکل $f_1 - f_2$ یا $f_1 + f_2 - f_3$ که در آن f_1 ، f_2 و f_3 فرکانس‌های کار فرستنده‌ها هستند. شدیدترین تداخل زمانی خواهد بود که تمام یا تعدادی از فرکانس‌های فرستنده و گیرنده در مجاورت نزدیک باشند. برای حداقل‌سازی اینترمدولاسیون، فرکانس‌ها باید طوری انتخاب شوند که اختلاف فرکانس بین هر جفت از فرکانس‌ها، غیرمساوی با اختلاف فرکانس بین جفت فرکانس‌های دیگر باشد. شکل ۱ مثال‌هایی از

اینترمدولاسیون فرکانس‌های FM در باندهای غیربرودکست را نشان می‌دهد. در برخی موارد، می‌توان فرکانس‌های کار خاصی را انتخاب کرد که هیچ فرکانس مؤلفه مرتبه سوم روی یک فرکانس کانال دریافت در آن مکان یا یک مکان نزدیک ایجاد نشود. ترکیب فرکانس‌هایی که در آن‌ها بزرگترین فرکانس، بیش از دو برابر کوچکترین فرکانس است مورد تحلیل قرار نمی‌گیرد. تداخل هارمونیک به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$A f_t = f_r \pm BW$$

که در آن، A برابر است با ۱ یا ۲، f_t فرکانس فرستنده، f_r فرکانس گیرنده و BW پهنای باند گیرنده است. تداخل ناشی از اینترمدولاسیون با روابط زیر تعریف می‌شود که فقط مؤلفه‌ها مدولاسیون in-band را در نظر می‌گیرد.

در حالت دو سیگنال:

$$2 f_{t1} - f_{t2} = f_r \pm BW \quad \text{مرتبه سوم:}$$

$$3 f_{t1} - 2 f_{t2} = f_r \pm BW \quad \text{مرتبه پنجم:}$$

$$4 f_{t1} - 3 f_{t2} = f_r \pm BW \quad \text{مرتبه هفتم:}$$

در حالت سه سیگنال:

$$f_{t1} - f_{t2} + f_{t3} = f_r \pm BW \quad \text{مرتبه سوم:}$$

$$2 f_{t1} - 2 f_{t2} + f_{t3} = f_r \pm BW$$

مرتبه پنجم:

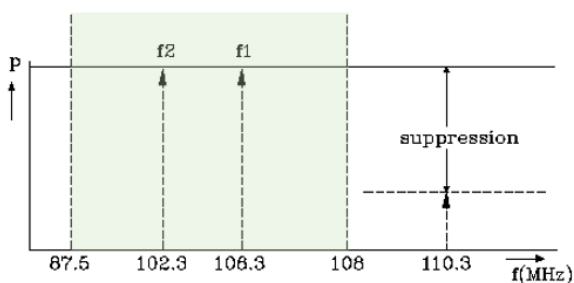
$$3 f_{t1} - f_{t2} - f_{t3} = f_r \pm BW$$

$$2 f_{t1} - 3 f_{t2} + 2 f_{t3} = f_r \pm BW$$

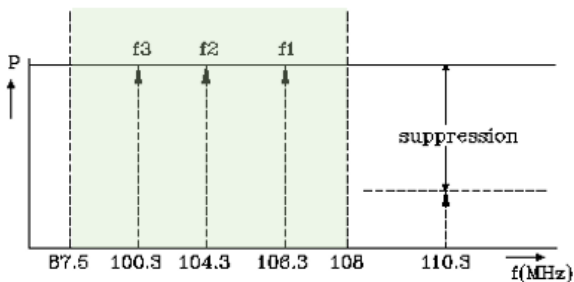
مرتبه هفتم:

$$3 f_{t1} - 3 f_{t2} + f_{t3} = f_r \pm BW$$

$$4 f_{t1} - 2 f_{t2} - f_{t3} = f_r \pm BW$$



$$2f_1 - f_2 = 2(106.3) - 102.3 = 110.3 \text{ MHz}$$



$$f_1 + f_2 - f_3 = 106.3 + 104.3 - 100.3 = 110.3 \text{ MHz}$$

شکل ۱- مثال هایی از تولید مولفه اینترمدولاسیون FM در باند هوانوردی

۳ مکانیزم‌های تداخل

به طور کلی، از دید مکان‌نمای ILS و گیرنده VOR، مدولاسیون ارسال برودکست FM می‌تواند نویز تلقی شود. هرچند، فرکانس‌های 90 Hz و 150 Hz فرکانس‌های خاص و آسیب‌پذیر برای مکان‌نمای ILS و فرکانس‌های 30 Hz و 9960 Hz فرکانس‌های خاص و آسیب‌پذیر برای VOR هستند، زیرا این فرکانس‌ها راهنمایی‌های حیاتی برای سیستم‌های مربوطه فراهم می‌کنند و بنابراین نسبت به تداخل حساس هستند.

۳-۱ تداخل نوع A

تداخل نوع A توسط انتشار ناخواسته در باند هوانوردی از یک یا چند فرستنده برودکست ایجاد می‌شود.

۳-۱-۱ تداخل نوع A1: یک فرستنده تکی ممکن است انتشار ناخواسته (spurious) تولید کند، یا چندین فرستنده برودکست ممکن است با اینترمدولاسیون، مؤلفه‌هایی را در باندهای فرکانسی هوانوردی تولید کنند. این نوع تداخل، نوع A1 نامیده می‌شود.

۳-۱-۲ تداخل نوع A2: ممکن است یک سیگنال برودکست شامل مؤلفه‌های غیرقابل چشم‌پوشی در باندهای هوانوردی باشد، این مکانیزم تداخل که نوع A2 نامیده می‌شود در عمل فقط از فرستنده برودکست که دارای فرکانس‌های نزدیک 108 MHz هستند ایجاد می‌شود و فقط با سرویس‌های VOR و مکان‌یاب ILS با فرکانس‌های نزدیک 108 MHz تداخل می‌کند.

۳-۲ تداخل نوع B

تداخل نوع B تداخلی است که در یک گیرنده هوانوردی و در نتیجه ارسال برودکست، روی فرکانس‌های خارج از باند هوانوردی ایجاد می‌شود.

۳-۲-۱ تداخل نوع B1: در نتیجه‌ی ورود گیرنده به ناحیه غیرخطی توسط سیگنال‌های برودکست خارج از باند هوانوردی، ممکن است در گیرنده هوانوردی اینترمدولاسیون ایجاد شود، این تداخل، نوع B1 نامیده می‌شود. برای رخ دادن این نوع از تداخل، باید حداقل دو سیگنال برودکست حاضر باشد و آن‌ها باید یک رابطه فرکانسی داشته باشند تا بتوانند در یک فرآیند غیرخطی، یک مؤلفه اینترمدولاسیون در داخل کانال RF موردنظر مورد استفاده گیرنده هوانوردی تولید کنند. یکی از سیگنال‌های برودکست باید دامنه کافی برای بردن گیرنده به ناحیه‌های غیرخطی داشته باشد، اما حتی اگر سیگنال‌های دیگر دامنه بسیار کمتری داشته باشند باز هم ممکن است تداخل ایجاد شود. فقط مؤلفه‌های مرتبه سوم در نظر گرفته می‌شوند، این مؤلفه‌ها به شکل زیر هستند:

$$f_{\text{intermod}} = 2 f_1 - f_2 \quad (\text{در حالت دو سیگنال})$$

$$f_{\text{intermod}} = 2 f_1 + f_2 - f_3 \quad (\text{در حالت سه سیگنال})$$

که در آن‌ها:

f_{intermod} : فرکانس مؤلفه اینترمدولاسیون (MHz)

f_1, f_2, f_3 : فرکانس‌های برودکست (MHz) $f_1 \geq f_2 \geq f_3$ است.

۲-۲-۳ تداخل نوع B2: زمانی که بخش RF یک گیرنده هوانوردی تحت overload توسط یک یا چند سیگنال برودکست قرار می گیرد، ممکن است کاهش حساسیت رخ دهد که این تداخل، نوع B2 نامیده می شود.

۴ پارامترهای ارزیابی سازگاری

این بخش به بحث پارامترهای مرتبط با ارزیابی سازگاری در مکان یاب ILS، VOR و فرستنده‌ها و گیرنده‌های هوانوردی COM می‌پردازد.

۴-۱ مشخصات سیستم‌های هوانوردی

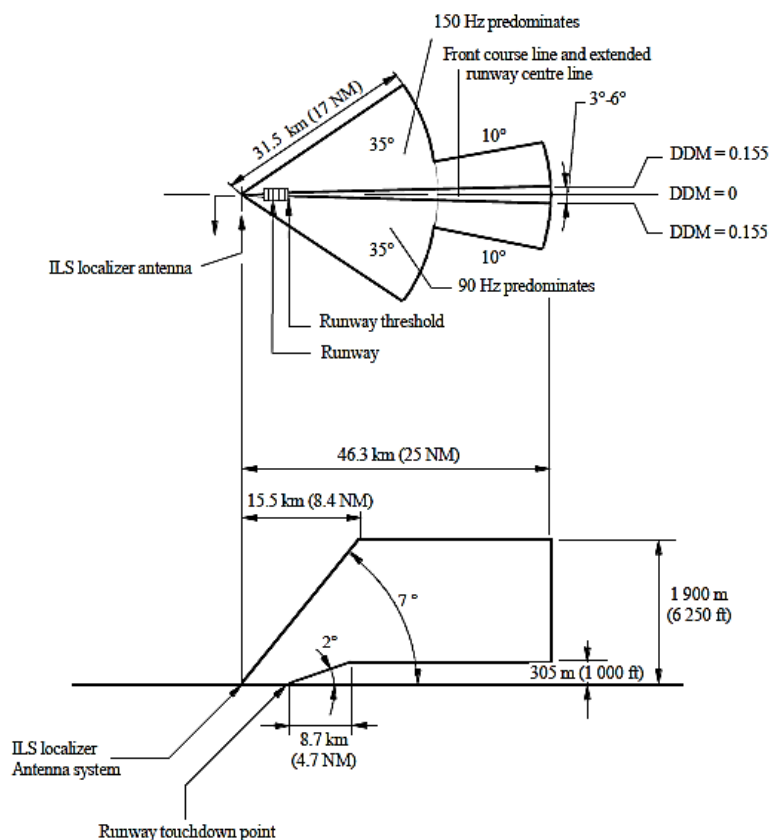
۴-۱-۱ مکان یاب ILS

شکل ۲ یک پوشش عملیاتی تعیین شده^۱ یا DOC معمول برای مسیر جلو یک مکان نما ILS را بر اساس ICAO Annex 10 نشان می‌دهد. DOC ممکن است پوشش مسیر عقب هم داشته باشد. همچنین بعضی از ادمنیستریشن‌ها ممکن است از مکان‌نمای ILS به عنوان یک سیستم راهنمای تقرب کمکی استفاده کنند و ممکن است DOC با باند هم راستا نباشد.

حداقل شدت میدانی که باید در داخل DOC مسیر جلو مکان یاب ILS مورد محافظت باشد، برابر است با $32 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$ یا $40 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$. اگر سرویس در پوشش مسیر پشت مکان یاب ILS هم وجود داشته باشد، باز هم شدت میدانی که باید حفاظت شود برابر $32 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$ است. در مناطق خاصی از DOC مکان یاب ILS، ICAO Annex 10 تأمین شدت میدان بالاتری را لازم دانسته تا نرخ سیگنال به نویز دریافتی افزایش یابد و در نتیجه یکپارچگی سیستم افزایش یابد. این مورد در بخش مسیر جلو مکان‌نمای ILS از فاصله 18.5 km

^۱ Designated operational coverage-DOC

(10 NM) تا نقطه لمس فرود باند که در آن سیگنال‌های 39-46 dB(μ V/m) لازم هستند (بسته به دسته‌بندی I,II,III عملکرد افزار گان ILS موردنظر) موضوعیت دارد.



شکل ۲- DOC معمول مسیر جلو مکان یاب ILS

فرکانس‌های مکان‌نمای ILS در باند 108-112 MHz قرار دارند. چهل

کانال موجود عبارتند از: 108.10, 108.15, 108.30, 108.35 MHz تا 111.90, 111.75, 111.70 و 111.95. سیگنال مکان‌نمای ILS دارای پلاریزاسیون افقی است.

VOR ۲-۱-۴

پوشش عملیاتی تعیین شده یا DOC برای VOR می‌تواند از یک نصب به نصب دیگر متفاوت باشد، برای مثال یک VOR پایانه ممکن است شعاع 74 km (40 NM) داشته باشد و یک VOR مسیری ممکن است شعاع 370 km (200 NM) داشته باشد. جزئیات را می‌توان از نشریه اطلاعات هوانوردی ملی مربوطه به دست آورد.

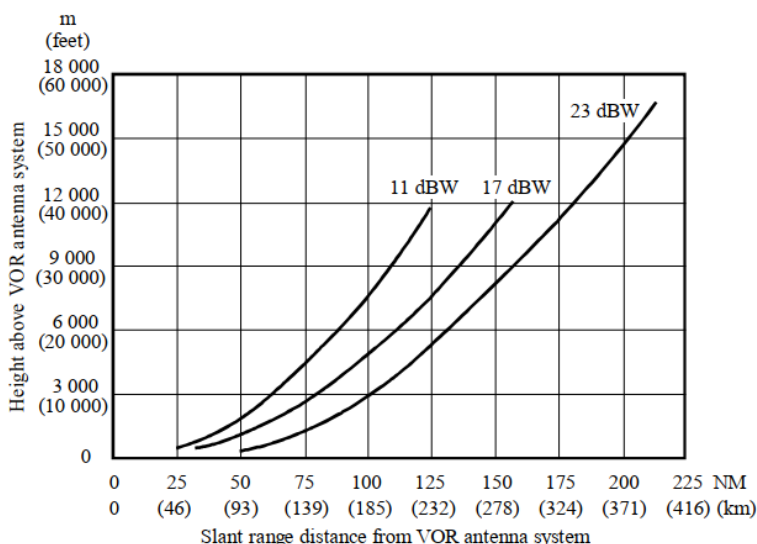
حداقل شدت میدان که باید در DOC حفاظت شود برابر $39 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$ (90 $\mu\text{V/m}$) است. مقادیر اسمی توان تشعشعی مؤثر، e.r.p، برای دستیابی به این شدت میدان در شکل ۳ آورده شده است.

در باند 108-112 MHz، فرکانس‌های VOR بین فرکانس‌های مکان‌نمای ILS قرار گرفته‌اند و به شرح زیر هستند: 108.05, 108.20, 108.25, 108.40, 108.45 MHz, ... تا 111.60, 111.65, 111.80 و 111.85 MHz.

فرکانس‌های VOR کانال‌های قرار گرفته در فواصل 50 کیلوهرتز در باند 112-118 MHz را اشغال می‌کنند و به شرح زیر هستند: 112.00, 112.05, 117.95 MHz سیگنال VOR دارای پلاریزاسیون افقی است.

COM ۳-۱-۴

پوشش عملیاتی تعیین شده یا DOC برای افزارگان COM می تواند از نصبی به نصب دیگر متفاوت باشد (از 9.3 km (5NM) شعاع تا 370 km (200NM) شعاع). جزئیات را می توان از مسئول مربوطه هر کشور بدست آورد.



Note 1 – Nominal VOR effective radiated power required to provide 39 dB(μ V/m) field strength (-107 dB(W/m²) power density) at various slant ranges/heights with a typical antenna array located 4.9 m (16 ft) above ground. These curves are based on extensive experience of a number of facilities and indicate the nominal effective radiated power to assure the specified power density on a high percentage of occasions taking into account propagation and typical ground/aircraft installation characteristics.

Source: ICAO Annex 10, Attachment C to Part I, Fig. C-13.

D02

شکل ۳- فاصله/ارتفاع پوشش VOR به عنوان تابعی از e.r.p.

در ICAO Annex 10 حداقل شدت میدان فراهم شده توسط یک فرستنده COM مبنای زمینی تعریف نشده است، اما در قسمت I بخش 4.6.1.2 بیان شده است که در درصد بالایی از مواقع، e.r.p. باید طوری باشد که یک شدت میدان حداقلی $38 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$ ($75 \mu\text{V/m}$) را در داخل DOC افزارگان تأمین کند.

فرکانس‌های COM کانال‌های قرار گرفته در فواصل 25 کیلوهرتز در باند 11800, 118025... 118-137 MHz را اشغال می‌کند و به شرح زیر است: 136975 MHz. سیگنال COM دارای پلاریزاسیون عمودی است.

۲-۴ مشخصات ایستگاه‌های برودکست FM

۲-۴-۱ حداکثر توان تشعشعی مؤثر

برای محاسبات سازگاری باید از دقیق‌ترین مقدار موجود حداکثر e.r.p استفاده شود.

$$\text{e.r.p} = P(\text{dBw}) + \text{Antenna Gain}(\text{dBi}) - \text{Cable/Connectors Loss}$$

۲-۴-۲ پترن تشعشع افقی

برای محاسبات سازگاری باید از دقیق‌ترین اطلاعات موجود برای پترن تشعشع افقی (h.r.p.) استفاده شود.

۴-۲-۳ پترن تشعشع عمودی

برای محاسبات سازگاری باید از دقیق‌ترین اطلاعات موجود برای پترن تشعشع عمودی (v.r.p.) استفاده شود.

۴-۲-۴ حذف (Suppression) تشعشعات ناخواسته^۱

در تجربیات آمریکای شمالی، عموماً نیازی به حذف انتشارهای ناخواسته در حد بیش از 80 dB لازم نبوده است. با در نظر گرفتن شرایط خاص در داخل منطقه ۱ و برخی از نواحی منطقه ۳، مقادیر داده شده در جدول ۱ برای حذف انتشار ناخواسته در باند هوانوردی 108-137 MHz برای حالت مؤلفه‌های ایترمدولاسیون تشعشع یافته از فرستنده‌های برودکست موجود در یک سایت، توصیه شده است.

جدول ۱- حذف (Suppression) تشعشعات ناخواسته

Maximum e.r.p. (dBW)	Suppression relative to maximum e.r.p. (dB)
≥ 48	85
30	76
< 30	46 + maximum e.r.p. (dBW)

NOTE 1 – Linear interpolation is used between maximum e.r.p. values of 30 and 48 dBW.

۴-۲-۵ فرکانس‌ها و پلاریزاسیون

باند‌های عملکرد برودکست FM در مقررات رادیویی وجود دارد. در

^۱ Spurious emission

منطقه ۱ و بخش‌های خاصی از منطقه ۳، این باند 87.5-108 MHz و هر کانال 100 kHz است (87.6, 87.7 ... 107.9 MHz). در منطقه ۲، باند 88-108 MHz و هر کانال 200 kHz است (88.1, 88.3 ... 107.9 MHz). پلاریزاسیون سیگنال FM می‌تواند افقی، عمودی و یا ترکیبی باشد.

۴-۲-۶ محاسبه شدت میدان فضای آزاد برای سیگنال‌های برودکست

شدت میدان فضای آزاد باید بر اساس فرمول زیر تعیین شود:

$$E = 76.9 + P - 20 \log d + H + V$$

که در آن:

E: شدت میدان ((dB(μV/m) سیگنال برودکست

P: حداکثر e.r.p. (dBW) ایستگاه برودکست کننده

d: فاصله مسیر شیب (km) ایستگاه برودکست تا هواپیما

H: ضریب تصحیح (dB) h.r.p.

V: ضریب تصحیح (dB) v.r.p.

ضریب تصحیح h.r.p. بیانگر اختلاف پترن افقی سیستم آنتن اف ام در جهت هواپیما با مقدار ماکزیمم پترن است که اساساً اگر گین سیستم آنتن در زاویه هواپیما در e.r.p. ملاحظه گردد این ضریب تصحیح صفر می‌باشد.

ضریب تصحیح v.r.p. بیانگر اختلاف پترن عمودی آنتن برای زوایای بالاتر از صفحه افقی می‌باشد. از آنجا که هواپیما در ارتفاع بالاتر از ایستگاه برودکست می‌باشد ضرایب تصحیحی طبق جدول ۲ قابل اعمال می‌باشد.

همانطور که مشخص است در زاویه نزدیک افق (صفر و ۱۰ درجه) ضریب تصحیح صفر است.

جدول ۲- ضرایب تصحیح v.r.p.

Elevation angle (degrees)	v.r.p. correction (dB)
0	0
10	0
20	-1
30	-2
40	-4
50	-6
60	-8
70	-8
80	-8
90	-8

محاسبه شدت میدان فضای آزاد نقش بسیار مهمی در محاسبه تداخل سیگنال ورود کست روی هوانوردی دارد.

۴-۲-۷ توان ورودی گیرنده

با فرض آن که پترن تشعشعی آنتن هواپیما بدون جهتداری باشد، شدت میدان‌ها برای سیگنال ورود کست و سیگنال هوانوردی باید در ورودی یک گیرنده هوانوردی مطابق با فرمول زیر به توان تبدیل شوند:

(a) برای یک سیگنال برود کست در باند 87.5-108 MHz:

$$N = E - 118 - L_s - L(f) - L_a$$

که در آن:

N: سطح سیگنال برود کست (dBm) در ورودی گیرنده هوانوردی

E: شدت میدان ((dB(μV/m)) سیگنال برود کست

L_s: افت تقسیم کننده سیگنال معادل 3.5 dB

L(f): افت وابسته به فرکانس سیستم آنتن در فرکانس برود کست f (MHz)

معادل 1.2 dB برای هر MHz در فرکانس های زیر 108 MHz

L_a: افت ثابت سیستم آنتن معادل 9 dB

(b) برای یک سیگنال هوانوردی و یک سیگنال نوع A1 در باند 108-

: 118 MHz

$$N_a = E_a - 118 - L_s - L_a$$

که در آن:

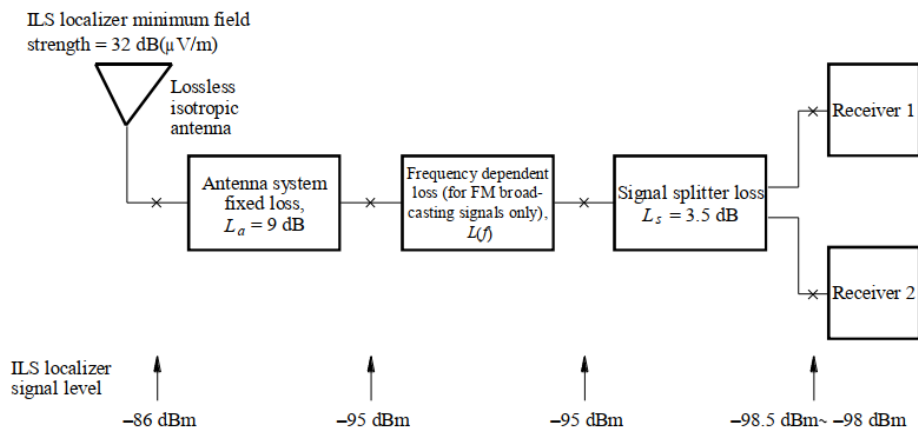
N_a: سطح سیگنال (dBm) در ورودی گیرنده هوانوردی

E_a: شدت میدان ((dB(μV/m)) سیگنال نوع A1 یا هوانوردی

شکل ۴ نشان می دهد که چگونه حداقل شدت میدان 32 dB(μV/m)

مکان نمای ILS در ورودی گیرنده مربوط به یک گیرنده نصب شده معمول

هواپیما با استفاده از فرمول زیر به -98 dBm تبدیل می‌شود.



Note 1 – Typical aircraft installation includes a signal splitter to feed two aeronautical receivers.

Note 2 – The frequency dependent loss $L(f)$, is equal to 0 for aeronautical frequencies and therefore does not appear in formula (3).

D03

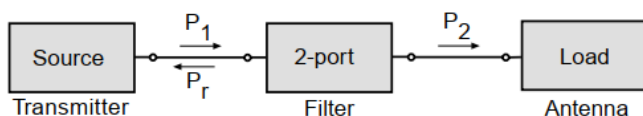
شکل ۴- تبدیل حداقل شدت میدان مکان‌نمای ILS به یک سطح سیگنال در ورودی یک گیرنده هوانوردی

۴-۲-۸ کمباینرها و فیلترها

فیلترها و کمباینرها اجزای مهمی از سیستم آنتن‌های ورودی هستند که برای انتخاب فرکانسی، حذف تشعشعات اختلالی و نویز باندهای جانبی، جلوگیری از ایجاد مؤلفه‌های تداخلی، ترکیب چندین کانال در یک آنتن مشترک با افت کم و برای جداسازی کانال‌ها استفاده می‌شوند.

فیلترها با توجه به کاربردشان به عنوان اجزایی از یک سیستم، به صورت

شبکه‌هایی با دو پورت ساخته می‌شوند که در پورت‌های ورودی و خروجی با امپدانس سایر عناصر سیستم (مثل فرستنده، گیرنده، آنتن یا کابل‌های اتصال) تطبیق داده می‌شوند.



$$P_2 = P_1 - P_r - P_v$$

$$P_1 = \text{Input power}$$

$$P_r = \text{Reflected power}$$

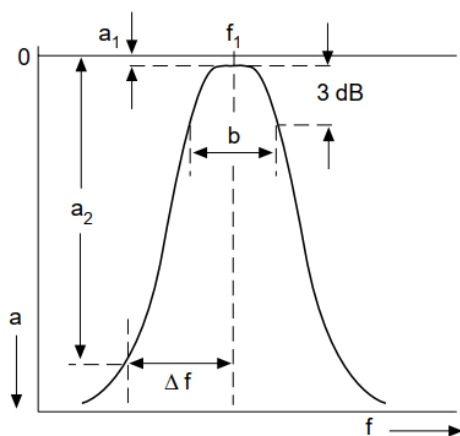
$$P_v = \text{Power loss through filter}$$

$$P_2 = \text{Power transmitted}$$

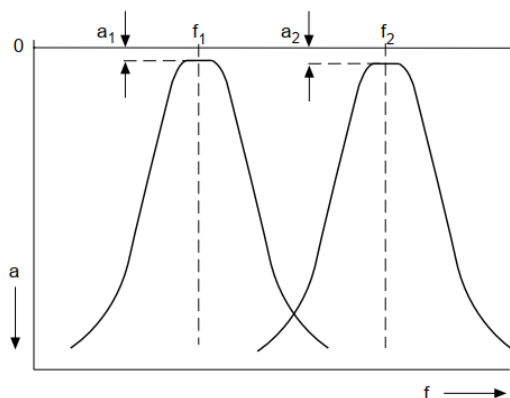
شکل ۵- فیلتر و اتصالات آن

تضعیف معمولاً به فرکانس مورد استفاده بستگی دارد. این ارتباط به صورت نمودار منحنی تضعیف معمول برای یک فیلتر در شکل‌های زیر نشان داده شده است. تضعیف عبارتست از نسبت لگاریتمی بین توان ورودی و توان ارسال شده که رابطه آن به شکل زیر است:

$$a \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_1}{P_2}$$



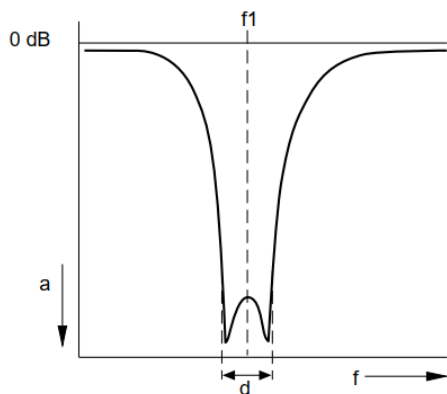
شکل ۶- پاسخ فرکانسی یک فیلتر تنظیم شده روی فرکانس f_1 با افت تعبیه (insertion loss) برابر با a_1 ، تضعیف a_2 در فرکانس stopband برابر با $f_1 - \Delta f$ و با پهنای باند 3 dB برابر با b .



شکل ۷- پاسخ فرکانسی یک کمباینر 2-way با افت تعبیه a_1 و a_2 در فرکانس های f_1 و f_2 .

برای اندازه گیری چگونگی تطبیق یک فیلتر، از افت برگشتی (return loss) یا a_r که نسبت لگاریتمی بین توان ورودی و بازگشتی است، استفاده می شود.

$$a_r (dB) = 10 \log \frac{P_1}{P_r}$$



شکل ۸- افت برگشتی یک فیلتر میان گذر ۲ قطبی تنظیم شده روی فرکانس f_1 و با پهنای باند باند گذر d

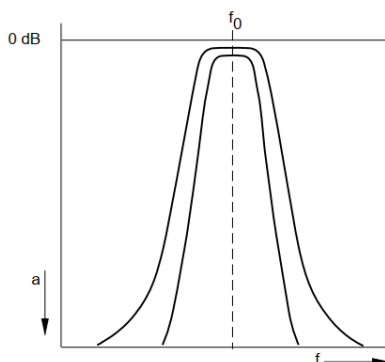
افت برگشتی a_r ، و فاکتورهای ضریب برگشت (reflection coefficient) r و VSWR طبق روابط زیر با هم ارتباط دارند:

$$a_r = -20 \log |r|$$

$$s = \frac{1 + |r|}{1 - |r|}$$

۴-۲-۸-۱ فیلترها

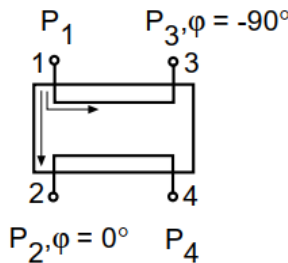
در سیستم‌های ورود کست فیلترها معمولاً به صورت ترکیبی از چندین تشدیدکننده (resonator) $\lambda/4$ تنظیم می‌شوند. فاکتور Q تشدیدکننده‌ها با توجه به داده‌های الکتریکی بسیار مهم است و تحت تأثیر شکل و حجم فیلتر و همچنین رسانایی ماده مورد استفاده قرار دارد. میزان گزینندگی (selectivity) فیلترهای مورد استفاده برای کمباینرها تأثیر قطعی بر حداقل فاصله لازم بین فرستنده‌هایی که قرار است به یک آنتن مشترک وصل شوند، دارد. اگر فاصله فرکانسی باریک باشد، فیلترها هم باید به شکلی مشابه به صورت بسیار باریک تنظیم شوند. اما این کار باعث افزایش افت تعبیه و در نتیجه باعث داغ شدن فیلترها می‌شود. با استفاده از فیلترهایی با حجم بیشتر که افت تعبیه نسبتاً پایین‌تری دارند، می‌توان از بروز این مشکل جلوگیری کرد.



شکل ۹- مثالی از دو امکان تنظیم برای یک فیلتر میان گذر که تنظیم باریک تر منجر به افت تعبیه بیشتر می شود.

۲-۸-۲-۴ کوپلرهای جهتی

یک کوپلر جهتی یک ساختار متقابل چهار-پورت است که دو تا از پورت ها از یکدیگر ایزوله هستند. برای مثال، توان ورودی به پورت ۱ بین پورت های ۲ و ۳ تقسیم می شود، در حالی که پورت ۴ ایزوله شده است. توان تغذیه شده به پورت دیگر نیز به طور مشابه تقسیم می شود.



شکل ۱۰- کوپلر جهتی با دو خط کوپل شده

اگر هر پورت به یک بار بدون برگشتی و صل با شد، آنگاه روابط زیر قابل اعمال هستند:

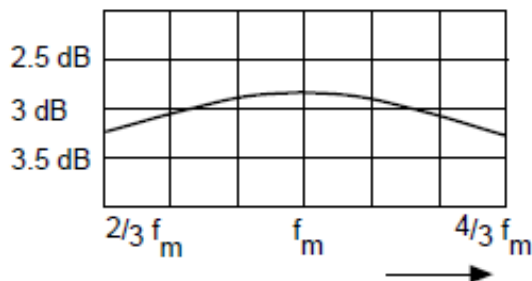
Coupling attenuation:

$$a_k = 10 \log \frac{P_1}{P_2}$$

Directivity:

$$a_d = 10 \log \frac{P_2}{P_4}$$

اگر محدوده کوپلینگ یک کوپلر transmission-line برابر $\lambda/4$ در فرکانس مرکزی f_m باشد، آن گاه تضعیف کوپلینگ روی یک محدوده فرکانسی $f_1/f_2 = 2$ تقریباً مستقل از فرکانس است. برای مثال، با یک کوپلر جهتی 3-dB، یک واگرایی معادل ± 0.4 dB و اختلاف فاز 90° بین سیگنال‌ها در پورت‌های ۲ و ۳ می‌دهد که تقریباً مستقل از فرکانس نیز هست.



شکل ۱۱- تضعیف کوپلینگ برای کوپلر 3-dB transmission-line با طول $\lambda_m/4$

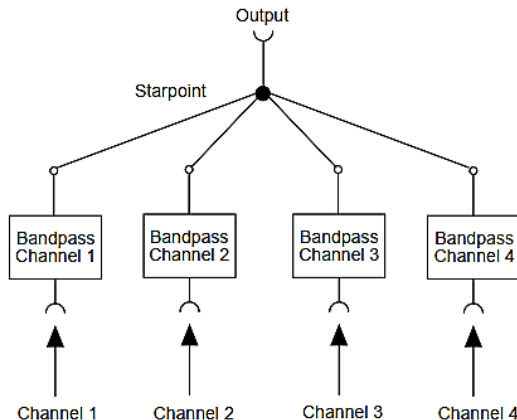
۴-۲-۸-۳ کمباینرها

کمباینرها ترکیبی از عناصر گزیننده فرکانس (مثل فیلترها، stretchline) با نودها و اجزای اتصال (مثل کوپلرهای جهتی، نقاط ستاره‌ای) هستند. در کمباینرهای با کیفیت بالا، فیلترهای میان‌گذر بر فیلترهای stop band ترجیح دارند.

کمباینرهای نقطه ستاره‌ای

کمباینر نقطه ستاره‌ای برای n کانال، شامل n فیلتر میان‌گذر با خروجی‌هایی است که به یک نقطه ستاره‌ای مشترک متصل شده‌اند.

میان‌گذرهای جداگانه روی فرکانس‌های مربوطه تنظیم شده‌اند. از آن‌جا که فیلترهای میان‌گذر در خارج از باندهای گذر خود دارای عدم تطبیق هستند (با کوپلینگ القایی، امپدانس تقریباً به اتصال کوتاه نزدیک می‌شود)، امپدانس را می‌توان با انتخاب طول مناسب برای کابل‌های اتصالی بین فیلترها و نقطه ستاره‌ای به سطوح بسیار بالایی تغییر داد. این به معنی آن است که برای هر ورودی، امپدانس‌های انتقال یافته تمام دیگر ورودی‌ها در نقطه ستاره‌ای بسیار بالا هستند که یک بار موازی بسیار کوچک در خروجی آنتن تولید می‌کند.



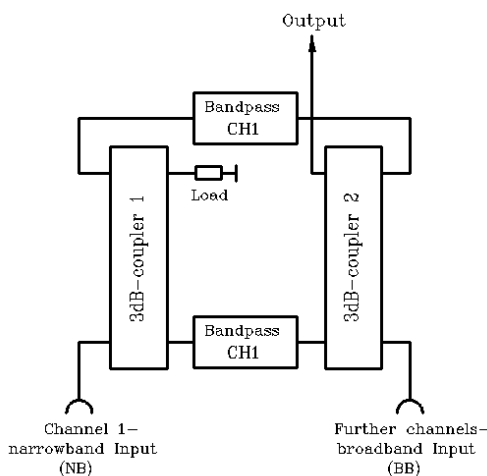
شکل ۱۲- کمباینر نقطه ستاره‌ای برای ۴ کانال

کمباینر فیلتر جهتی

کمباینرهای فیلتر جهتی ترکیبی از فیلترها و کوپلرهای 3-dB هستند. یک ماژول شامل دو فیلتر میان‌گذر، دو کوپلر 3-dB و یک بار می‌باشد. یک ورودی باند باریک است (narrowband-NB) که متناظر منحنی باند‌گذر فیلتر میان‌گذر است. ورودی دیگر پهن‌بند (broadband-BB) است که متناظر با محدوده عملکرد کوپلر 3-dB. کمباینرهای فیلتر جهتی است. در مقایسه با انواع دیگر کمباینرهای ارزانتر دارای مزایای زیر هستند:

- نصب ساده چند کمباینر با چینش آبشاری (cascade) چند ماژول
 - ایزولاسیون بسیار بالا بین ورودی‌های باریک‌بند یک cascade
 - تطبیق پهن‌بند تمام ورودی‌ها
 - توسعه آسان کمباینرهای موجود با اضافه کردن ماژول‌های جدید.
- سیگنال واردشده به ورودی NB توسط کوپلر 3-dB به دو نیمه تقسیم می‌شود، که هر دوی آن‌ها از طریق یکی از فیلترهای میان‌گذر به سمت کوپلر 3-dB عبور می‌کنند و سپس با فاز یکسان در خروجی آن جمع می‌شوند (طبق عملکرد کوپلر 3-dB). در ورودی BB دو سیگنال دارای فاز مخالف هستند و بنابراین عملاً هیچ سیگنال در این پورت ظاهر نمی‌شود. ورودی BB توسط کوپلر جهتی از ورودی NB ایزوله شده است، اما این به فیلترهای میان‌گذری که به طور یکسان تنظیم شده‌اند نیز بستگی دارد.
- فرکانس سیگنال تغذیه شده به ورودی BB در داخل stop band فیلترهای میان‌گذر قرار می‌گیرد. سیگنال توسط کوپلر 3-dB به دو نیم تقسیم می‌شود و

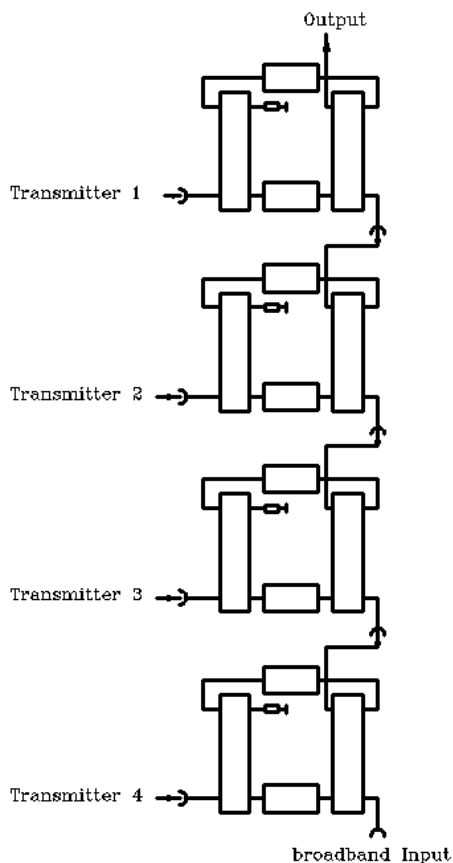
به طور کامل توسط فیلترهای باند گذر بازگشت داده می شود و پس از جمع شدن هم-فاز به سمت خروجی می رود. ورودی NB توسط کوپلر جهتی، از ورودی BB ایزوله شده است، اما یک ایزولا سیون اضافی نیز به دلیل تضعیف stop band فیلترهای میان گذر وجود دارد.



شکل ۱۳- نمودار یک فیلتر جهتی

می توان چند کمباینر را به آسانی با استفاده از چند ماژول که خروجی هر ماژول تغذیه کننده ورودی BB ماژول بعدی است، نصب کرد (شکل ۱۴). تعداد کانال های ممکن در یک باند فرکانسی معلوم فقط با حداقل فاصله بین سیگنال ها محدود می شود. در عمل، محدودیت ناشی از آن است که برای هر ماژول اضافی، افت تعبیه به میزان 0.1-0.05 dB افزایش می یابد و ممکن است به مقادیر ناموجهی برسد. میزان توان کوپلر 3-dB در خروجی نیز می تواند

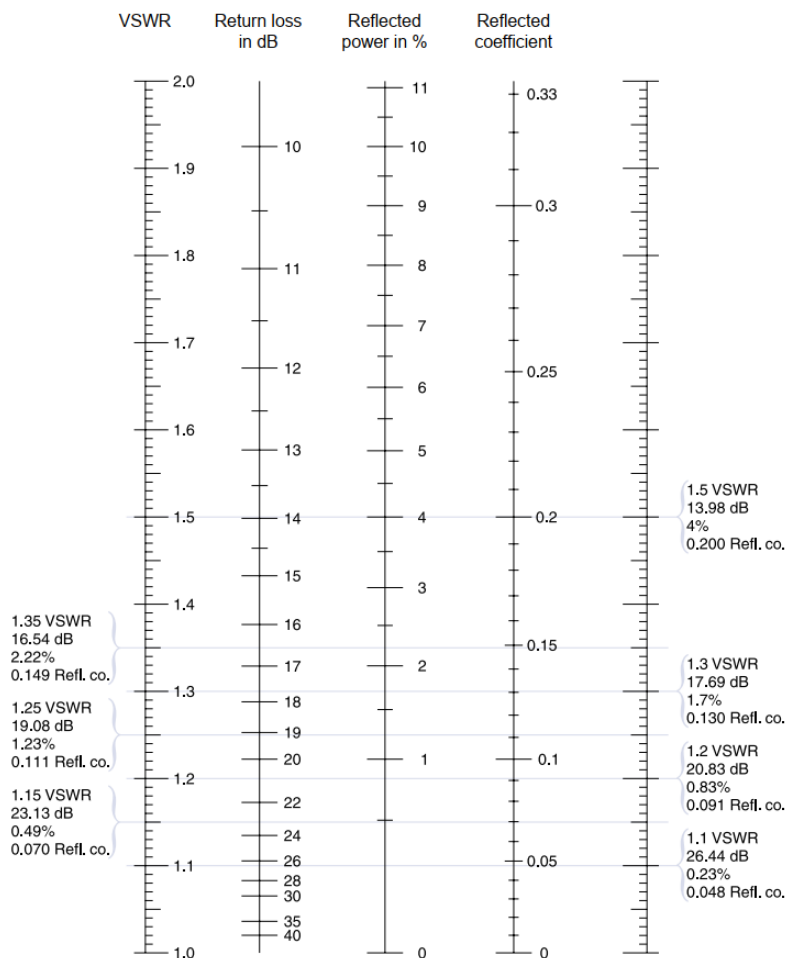
تعداد کانال‌ها را در عمل محدود کنند.



شکل ۱۴- نمودار یک کمباینر فیلتر جهتی با ۴ ماژول

در شکل ۱۵ نمودار V_{SWR} ، افت برگشتی، توان برگشتی و ضریب برگشت کمباینرهای کاترین نشان داده شده است. با دانستن یک مقدار و

حرکت افقی روی نمودار می‌توان مقادیر معادل را به دست آورد.



شکل ۱۵- نمودار VSWR، افت برگشتی، توان برگشتی و ضریب برگشت کمباینرهای کاتراین

کمباینرهای فیلتر جهتی چندین فرستنده را قادر می‌کند تا به یک آنتن مشترک متصل شوند. با این کمباینر تا شش فرستنده می‌توانند با مازول‌های فیلتر جهتی آبخاری متصل شوند. کمباینرهای آبخاری دارای مزایایی هستند:

- امپدانس در تمام ورودی‌ها مستقل از فرکانس است.
- فرکانس در ورودی BB می‌تواند بدون نیاز به تنظیم مجدد کمباینر تغییر کند.
- اگر فقط ورودی‌های NB استفاده شوند، می‌توان حتی با فاصله فرکانسی خیلی کوچک به مقادیر ایزولاسیون بسیار زیادی دست یافت. در این صورت، ورودی BB برای هر تو سعه بیشتری بدون نیاز به تغییر در کمباینر در دسترس می‌باشد.
- هر مازول شامل دو میان گذر سه قطبی و دو کوپلر 3-dB و یک بار می‌باشد. گرمای تولید شده در محیط اطراف پخش می‌شود و بنابراین نیازی به تهویه ندارد. صرف نظر از فرکانس، امپدانس در تمام ورودی‌ها برابر 50Ω است.
- برای تنظیم باید میان گذرهای مازول روی فرکانس ورودی به ورودی‌های NB جداگانه تنظیم شوند. این تنظیم می‌تواند در کارخانه و یا در محل سایت انجام شود.

مشخصات فنی چند نمونه کمباینر ساخت شرکت کاتراین در جداول ۳ تا ۵ آمده است. همانطور که مشخص است ورودی های کمباینر بایستی دارای مشخصه $VSWR < 1.1$ در باند گذر تنظیم شده باشند و ایزولاسیون ورودی ها هم دارای شرایط زیر باشد:

Narrowband $\rightarrow$ Broadband : $> 30 \text{ dB}$

Broadband $\rightarrow$ Narrowband : $> 50 \text{ dB}$

Narrowband $\rightarrow$ Narrowband : $> 50 \text{ dB}$

جدول ۳- مشخصات فنی کمباینر فیلتر جهتی 1kW کاترین برای باند FM

Technical Data

The insertion loss and isolation values apply to the minimum frequency spacing.

Type No.	Inputs		Insertion loss	Max. Power			Weight
	NB	BB		NB	BB	Output	
717 488	2	1	< 0.4 dB *	1 kW	6 kW	8 kW	170 kg
717 599	3	1	< 0.5 dB *	1 kW	5 kW	8 kW	255 kg
725 848	4	1	< 0.6 dB *	1 kW	4 kW	8 kW	340 kg
726 335	5	1	< 0.7 dB *	1 kW	3 kW	8 kW	430 kg
Inputs	2 – 5 Narrowband inputs (NB)			1 Broadband input (BB)			
Frequency range	87.5 ... 108 MHz Tuned to operating channels			87.5 ... 108 MHz Free choice of channel			
Min. frequency spacing	2 MHz						
3-dB bandwidth	> 1 MHz						
Isolation	> 30 dB (from NB to BB) > 45 dB (from BB to NB)						
VSWR	< 1.1 (at the pass band) < 1.25 (at the stop band)						
Impedance	50 Ω						
Temperature range	- 20 ... + 50 °C						
Connectors	7-16 female (NB) 13-30 female (BB and output)						
Dimensions	19" drawer**, depth: 710 mm, height: 20 HU (for each module)						
Packing size	815 mm x 615 mm x 1100 mm (for each module)						
Colour	Grey (RAL 7032)						

* The figures quoted are maximum values. The insertion losses of the individual inputs vary. Minimum insertion loss: 0.3 dB.

** Without front panel

جدول ۴- مشخصات فنی کمباینر فیلتر جهتی 5 kW کاترین برای باند FM

Technical Data

The insertion loss and isolation values apply to the minimum frequency spacing.



Type No.	Inputs		Insertion loss	Max. Power			Dimensions (length, width, height) mm x mm x mm	Packing size mm x mm x mm	Weight
	NB	BB		NB	BB	Output			
728 917	2	1	< 0.7 dB *	5 kW	10 kW	15 kW	2000 x 560 x 1320	2x 1015 x 615 x 1400	280 kg
730 048	3	1	< 0.8 dB *	5 kW	—	15 kW	3000 x 560 x 1320	3x 1015 x 615 x 1400	420 kg
Inputs/output			Narrowband inputs (NB)			Broadband input (BB)			Output
Frequency range			87.5 ... 108 MHz Tuned to one channel			87.5 ... 108 MHz Free choice of channel			—
Connections			7/8" EIA			1 5/8" EIA			1 5/8" EIA
Min. frequency spacing						0.8 MHz			
3-dB bandwidth						> 600 kHz			
Isolation						> 30 dB (from NB to BB) > 50 dB (from BB to NB) > 50 dB (from NB to NB)			
VSWR						< 1.1 (at the pass band) < 1.25 (at the stop band)			
Impedance						50 Ω			
Temperature range						- 20 ... + 50 °C			
Colour						Grey (RAL 7032)			

* The figures quoted are maximum values. The insertion losses of the individual inputs vary. Minimum insertion loss: 0.3 dB.

جدول ۵- مشخصات فنی کمباینر فیلتر جهتی 10 kW کاترین برای باند FM

Technical Data

The insertion loss and isolation values apply to the minimum frequency spacing.



Type No.	Inputs		Insertion loss	Max. Power			Dimensions (length, width, height) mm x mm x mm	Packing size mm x mm x mm	Weight
	NB	BB		NB	BB	Output			
790 695	2	1	< 0.55 dB*	10 kW	40 kW	60 kW	2400 x 745 x 1435	2x 1350 x 870 x 1620	590 kg
790 709	3	1	< 0.65 dB*	10 kW	30 kW	60 kW	3600 x 745 x 1435	3x 1350 x 870 x 1620	890 kg
790 785	4	1	< 0.70 dB*	10 kW	20 kW	60 kW	4800 x 745 x 1435	4x 1350 x 870 x 1620	1190 kg
790 786	5	1	< 0.75 dB*	10 kW	10 kW	60 kW	6000 x 745 x 1435	5x 1350 x 870 x 1620	1490 kg
790 787	6	1	< 0.80 dB*	10 kW	10 kW	70 kW	7200 x 745 x 1435	6x 1350 x 870 x 1620	1790 kg
Inputs/output			Narrowband inputs (NB)			Broadband input (BB)			Output
Frequency range			87.5 ... 108 MHz Tuned to one channel			87.5 ... 108 MHz Free choice of channel			—
Connections			1 5/8" EIA			3 1/8" EIA			3 1/8" EIA (790 787: 4 1/2" EIA)
Min. frequency spacing						0.8 MHz			
3-dB bandwidth						> 600 kHz			
Isolation						> 35 dB (from NB to BB) > 55 dB (from BB to NB) > 55 dB (from NB to NB)			
VSWR						< 1.1 (at the pass band) < 1.25 (at the stop band)			
Impedance						50 Ω			
Temperature range						- 20 ... + 50 °C			
Colour						Grey (RAL 7032)			

* The figures quoted are maximum values. The insertion losses of the individual inputs vary. Minimum insertion loss: 0.3 dB.

۵ ضوابط ارزیابی سازگاری

در ضوابط ارزیابی سازگاری تعریف شده در توصیه‌نامه ITU-R 1009-1، آستانه تداخل در تجهیزات هوانوردی گیرنده‌های VOR، مکان‌نمای ILS و COM به تفصیل بیان شده است که در این جا به طور مختصر به آن اشاره می‌کنیم. برای جزئیات کامل‌تر مراجعه به توصیه‌نامه ITU-R 1009-1 و دیگر منابع ذکر شده در پایان سند ضروری است

آستانه تداخل حداقل سطح توانی از یک سیگنال تداخل کننده است که باعث افت غیر قابل قبول در عملکرد گیرنده می‌شود. در اندازه‌گیری‌ها و آزمایشات پروازی گیرنده‌های VOR و مکان‌نمای ILS مشخص شده است که افزایش 1 تا 3 dB در سطح سیگنال تداخل کننده بیش از سطح آستانه تداخل باعث تغییر زیادی در جریان انحراف مسیر شده و یا باعث ظاهر شدن پرچم می‌شود.

برای گیرنده‌های VOR و مکان‌نمای ILS مونترال و همچنین ICAO Annex 10 1998، آستانه تداخل در مورد تداخل نوع A1 و نوع A2 یکسان تعریف شده و به شرح ذیل است:

۵-۱ تداخل نوع A1

تداخل نوع A1 مهم‌ترین نوع تداخل از منظر مؤلفه‌های ایترمدولاسیون خارج باند برود کست می‌باشد که بایستی نسبت حفاظت (protection ratio) نسبت به حداقل شدت میدان لازم برای سیستم ILS یا VOR اعمال گردد. در

در جدول ۶ مقادیر نسبت حفاظت که باید مورد استفاده قرار گیرد آمده است. در تداخل نوع A1 نیازی به در نظر گرفتن تفاضل های فرکانسی بیش از 200 kHz نیست.

جدول ۶ - نسبت حفاظت لازم در تداخل A1

Frequency difference between wanted signal and spurious emission (kHz)	Protection ratio (dB)
0	14
50	7
100	-4
150	-19
200	-38

جهت عدم تداخل ایستگاه برودکست، مقدار شدت میدان محاسبه شده فضای آزاد سیگنال برودکست در سمت هواپیما بایستی به اندازه نسبت حفاظت ذکر شده (Protection Ratio)، کمتر از حداقل شدت میدان مکان نمای ILS $32 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$ باشد که معادل $32 - 14 = 18 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$ در حالت هم کانال می باشد. با داشتن مقدار e.r.p ایستگاه برودکست در سمت هواپیما و فاصله بین آنها می توان شدت میدان را محاسبه نمود. طبیعتاً برای مؤلفه های اینترمدولاسیون مقدار suppression توصیه شده از این شدت میدان کسر می گردد.

بطور مثال اگر ایستگاه برودکست 10 KW دارای گین 10 dBi باشد و فاصله هواپیما تا ایستگاه 20 km باشد، شدت میدان سیگنال برودکست در محل

هواپیما برابر مقدار زیر است:

$$E = 76.9 + (10 \log(10000) + 10) - 20 \log 20 + 0 + 0 \\ = 100.9 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$$

اگر suppression کمباینر برای خارج باند طبق توصیه نامه جدول ۱ برابر 85 dB باشد، سطح مؤلفه ایترمدولاسیون خارج باند در محل هواپیما برابر است با:

$$100.9 - 85 = 15.9 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$$

این مقدار طبیعتاً کمتر از 18 dB($\mu\text{V/m}$) بوده و مشکل تداخل ایجاد نمی‌کند و یا می‌توان گفت که در این مورد مثال suppression معادل 83 dB نیز مشکل تداخل ایجاد نخواهد کرد.

۵-۲ تداخل نوع A2

تداخل نوع A2 توسط خارج باند (out of band) فرستنده برودکست در فرکانس‌های نزدیک به 108 MHz رخ می‌دهد. در جدول ۷ مقادیر نسبت حفاظت که باید مورد استفاده قرار گیرد آمده است. در تداخل نوع A2 نیازی به در نظر گرفتن تفاضل‌های فرکانسی بیش از 300 kHz نیست.

جدول ۷ - نسبت حفاظت لازم در تداخل A2

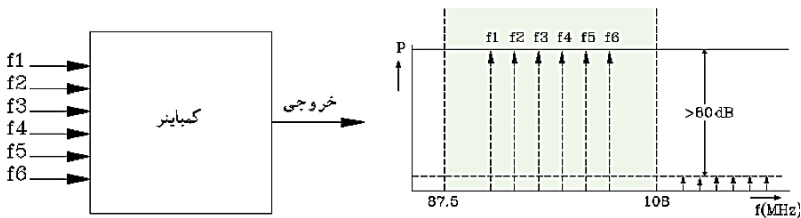
Frequency difference between wanted signal and broadcasting signal (kHz)	Protection ratio (dB)
150	-41
200	-50
250	-59
300	-68

لازم به توجه است که در مورد تداخل نوع B1 و B2 در گیرنده‌های VOR و مکان‌نمای ILS برای دو نوع مونترال و همچنین ICAO Annex 10 1998، فرمول‌های متفاوتی برای ارزیابی سازگاری تعریف شده است که در این جا جهت اختصار از ذکر آن‌ها خودداری می‌گردد. بدیهی است در صورت بروز این نوع تداخل‌ها باید جهت بررسی ارزیابی سازگاری، به این فرمول‌ها و تصحیحات تعریف شده برای آن‌ها در مراجع فوق‌الذکر مراجعه نمود.

۶- توصیه‌ها و نتیجه‌گیری

- با توجه به توصیه‌نامه‌های موجود در ITU-R و ICAO و همچنین تجربه‌های عملیاتی انجام شده می‌توان در زنجیره تشعشع FM موارد زیر را توصیه نمود:
- (۱) با توجه به این که سیستم ILS هواپیما در ارتفاع فعال می‌شود، توصیه می‌شود که تیلت سیستم آنتن ورود کست در حالت حداکثر به سمت منطقه پوشش قرار گیرد تا تداخل در سیستم ILS به حداقل برسد.
 - (۲) تنظیمات کمباینر FM طبق مشخصات فنی کمباینرها انجام و مقدار VSWR هر کدام از ورودی‌های کمباینر کمتر 1.1 بوده و ایزولاسیون BB به BB باید بیشتر از 30 dB و در حد 35 dB و ایزولاسیون BB به BB یا NB به NB بیشتر از 45 dB و در حد 50 dB توصیه می‌شود.
 - (۳) تنظیمات کمباینر در ایستگاه‌های پر قدرت و متوسط قدرت بهتر است دقیق و طبق مشخصات ذیل صورت گرفته و برای هر کمباینر یک گواهینامه فنی مبنی بر اندازه‌گیری تمامی پورت‌های کمباینر قبل از تحویل و راه‌اندازی انجام گیرد، به نحوی که همواره مشخصات فنی و گواهینامه کمباینر همواره در ایستگاه و در سوابق ایستگاه موجود باشد. اگرچه که این مشخصات فنی ذکر شده لازمه راه‌اندازی و تحویل کمباینر FM می‌باشد ولی جهت ارزیابی تشعشعات خارج از باند بایستی اندازه‌گیری سطح suppression مؤلفه‌های خارج از باند نسبت به هر کدام از مؤلفه‌های داخل باند قبل از آنتن انجام شود و این سطح

بیشتر از 80 dB باشد. به این نحو که با نهایی شدن تنظیمات کمباینر به ورودی های کمباینر، ورودی RF داده شده و سطح مؤلفه های ایترمدولاسیون خارج از باند (بالای 108 MHz) نسبت به مؤلفه اصلی اندازه گیری و مقدار بیشتر از 80 dB تأیید گردد.



شکل ۱۵- میزان suppression خارج از باند خروجی کمباینر

۴) تداخل سیگنال خارج باند برودکست بصورت (OTA (over the air طبق قسمت ۵ قابل محاسبه می باشد. سطح سیگنال مؤلفه ایترمدولاسیون خارج باند بایستی کمتر از 18 dB ($\mu V/m$) برای سیستم ILS باشد. اندازه گیری این مقدار نیز توسط دستگاه های اندازه گیری و با داشتن فاکتور آنتن (AF) استفاده شده برای اندازه گیری بصورت زیر قابل تبدیل است:

$$AF(dB) = 20 \log \left(\frac{9.73}{\lambda \sqrt{Gain}} \right)$$

$$dB\mu V/m = dB\mu V + AF(dB)$$

$$dBm = dB\mu V - 107 \quad (50\Omega)$$

۱۰- منابع

- [1]. Recommendation ITU-R SM.1009-1 (10/1995), Compatibility between the sound-broadcasting service in the band of about 87-108 MHz and the aeronautical services in the band 108-137 MHz
- [2]. ICAO Annex 10- “International Standards, Recommended Practices and Procedures for Air Navigation Services: Aeronautical Telecommunications, Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, Volume I”, International Civil Aviation Organization.
- [3]. ICAO (International Civil Aviation Organization) WORKING PAPER- ASSESSMENT OF POTENTIAL INTERFERENCE FROM FM BROADCASTING STATIONS INTO AERONAUTICAL VDL MODE 4 SYSTEMS IN THE BAND 112-117.975 MHZ- AERONAUTICAL COMMUNICATIONS PANEL (ACP) NINETEENTH MEETING OF WORKING GROUP F- Montreal, Canada 15 – 19 September 2008
- [4]. Rec. ITU-R SM.1535-0 , RECOMMENDATION ITU-R SM.1535-0, The protection of safety services from unwanted emissions (2001)



معاونت توسعه و فناوری رسانه
اداره کل نظارت و ارزیابی فنی