



جنگ الکترونیک در مخابرات

مترجمان:

دکتر علی آذری

مهندس علیرضا جزایری



انتشارات صنایع هوا فضا

سرشناسه: دیوید، آدامی،
 Adamy, David
 عنوان و نام پدیدآور: جنگ الکترونیک در مخابرات/ نویسنده دیویدال. آدامی؛ مترجمان علی آذریر، علیرضا جزئی زاده کریمی.
 مشخصات نشر: تهران: سازمان صنایع هوا فضا، انتشارات هوا فضا، ۱۳۹۱.
 مشخصات ظاهری: ۳۶۶ ص، مصور، جدول، نمودار.
 شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۷۵۱-۲۳-۴
 وضعیت فهرست نویسی: فیا
 یادداشت: عنوان اصلی: EW 103 : tactical battlefield communications electronic warfare, c2009.
 موضوع: الکترونیک در مهندسی نظامی
 موضوع: ضد عملیات الکترونیکی
 موضوع: ارتباطات نظامی
 شناسه افزوده: آذریر، علی، ۱۳۵۱-، مترجم
 شناسه افزوده: جزئی زاده کریمی، علیرضا، ۱۳۶۴-، مترجم
 شناسه افزوده: سازمان صنایع هوا فضا، انتشارات هوا فضا
 ده بندی کنگره: ۱۳۹۱ ج ۹۳/۴۶۸۵ UG
 بندی دی: ۶۲۳/۵۴۳
 شماره کتابشناسی ملی: ۲۹۸۷۷۷۴



انتشارات صنایع هوا فضا

- ۵ نام کتاب: جنگ الکترونیک در مخابرات
- ۶ مترجمان: دکتر علی آذریر (استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند)
- ۷ نویسنده: علیرضا جزئی زاده کریمی
- ۸ نوبت چاپ: اول، ۹۱
- ۹ شمارگان: ۵۰۰ جلد
- ۱۰ قیمت: ۱۳۰۰۰ تومان
- ۱۱ شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۷۵۱-۲۳-۴
- ۱۲ ناظر چاپ: علی نورا... اوغلی
- ۱۳ طراح جلد: محسن محمد صادقی

کلیه حقوق قانونی و شرعی برای ناشر محترم محفوظ است.
 تکثیر تمام یا قسمتی از این اثر بصورت حرفه‌ای و چاپ مجدد، بلی کپی
 فتوکپی و انواع دیگر چاپ ممنوع است. نقل مطالب به صورت مجزا در مقاله‌های
 تحقیقاتی با ذکر نام کامل ناشر و کتاب آزاد است.

تهران - میدان لوینا - خیابان شهید لنگری
 ستاد سازمان صنایع هوا فضا - انتشارات هوا فضا
 تلفن: ۲۲۹۵۵۴۶۶

سخن مترجم

بطور کلی جنگ الکترونیک شامل کشف کردن، متوقف کردن و خنثی نمودن تجهیزات راداری، مخابراتی و سیستم‌های الکترواپتیکی دشمن بوده که در محیط‌های نظامی امروزی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. می‌توان گفت جنگ الکترونیک از آن جمله علوم می‌باشد که کلیه دانش‌های جدید الکترونیکی و مخابراتی را با هم در بر می‌گیرد، و در نتیجه کسانی که با این علوم کار می‌کنند لازم است اطلاعات کافی از دانش روز داشته باشند. چرا که یافتن روش‌های جدید جنگ الکترونیک منجر به بر شدن روش‌های جدید ضد جنگ الکترونیک می‌شود. امروزه صاحب نظران و تدوین کنندگان سیستم‌های نظامی، برنامه‌ریزی خود را برای جنگ در قرن بیست و یکم بر پایه جنگ‌های اطلاعاتی و اختراعی جنگ الکترونیک استوار کرده‌اند. به علاوه، امروزه هدف اصلی در یک جنگ، حمله به یک کشور یا اهداف زمینی نیست؛ بلکه حمله به شبکه اعصاب، که همان شبکه اطلاعات و مخابراتی دشمن است، ملاحظه می‌شود. اگر چه نیروی انسانی متخصص، توانمند و با انگیزه قادر است بسیاری از معادلات و حسابات نظامی را در صحنه نبرد بر هم زده و خالق حماسه‌های غیر قابل محاسبه و تصور گردد ولی عناصر دیگری نیز برای تضمین پیروزی نیاز است. همانطوری که در جنگ تحمیلی هشت ساله علیه ایران (دفاع مقدس)، شاهد آن بودیم، بخش اعظم موفقیت در جنگ مرهون این عنصر بود. با این وجود جنگ را هم ارزان نبردیم و تاوان زیادی، به علت فقدان و کمبود عناصر دیگر، متحمل شدیم. نگاه اصلی به دفاع مقدس به عنوان یک جنگ نیمه مدرن، جنگ نفت به عنوان یک جنگ مدرن، جنگ هوایی به عنوان یک جنگ کوزوو، جنگ‌های افغانستان و عراق به عنوان جنگ فوق مدرن، نقش و اهمیت جنگ‌های الکترونیکی را بیش از پیش نشان می‌دهد. از این نظر، در جنگ‌های آتی سریاز، نانک و توپخانه، نقش اصلی و تعیین کننده‌ای را در نتایج جنگ ایفا نخواهد کرد؛ بلکه دستگاه‌های هوشمند، رایانه‌ها و سامانه‌های کنترل کننده اختلال هستند که با داشتن توانایی در ایجاد ارتباط و دریافت اطلاعات، سرنوشت نهایی جنگ را رقم خواهند زد. شبکه‌های ارتباطی و ماهواره‌های مخابراتی به نحو چشمگیری بر اصول جنگ که همان فرماندهی و نظارت بر نیروی مسلح است تأثیر می‌گذارد؛ لذا در اختیار داشتن ارتباطی ایمن برای ساماندهی نیروها و تجهیزات نظامی از ملزومات اساسی جنگ‌های امروزی می‌باشد.

کتابی که اینک تحت عنوان جنگ الکترونیک در مخابرات در اختیار شما دانش‌پژوهان عزیز قرار می‌گیرد در واقع قسمتی از یک مجموعه سه جلدی جنگ الکترونیک نوشته دیوید آدمی می‌باشد. جلد

اول این مجموعه تحت عنوان جنگ الکترونیک، مباحث و روش‌های جنگ الکترونیک در سیستم‌های رادار را شامل می‌شود که توسط جناب آقای دکتر نایی و مهندس حرمتی ترجمه و انتشارات دانشگاه صنعتی شریف آن را به چاپ رسانده است. جلد دوم این مجموعه نیز که حوزه‌های الکترواپتیک را دربر می‌گیرد ترجمه شده که هم‌اکنون در دست چاپ می‌باشد.

در این جلد ابتدا به مفاهیم و روش‌های آنالوگ و دیجیتال در ارتباطات مخابراتی اشاره شده و سپس انواع آن‌ها، گیرنده‌های مورد استفاده در ارتباطات معمولی و ارتباطات جنگ الکترونیک بررسی شده است. پس از آن موضوعاتی همانند روش‌های جستجوی سیگنال‌ها و مکان‌یابی تشعشع گره‌های مخابراتی بحث و مرور خواهد شد. دو فصل آخر کتاب به نفوذ پذیری در سیگنال‌های مخابراتی و اختلال مخابراتی می‌پردازد.

امید است کتاب حاضر مورد توجه و بهره‌برداری پژوهشگران، محققان، صاحب‌نظران و علاقه‌مندان رشته‌های مهندسی برق و الکترونیک باشد. این کتاب به عنوان یکی از منابع مرجع در گسترش این علم دفاعی و مورد نیاز کشور انجام شده باشد.

در اینجا لازم می‌دانیم از حمایت‌های بی‌سابقه و محترم سازمان هوافضا سردار مهندس فرحی و ریاست محترم گروه صنایع شهید محلاتی جناب آقای دکتر محمدی سپاسگزاری نماییم.

خداوند به همه تلاشگران راه علم و عمل که با دقت و دقت و تعهد را بر دوش می‌کشند اجر و پاداش عنایت فرماید.

در پایان از کلیه خوانندگان تقاضا می‌شود نویسندگان را از نقطه نظرات و پیشنهادهای اصلاحی خود مطلع فرمایند.

مهندس علیرضا جزئی زکریا

دکتر علی آذربر

درباره مؤلف:

دیوید آدامی از معروف‌ترین متخصصان جنگ الکترونیک در دنیا است. ایشان سال‌ها نویسنده ستون‌های نشریه EW101 بوده است. وی ۴۶ سال متخصص جنگ الکترونیک بوده و به عنوان مهندس سیستم، مدیر پروژه، مشاور فنی برنامه‌ها، مدیر برنامه‌ها و خط تولید در پروژه‌های جنگ الکترونیک - از فرکانس DC تا بالای فرکانس نور - به طور مستقیم شرکت داشته است. این پروژه‌ها سرانجام به تولید سیستم‌هایی منتهی شده است که بر روی زیردریایی و هواپیماهای نظامی نصب شده‌اند و مشخصات سیستمی مختلف را از «سریع و نامطمئن» تا «قابل اعتماد بالا» دربر داشته است. آقای آدامی مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در زمینه نظریه مخابرات گرفته است. او علاوه بر نگارش ستون‌های نشریه EW101، مقالات فنی زیادی را در زمینه جنگ الکترونیک، شناسایی و زمینه‌های مربوط به جنگ الکترونیک کرده است. او اضافه بر این کتاب، ۱۱ اثر دیگر در زمینه جنگ الکترونیک به چاپ رسیده است. ایشان دوره‌های مرتبط با جنگ الکترونیک را در تمام دنیا تدریس کرده و مشاور بسیاری از ارانس‌های نظامی و شرکت‌های مرتبط با جنگ الکترونیک بوده است. او عضو با سابقه London Board of Directors و مدیر پیشین Association of Old Crows بوده است و دوره‌های تخصصی توسعه سازمان‌های نظامی و همایش‌های سالانه برگزار می‌کند.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	فصل اول - مقدمه
۲	۱- ماهیت ارتباطات
۲	۲-۱- مدولاسیون آنالوگ
۴	۳-۱- راهنمای فصلهای کتاب
۵	۴-۱- ریاضیات dB
۵	۴-۱-۱- ارزش طاق
۶	۴-۲- تبدیل‌های اعداد دسی و اگاریتمی به یکدیگر
۸	۴-۳- تبدیل با استفاده از خط‌های حاسبه
۱۰	۴-۴-۱- مقادیر مطلق برحسب dB
۱۱	۴-۴-۲- معادلات dB
۱۵	فصل دوم - سیگنال‌های مخابراتی
۱۵	۱-۲- مدولاسیون آنالوگ
۱۹	۲-۲- مدولاسیون دیجیتال
۱۹	۱-۲-۲- انتقال اطلاعات آنالوگ یا دیجیتال
۲۰	۲-۲-۲- دیجیتالی کردن
۲۳	۳-۲-۲- مدولاسیون RF دیجیتال
۲۸	۴-۲-۲- پهنای باند سیگنال‌های دیجیتال
۳۰	۵-۲-۲- ساختار سیگنال دیجیتال
۳۲	۳-۲- نویز
۳۶	۴-۲- سیگنال‌های LPI
۳۹	۱-۴-۲- کدهای شبه تصادفی
۴۳	۲-۴-۲- سیگنال‌های پرش فرکانسی
۴۹	۳-۴-۲- سیگنال‌های چیرپ
۵۱	۴-۴-۲- سیگنال‌های طیف گسترده دنباله مستقیم

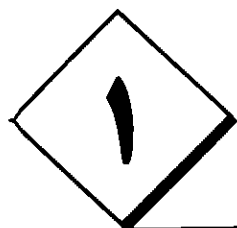
۵۷	 ۲-۴-۵- روش‌های ترکیبی سیگنال‌های LPI
۵۹	 ۲-۴-۶- سیگنال‌های تلفن هواییل (سلولی)
۶۳	 فصل سوم - آنتن‌های مخابراتی
۶۴	 ۳-۱- پارامترهای آنتن
۶۵	 ۳-۱-۱- انواع آنتن
۶۶	 ۳-۲- مشخصه‌های کلی انواع آنتن‌ها
۶۸	 ۳-۲-۱- آنتن مهم‌ترین‌های مخابراتی
۶۹	 ۳-۳- رزونانس
۷۱	 ۳-۴- اطلاعات بیشتر درباره بهره آنتن
۷۲	 ۳-۵- قطبش
۷۳	 ۳-۶- آرایه فازی
۷۶	 ۳-۶-۱- پهنای باند و بهره آرایه فازی
۷۸	 ۳-۷- آنتن‌های بشقابی سه‌بعدی
۸۹	 فصل چهارم - گیرنده‌های مخابراتی
۸۹	 ۴-۱- انواع گیرنده‌ها
۹۱	 ۴-۱-۱- گیرنده‌های پالسی
۹۵	 ۴-۱-۲- گیرنده سوپرهترودین
۹۸	 ۴-۱-۳- گیرنده با فرکانس رادیویی قابل تنظیم
۹۹	 ۴-۱-۴- گیرنده ثابت تنظیم شده
۹۹	 ۴-۱-۵- گیرنده کانال بندی شده
۱۰۱	 ۴-۱-۶- گیرنده سلول براگ
۱۰۳	 ۴-۱-۷- گیرنده فشرده
۱۰۵	 ۴-۱-۸- گیرنده دیجیتالی
۱۰۷	 ۴-۲- دیجیتال سازی
۱۰۹	 ۴-۲-۱- نرخ نمونه‌برداری
۱۰۹	 ۴-۲-۲- شکل موج‌های دیجیتالی
۱۱۰	 ۴-۲-۳- روش‌های دیجیتالی کردن
۱۱۱	 ۴-۲-۴- دیجیتالی کردن I و Q
۱۱۲	 ۴-۳- مسائل مربوط به کیفیت سیگنال دیجیتالی شده
۱۱۳	 ۴-۳-۱- آشکارسازی تراشه
۱۱۴	 ۴-۳-۲- دریافت سیگنال با پرش فرکانسی

۱۱۸	۴-۴- حساسیت سیستم گیرنده
۱۲۰	۴-۴-۱- KTB
۱۲۱	۴-۴-۲- عدد نویز
۱۲۳	۴-۴-۳- نسبت سیگنال به نویز مورد نیاز قبل از آشکارسازی
۱۳۱	۴-۵- محدوده دینامیکی سیستم گیرنده
۱۳۲	۴-۵-۱- محدوده دینامیکی دیجیتال نسبت به آنالوگ
۱۳۳	۴-۵-۲- محدوده دینامیکی گیرنده آنالوگ
۱۳۷	۴-۵-۳- محدوده دینامیکی بخش دیجیتال
۱۳۸	۴-۵-۴- ترتیب بندی های متداول سیستم گیرنده
۱۴۰	۴-۱- سیستم های شناسایی چند گیرنده ای و سیستم های پشتیبانی الکترونیکی
۱۴۰	۴-۶-۲- سیستم های چند گیرنده ای
۱۴۰	۴-۶-۳- سیستم های چند گیرنده با کنترل از راه دور
۱۴۵	
۱۴۷	فصل پنجم - انتشار - برآورد
۱۴۷	۵-۱- ارتباط یک طرفه
۱۴۸	۵-۲- معادله ارتباط یک طرفه
۱۵۲	۵-۳- تلفات انتشار
۱۵۴	۵-۴- انتشار خط دید
۱۶۰	۵-۵- انتشار دوپرتویی
۱۶۶	۵-۶- ناحیه فرنل
۱۷۰	۵-۷- پراش لبه چاقویی
۱۷۴	۵-۸- تلفات جوی و باران
۱۷۴	۵-۸-۱- تلفات جوی
۱۷۸	۵-۹- انتشار HF
۱۸۳	۵-۱۰- ارتباطات ماهواره ای
۱۸۹	فصل ششم - جست و جو به دنبال تشعشع های مخابراتی
۱۹۰	۶-۱- احتمال شنود (POI)
۱۹۰	۶-۲- راهکارهای جست و جو
۱۹۱	۶-۲-۱- جست و جوی عمومی
۱۹۱	۶-۲-۲- جست و جوی جهت دار
۱۹۱	۶-۲-۳- جست و جوی دارای ویژگی تربیتی
۱۹۲	۶-۲-۴- یک ابزار جست و جوی مفید

۱۹۰۴	۵-۲-۶- ملاحظات عملی تاثیرگذار بر جست‌وجو
۱۹۰۵	۳-۶- پیکربندی‌های سیستم
۱۹۰۹	۱-۳-۶- انواع گیرنده‌های مورد استفاده در جست‌وجو
۲۰۰	۲-۳-۶- گیرنده با تنظیم دیجیتالی
۲۰۰۳	۳-۳-۶- گیرنده‌های دیجیتالی
۲۰۳	۴-۳-۶- گیرنده‌های اندازه‌گیر فرکانس
۲۰۴	۵-۳-۶- گیرنده‌های آشکارساز انرژی
۲۰۹	۴-۶- محیط سینال
۲۱۰	۴-۶- پوشش زاویه‌ای
۳۱۱	۱-۶- اشغال کانال
۳۱۲	۳-۴-۶- حساسیت
۳۱۳	۵-۶- افق رادیو
۳۱۸	۶-۶- جست‌وجوی یککانالی با احتمال شلود کم
۳۱۹	۱-۶-۶- راهکارهای جست‌وجوی LF
۲۲۰	۲-۶-۶- پرشگرهای فردوسی
۲۲۲	۳-۶-۶- سیگنال‌های چیرپ
۲۲۲	۴-۶-۶- سیگنال‌های طیف گسترده دنیاستم
۲۲۳	۷-۶- با دقت دیدن
۲۲۷	۸-۶- برادرکشی
۲۲۷	۹-۶- نمونه‌هایی از راهکارهای جست‌وجو
۲۲۷	۱-۹-۶- جست‌وجوی باند باریک
۲۳۲	۲-۹-۶- انتقال از گیرنده باند پهن
۲۳۲	۳-۹-۶- جست‌وجو توسط یک گیرنده دیجیتالی
۲۳۵	فصل هفتم - مکان‌یابی تشعشع‌های مخابراتی
۲۳۶	۱-۷- روش‌های مکان‌یابی تشعشع‌گرها
۲۳۶	۱-۱-۷- مثلث‌سازی
۲۳۹	۲-۱-۷- مکان‌یابی تک‌سایته
۲۴۰	۳-۱-۷- سمت و ارتفاع
۲۴۱	۴-۱-۷- روش‌های دیگر مکان‌یابی
۲۴۲	۲-۷- تعریف دقت
۲۴۳	۱-۲-۷- خطای RMS
۲۴۵	۲-۲-۷- خطای دایره‌ای محتمل و خطای بیضوی محتمل

۲۴۹	۷-۲-۳- کالیبراسیون
۲۴۹	۷-۳- موقعیت سایت و مرجع شمال
۲۵۶	۷-۴- روش های با دقت متوسط
۲۵۷	۷-۴-۱- روش جهت یابی واتسون - وات
۲۵۷	۷-۴-۲- روش جهت یابی داپلر
۲۶۰	۷-۵- روش های دارای دقت بالا
۲۶۱	۷-۵-۱- تداخل سنج با یک خط مبنا
۲۶۹	۷-۵- دقت تداخل سنج ها با چند خط مبنا
۲۷۰	۷-۳- تداخل سنج همبسته
۲۷۱	۷-۶- مکان یابی تشعشع گر دقیق
۲۷۲	۷-۱-۱- روش های اندازه گیری از تفاوت زمانی ورود
۲۷۶	۷-۶-۲- مکان یابی دقیق تشعشع با روش اختلاف فرکانس ورود
۲۸۰	۷-۶-۳- TD و FD ترکیب شده
۲۸۱	۷-۷- مکان یابی تشعشع گر با خط مبنا
۲۸۱	۷-۱-۷- ترکیب چند خط مبنا
۲۸۴	۷-۸- مکان یابی تشعشع گرهای طیف گسترده
۲۸۴	۷-۸-۱- مکان یابی جهشگرهای فرکانسی
۲۹۴	۷-۸-۲- تشعشع کننده های چیرپ
۲۹۴	۷-۸-۳- تشعشع گرهای طیف گسترده دنباله مستقیم
۲۹۵	۷-۸-۴- روش های مکان یابی دقیق در برابر تشعشع گری LPI
۲۹۷	فصل هشتم - شنود سیگنال های مخابراتی
۲۹۸	۸-۱- لینک شنود
۲۹۹	۸-۱-۱- شنود یک ارسال جهتی
۳۰۱	۸-۱-۲- شنود یک ارسال غیر جهتی
۳۰۴	۸-۱-۳- سیستم شنود هوایی
۳۰۶	۸-۱-۴- شنود دید غیر مستقیم
۳۰۹	۸-۲- شنود سیگنال ضعیف در محیط سیگنال قوی
۳۰۹	۸-۳- شنود سیگنال های LPI
۳۰۹	۸-۳-۱- شنود پرشگرهای فرکانسی
۳۱۱	۸-۳-۲- شنود سیگنال های چیرپ شده
۳۱۲	۸-۳-۳- شنود سیگنال های طیف گسترده دنباله مستقیم

۳۱۷	فصل نهم - جمینگ های مخبراتی
۳۱۹	۱-۹- نسبت جمر به سیگنال
۳۲۱	۱-۱-۹- تلفات دیگر
۳۲۱	۲-۱-۹- جمینگ از راه نزدیک
۳۲۲	۲-۹- سیگنال های دیجیتال در برابر سیگنال های آنالوگ
۳۲۶	۱-۲-۹- جمینگ پالسی
۳۲۶	۳-۹- جمینگ سیگنال های طیف گسترده
۳۲۸	۱-۹- جمینگ بخشی از باند
۳۳۲	۳-۹- جمینگ سیگنال های با پرس فرکانسی
۳۳۸	۱-۹- جمینگ سیگنال های چیرپ
۳۳۹	۴-۳-۹- جمینگ سیگنال های طیف گسترده دنباله مستقیم
۳۴۱	۵-۳-۹- جمینگ سیگنال های طیف گسترده حالت ترکیبی
۳۴۲	۴-۹- اثر کدینگ تصحیح خطا بر روی جمینگ
۳۴۲	۱-۴-۹- جمینگ تلفن های همراه
۳۴۳	۲-۴-۹- اخلال در ارسال
۳۴۵	۳-۴-۹- اخلال در دریافت
۳۴۹	واژه نامه



مقدمه

این کتاب به زبانی ساده نوشته شده است. توصیف روش‌ها و سخت‌افزارها به استفاده از فرمول‌های ریاضی ترجیح داده شده و مواردی که به صورت فرمول‌های ریاضی ارائه شده، فرمول‌های ساده dB هستند که به راحتی به حافظه سپرده می‌شود و استفاده قرار می‌گیرد.

مانند دو دوره پیشین کتاب‌های جنگ الکترونیک^۱ (۱۰۰)، مطالب فنی به طور عمده صحیح هستند و نه دقیق. در بیشتر قسمت‌های کتاب فرمول‌ها به شکلی بیان شده‌اند که قادر به محاسبه مقادیر با دقتی به اندازه ۱dB باشند. با وجود این ثابت‌ها برای استفاده افرادی که فرمول‌ها در کاربردهای دقیق‌تر استفاده می‌کنند با دقت بیشتری ارائه شده است.

تمرکز کتاب حاضر بر جنگ‌های الکترونیکی در حوزه مخابرات است. در این به مباحث تهدیدات راداری، تجسس، شنود، ایجاد اختلال (پارازیت) یا اهداف فریبنده نخواهیم پرداخت. برای مطالعه درباره موضوعات بالا به کتاب‌های EW101 و EW102 مراجعه کنید.

۱-۱- ماهیت ارتباطات

جنگ‌های الکترونیکی در حوزه مخابرات بیش از هر چیز به مسئله ارتباطات می‌پردازد. بنابراین ویژگی سیگنال‌ها، انتشار و تجهیزات مخابراتی را با جزئیات متناسب هر یک مورد بحث قرار خواهیم داد. تاکید اصلی، بر ارتباطات تاکتیکی میدان جنگ و بررسی محدوده فرکانسی VHF و UHF و فرکانس‌های پایین خواهد بود. اما مواردی از قبیل انتشار در باندهای با فرکانس کمتر، ارتباطات دیجیتال، شبکه‌های اطلاعاتی و مخابرات ماهواره‌ای نیز تا حدی پوشش داده خواهد شد.

هدف از ارتباط مخابراتی، انتقال اطلاعات از یک نقطه به نقطه‌ای دور است و بنابراین (برخلاف رادارها) ارتباط مناسبتی با یک طرفه‌اند. اگرچه بعضی از ارتباطات به صورت «تکانه‌ای» و شامل سیگنال‌های بسیار کوتاه هستند، اما اغلب ارتباطات مخابراتی طول زمانشان بیشتر از چند ثانیه امتداد دارد.

سیگنال‌های مخابراتی ممکن است از یک باند باریکند، اما مدولاسیون‌هایی هم وجود دارد که سیگنال را در پهنای باندی بسیار بیشتر از آنچه برای انتقال اطلاعات لازم است، پخش می‌کنند که این امر با هدف پیشگیری از شناسایی یا کاهش تأثیرات خوارانه با تداخلات عمدی است.

سیگنال‌های مخابراتی آنالوگ یا دیجیتال هستند که سیگنال‌های نوع دیجیتال با گذشت زمان فراگیرتر شده است. روش‌هایی که سیستم‌های V به مقابله با این دو نوع سیگنال مخابراتی به کار می‌گیرند تفاوت‌های زیادی با یکدیگر دارند. در زمینه سیگنال‌های دیجیتال مخابراتی روش‌های متعددی وجود دارد که دشمن می‌تواند برای حفظ سیگنال مطابقت با قابلیت‌های EW را با استفاده از شیوه‌های پیچیده دشوارتر سازد.

۱-۲- محدوده فرکانسی

جدول (۱-۱) کاربردهای متداول حالات انتشار و مسائل مرتبط با آن را برای محدوده‌های مختلف فرکانسی نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱- محدوده فرکانسی

نوع سیگنال و مشخصات آن‌ها	حروف اختصاری	محدوده فرکانسی
ارتباطات برد بلند (کشتی‌ها در دریا و غیره)، رادیویی تجاری AM، موج زمینی	VLF LF MF	فرکانس‌های خیلی کم، کم و متوسط: ۳ کیلوهرتز تا ۳ مگاهرتز فرکانس بالا: ۳ تا ۳۰ مگاهرتز
ارتباطات ماورای افق، سیگنال‌های منعکس شده از یونوسفر	HF	فرکانس‌های خیلی بالا: ۳۰ تا ۳۰۰ مگاهرتز
ارتباطات سیار، تلویزیون و رادیوی FM تجاری	VHF	فرکانس‌های فوق‌العاده بالا: ۳۰۰ مگاهرتز تا ۱ گیگاهرتز
ارتباطات سیار و تلویزیون که دید مستقیم لازم دارد.	UHF	ریز موج: ۱ تا ۳۰ مگاهرتز
تلویزیون، لینک‌های مخابراتی و لینک‌های ماهواره‌ای. دید مستقیم لازم است.	MW	موج میلیمتری: ۳۰ تا ۱۰۰ مگاهرتز
ارتباطات بسیار کوتاه برد. دید مستقیم لازم دارد.	MMW	

توجه داشته باشید که انتشار در فرکانس‌های پایین‌تر، وابستگی کمتری به دید مستقیم دارد. موج زمینی^۱ و یونوسفری امکان ارتباط در بردهای بسیار طولانی را فراهم می‌کند. با این حال فرکانس‌های پایین‌تر دارای پهنای باند باریک می‌باشند. پهنای باند با درصد بالا در عملکرد آنتن و آمپلی فایر مشکلاتی به وجود می‌آورد. در مجموع پهنای باند تا ۱۰ درصد مطلوب است اما برای پهنای باندهای بیش از ۱۰ درصد نیاز به مصالحه وجود دارد.

لینک‌های VLF و LF اغلب سیگنال‌های دیجیتالی سطح پایین را کد می‌کنند و انتقال می‌دهند در حالی که لینک MF پهنای باند کافی برای انتقال سیگنال‌های صوتی را در دسترس رادیو تجاری در قسمت بالایی محدوده فرکانس MF پخش می‌شود. در فرکانس‌های بیش از ۱ مگاهرتز، سیگنال‌های رادیویی از درون یونوسفر عبور می‌کنند و به همین دلیل سیگنال‌های دارای فرکانس بیشتر، قادر به انتشار در یونوسفر نیستند. این سیگنال‌ها به خط دید یا مسیرهای انتشار خط دید بستگی دارند. ارتباطات VHF و UHF قادرند علاوه بر انتقال صوت و اطلاعات، برای سیگنال‌های ویدئویی از

قبیل تلویزیون‌های تجاری نیز پهنای باند کافی را فراهم کنند. برای انتقال سیگنال‌های دارای حجم و محتوای اطلاعاتی بالا در پهنای باندهای وسیع از فرکانس‌های ریز موج استفاده می‌شود. ارتباطات نقطه به نقطه^۱ ریز موج باند پهن بلوک‌های بزرگی از سیگنال‌های تلفنی، سیگنال‌های تلویزیونی و اطلاعات دیجیتال باند پهن را جابه‌جا می‌کنند. لینک‌های مخابراتی ماهواره‌ای که رابط اطلاعات و فرامین بین هواپیماهای بدون سرنشین و جایگاه‌های کنترل آنها می‌باشند نیز از نوع ریز موج هستند.

۱-۳- راه‌های فصل‌های کتاب

* در بخش مقدماتی، مدیریت و فرمول‌های dB را مورد بحث قرار خواهیم داد.

* فصل ۲ سیگنال‌های مخابراتی که مدولاسیون آنالوگ، مدولاسیون دیجیتال و مدولاسیون دارای احتمال شلر کم را شامل می‌شود، اشاره دارد. قسمت وسیعی از این فصل به کدهای تصحیح خطا می‌پردازد.

* فصل ۳ انواع آنتن‌های مورد استفاده در ارتباطات رایج و ارتباطات EW را در بر خواهد گرفت. این فصل کاربردها و پارامترهای آنتن‌های مورد استفاده در محدوده فرکانس مخابراتی را شامل می‌شود.

* فصل ۴ انواع گیرنده‌های مورد استفاده در مخابرات و شنود سیگنال‌های مخابراتی را پوشش خواهد داد. این فصل حساسیت و برد دینامیکی گیرنده‌های مخابراتی را نیز در بر خواهد گرفت.

* فصل ۵ به انتشار رادیویی می‌پردازد. تاکید اصلی این فصل بر ارتباطات UHF، VHF و ریز موج‌ها است، با این وجود HF و انتشار باندهای کوتاه‌تر و انتشار مخابرات ماهواره‌ای را نیز در بر می‌گیرد.

* فصل ۶ به روش‌های جست‌وجو اختصاص دارد. این فصل جست‌وجوی فرکانس‌های ثابت و سیگنال‌های مخابراتی با احتمال شلر کم را شامل می‌شود.

* فصل ۷ پیرامون مکان فرستنده‌های مخابراتی دشمن نگارش یافته است. شیوه‌ها و تکنیک‌های متداول در این بخش تعریف می‌شوند. کاربردها، دقت مورد انتظار و دیگر موارد عملیاتی و اجرایی هریک از فرستنده‌های ذکر شده در این فصل شرح داده خواهد شد.

* فصل ۸ نفوذپذیری در سیگنال‌های مخابراتی و مدولاسیون با احتمال شنود کم را بررسی می‌کند. موارد مربوط به جست‌وجو و احتمال شنود انواع مختلف سیگنال‌ها در این بخش مورد بحث قرار خواهد گرفت.

* فصل ۹ به مبحث اختلال مخابراتی می‌پردازد. این فصل تولید اختلال در سیگنال‌ها را شامل شده و سپس روش‌های ایجاد اختلال در تمام انواع سیگنال‌ها از جمله سیگنال‌های با خصوصیت احتمال شنود کم را مورد بررسی قرار خواهد داد.

۴-۱-۴ ریاضیات dB

این بخش به موجب پایه‌ای ریاضیات اختصاص دارد که زیر بنای مفاهیم اولیه EW مطرح شده در فصل‌های بعدی را تشکیل می‌دهد. این بخش شکل dB اعداد و فرمول‌ها را در بر می‌گیرد.

۱-۴-۱-۱ ارزش dB

در فعالیت‌های حرفه‌ای که نیازمند مقایسه انتشار رادیویی بررسی می‌شوند، قدرت سیگنال، بهره‌ها و تلفات اغلب به صورت dB بیان می‌شوند. بدین ترتیب می‌توانیم از شکل dB معادلات که استفاده از آنها راحت‌تر از شکل عادی معادلات است، استفاده کنیم. یکی از مزیت‌های بزرگ اعداد dB این است که به صورت لگاریتمی بوده بنابراین مقایسه اعداد بسیار کوچک و بسیار بزرگ را به وجود می‌آورد. از آنجایی که اختلاف موجود در قدرت سیگنال، میان سیگنال‌های ارسالی و دریافتی ممکن است به بزرگی ۲۰ باشد، این مسئله بسیار دارای اهمیت است.

هر عددی که به صورت dB بیان شود لگاریتمی است. برای سادگی، مقایسه اعدادی را که به شکل غیر dB بیان می‌شوند «خطی» می‌نامیم تا بتوانیم آنها را از شکل لگاریتمی dB اعداد متمایز کنیم. اعداد بیان شده برحسب dB دارای این مزیت مهم هستند که کارکردن با آنها بسیار راحت است:

- * برای ضرب کردن اعداد خطی، لگاریتم‌های آنها را با هم جمع می‌کنیم.
- * برای تقسیم کردن اعداد خطی، لگاریتم‌های آنها را از هم کم می‌کنیم.
- * برای محاسبه توان n ام یک عدد خطی، لگاریتم آن را در n ضرب می‌کنیم.
- * برای محاسبه ریشه n ام یک عدد خطی، لگاریتم آن را بر n تقسیم می‌کنیم.

برای اینکه استفاده بیشتری از این مزایا ببریم، باید اعداد را در همان مراحل اولیه به شکل dB بنویسیم و در مراحل نهایی در صورت نیاز آنها را به شکل خطی برگردانیم. درک این مطلب مهم است که هر عددی که بر حسب dB بیان می‌شود باید به صورت یک نسبت باشد (تبدیل شده به فرم لگاریتمی). مثال‌های رایج آن بهره تقویت‌کننده‌ها و آنتن‌ها و اتلاف در مولدها یا انتشارات رادیویی است.

۱-۴-۲- تبدیل اعداد خطی و لگاریتمی به یکدیگر

هر عدد خطی (N) با استفاده از فرمول زیر به شکل dB تبدیل می‌شود:

$$N(\text{dB}) = 10 \log_{10}(N)$$

در بیشتر معادلات این کتاب به بیان $10 \log(N)$ بسنده می‌کنیم، اما در نظر داشته باشید که مبنای تمام لگاریتم‌ها ۱۰ می‌باشد. برای انجام عملیات به کمک ماشین حساب مهندسی، عدد خطی را در آن وارد کنید و دکمه «Log» را فشار دهید. سپس حاصل را در عدد ۱۰ ضرب کنید. اعداد dB، از طریق معادله زیر به اعداد خطی تبدیل می‌شوند:

$$N = 10^{(N(\text{dB})/10)}$$

چنانچه از ماشین حساب مهندسی استفاده می‌کنید، عدد dB را وارد کرده، آن را تقسیم بر ۱۰ کنید، سپس دکمه مساوی را فشار دهید. بعد از آن کلید عملیاتی دوم را فشار داده و بعد از آن کلید Log را بزنید. به عبارت دیگر می‌توان گفت این روند گرفتن «آنتی لوگ» اندک dB تقسیم بر ۱۰ است.

$$N = \text{Anti log}[N(\text{dB})/10]$$

برای مثال اگر بهره تقویت‌کننده‌ای ۱۰۰ باشد، می‌توان گفت بهره این تقویت‌کننده ۲۰ dB است.

زیرا:

$$10 \log(100) = 10 \times 2 = 20 \text{ dB}$$

معکوس این عملیات به منظور یافتن شکل خطی عدد 20dB چنین است:

$$\text{Anti log}[20/10] = 100$$

جدول ۱-۲ برخی از نسبت‌های مهم و معادلات dB را نشان می‌دهد. دقت کنید که نسبت ۲ به ۳dB و نسبت $\frac{1}{4}$ به -۳dB تبدیل می‌شود. در فصل ۳ پیرامون نقاط نیم‌توان پرتوهای آنتن، به عنوان «نقاط سه dB» صحبت خواهیم کرد. یکی دیگر از نکات جالب توجه این است که نسبت یک به ۰ dB تبدیل می‌شود. بنابراین هنگامی که دو عدد با هم یکسانند، می‌گوییم دارای نسبت ۰dB هستند. در این کتاب ما اغلب به dB ۱۰ معادل ۱/۲۵ برابر است. این بدان معناست که در هنگام محاسبات برای dB ۱۰ که اغلب مطرح می‌شود، در حقیقت با ۲۵ درصد کار می‌کنیم. اگرچه این مسئله، نسبتاً ابتدایی به نظر می‌رسد، اما اغلب برای محاسبات انتشار رادیویی که در آن قدرت سیگنال ممکن است دامنه‌های مختلفی داشته باشد، به خوبی مناسبی است.

جدول ۱-۲ - نسبت خطی و معادل dB آنها

نسبت	معادل dB	نسبت	معادل dB
۱/۱۰	۱۰	۱/۲۵	۱
۱/۴	-۶		۳
۱/۲	-۳		۶
۱	۰		۱۰

از آنجایی که نسبت ۱۰ به ۱۰dB تبدیل می‌شود، ترتیب تغییر دامنه را می‌توان به شکل dB تغییر یافته، تنها به افزودن یا کم کردن ۱۰dB نیاز دارد. استثنایی که در مورد فرمول بالا وجود دارد نسبت‌های ولتاژ است که از طریق فرمول 20Log_{10} به dB تبدیل می‌شوند.

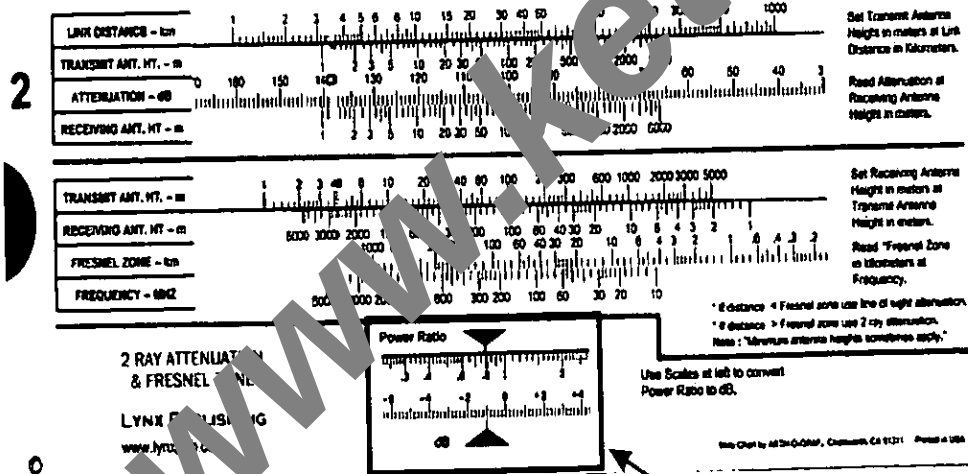
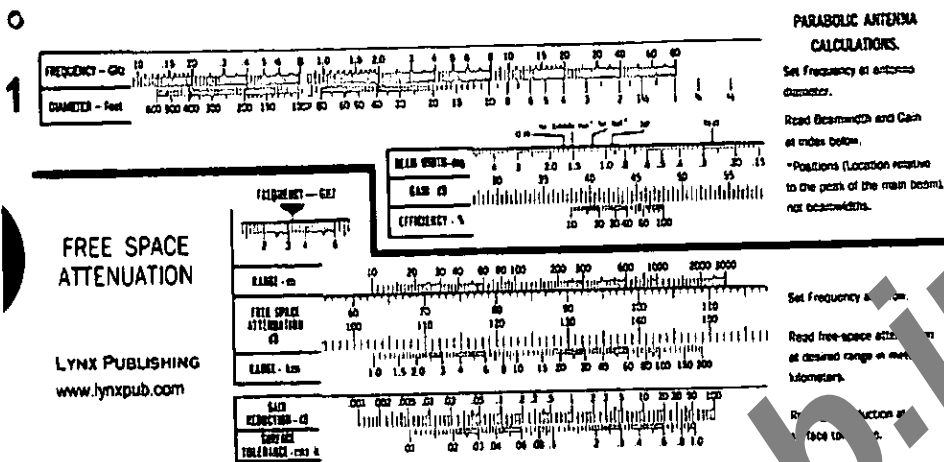
۱-۴-۳- تبدیل به dB با استفاده از خط‌کش محاسبه‌ای

خط‌کش محاسبه‌ای این امکان را به شما خواهد داد که بسیاری از محاسبات مختلف را انجام دهید که به هر یک از این محاسبات در فصل مربوطه در کتاب پرداخته خواهد شد. اولین محاسبه،

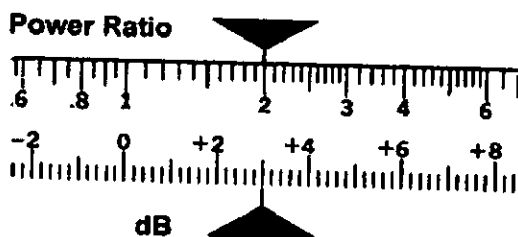
تبدیل اعداد فرم خطی به فرم dB و از فرم dB به فرم خطی است.

شکل (۱-۱) هردو روی خطکش محاسبه‌ای را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید مکه در سمت چپ خطکش، عدد ۱ در یک گوشه و عدد ۲ در همان مکان در گوشه دیگر قرار دارد. ما به دو طرف خطکش با این اعداد اشاره می‌کنیم. همچنین توجه داشته باشید که گیره خطکش باید به طور دقیق وارد بدنه شده باشد، در غیر این صورت درجه‌بندی‌ها با پنجره‌ها هم ردیف نخواهد شد.

شکل (۲-۱) پنجره قسمت پایین طرف دوم خطکش را نشان می‌دهد. این پنجره امکان تبدیل از نسبت‌ها به مقادیر dB و برعکس را فراهم می‌کند. این ویژگی خطکش تنها برای مقادیر نسبی از ۰/۰۱ تا ۱۰۰ و برای مقادیر dB بین -20dB و $+20\text{dB}$ قابل استفاده است. قسمت گیره را طوری حرکت دهید که مانند تصویر عدد ۱ مقابل فلش در بالای پنجره قرار گیرد. خواهید دید که $+3$ در کنار فلش پایین قرار می‌گیرد. این نشان می‌دهد که نسبت ۲ برابر با 3dB است. حال گیره را طوری حرکت دهید که فلش بالا ۰/۵ را نشان دهد. در این حالت فلش قسمت پایین -3dB را نشان خواهد داد. نمونه بالا یکی از پر استفاده‌ترین کاربردهای 3dB است. نقطه‌ای که در آن مقادیر نیم ($\frac{1}{2}$) واقع می‌شود را اغلب «نقطه 3dB » می‌نامند. برای مثال هنگامی که پیرامون اشکال بهره آنتن (در فصل ۳) صحبت شود، محور مبنای آنتن‌ها معمولاً در جهتی قرار می‌گیرد که بیشترین بهره آنتن در آن جای دارد. چنانچه آنتن به زاویه‌ای بچرخد که در آن بهره به نصف تقلیل یابد، می‌گوییم نقطه نیم توان یا نقطه 3dB را در اختیار داریم. زاویه موجود میان نقاط دو نیم توان (3dB) در هر دو طرف محور مبنای پهنای باند 3dB آنتن نامیده می‌شود. هنگامی که پوشش فرکانس یک پهنای باند را در نظر می‌گیریم، درباره پهنای باند 3dB صحبت می‌کنیم. این نشان می‌دهد که در آن فرکانس‌های بالا و پایین است که در نتیجه آن فیلتر یا حساسیت گیرنده نصف حد را از دست می‌دهد.



شکل ۱-۱- خط کش محاسبه‌ای انتشار و آنتن با تبدیل مقیاس dB برجسته شده



شکل ۱-۲- تبدیل بین نسبت و مقادیر dB در خط کش محاسبه‌ای

۱-۴-۴- مقدار مطلق بر حسب dB

برای بیان مقادیر مطلق، شکل dB، ابتدا آن را به صورت نسبتی از یک مقدار ثابت معلوم در می‌آوریم. بهترین مثال، استفاده از توان سیگنال‌ها بر حسب dBm است. برای تبدیل توان سیگنال به dBm، ابتدا آن را به یک واحد توان سبب و سپس آن را به شکل dB تبدیل می‌کنیم. برای مثال ۴ وات معادل ۴۰۰۰ میلی وات است. سپس ۱۰۰ را به شکل dB تبدیل می‌کنیم تا مقدار ۳۶ dBm به دست آید. حرف m نشان می‌دهد که نسبت به میلی وات حساب شده است.

$$10\log(4000) = 10 \cdot 3/6 = 36 \text{ dBm}$$

سپس برای تبدیل به وات داریم:

$$\text{Anti } 10(36/10) = 4000 \text{ mW} = 4 \text{ W}$$

از آنجایی که قدرت سیگنال بر حسب dBm کاربرد گسترده‌تری در جنگ الکترونیک دارد، برای راحتی کار، جدول قدرت سیگنال در واحدهای رایج و در قالب dB ارائه شده است (جدول (۱-۳)). با انتخاب مقادیری از این جدول خواهیم دید: یک میلی وات برابر است با ۰ dBm، یک وات ۳۰ dBm و یک کیلو وات ۶۰ dBm است. بیشترین کاربرد این جدول زمانی است که با قدرت‌های سیگنال‌های انتقال یافته در ارتباط هستیم. از آنجایی که قدرت‌های سیگنال دریافت شده اغلب بسیار کوچک‌تر از یک میکرو وات هستند، عموماً به شکل dBm بیان می‌شوند. برای مثال، سطح یک سیگنال دریافتی ممکن است ۱۰۰ dBm- باشد.

نمونه‌های دیگر فرم dB، با مقادیر مطلق در جدول (۱-۴) نشان داده شده است.

۱-۴-۵- معادلات dB

ما در این کتاب برای راحتی از شکل dB معادلات استفاده می‌کنیم. این معادلات معمولاً به یکی از شکلی‌های زیر بیان می‌شوند، اما می‌توانند تعداد جملات بیشتری داشته باشند:

$$A(\text{dBm}) \pm B(\text{dB}) = C(\text{dBm})$$

$$A(\text{dBm}) - B(\text{dB}) = C(\text{dB})$$

$$A(\text{dB}) = B(\text{dB}) \pm N \text{Log} \quad (\text{عددی که برحسب dB نیست})$$

که در آن N مضرب از ۱۰ است.

معادله آخر جایگزین لازم است مربع (یا توان‌های بالاتر) عدد ضرب شود استفاده می‌شود.

مثال مهم معادله آخر، تلفات پخش در انتشار رادیویی است (که در فصل ۵ با جزئیات مطرح خواهد شد):

$$L = 32 + 20\text{Log}(d) + 20\text{Log}(f)$$

که در آن

L : تلفات پخش (برحسب dB)

d : فاصله لینک‌ها (برحسب Km)

f : فرکانس کاری (برحسب MHz)

عدد ۳۲ سبب می‌شود عدد خروجی با توجه به واحد ورودی‌ها به صورتی خاص با واحد مطلوب به دست آید. این عامل در واقع از مربع عدد 4π تقسیم بر مربع سرعت نور و تقسیم بر عامل‌هایی که تغییر واحد را پدید می‌آورند و سپس تبدیل به dB و گرد کردن آن صورت یک عدد صحیح به دست می‌آید. نکته مهمی که باید درباره این تبدیل عامل (و معادله‌ای که آن را شامل می‌شود) بدانیم این است که این محاسبات تنها زمانی صحیح است که از واحدهای کاملاً صحیح استفاده کنیم. فاصله باید برحسب کیلومتر و فرکانس برحسب مگاهرتز بیان شود، در غیر این صورت اندازه تلفات صحیح نخواهد بود.

جدول ۱-۳- سطح قدرت سیگنال به dBm

dBm	قدرت سیگنال
-۳۰	۱ میکرووات
-۲۰	۱۰ میکرووات
-۱۰	۱۰۰ میکرووات
۰	۱ میلی وات
۰	۱۰ میلی وات
۱۰	۱۰۰ میلی وات
۲۰	۱ میلی وات
۳۰	۱ وات
۴۰	۱۰ وات
۵۰	۱۰۰ وات
۶۰	۱۰۰۰ وات
۶۰	۱ کیلووات
۷۰	۱۰ کیلووات
۸۰	۱۰۰ کیلووات
۹۰	۱۰۰۰ کیلووات
۹۰	۱ مگاوات
۱۰۰	۱۰ مگاوات
۱۱۰	۱۰۰ مگاوات
۱۲۰	۱۰۰۰ مگاوات

جدول ۱-۴- تعریف dBهای رایج

dBm	۱ میلی وات / اندازه قدرت به dB =	برای نشان دادن قدرت سیگنال مورد استفاده قرار می گیرد
dBW	۱ وات / اندازه قدرت به dB =	برای نشان دادن قدرت سیگنال مورد استفاده قرار می گیرد
dBsm	۱ مترمربع / اندازه محیط به dB =	برای نشان دادن مساحت آنتن یا سطح مقطع رادار به کار می رود.
dB _i	اندازه بهره آنتن نسبت به بهره آنتن همسانگرد به dB =	به تعریف: بهره آنتن (همسانگرد) همه جهتی است

www.ketab.ir