

بسم الله الرحمن الرحيم

۲۰۳۴۴۱۶

۴۸، ۴، ۲۱

تجایر سازی، تداخل و تهدیدات الکترومغناطیسی

در سامانه‌های مخابراتی

(روش‌های افزایش سرتاب و مقابله با تهدیدات الکترومغناطیسی در سیستم‌ها)

تدوین:

دکتر ایاز قربانی

استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

زمستان ۱۳۹۷

سرشناسه	قربانی، ایاز، ۱۳۳۷
عنوان و نام پدیدآور	تحلیل سازگاری، تداخل و تهدیدات الکترومغناطیسی در سامانه‌های مخابراتی (روش‌های افزایش سازگاری و مقابله با تهدیدات الکترومغناطیسی در سیستم‌ها) / تدوین قربانی تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر، ۱۳۹۷
مشخصات نشر	۵۵۲ ص
مشخصات ظاهری	شابک
شابک	978-964-463-747-6
وضعیت فهرست‌نویسی	فیبا
یادداشت	واژه‌نامه
موضوع	سازگاری الکترومغناطیسی
موضوع	Electromagnetic compatibility
موضوع	تداخل الکترومغناطیسی
موضوع	Electromagnetic interference
موضوع	مخابرات -- سیستم‌ها
موضوع	Telecommunication systems
موضوع	مخابرات -- سیستم‌ها -- سر و صدا
موضوع	Telecommunication systems -- Noise
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر
رده‌بندی کنگره	TK ۷۸۰۰۰۴۳ ۱۳۹۷
رده‌بندی دیویی	۶۲۱/۳۸۲۲۴
شماره کتابشناسی ملی	۵۴۵۷۰۴۹



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

این کتاب در جلسه مورخ ۱۳۹۷/۶/۱۱ شورای چاپ و انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.

عنوان کتاب	تحلیل سازگاری، تداخل و تهدیدات الکترومغناطیسی در سامانه‌های مخابراتی (روش‌های افزایش سازگاری و مقابله با تهدیدات الکترومغناطیسی در سیستم‌ها)
تدوین	دکتر ایاز قربانی
ناشر	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ و صحافی	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	زمستان ۱۳۹۷
قیمت	۵۵،۰۰۰ تومان
تیراژ	۱۰۰ نسخه
شابک	978-964-463-747-6
	ISBN: 978-964-463-747-6

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب صفحه

فصل اول تداخل، سازگاری و حساسیت الکترومغناطیسی

مقدمه.....	۱
۱-۱ عناصر اساسی در به وجود آمدن تداخل الکترومغناطیسی.....	۴
۱-۲ منابع تداخل الکترومغناطیسی.....	۵
۱-۳ کانال یا محیط انتشار.....	۸
۱-۴ گیرنده‌های حساس.....	۹
۱-۵ انواع تداخل الکترومغناطیسی.....	۹
۱-۶ سازگاری الکترومغناطیسی.....	۱۱
۱-۷ حساسیت پیری الکترومغناطیسی.....	۱۲
۱-۸ روش‌های کنترل گامش تداخل الکترومغناطیسی درون و برون سیستمی.....	۱۳
۱-۸-۱ مدیریت فرکانس.....	۱۴
۱-۸-۲ مدیریت زمان.....	۱۵
۱-۸-۳ مدیریت مکان.....	۱۶
۱-۸-۴ مدیریت سمت.....	۱۶
۱-۸-۵ مدیریت (کنترل) منابع مولد تداخل.....	۱۷
۱-۸-۶ مدیریت (کنترل) کانال یا محیط انتشار.....	۱۸
۱-۸-۷ مدیریت (کنترل) گیرنده‌های حساس.....	۱۹
۱-۹ نتیجه‌گیری.....	۲۱
۱-۱۰ مسئله‌های حل شده.....	۲۲
۱-۱۱ مسئله‌های حل نشده.....	۲۷
۱-۱۲ مراجع.....	۲۸

فصل دوم تئوری مدار، رفتار غیر ایده‌آل اجزاء مدار و روش محاسبه علامت مشخصه

مقدمه.....	۲۹
۲-۱ محدودیت‌های قوانین کیرشهف.....	۳۰
۲-۲ معادلات KVL و KCL از دید میدان در کاربرد فرکانس پایین.....	۳۲
۲-۳ تحلیل حالت گذرا در خطوط (اصول محاسبه علامت مشخصه).....	۳۳
۲-۴ رفتار غیر ایده‌آل اجزاء مدار.....	۳۷
۲-۴-۱ امپدانس اجزای مداری الکتریکی.....	۳۷
۲-۴-۱-۱ امپدانس درونی سیم‌های مدور.....	۳۸

۴۳	مقاومت تشعشعی خارجی مدار الکتریکی صفحه‌ای با شکل دلخواه
۴۴	اندوکتانس‌های خودی و دوجانبه از دو حلقه مدور هم‌محور
۴۷	وابستگی فرکانسی اجزاء مدار
۴۷	مقاومت‌ها
۴۹	مدل معادل مقاومت
۵۳	خازن‌ها
۵۵	مدار معادل خازن
۵۷	سلف‌ها
۵۸	مدار معادل سلف‌ها
۶۱	مدار معادل ترانس
۶۲	مدار چارچ
۶۴	نتیجه‌گیری
۶۵	مسائل حل شده
۶۶	مسائل حل نشده
۶۷	۸-۲ مراجع

فصل سوم

فصل سوم

۶۹	مقدمه
۷۱	۱-۳ دسته‌بندی سیگنال‌ها
۷۱	۱-۱-۳ سیگنال‌های انرژی
۷۲	۲-۳ بسط‌های سری و توابع پایه
۷۳	۳-۳ سری فوریه
۷۴	۱-۳-۳ ویژگی‌های سری فوریه
۷۵	۴-۳ تحلیل طیف سیگنال ساعت و کلیدزنی در داخل مدارات مجتمع
۷۵	۱-۴-۳ پالس مستطیلی
۷۷	۲-۴-۳ شکل موج مربعی
۷۹	۳-۴-۳ شکل موج‌های دوزنقه‌ای
۸۰	۱-۳-۴-۳ سری فوریه یک شکل موج‌های دوزنقه‌ای
۸۵	۴-۴-۳ شکل موج مثلثی
۸۸	۵-۴-۳ تحلیل طیف پالس ایجادشده از آذرخش
۸۸	۱-۵-۴-۳ تخلیه

۳-۴-۵-۲ ضربات	۸۹
۳-۴-۵-۳ شکل موج پالس آذرخش	۸۹
۳-۴-۶ تحلیل طیف پالس ایجادشده توسط پالس الکترومغناطیسی قوی ارتفاع بالا	۹۲
۳-۵ مقایسه پالس‌های الکترومغناطیسی قوی با پالس آذرخش	۹۵
۳-۶ مقایسه طیف‌های شکل موج دوزنقه‌ای از نظر زمان فراز	۹۹
۳-۷ مقایسه طیف‌های شکل موج دوزنقه‌ای با دوره کاری متفاوت	۱۰۱
۳-۸ رابطه زمان فراز با پهنای پالس در حالت کلی	۱۰۷
۳-۹ رابطه پهنای پالس و طیف فرکانسی	۱۱۰
۳-۱۰ نتیجه‌گیری	۱۱۳
۳-۱۱ تمرین‌های حل شده	۱۱۵
۳-۱۲ مسائل حل نشده	۱۱۷
۳-۱۳ مراجع	۱۱۸
فصل چهارم نشت تشعشعی، هدایتی و تحلیل میدان تشعشعی مد مشترک و تفاضلی	
مقدمه	۱۱۹
۴-۱ نشت (گسیل) رسانشی	۱۱۹
۴-۲ نشت (گسیل) تشعشعی	۱۲۱
۴-۳ چگونگی تولید مد مشترک	۱۲۲
۴-۴ اثر جریان مد مشترک و مد تفاضلی در تولید سیگنال ناخواسته	۱۲۳
۴-۵ روش‌های تحلیل جریان‌های مد مشترک و مد تفاضلی	۱۲۵
۴-۶ تقریب میدان‌های الکتریکی تشعشعی ناشی از جریان‌های مد مشترک و مد تفاضلی	۱۲۸
۴-۷ معرفی نظریه آنتن‌های آرایه‌ای	۱۲۹
۴-۷-۱ استفاده از توزیع جریان دوقطبی هرتز و اختصاصی کردن توزیع آرایه	۱۳۲
۴-۷-۲ استفاده از توزیع جریان دوقطبی نیم موج و اختصاصی کردن توزیع آرایه	۱۳۵
۴-۸ مدل‌های تشعشعی برای جریان‌های مد تفاضلی	۱۳۶
۴-۹ مدل‌های تشعشعی برای جریان‌های مد مشترک	۱۳۹
۴-۱۰ روش‌های جبران سازی و حفاظت در برابر جریان مد مشترک و مد تفاضلی	۱۴۱
۴-۱۱ نتیجه‌گیری	۱۵۷
۴-۱۲ تمرین‌های حل شده	۱۵۷
۴-۱۳ مسائل حل نشده	۱۶۳
۴-۱۴ مراجع	۱۶۶

۱۶۹.....	مقدمه
۱۷۱.....	۵-۱ انواع پالس‌های الکترومغناطیسی
۱۷۲.....	۵-۱-۱ تولید انفجار الکترومغناطیسی ارتفاع بالا
۱۷۴.....	۵-۱-۲ ارتفاع انفجار
۱۷۵.....	۵-۱-۳ ناحیه پوشش زمینی
۱۷۸.....	۵-۱-۴ شدت میدان بر اساس موقعیت زمینی
۱۷۹.....	۵-۱-۵ میدان الکتریکی پالس الکترومغناطیس ارتفاع بالا
۱۸۶.....	۵-۱-۶ فضای شگنی موج الکترومغناطیس
۱۹۲.....	۵-۲ انفجار سطحی پالس الکترومغناطیس
۱۹۴.....	۵-۲-۱ میدان الکتریکی شعاعی
۱۹۶.....	۵-۲-۲ رابطه میدان الکتریکی انفجار سطحی پالس الکترومغناطیس
۱۹۸.....	۵-۳ انفجار در فضای اشباع میانی
۱۹۹.....	۵-۴ سازوکار تزویج پالس "کروه" مغناطیس به داخل یک محفظه
۲۰۱.....	۵-۴-۱ مدار معادل یک دو قطبی الکتریکی کوچک
۲۰۲.....	۵-۴-۲ مدار معادل یک حلقه کوچک
۲۰۳.....	۵-۴-۳ مدل نوعی تزویج
۲۰۶.....	۵-۴-۴ مدل خط انتقال تحت تأثیر پالس الکترومغناطیس
۲۱۱.....	۵-۴-۵ روش مدار معادل تونن
۲۱۷.....	۵-۵ خسارت‌های ناشی از پالس الکترومغناطیس بر روی مدارات الکتریکی
۲۲۷.....	۵-۶ مدل‌سازی قطعات فعال و غیرفعال برای مقاوم‌سازی در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی
۲۲۹.....	۵-۶-۱ مدل‌سازی قطعات فعال
۲۴۱.....	۵-۷ حساسیت پذیری تعدادی از قطعات الکترونیکی در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی
۲۴۴.....	۵-۷-۱ حساسیت پذیری مدارات منطقی
۲۴۵.....	۵-۷-۲ حساسیت پذیری میکروکنترلرها
۲۴۷.....	۵-۷-۳ حساسیت پذیری بردهای میکروپروسسوری
۲۴۹.....	۵-۸ اثر پالس‌های الکترومغناطیسی قوی بر روی خطوط انتقال و سازه‌های شیلد
۲۵۰.....	۵-۸-۱ جریان‌های القایی پالس‌های الکترومغناطیسی قوی بر روی خطوط هوایی
۲۵۰.....	۵-۸-۲ اثرات روی خطوط بلند زیر زمین
۲۵۱.....	۵-۸-۳ اثرات بر روی سازه‌های قائم
۲۵۲.....	۵-۸-۴ اثرات بر روی شیلدهای بسته

۲۵۲	۵-۸-۵ اثرات بر روی هادی‌های نافذ ایزوله شده
۲۵۲	۶-۸-۵ اثرات روزنه‌ها روی سطح شیلد
۲۵۳	۷-۸-۵ اثرات به روی شبکه‌های بزرگ
۲۵۹	۹-۵ نتیجه‌گیری
۲۶۰	۱۰-۵ تمرینات حل شده
۲۶۲	۱۱-۵ تمرینات حل نشده
۲۶۴	۱۲-۵ مراجع

فصل ۶ یکپارچگی سیگنال و هم‌سنوایی (تداخل سیگنالی)

۲۶۷	مقدمه
۲۶۸	۱-۶ دلایل نیز به یکپارچگی سیگنال
۲۷۰	۲-۶ انعکاس و حالت گذاری و سانی (لرزش) مدار
۲۷۲	۳-۶ اعوجاج سیگنال
۲۷۴	۴-۶ شرط وجود نوسان مدار
۲۷۷	۵-۶ اثر بارگذاری خازنی به امیدانی مشخص خط و تأخیر انتشار سیگنال
۲۷۸	۶-۶ محاسبه طول مسیر
۲۸۰	۷-۶ بارگذاری بر اثر ناپیوستگی (محاسبه فاصله و نقطه ناپیوسته در روی مسیر)
۲۸۱	۸-۶ توزیع جریان RF
۲۸۲	۹-۶ انواع سازوکار تزویج
۲۸۳	۱-۹-۶ تزویج مغناطیسی (سلفی)
۲۸۴	۲-۹-۶ تزویج الکتریکی و خازنی
۲۸۴	۳-۹-۶ پیوند الکترومغناطیسی
۲۸۵	۴-۹-۶ تزویج امیدانس مشترک
۲۸۶	۱۰-۶ هم‌سنوایی
۲۸۷	۱۱-۶ واحد سنجش هم‌سنوایی
۲۸۷	۱۱-۶ خطوط انتقال سه سیم و هم‌سنوایی
۲۹۳	۱۲-۶ هم‌سنوایی در خطوط ریزنوار و خطوط نواری تزویج شده
۲۹۷	۱۳-۶ تحلیل هم‌سنوایی برای ساختار پیچیده بسته برد مدار چاپی
۲۹۷	۱-۱۳-۶ نتایج شبیه‌سازی هم‌سنوایی برای ساختار پیچیده بسته برد مدار چاپی
۲۹۸	۲-۱۳-۶ ثابت دی‌الکتریک ماده به کار رفته در بخش عایق
۳۰۰	۳-۱۳-۶ شارش جریان

۳۰۲	۴-۱۳-۶ فاصله گذاری بین شیارهای پیوسته
۳۰۳	۴-۱۴-۶ معادلات خط انتقال برای خطوط بدون تلف
۳۰۶	۴-۱۵-۶ پارامترهای واحد طول
۳۰۷	۴-۱۵-۶ مواد همگن و مواد ناهمگن
۳۰۸	۴-۱۵-۶ تقریب‌های جداسازی گسترده برای سیم‌ها
۳۱۵	۴-۱۶-۶ مدل تقریبی تزویج سلفی - خازنی
۳۱۹	۴-۱۶-۶ مدل کوپل شده سلفی - خازنی در حوزه فرکانس
۳۲۱	۴-۱۶-۶-۱ تأثیر تلفات تزویج در حالت امیدانس-مشترب
۳۲۳	۴-۱۶-۶-۲ مدل کوپل سلفی - خازنی در حوزه زمان
۳۲۸	۴-۱۶-۶-۱ تأثیر تلفات تزویج امیدانس-مشترب
۳۲۹	۴-۱۷-۶ مدل تقریب ۱۰۰ فشرده
۳۳۲	۴-۱۸-۶ یک مدل SPIC، دقیق برای خطوط تزویج شده بدون تلفات
۳۳۵	۴-۱۹-۶ سیم‌های روکش‌دار شیلد دار
۳۳۶	۴-۱۹-۶ پارامترهای در واحد طول
۳۳۹	۴-۱۹-۶ تزویج سلفی و خازنی
۳۴۵	۴-۲۰-۶ پیش‌بینی کلی هم‌تنوایی بین سیم‌های بدون شیلد و سیم‌های با دو لایه شیلد
۳۴۶	۴-۲۰-۶ فرم بسته برای محاسبه هم‌تنوایی
۳۴۷	۴-۲۰-۶ سیم بدون روکش در مقابل سیم با روکش دو لایه
۳۴۸	۴-۲۱-۶ تأثیر پیگ تیل
۳۴۹	۴-۲۲-۶ سیم‌های تابیده شده
۳۵۲	۴-۲۲-۶ پارامترهای در واحد طول
۳۵۴	۴-۲۲-۶ تزویج سلفی و خازنی
۳۵۹	۴-۲۲-۶ تأثیرات تابیدگی سیم‌ها
۳۶۷	۴-۲۳-۶ تأثیرات متعادل‌سازی
۳۶۹	۴-۲۴-۶ مدل هم‌تنوایی برای سیم‌های شیلددار که به صورت تصادفی به هم پیچیده شده
۳۷۰	۴-۲۴-۶-۱ مدل خطوط انتقال چند سیم (MTL) برای یک بخش معین از مجموعه سیم‌های با پیچش تصادفی [۲۹-۶]
۳۷۲	۴-۲۴-۶ تصادفی بودن سطح مقطع
۳۷۵	۴-۲۵-۶ نتیجه‌گیری
۳۷۶	۴-۲۶-۶ تمرین حل شده
۳۸۵	۴-۲۷-۶ مسائل حل نشده

۳۸۷	۶-۲۸ مراجع
	فصل هفتم تداخل و سازگاری الکترومغناطیسی در مدارهای لاجیک
۳۹۱	مقدمه
۳۹۳	۷-۱ انواع فناوری ساخت مدارهای مجتمع
۳۹۶	۷-۲ سازوکار تشعشع در مدارهای لاجیک
۳۹۶	۷-۲-۱ سازوکار تشعشعی مد تفاضلی
۳۹۸	۷-۲-۲ سازوکار تشعشعی مد مشترک
۴۰۰	۷-۳ ساعت در مدارهای لاجیک و روش‌های تعدیل اثرات آن
۴۰۴	۷-۴ پهنل‌های باند و اتصالات برد جانبی
۴۰۵	۷-۵ ولتاژ تأخیر در خانواده لاجیک
۴۰۵	۷-۵-۱ کاهش ولتاژ تغذیه
۴۰۵	۷-۵-۲ جریان تغذیه
۴۰۵	۷-۶ برد مدار چاپی در مدارهای لاجیک
۴۰۶	۷-۶-۱ امیدانس مسیر
۴۰۶	۷-۶-۲ زمین مشبک
۴۰۷	۷-۶-۳ نوسان در خطوط انتقال
۴۰۷	۷-۶-۴ شکستگی در صفحه زمین
۴۰۸	۷-۶-۵ بسته‌بندی مدارهای لاجیک
۴۰۹	۷-۶-۶ یکپارچگی سیگنال و پرش زمین
۴۰۹	۷-۶-۷ قسمت‌بندی کردن
۴۱۱	۷-۶-۷-۱ قسمت‌بندی برد مدار چاپی نسبت به کوچ شعاعی
۴۱۲	۷-۶-۷-۲ جداسازی کامل قسمت‌های مختلف از یکدیگر از طریق عایق‌کاری
۴۱۴	۷-۶-۷-۳ چند نمونه قسمت‌بندی در مدارهای لاجیک
۴۱۵	۷-۶-۸ روش‌های طرح‌بندی برد مدار چاپی در مدارهای لاجیک
۴۱۶	۷-۷ حداکثر ولتاژ تداخل سیگنالی در قطعات لاجیک
۴۱۹	۷-۸ خازن‌ها در مدارهای لاجیک
۴۱۹	۷-۸-۱ خازن‌های جداساز
۴۲۰	۷-۸-۱-۱ محل استقرار خازن‌های جداساز
۴۲۰	۷-۸-۱-۲ محاسبه مقدار خازن‌های جداساز
۴۲۱	۷-۸-۱-۳ طرح‌بندی خازن‌های در برد مدار چاپی برای فرکانس بالا
۴۲۱	۷-۸-۱-۴ خازن‌های متعدد

۴۲۲	۷-۸-۲ خازن‌های کنارگذر.....
۴۲۲	۷-۸-۳ خازن‌های حجمی.....
۴۲۳	۷-۸-۴ صفحات تغذیه.....
۴۲۴	۷-۹-۱ افزایش ایمنی مدارهای لاجیک.....
۴۲۴	۷-۹-۱ مسیرهای تداخل.....
۴۲۴	۷-۹-۲ مسیرهای تداخل گذرا.....
۴۲۵	۷-۹-۳ مسیرهای تداخل-تخلیه الکترواستاتیکی.....
۴۲۵	۷-۹-۴ حفاظت از تخلیه الکترواستاتیکی و حالت گذرا.....
۴۲۶	۷-۹-۵ تزاح گذرا.....
۴۲۷	۷-۹-۶ حاشه نویز پویا.....
۴۲۸	۷-۹-۷ حساسیت نویز نسبت به RF.....
۴۲۸	۷-۱۰-۱ بررسی سایر قطعات لاجیک.....
۴۲۸	۷-۱۰-۱ ریزپردازنده‌ها.....
۴۲۹	۷-۱۰-۲ حافظه.....
۴۲۹	۷-۱۰-۳ مقایسه کننده‌ها.....
۴۳۰	۷-۱۱-۱ مدارهای آنالوگ در تقابل با دیجیتال لاجیک.....
۴۳۰	۷-۱۲-۱ نتیجه‌گیری.....
۴۳۲	۷-۱۳-۱ مسائل حل شده.....
۴۳۳	۷-۱۴-۱ مسائل حل نشده.....
۴۳۵	۷-۱۵-۱ مراجع.....

فصل هشتم اصول تئوری اتاق‌های شیلد

۴۳۷	مقدمه.....
۴۳۸	۸-۱ روش‌های کنترل تداخل الکترومغناطیسی درون سیستمی و بیرون سیستمی.....
۴۳۹	۸-۲ امپدانس موج در ناحیه نزدیک و دور آنتن.....
۴۴۳	۸-۳ امپدانس فلز.....
۴۴۴	۸-۳-۱ امپدانس یک دیواره فلزی (با فرض $t \gg \delta$).....
۴۴۶	۸-۳-۲ امپدانس یک دیواره فلزی (با فرض $t < 3\delta$).....
۴۴۹	۸-۴ ضریب مؤثر شیلد.....
۴۵۰	۸-۵ سازوکار شیلد.....
۴۵۴	۸-۵-۱ افت جذبی، $A(\text{dB})$
۴۵۷	۸-۵-۲ افت انعکاسی، $R(\text{dB})$

۴۵۸	۳-۵-۸ تصحیح انعکاسات جزئی، B
۴۵۹	۴-۵-۸ مقدار مؤثر بودن شیلد SE در میدان‌های دور
۴۶۳	۵-۵-۸ مقدار مؤثر بودن شیلد در میدان‌های مغناطیسی فرکانس پایین
۴۶۴	۶-۸ بررسی عوامل تأثیرگذار در کاهش مقدار مؤثر بودن شیلد
۴۶۸	۱-۶-۸ اثرات ناشی
۴۶۹	۱-۶-۸ اثرات امواج ساکن
۴۶۹	۷-۸ مواد شیلد
۴۷۰	۱-۷-۸ فلزات همگن
۴۷۴	۲-۷-۸ مواد مغناطیسی به عنوان شیلد
۴۷۵	۳-۷-۸ ششای چند لایه
۴۷۶	۴-۷-۸ فلزات با همگنی کاذب
۴۷۸	۵-۷-۸ شیلدهای غیر یکپارچه
۴۷۹	۲-۵-۷-۸ شیلدهای غیر یکپارچه
۴۸۰	۳-۵-۷-۸ ضریب مؤثر شیلد یک شکاف دایره‌ای
۴۸۱	۴-۵-۷-۸ ضریب مؤثر شیلد آرایه‌های سیم‌لیلی شکل
۴۸۲	۸-۸ لانه زنبوری‌ها
۴۸۵	۹-۸ خلاصه و نتیجه‌گیری
۴۸۶	۱۰-۸ تمرین حل شده
۴۸۷	۱۱-۸ تمرین حل نشده
۴۸۹	۱۲-۸ مراجع

پیوست‌ها

۴۹۱	پیوست ۱
۴۹۲	پیوست ۲ تبدیل dB, dBm و نیر
۴۹۷	پیوست ۳ جدول تبدیل، dBm به میلی‌وات، ولتاژ و غیره در سیستم ۵۰ اهم
۴۹۸	پیوست ۴ ضریب شیلد کردن کابل‌های هم‌محور یک لایه، دولایه و سه لایه شیلد
۴۹۸	پیوست ۵ فاصله تسمه‌ها از یکدیگر و ضریب شیلد کردن بر اساس فاصله آن‌ها
۴۹۷	پیوست ۶ سلول TEM، با تیغه عمودی و موازی
۴۹۹	پیوست ۷ تبدیل گنج به میلی‌متر
۵۰۰	پیوست ۸ تجهیزات اندازه‌گیری یک وسیله از نظر تداخل و سازگاری الکترومغناطیسی
۵۰۵	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

۵۱۷.....واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

۵۲۹.....فهرست راهنما

www.ketab.ir

پیشگفتار مؤلف

در چند سال اخیر موضوع تداخل و سازگاری الکترومغناطیسی مورد توجه محققین و پژوهشگران زیادی قرار گرفته است. دلیل این موضوع از یک طرف جایگزینی مدارات دیجیتال سرعت بالا با مدارات آنالوگ و از طرف دیگر کوچک شدن ابعاد قطعات از جمله بردها و آی سی ها است. به طوری که در بعضی از مدارات تعداد زیادی آی سی در فاصله بسیار نزدیک به هم فعالیت می نمایند. به علاوه بهبود روش های به کار رفته در طراحی و ساخت مدارات و همچنین با ظهور نرم افزارهای شبیه ساز این امکان به خوبی فراهم گردیده است که بتوان تجهیزات الکترونیکی و مخابراتی را با حداقل نویز و با حداکثر کیفیت طراحی و پیاده سازی نمود. از طرفی با کاهش نویز تجهیزات مختلف، امکان دریافت سیگنال های بسیار ضعیف توسط گیرنده های مختلف فراهم گردیده است که تمامی موارد فوق الذکر منجر به تداخل الکترومغناطیسی بین مدارات مختلف و همچنین کاهش سازگاری آن ها می گردد.

همچنین در بعد نظامی، تهدیدات از حالت سخت افزاری (کلاسیک) به نرم افزاری و تهدیدات الکترومغناطیسی تغییر داده شده است. به طوری که محققان زیادی بر این عقیده اند که جنگ های آینده، نیاز به جنبه فیزیکی پرسنل در منطقه درگیری نخواهد بود و تنها با استفاده از امواج الکترومغناطیسی فیزیکی می توان بخش مهمی از تجهیزات مخابراتی، الکترونیکی، نیروگاهی و حمل و نقل را مقابل را منهدم و یا دچار عدم کارایی نمود. به بیان دیگر با به کارگیری یک پالس الکترومغناطیسی می توان بالا امکان از کار انداختن تجهیزات ادوات حیاتی، حساس و مهم یک پست فرماندهی، قرارگاه، سایت های پدافندی و راداری، موشکی و امنیتی وجود خواهد داشت که این خود به وسیله خلع سلاح و شاید نابودی طرف مقابل را فراهم می نماید.

در حالت کلی تهدیدات امواج رادیویی نوعی از تداخل الکترومغناطیسی محسوب می گردد که می تواند بر اثر یک انفجار هسته ای در ارتفاع بالا، میانی، ارتفاع پایین و یا حتی در سطح زمین ایجاد شود. در نتیجه این انفجارها، پالس های الکترومغناطیسی بسیار قوی تولید می گردند که گاهی شدت میدان الکتریکی آن ها به ۵۰ کیلوولت بر متر در مسافت های بسیار دورتر از منبع خواهد بود. این میدان های بسیار عظیم می تواند تا فاصله چند صد و حتی چند هزار کیلومتر، باعث اختلال شدید در تجهیزات، سوء رفتار مدارات و همچنین تخریب مدارات، سیستم ها و زیرساخت ها شود. به طور مثال این گونه پالس ها می تواند با از کار انداختن یک نیروگاه، تجهیزات مخابراتی، تجهیزات فرودگاهی، تجهیزات هواپیمایی، فرماندهی، تجهیزات بیمارستانی، بانکی، حمل نقل، پمپ بنزین، سیستم های امداد رسانی، سیستم های پشتیبانی، سیستم روشنایی و.....

یک منطقه، پایگاه و حتی کشور را در زمان جنگ فلج نماید، بدون این که نیرویی درگیر شده باشد.

امروزه این گونه پالس ها علاوه بر انفجار هسته ای به آسانی می تواند توسط تفنگ های الکترومغناطیسی تولید شوند. از طرفی به دلیل کوچک بودن ابعاد این گونه تجهیزات، به راحتی قابل حمل خواهند بود و لذا امکان به کارگیری آن ها در هر زمان و مکان وجود خواهد داشت که این موضوع می تواند حداکثر تلفات ممکن را در کمترین زمان ایجاد نماید. با توجه به آنچه گفته شد تهدیدات پالس الکترومغناطیسی قوی و همچنین تداخلاتی که بر اثر این تهدیدات به وجود می آید نیاز به بررسی، تجزیه و تحلیل دارد. از طرفی برای فراهم آوردن امکان تجزیه و تحلیل منابع تداخلات لازم و ضروری است که دانش فنی در این زمینه در محیط های دانشگاهی، تحقیقاتی کشور ایجاد شود که اولین گام در ایجاد دانش فنی، فراهم آوردن مستندات و بانک اطلاعاتی مرتبط با تداخل الکترومغناطیسی، منابع تولید آن ها، چگونگی تأثیرگذاری و روش های حفاظت مدارات، سیستم ها و زیرسیستم ها در برابر تهدیدات فوق الذکر خواهد بود.

از این رو سعی گردید با توجه به تجربه اینجانب در زمینه تداخل و سازگاری الکترومغناطیسی، روش های مقابله با آن ها، صراحتی، پیاده سازی اتاق های شیلد، چگونگی اندازه گیری نشت هدایتی، نشت تشعشعی، حساسیت پذیری تشعشعی و حساسیت پذیری هدایتی در چند سال گذشته، علی الخصوص که این تجربه در چندین مورد منجر به پیاده سازی سیستم های فوق الذکر گردیده است. به علاوه با توجه به تجربه اینجانب در زمینه تدریس درس سازگاری و تداخل الکترومغناطیسی و همچنین با توجه به نیازها و سناریوهای گوناگونی که در حضور مسئولین، محققان، دست اندرکاران و اندیشمندان حوزه تداخل و سازگاری الکترومغناطیسی در چند سال گذشته داشته ام، همگی بر این موضوع تأکید دارند که کمبود یک کتاب جامع در زمینه تداخل و سازگاری الکترومغناطیسی و روش های کاهش، کنترل تداخل و افزایش سازگاری مدارات به شدت احساس می گردد.

علاوه بر این به دلیل اهمیت موضوع سازگاری و تداخل الکترومغناطیسی در صنایع مختلف نظامی و غیرنظامی و همچنین گسترش و توسعه تحقیقات در زمینه های فوق الذکر، خصوصاً در سال های اخیر در کشورهای پیشرفته که منجر به مطرح شدن زمینه های تحقیقاتی جدید و به روز برای پروژه های تحصیلات تکمیلی گردیده است کمبود چنین کتابی بیشتر احساس می گردد. از این رو برای هماهنگی با پیشرفت های به دست آمده در دانشگاه ها و مراکز تحقیقاتی مختلف دنیا و استفاده از تجربیات به دست آمده در این زمینه در صنایع مختلف کشور جهت کاهش تداخلات و خنثی نمودن اثر تهدیدات الکترومغناطیسی و در نتیجه بهبود عملکرد سیستم های گوناگون در داخل کشور، لازم و ضروری است که دانشجویان دوره های تحصیلات

تکمیلی دانشگاه‌های کشور، آشنایی کافی با مبانی تئوری و پایه تداخل و سازگاری الکترومغناطیسی را داشته باشند. خوشبختانه در چند سال گذشته درس سازگاری و تداخل الکترومغناطیسی در دانشگاه‌های مختلف کشور به‌عنوان یک درس کارشناسی ارشد و دکترای ارائه می‌گردد. از این رو فراهم شدن چنانچه کتاب می‌تواند به‌عنوان یک مرجع مناسب برای دانشجویان فوق‌الذکر تلقی گردد.

از این جهت بر آن شدیم که کتابی در زمینه تداخل و سازگاری الکترومغناطیسی و همچنین روش‌های حفاظت سیستم‌های مختلف در مقابل تهدیدات الکترومغناطیسی تدوین گردد. به‌طوری‌که تا حد امکان موضوعات تداخل و سازگاری الکترومغناطیسی، منابع تولید تهدیدات الکترومغناطیسی، روش‌های پیشگیری از تهدیدات با به‌کارگیری روش‌هایی همچون شیلدکردن، فیلترکردن، باندکردن و زمین کردن در آن کتاب مورد بحث و بررسی قرار گیرد. به‌علاوه در این کتاب منابع تولید پالس‌های الکترومغناطیسی از جمله پالس سوئیچینگ، پالس صاعقه و یا پالس‌های حاصل از انفجار هسته‌ای تشریح گردید و ضمن به دست آوردن طیف فرکانسی آن‌ها، فرکانس‌های تا، رگزار این پالس‌ها مشخص و روش‌های مقابله با آن‌ها و همچنین چگونگی حفاظت مدارات مختلف در مقابل تهدیدات پالس‌های فوق‌الذکر بیان گردید. به‌علاوه در این کتاب استانداردهای مختلف موجود در زمینه شیلدینگ و همچنین روش‌های اندازه‌گیری ضریب شیلدینگ محافظ‌های شیلد تجزیه و تحلیل شود و تا حد امکان سعی شود ابهامات احتمالی موجود در زمینه اندازه‌گیری ضریب شیلدینگ و همچنین تفسیر دیتاهای به‌دست‌آمده در اندازه‌گیری رفع گردد. تا بتوان به این طریق از تفسیر متعدد که اغلب در اندازه‌گیری ضریب شیلدینگ رخ می‌دهد، جلوگیری نمود.

همچنین در کتاب حاضر سعی شد، روش‌های مختلف به‌کار بسته در طراحی و پیاده‌سازی اتاق‌های شیلد از جمله روش تماماً جوشکاری، مدولار و اتاق‌های ساندویچ (معماری) در غالب شیلد یک‌لایه، دولایه تشریح شود و ضریب شیلدینگ قابل حصول توسط اتاق‌های تماماً جوشکاری شده، اتاق شیلد مدولار و اتاق‌های شیلد آرسینت پری (معماری) طبق استاندارد فوق‌الذکر در صورتی‌که تماماً درزگیری شده و فاقد هرگونه روزنه و حفره باشند ارائه گردید. در این کتاب نشان داده شد که طبق استانداردهای موجود برای رسیدن به ضریب شیلدینگ بالای ۵۰ دسی‌بل حتماً نیاز به فلز یکپارچه است و استفاده از توری فلزی و یا فویل آلومینیومی نمی‌تواند ضریب شیلدینگ مناسبی حتی در حدود ۵۰ دسی‌بل هم فراهم نماید. نرسیدن به ضریب شیلدینگ بالا توسط توری فلزی و فویل آلومینیومی و مسی نه به دلیل ماهیت فویل می‌باشد بلکه بیشتر از ناحیه فیلترینگ، زمین کردن، باندکردن، صفحه اتصالات و درب‌ها می‌باشد که در چنین روش‌های شیلد کردن نصب قطعات فوق‌الذکر چندان ساده و بدون نشت نخواهد بود. در نهایت ضریب شیلدینگ مورد نیاز برای کاربردهای مختلف از جمله

مراکز حیاتی، حساس، مهم در این کتاب مورد بحث قرار گرفت و نشان داده شد برای پوشش استاندارد TEMPEST نیاز به اتاق‌های خاص با ضریب شیلدینگ بالا می‌باشد. در انتها این کتاب روش‌های اندازه‌گیری نشت تشعشعی، نشت هدایتی، حساسیت پذیری طبق استاندارد ۴۶۱ که یک استاندارد نظامی است، تشریح گردید و تجهیزات مورد نیاز برای پیاده‌سازی آزمون‌های یاد شده به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفت. کتاب حاضر در دو جلد شامل سیزده فصل تدوین گردیده است که مهم‌ترین مطالب ارائه شده در هر فصل عبارت‌اند از:

در فصل اول مفاهیم اساسی مرتبط با تداخل و سازگاری الکترومغناطیسی تعریف گردیده است. به علاوه در این فصل، روش‌های کنترل تداخل الکترومغناطیسی درون سیستمی و بیرون سیستمی بررسی گردیده است.

در فصل دوم، نظری مدار، رفتار غیر ایده‌آل اجزاء مدار و روش محاسبه علامت مشخصه تشریح گردید. همچنین در این فصل محدودیت‌های قانون ولتاژ و جریان کیرشهف مورد بحث قرار گرفته است. به علاوه در فصل دوم چگونگی مدل نمودن رفتار غیره ایده‌آلی مدارات تجزیه و تحلیل گردیده و نشان داده شده است که ناخالصی‌های موجود در سلف و خازن منجر به تشعشع از این گونه مدارات می‌گردد.

در فصل سوم سعی گردیده است که با تحلیل طیف سیگنال‌های تداخلگر، همانند سیگنال‌های ساعت در سیستم‌های دیجیتال سه ساله ی - اعقه و پالس‌های الکترومغناطیسی قوی، مؤلفه‌های فرکانسی تأثیرگذار آن‌ها مشخص گردد. این مؤلفه‌ها از این نظر مهم می‌باشند که حفاظت الکترومغناطیسی تابعی از فرکانس سیگنال است و لذا با داشتن فرکانس سیگنال‌های تداخلگر، امکان مقابله و کنترل آن‌ها وجود دارد. همچنین در این فصل تأثیر پهنای پالس، فرکانس تکرار پالس، زمان صعود و نزول پالس بر طیف فرکانسی بررسی گردیده است.

در فصل چهارم چگونگی به وجود آمدن نویز مد مشترک و تفاضلی تشریح گردیده است و سپس با مدل کردن خطوط انتقال در مد تفاضلی و مشترک به صورت آن‌ها دوقطبی، مقدار نشت تشعشعی و هدایتی تابعی از پارامترهای خط محاسبه شده است. به علاوه در این فصل نشان داده شد که جریان مد مشترک سهم بیشتری در تولید تداخل الکترومغناطیسی دارد. در نهایت روش‌های کاهش جریان مد مشترک و تفاضلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

فصل پنجم اختصاص به پالس‌های الکترومغناطیسی‌های قوی دارد، یعنی در این فصل منابع تولید پالس‌های الکترومغناطیسی قوی، ناحیه پوشش آن‌ها، چگونگی نفوذ پالس الکترومغناطیسی داخل یک سازه و یا یک مدار الکترونیکی و تأثیر پالس‌های الکترومغناطیسی بر مدارهای الکتریکی. تشریح گردیده است. به علاوه در این فصل حساسیت پذیری قطعات مختلف الکترونیکی مورد بحث قرار گرفته است و نشان داده است که در یک سیستم الکتریکی دیوده‌های به کار رفته در بخش گیرنده صدمه پذیرترین قطعه در برابر پالس‌های الکترومغناطیسی

قوی و در عوض قطعاتی همچون ترانس بیشترین مقاومت را در رابطه با پالس‌های الکترومغناطیسی قوی دارا می‌باشند.

در فصل ششم تداخل و سازگاری الکترومغناطیسی در مدارات لاجیک بررسی مورد بحث قرار گرفت. نشان داده شد که مدارات دیجیتال حساسیت بیشتری نسبت به تداخل الکترومغناطیسی از خود نشان می‌دهند. دلیل اصلی آن هم وجود سیگنال ساعت و در نتیجه طیف فرکانسی آن می‌باشد. در این فصل همچنین چگونگی کاهش تداخل الکترومغناطیسی و همچنین افزایش سازگاری در مدارات دیجیتال مورد بحث قرار گرفته و نشان داده شده است که با قسمت‌بندی، بسته‌بندی، نزدیک کردن زمین به مسیرها، استفاده از خازن‌های کنارگذر، چندلایه کردن بردهای مدار چاپی، جداسازی مدارات دیجیتال از آنالوگ تا حد زیادی می‌توان تأثیر تداخلات الکترومغناطیسی را کاهش و سازگاری آن‌ها را افزایش داد.

فصل هفتم اختصاص به اصول تئوری اتاق‌های شیلد دارد. به‌طوری‌که در این فصل ضمن تشریح میدان مغناطیسی، میدان الکتریکی و میدان صفحه‌ای و چگونگی شیلد کردن آن‌ها و همچنین وابستگی میدان‌ها به فاصله بیان گردیده است. سپس سازوکار شیلدینگ مورد بحث قرار گرفته و نشان داده شد است که ضریب شیلدینگ در فلزات تابعی از ضریب جذب، انعکاس و انعکاس چندگانه می‌باشد. بنابراین برای اینکه ضریب شیلدینگ را در یک فلز افزایش دهیم یا می‌بایست با به‌کارگیری فلز ضعیف‌تر قدرت جذب آن را افزایش داده و یا از طریق به‌کارگیری مواد مغناطیسی، امول را در داخل مواد مغناطیسی متمرکز نمود تا بدین‌وسیله از طریق جذب، دامنه آن کاهش یابد. به‌علاوه در این فصل مشاهده گردید که شیلد نمودن امواج مغناطیسی به‌مراتب سخت‌تر از میدان‌های الکتریکی و صفحه‌ای می‌باشد. البته به همان اندازه که شیلد کردن میدان مغناطیسی سخت‌تر است، سیرنده‌های امواج مغناطیسی راندمان زیادی ندارند و لذا این دو خاصیت تا حدود زیادی یکدیگر را تقویت می‌نمایند.

فصل هشتم انواع اتاق شیلد مورد بحث و بررسی قرار گرفته و نشان داده شد که اتاق‌های شیلد از تنوع زیادی برخوردارند که از جمله می‌توان به اتاق‌های شیلد ساخته شده به کمک روش جوشکاری، اتاق‌های شیلد مدولار، اتاق‌های شیلد آرسیتکچر اشاره کرد. این‌گونه اتاق‌ها می‌توانند به‌صورت شیلد تک لایه، دولایه و چندلایه باشند که هر کدام دارای ضریب شیلدینگ مشخصی و معینی هستند. به‌طور مثال اشاره گردید که اتاق‌های شیلد ساخته شده به کمک روش جوشکاری در صورتی که به‌درستی درزگیری شوند، می‌توانند ضریب شیلدینگ حدوداً ۱۲۰ دسی‌بل را ارائه دهند. این در حالی است که اتاق شیلد مدولار و آرسیتکچر دارای ضریب شیلدینگ کمتری خواهند بود. از طرفی در صورتی که بخواهیم ضریب شیلدینگ اتاق شیلد مدولار و آرسیتکچر را به بالای ۱۰۰ دسی‌بل ارتقا دهیم، لازم است از روش‌های چندلایه بدین منظور استفاده گردد. به‌علاوه در این فصل مشخص گردید که اگر بخواهیم یک محفظه شیلد با

ضریب شیلدینگ مناسب برای امواج مغناطیسی و امواج صفحه‌ای طراحی نماییم، لازم است علاوه بر فلز الکتریکی از مواد مغناطیسی به صورت شیلد دولایه استفاده گردد. همچنین در این فصل محفظه‌های شیلدی که به کمک فویل‌های آلومینیومی و مسی طراحی و پیاده‌سازی شده‌اند، تشریح گردید. نشان داده شد که چنین محفظه‌های شیلدی نمی‌توانند ضریب شیلدینگ بالاتر از ۵۰ دسی‌بل در رنج وسیع فرکانسی فراهم نمایند و عموماً در سطح دنیا چنین محفظه‌هایی برای شیلدهای موضعی و مکمل و نه به عنوان یک روش مستقل برای جلوگیری از تهدیدات الکترومغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مضافاً توضیح داده شد شیلدهای دولایه دارای رنج وسیع فرکانسی می‌باشند خصوصاً اگر از مواد مغناطیسی به همراه جاذب در طراحی و پیاده‌سازی استفاده نمایند. در این صورت به دلیل باند وسیع فرکانسی امکان شیلد بردن امواج فرکانس پایین و امواج صوتی وجود دارد.