

مبانی سازگاری الکترومغناطیسی و اصول آن در هواپیما

کلیه حقوق این اثر متعلق به شرکت صنایع هواپیما سازی ایران می باشد

مهندس محمد رضا افشار
مهندس سعید وحید دستجردی
مهندس محسن علوی سیرت

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ی	فهرست جداول
ک	فهرست نمودارها
م	فهرست اشکال
ق	علائم اختصاری
ش	چکیده
۱	فصل اول
۳	مقدمه
۴	۱- مبانی سازگاری الکترومغناطیسی
۸	۱-۱- امواج الکترومغناطیسی [1] و [2]
۹	۱-۱-۱- پلاریزاسیون
۱۰	۱-۱-۲- باند فرکانسی امواج الکترومغناطیسی
۱۲	۱-۱-۳- امواج رادیویی
۱۳	۱-۱-۴- بررسی پدیده‌های انعکاس، شکست، تفرق و پراکنجی برای امواج رادیویی
۱۴	۱-۱-۴-۱- امواج زمینی
۱۵	۱-۱-۴-۲- امواج آسمانی
۱۷	۱-۱-۵- امواج سطحی Surface Wave
۱۸	۱-۱-۶- انتشار امواج VLF
۱۹	۱-۱-۷- انتشار امواج MF
۲۰	۱-۱-۸- انتشار امواج HF

۲۳	۹-۱-۱- انتشار امواج VHF/UHF
۲۴	۱۰-۱-۱- انتشار امواج مایکروویو Micro Wave
۲۵	۲-۱- ارتباطات ماهواره‌ای
۲۷	۳-۱- محیط الکترومغناطیسی [3]
۲۸	۱-۳-۱- مشخصه‌های کلی سیگنال [4]
۳۰	۴-۱- انتشار الکترومغناطیسی [5]
۳۳	۱-۴-۱- انرژی تشعشعی
۳۳	۱-۴-۱- میدان تشعشعی
۳۵	۲-۴-۱- انتشار تشعشعی
۳۶	۳-۴-۱- تمایز بین میدان‌های تشعشعی و القایی
۳۷	۴-۴-۱- اثرات محیط غیر خطی
۳۸	۲-۴-۱- انرژی هدایتی
۳۸	۱-۲-۴-۱- انتشار هدایتی
۳۹	۳-۴-۱- اثرات ترکیبی
۴۰	۴-۴-۱- مکانیسم‌های کوپلینگ [6]
۴۱	۱-۴-۴-۱- کوپلینگ مستقیم
۴۲	۲-۴-۴-۱- کوپلینگ میدان‌های نزدیک (القایی یا خازنی)
۴۴	۳-۴-۴-۱- کوپلینگ تشعشعی
۴۵	۴-۴-۴-۱- مدهای کوپلینگ
۴۶	۵-۴-۴-۱- تداخل سیگنالی
۴۹	۵-۴-۱- پذیرفتاری
۴۹	۱-۵-۴-۱- پذیرفتاری تشعشعی
۵۰	۲-۵-۴-۱- پذیرفتاری هدایتی

۵۰	۵-۱- تداخل الکترومغناطیسی [5]
۵۱	۱-۵-۱- انتشارات باند باریک
۵۱	۲-۵-۱- انتشارات باند پهن
۵۲	۶-۱- انواع تداخل الکترومغناطیسی [7]
۵۴	۷-۱- منابع تداخل الکترومغناطیسی
۵۴	۱-۷-۱- دسته بندی منابع تداخل الکترومغناطیسی [4]
۵۹	۲-۷-۱- منابع تداخل الکترومغناطیسی طبیعی [4] و [8]
۵۹	۱-۲-۷-۱- میدانهای مغناطیسی و الکتریکی فرکانس پایین
۶۰	۲-۲-۷-۱- رعد و برق
۶۵	۳-۲-۷-۱- پالسهای الکترومغناطیسی (EMP)
۶۶	۴-۲-۷-۱- میدانهای الکترومغناطیسی فرکانس بالا
۶۷	۳-۷-۱- منابع تداخل الکترومغناطیسی مصنوعی
۶۸	۱-۳-۷-۱- فرستندههای رادیویی
۶۹	۲-۳-۷-۱- گیرندهها
۶۹	۳-۳-۷-۱- ماشینهای چرخان
۷۰	۴-۳-۷-۱- تبدیل و اصلاح توان
۷۲	۵-۳-۷-۱- توزیع توان
۷۳	۶-۳-۷-۱- تجهیزات کامپیوتر
۷۴	۷-۳-۷-۱- کاربردهای گرمایش الکترونیکی
۷۵	۸-۳-۷-۱- (Digital Signal Processing) DSP
۷۸	۹-۳-۷-۱- حالات گذرای کلیدزنی
۷۹	۱۰-۳-۷-۱- بار ساکن و تخلیه گرههای الکتریکی
۸۱	۸-۱- گیرندههای تداخل الکترومغناطیسی

۹-۱- برخی روشهای کاهش دادن تداخل امواج الکترومغناطیسی در منبع ایجاد اینامواج [2].....	۸۶
۹-۱-۱- افزودن خازن و سلف برای کاهش گرادیان جریان و ولتاژ.....	۸۶
۹-۲- نوع سیم کشی.....	۸۸
۹-۳- زمین کردن.....	۸۸
۹-۴- استفاده از پرده محافظ برای جلوگیری از تشعشع امواج الکترومغناطیسی.....	۸۹
۹-۵- پرده فلزی.....	۸۹
۱۰-۱- اندازه گیری تداخل امواج الکترومغناطیسی [4].....	۹۰
۱۱-۱- طراحی EMC [8].....	۹۳
۱۱-۱-۱- اولویت های طراحی.....	۹۴
۱۱-۲- مراحل مختلف طراحی EMC.....	۹۵
۱۱-۳- نکات مربوط به طراحی EMC.....	۹۷
۱۲-۱- منابع.....	۹۸
فصل دوم.....	۹۹
مقدمه.....	۱۰۱
۲- شیلدینگ (SHIELDING).....	۱۰۲
۲-۱- هادیها و ارتباط آن با EMC.....	۱۰۴
۲-۱-۱- پراکندگی و اثرات آنتنی هادیها.....	۱۰۴
۲-۱-۲- همه کابلها دارای خاصیت مقاومتی، خازنی و القایی ذاتی هستند.....	۱۰۹
۲-۲- هدف از شیلدینگ.....	۱۱۰
۲-۳- شیلدینگ محفظه ای [2].....	۱۱۱
۲-۴- شیلدینگ سازه ای.....	۱۱۷
۲-۵- ملاحظات در مورد شیلدینگ فرکانس پایین.....	۱۲۰

۱۲۱	۶-۲- تکاتی درباره شکل و ابعاد محفظه شیلد
۱۲۲	۷-۲- روزنه‌ها، اتصالات و درزها
۱۲۴	۱-۷-۲- کارآیی شیلدینگ روزنه
۱۳۰	۲-۷-۲- جنس شیلدینگ
۱۳۰	۳-۷-۲- درزها و اتصالات
۱۳۱	۴-۷-۲- درزگیر (gasket)
۱۳۳	۱-۴-۷-۲- ملاحظات انتخاب درزگیرها
۱۳۳	۲-۴-۷-۲- انواع درزگیرها
۱۳۴	۵-۷-۲- شیلدینگ در PCB [9]
۱۳۷	۸-۲- کابلها و کانکتورها [1] [2]
۱۳۷	۱-۸-۲- شیلدینگ کابل
۱۳۸	۱-۱-۸-۲- الیاف بافته شده (Braid shielding)
	۲-۱-۸-۲- سیم‌پوشهای لوله‌ای قابل انعطاف و صلب (Flexible & Rigid Conduit shielding)
۱۳۹	
	۳-۱-۸-۲- شیلدهای تاییده شده به صورت مارپیچی از جنس مواد دارای ضریب نفوذپذیری مغناطیسی بالا (Spirally wound shield)
۱۴۰	
۱۴۱	۴-۱-۸-۲- پوشش دادن کابلها در مواد فریتی (کابلهای دارای فلز)
۱۴۷	۲-۸-۲- میزان کارایی شیلد کابل و رابطه آن با پارامتر امپدانس انتقالی
۱۵۵	۳-۸-۲- کانکتورها و المانهای انتهایی شیلد کابل
۱۶۷	۴-۸-۲- تکنولوژی جدید کانکتور
۱۶۹	۵-۸-۲- فیبر نوری
۱۷۲	۹-۲- منابع
۱۷۳	فصل سوم:

۱۷۵.....	۳- فیلترینگ (FILTERING)
۱۷۷.....	۱-۳- انواع فیلترها
۱۷۷.....	۱-۱-۳- فیلتر پایین گذر
۱۷۷.....	۱-۲-۳- فیلتر بالاگذر
۱۷۸.....	۱-۳-۳- فیلترهای میان گذر
۱۷۹.....	۱-۳-۴- فیلترهای میان نگذر
۱۷۹.....	۱-۳-۵- مهرهای فرینی
۱۸۱.....	۱-۳-۶- فیلتر RC برای حذف سیگنال های نوک نیز
۱۸۱.....	۲-۳- فیلترهای حذف کننده نویزهای ناشی از مولدهای کلاک
۱۸۳.....	۳-۳- تعیین مشخصات فیلتر
۱۸۴.....	۳-۴- حذف حالات گذرا
۱۸۵.....	۳-۵- ایزولاسیون
۱۸۸.....	۳-۶- منابع
۱۸۹.....	فصل چهارم
۱۹۱.....	مقدمه
۱۹۲.....	۴- گراندینگ
۲۰۰.....	۴-۱- رکن اصلی برای کارکرد بدون تداخل تجهیزات
۲۰۲.....	۴-۲- تکنیک های گراندینگ
۲۰۳.....	۴-۲-۱- سیستم زمین شناور
۲۰۳.....	۴-۲-۲- سیستم زمین تک نقطه ای
۲۰۶.....	۴-۲-۱-۲- انواع روشهای اتصال تک نقطه ای
۲۰۹.....	۴-۲-۳- سیستم زمین چند نقطه ای

۲۰۹	۴-۲-۱- مزایای استفاده از زمین چند نقطه‌ای عبارتند از
۲۱۲	۴-۲-۴- اتصال ترکیبی
۲۱۳	۴-۳- ملاحظات زمین نمودن مدار
۲۱۶	۴-۴- ملاحظات کابل‌ها
۲۱۶	۴-۴-۱- انواع روشهای زمین نمودن شیلدها
۲۱۶	۴-۴-۲- زمین نمودن تک نقطه‌ای شیلد
۲۱۷	۴-۴-۳- زمین نمودن چند نقطه‌ای شیلد
۲۱۹	فصل پنجم
۲۲۱	۵- باندینگ
۲۲۲	۵-۱- انواع باندینگ
۲۲۴	۵-۲- کلاس‌های باندینگ
۲۲۴	۵-۳- اهمیت یک باندینگ خوب
۲۲۶	۵-۴- مشخصات کارایی باندینگ
۲۲۸	۵-۵- جنس و مواد باندینگ
۲۲۹	۵-۶- خواص الکتریکی مواد
۲۳۰	۵-۷- مقاومت باندینگ
۲۳۱	۵-۸- ملاحظات باندینگ در سازه‌های کامپوزیتی
۲۳۱	۵-۸-۱- علل باندینگ در هواپیماهای غیر فلزی
۲۳۲	۵-۸-۲- سازه‌های کامپوزیتی
۲۳۴	۵-۹- تکانی در مورد B.J. در سطوح فرامین
۲۳۶	۵-۱۰- لزوم استفاده از B.J. در برخی موارد مهم
۲۳۷	۵-۱۱- اقدامات قبل از باندینگ

۲۳۸	۱۲-۵- بارنشینی و تخلیه کننده‌های بارهای ساکن
۲۳۸	۱-۱۲-۵- بارهای ساکن و ملاحظات بارنشینی در هواپیما
۲۴۰	۲-۱۲-۵- تخلیه بارهای ساکن در هواپیما
۲۴۲	۳-۱۲-۵- ملاحظات تخلیه کننده‌های بار ساکن روی ارابه فرود
	۱۳-۵- ملاحظات بارهای ساکن در سیستم‌های سوخت داخل هواپیما و
۲۴۳	تانکرهای سوخت رسان
۲۴۹	۱۴-۵- منابع
۲۵۱	فصل ششم
۲۵۳	۶- استاندارد‌های مرتبط با EMC [16]
۲۵۳	۱-۶- نیاز به استاندارد‌ها
۲۵۴	۲-۶- چهارچوب بین‌المللی
۲۵۴	۳-۶- استاندارد‌های EMC غیر نظامی
۲۵۵	۱-۳-۶- استاندارد‌های FCC
۲۵۷	۲-۳-۶- استاندارد‌های اروپایی
۲۵۹	۳-۳-۶- دیگر استاندارد‌های EMC
۲۵۹	۴-۶- استاندارد‌های نظامی
۲۵۹	۱-۴-۶- استاندارد نظامی MIL-STD-461D
۲۶۱	۲-۴-۶- استاندارد دفاعی DEF-STAN 59-41
۲۶۲	۵-۶- استاندارد‌های شرکتی (کارخانه‌ای)
۲۶۲	۶-۶- فهرست استاندارد‌های مرتبط با EMC
۲۹۰	نتیجه‌گیری
۲۹۱	تعاریف

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۱- منابع تداخل مصنوعی	۳۰
جدول ۲- تعدادی از خانواده‌های دیجیتالی و نیز زمان خیز و پهنای باند مربوطه	۷۷
جدول ۳- هدایت پذیری مواد غیرمغناطیسی	۱۱۲
جدول ۴- هدایت پذیری و نفوذپذیری مواد مغناطیسی	۱۱۳
جدول ۵- فرمول‌های انت انعکاسی در امواج مختلف	۱۱۴
جدول ۶- تعریف فاکتور α بر حسب هندسه شیلد در افت جذبی	۱۱۸
جدول ۷- مقادیر α بر حسب نوع موج	۱۲۵
جدول ۸- مقایسه بین شیلد کابلها	۱۴۴
جدول ۹- کلاس‌ها و عناوین باندها و گاندهای الکتریکی	۲۲۳
جدول ۱۰- سازگاری مواد سازه‌ای با کلاسهای مختلف باندها	۲۲۹
جدول ۱۱- خواص الکتریکی مواد سازه‌ای مورد استفاده بطور رایج	۲۳۰
جدول ۱۲- استانداردهای هماهنگ شده اروپایی	۲۵۸
جدول ۱۳- نیازمندی‌ها مطابق با استاندارد MIL-STD-461D	۲۶۰
جدول ۱۴- نیازمندی‌ها مطابق با استاندارد DEF STAN 59-41 (PART 3)/3	۲۶۱

فهرست نمودارها

عنوان	صفحه
نمودار ۱- تقسیم بندی امواج زمینی	۱۴
نمودار ۲- طیف فرکانسی رعد و برق	۶۱
نمودار ۳- شکل موج استاندارد تست رعد و برق	۶۵
نمودار ۴- شکل موجهای نمایی برای شبیه سازی EMP	۶۶
نمودار ۵- مقایسه طیف فرکانسی نویز دیود معکوس کننده و پالس	۷۲
نمودار ۶- شدت میدان مغناطیسی را در عرشه ناو هواپیما و در کابین خلبان	۷۳
نمودار ۷- طیف فرکانسی یک پالس دورنگه ای	۷۶
نمودار ۸- طیف فرکانسی چند شکل موج متداول	۷۷
نمودار ۹- نویزهای محاسباتی و اندازه گیری شده برای تخلیه گره های نواری	۸۰
نمودار ۱۰- ماکزیمم کوپلینگ الکتریکی برای هر دو فرکانس های بالا و پایین	۸۱
نمودار ۱۱- آستانه پذیرفتاری را برای تعدادی از آلات حالت جامد	۸۵
نمودار ۱۲- هزینه و تکنیک های موجود برای EMC	۹۴
نمودار ۱۳- محدوده فرکانسی معمولی مورد استفاده	۱۰۶
نمودار ۱۴- محدوده فرکانسی معمولی مورد استفاده به همراه ایجاد تداخل در آن	۱۰۷
نمودار ۱۵- طول هادی در برابر راندمان آنتن	۱۰۸
نمودار ۱۶- نمودار افت جذبی	۱۱۵
نمودار ۱۷- افت انعکاسی بر حسب پارامترهای شیلد در امواج مختلف	۱۱۶
نمودار ۱۸- نمونه ای از کار آبی شیلدینگ بدنه یک هواپیما	۱۱۹

- نمودار ۱۹- عمق پوسته‌ای برای مس، آلومینیم و فولاد..... ۱۲۰
- نمودار ۲۰- تأثیر مقاومت شکاف در کارآیی شیلدینگ..... ۱۲۳
- نمودار ۲۱- تأثیر روزنه‌ها در کارآیی شیلدینگ..... ۱۲۴
- نمودار ۲۲- افت نفوذی در روزنه..... ۱۲۷
- نمودار ۲۳- افت انعکاسی در روزنه..... ۱۲۷
- نمودار ۲۴- فاکتور تصحیح برای انعکاس چندثابی..... ۱۲۸
- نمودار ۲۵- فاکتور تصحیح برای چگالی روزنه‌ها..... ۱۲۸
- نمودار ۲۶- فاکتور تصحیح برای اثر پوسته‌ای..... ۱۲۹
- نمودار ۲۷- فاکتور تصحیح برای روزنه‌های نزدیک و کم عمق..... ۱۲۹
- نمودار ۲۸- امپدانس انتقالی شیلد از نوع الیاف بافته شده در مقایسه با شیلد از نوع ثابت ایده‌آل..... ۱۴۸
- نمودار ۲۹- امپدانس انتقالی شیلد از نوع الیاف بافته شده..... ۱۴۹
- نمودار ۳۰- امپدانس انتقالی شیلد از نوع سیم‌بوشهای لوله‌ای فرومغناطیسی..... ۱۵۰
- نمودار ۳۱- امپدانس انتقالی شیلد از نوع سیم‌بوشهای لوله‌ای قابل انعطاف..... ۱۵۰
- نمودار ۳۲- امپدانس انتقالی شیلد از نوع نوارهای متاثر شده..... ۱۵۱
- نمودار ۳۳- میزان کارایی شیلد یک کابل از نوع الیاف بافته شده..... ۱۵۲
- نمودار ۳۴- تأثیر گشتاور اعمالی به یک کانکتور بر امپدانس انتقالی یک کابل..... ۱۵۳
- نمودار ۳۵- مقایسه شیلدینگ RFI بین اتصال واسط در یک کانکتور با کانکتور یکسان دیگر دارای برآمدگی فتری پیرامونی..... ۱۶۱
- نمودار ۳۶- نسبت مقاومت ac به dc برای سائزهای مختلف..... ۲۲۸
- نمودار ۳۷- سطوح تداخلات هدایتی..... ۲۵۶
- نمودار ۳۸- سطوح تداخلات انتشاری..... ۲۵۶

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱- انتشار موج الکترومغناطیسی عرضی در فضای آزاد	۹
شکل ۲- طیف فرکانسی امواج الکترومغناطیسی	۱۱
شکل ۳- باند فرکانسی مورد استفاده در ارتباطات ماهواره‌ای	۱۲
شکل ۴- طیف الکترومغناطیسی استفاده شده هواپیما	۱۲
شکل ۵- انواع لایه‌های زمین	۱۳
شکل ۶- انواع امواج زمینی	۱۴
شکل ۷- امواج سطحی	۱۵
شکل ۸- شکل امواج آسمانی و انعکاس از لایه‌های یونسفر و تروپوسفر	۱۵
شکل ۹- مؤلفه‌های چهارگانه باندهای فرکانسی	۱۶
شکل ۱۰- امواج سطحی	۱۸
شکل ۱۱- انعکاس امواج HF از لایه یونسفر	۲۱
شکل ۱۲- انتشار دو مرحله‌ای امواج HF	۲۱
شکل ۱۳- انتشار موج HF در زاویه‌های مختلف	۲۲
شکل ۱۴- محیط الکترومغناطیسی برای هواپیماهای نوعی	۲۷
شکل ۱۵- مسیرهای هدایتی و تشعشی	۳۱
شکل ۱۶- انواع مسیرهای انتقال سیگنال	۳۲
شکل ۱۷- مثالی از میدانهای تشعشی	۳۴
شکل ۱۸- انتشار تشعشی	۳۵
شکل ۱۹- مقایسه اجزاء میدانهای القایی و تشعشی	۳۶
شکل ۲۰- انتشار هدایتی	۳۸

شکل ۲۱- توزیع ولتاژهای القایی در هواپیما	۴۰
شکل ۲۲- کوپلینگ از طریق خطوط تغذیه و انتقال	۴۱
شکل ۲۳- کوپلینگ امپدانس مشترک	۴۲
شکل ۲۴- انواع کوپلینگ	۴۴
شکل ۲۵- نویز حالت تفاضلی	۴۵
شکل ۲۶- نویز حالت مشترک	۴۵
شکل ۲۷- وضعیت بوجود آمدن تداخل سیگنالی از نظر فیزیکی	۴۷
شکل ۲۸- مدار معادل وضعیت تداخل سیگنالی	۴۸
شکل ۲۹- پذیرفتاری تشعشی	۴۹
شکل ۳۰- پذیرفتاری هدایتی	۵۰
شکل ۳۱- انواع تداخلات درون سیستمی (Intra-System EMI)	۵۳
شکل ۳۲- انواع تداخلات بین سیستمی (Inter-System EMI)	۵۴
شکل ۳۳- دسته بندی منابع تداخل بر اساس ماهیت آنها	۵۶
شکل ۳۴- دسته بندی منابع تداخل بر اساس کاربرد	۵۷
شکل ۳۵- کانال تشکیل شده رعد و برق	۶۲
شکل ۳۶- طیف فرکانسی تشعشی کامپیوتر	۷۵
شکل ۳۷- مدار حلقه زمین امپدانس پایین در حضور سیگنال موج پیوسته	۸۱
شکل ۳۸- انواع پذیرنده های تداخل الکترومغناطیسی	۸۲
شکل ۳۹- پذیرفتاری تعدادی از آلات	۸۳
شکل ۴۰- میزان آستانه خرابی و آشفته گی را برای تعدادی از آلات	۸۴
شکل ۴۱- شدت میدان را در قسمتی از هواپیمای بوئینگ	۸۶
شکل ۴۲- تست هواپیما در سایت روباز	۹۲
شکل ۴۳- تست هواپیما در اتاق جاذب	۹۳

- شکل ۴۴- تبدیل شدن میدانهای الکتریکی و مغناطیسی به میدان الکترومغناطیسی در اثر افزایش فاصله..... ۱۰۵
- شکل ۴۵- افت های انعکاسی و جذبی در شیلد..... ۱۱۲
- شکل ۴۶- شکل توزیع جریان در نزدیکی روزنه ها..... ۱۲۲
- شکل ۴۷- روزنه های دایروی و روزنه های مستطیلی..... ۱۲۵
- شکل ۴۸- نمونه هایی از وضعیت بست ها..... ۱۳۲
- شکل ۴۹- نمونه ای از یک شیلدینگ ساده PCB..... ۱۳۷
- شکل ۵۰- نمونه ای از شیلد از نوع الیاف بافته شده (Braid shielding)..... ۱۳۸
- شکل ۵۱- نمونه ای از شیلد از نوع سیم پوشهای لوله ای قابل انعطاف (Flexible Conduit shielding)..... ۱۳۹
- شکل ۵۲- نمونه ای از شیلد از نوع سیم پوشهای لوله ای صلب (Rigid Conduit shielding)..... ۱۳۹
- شکل ۵۳- نمونه ای از شیلد از نوع شیلدهای تاییده شده به صورت ماریچی از جنس مواد دارای ضریب نفوذپذیری مغناطیسی بالا (Spirally wound shield)..... ۱۴۰
- شکل ۵۴- نمونه ای از پوششهای دارای مواد با ضریب نفوذپذیری بالا که به صورت فیلتر عمل می کنند..... ۱۴۱
- شکل ۵۵- نمونه ای از کابل دارای شیلد از نوع الیاف بافته شده و همچنین پوشش فویل..... ۱۴۳
- شکل ۵۶- تعاریف پارامترهای شیلد یک کابل..... ۱۴۶
- شکل ۵۷- کابل با شیلد الیاف بافته شده و ۸۵٪ پوشش تحت شرایط خمش..... ۱۴۷
- شکل ۵۸- کابل با شیلد الیاف بافته شده و ۹۴٪ پوشش تحت شرایط خمش..... ۱۴۷
- شکل ۵۹- شیلد کردن کابلها و چگونگی اتصال شیلد آنها به زمین با رجوع به فرکانس عملکرد مدار..... ۱۵۴
- شکل ۶۰- خاتمه دادن به شیلد کابل با استفاده از روش کریمپ کردن..... ۱۵۶
- شکل ۶۱- خاتمه دادن به شیلد کابل با استفاده از مجموعه شیاردار (رزوای)..... ۱۵۸
- شکل ۶۲- ارتباط بین F، B و I در فرآیند شکل دهی مغناطیسی..... ۱۵۹
- شکل ۶۳- نمونه ای از فرآیند شکل دهی مغناطیسی..... ۱۵۹
- شکل ۶۴- تصویری برشی از تغییر حالت در یک کابل که شکل دهی مغناطیسی شده..... ۱۶۰

شکل ۶۵- کانکتور ضد RF	۱۶۱
شکل ۶۶- کانکتور برای شیلدهای تو در تو	۱۶۲
شکل ۶۷- خاتمه دادن به شیلد در چندین سیم شیلددار	۱۶۳
شکل ۶۸- قطعه فتری مارپیچی IRIS	۱۶۵
شکل ۶۹- قطعه قابل انعطاف و هادی IRIS	۱۶۵
شکل ۷۰- مجموعه حلقه TAG	۱۶۶
شکل ۷۱- کانکتور فیلتردار	۱۶۷
شکل ۷۲- المان فیلتر	۱۶۷
شکل ۷۳- آدابترهای شریک EMI/RFI	۱۶۹
شکل ۷۴- کابل فیبر نوری و کابل متداول مورد استفاده	۱۷۰
شکل ۷۵- انواع مختلف فیلترهای پایین گذر	۱۷۷
شکل ۷۶- فیلترهای بالاگذر نوع T و Π	۱۷۸
شکل ۷۷- انواع مختلف فیلترهای میان گذر	۱۷۸
شکل ۷۸- انواع مختلف فیلترهای میان‌نگذر	۱۷۹
شکل ۷۹- مهره‌های فریتی	۱۸۰
شکل ۸۰- فیلتر RC برای حذف سیگنال‌های نوک تیز	۱۸۱
شکل ۸۱- فیلتر کردن نویزهای روی خط تغذیه نوسان‌سازها	۱۸۲
شکل ۸۲- ترکیب‌بندی‌های ترانسفورمرهای ایزولاسیون	۱۸۶
شکل ۸۳- شماتیک اپتوایزولاتور	۱۸۷
شکل ۸۴- زمین سیگنال	۱۹۳
شکل ۸۵- زمین سیگنال در یک سیستم	۱۹۵
شکل ۸۶- زمین بدنه	۱۹۶
شکل ۸۷- زمین ارت	۱۹۶

- شکل ۸۸- زمین سیگنال و حفاظتی در یک سیستم ۱۹۹
- شکل ۸۹- نمایش انواع زمین در یک مدار ۲۰۰
- شکل ۹۰- روشهای گراندینگ ۲۰۲
- شکل ۹۱- یک نمونه مدار ایزولاسیون ورودی سینکرو و خروجی سینکرو ۲۰۴
- شکل ۹۲- یک نمونه مدار ایزولاسیون اپتیکی برای ایزوله نمودن دو نوع رله ۲۰۵
- شکل ۹۳- اتصال سوی و موازی در روش تک نقطه‌ای ۲۰۷
- شکل ۹۴- مشکلات استفاده از زمین تک نقطه‌ای در یک ساختار ترکیبی ۲۰۸
- شکل ۹۵- ساختار زمین چند نقطه‌ای ۲۱۱
- شکل ۹۶- ساختار زمین ترکیبی - کوپلینگ خازنی ۲۱۲
- شکل ۹۷- ساختار زمین ترکیبی - کوپلینگ سلفی ۲۱۳
- شکل ۹۸- دیاگرام یک مدار بالانس شده با فاضلی ۲۱۴
- شکل ۹۹- اثر بالانس نبودن در مدار فاضلی ۲۱۵
- شکل ۱۰۰- ولتاژ مود مشترک تولید شده توسط جریان جاری شده صفحه زمین محدود ۲۱۵
- شکل ۱۰۱- پذیرفتاری نسبی مدارات به تداخل مغناطیسی ۲۱۸
- شکل ۱۰۲- اثر یک باندینگ ضعیف ۲۲۵
- شکل ۱۰۳- مدار معادل باندینگ ۲۲۶
- شکل ۱۰۴- مشخصات الکتریکی و دمایی پلاستیکها، فلزات و فیبرهای پوشش داده شده با آلومینیوم ۲۳۳
- شکل ۱۰۵- سطوح فرامین هواپیما و لزوم استفاده از B.J. در قسمت‌های مختلف ۲۳۵
- شکل ۱۰۶- نمایش تخلیه کننده بار ساکن روی ارايه فرود ۲۴۳
- شکل ۱۰۷- اهمیت و تنوع کاربرد باندینگ در سامانه سوخت یک پرنده ۲۴۵
- شکل ۱۰۸- تانک مرکزی سیستم سوخت رسانی ۲۴۶
- شکل ۱۰۹- اهمیت رعایت مسائل گراندینگ و باندینگ در حین سوخت گیری ۲۴۸
- شکل ۱۱۰- نمونه‌ای از کانکتور شکل دهی شده با فرآیند مغناطیسی شده ۲۹۵

علائم اختصاری

AC.....	Alternating Current
ANSI.....	American National Standards Institute
BDM.....	Boeing Design Manual
BJ.....	Bonding Jumper
BLOS.....	beyond Line Of Sight
BS.....	Bonding Strap
BSI.....	British Standards Institution
C3I.....	Command Control Communication and Intelligence
CE.....	Conducted Emission
CEN.....	European Standards Committee
CENELEC.....	European Committee for Electrotechnical Standards
CISPR.....	International Special Committee on Radio Interference
CM.....	Common Mode
Com.....	Communication
CRT.....	Cathode Ray Tube
CS.....	Conducted Susceptibility
CSA.....	Canadian Standards Association
DC.....	Direct Current
DM.....	Differential Mode
EC.....	European Commission
ECM.....	Electronic Counter Measurement
EM.....	Electromagnetic
EMC.....	Electro-Magnetic compatibility
EME.....	Electromagnetic Environment
EMI.....	Electromagnetic Interference
EMP.....	Electromagnetic Pulse
EUT.....	Equipment Under Test
FCC.....	Federal Communications Commission
GSE.....	Ground Support Equipment
HF.....	High Frequency

IEC.....	International Electrotechnical Commission
IM	InterModulation
ISO.....	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunications Union
LEMP	Lightning Electro-Magnetic Pulse
NEMP.....	Nuclear Electro-Magnetic Pulse
RE.....	Radiated Emission
RF.....	Radio Frequency
RFI.....	RadioFrequency Interference
RS	Radiated Susceptibility
SE	Shield Effectiveness
UHF.....	Ultra High Frequency
VDE.....	Verband Deutscher Elektrotechniker
VHF.....	Very High Frequency

چکیده

در این کتاب به بحث سازگاری الکترومغناطیسی پرداخته شده است. در ابتدا تعاریف اصطلاحات سازگاری الکترومغناطیسی آمده، سپس انتشار الکترومغناطیسی و انواع مکانیسم‌های کوپلینگ توصیف شده است. سپس تداخل الکترومغناطیسی و انواع منابع طبیعی و مصنوعی مولد تداخل توضیح داده شده و در مورد طراحی EMC نیز نکاتی آمده است.

در فصل دوم و سوم به تشریح شیلدینگ، فیلترینگ، ایزولاسیون و اصول سازگاری الکترومغناطیسی در تجهیزات و سیستم‌های قدرت از قبیل سیم‌ها و کانکتورها پرداخته شده است. همچنین سعی شده که با ارائه و بیان برخی تکنیک‌ها، به نوعی اهمیت و ابعاد مختلف این مباحث بررسی شود.

فصل چهارم و پنجم به بررسی و تشریح مباحث گراندینگ و باندینگ و اصول آن در هواپیما، پرداخته است. در این فصل‌ها سعی شده که با ارائه و بیان برخی موارد و یا مثال‌ها و برخی تکنیک‌ها، به نوعی اهمیت و ابعاد مختلف این مباحث باز شده و در فازهای بعدی به کلیه موارد به تفصیل پرداخته شود.

فصل ششم به معرفی استانداردهای معتبر و به روز EMC می‌پردازد. این استانداردها شامل استانداردهای تجاری، اروپایی، بین‌المللی و نظامی می‌باشد. لازم به ذکر است که انتخاب نوع استانداردها برای طراحی EMC با تشخیص طراح بوده و بستگی به نوع محصول و شرایط کاربردی و ... دارد.