

EMC & EMI

لیلا فرهودی

کارشناس ارشد مهندسی مخابرات -
کارشناس پژوهشکده‌ی سامانه‌های ماهواره‌های
L_farhoudi@yahoo.com

مقدمه

برای همه‌ی ما بارها اتفاق افتاده است که قبل از رسیدن یک پیامک یا زنگ خوردن گوشی تلفن همراه صدای تق تقی را روی رادیوی روشن خودرو شنیده‌ایم. این صدای تق تق گرچه پیامد خطرناکی ندارد یا چندان آزار دهنده نیست اما نماد بارزی از تداخل الکترومغناطیسی^۱ است که تلفن همراه بر روی دستگاه الکترونیکی مجاور خود به وجود می‌آورد. می‌توان گفت سازگاری الکترومغناطیسی^۲ علمی است که هدفش به حداقل رساندن تداخلاتی از این دست است. از دید انجمن مهندسان برق و الکترونیک (IEEE) سازگاری الکترومغناطیسی علمی است که موضوع آن منابع، کنترل و اندازه‌گیری اثرات الکترومغناطیسی روی سیستم‌های الکترونیکی و زیستی است^۳. به صورت کلی یک دستگاه الکترونیکی باید به گونه‌ای طراحی شود که:
۱- نویزهای ساطع شده از آن تاثیر مخربی بر دیگر دستگاه‌ها و محیط اطراف آن نگذارد (تشعشع)^۴
۲- از نویزهای منتشر شده از دستگاه‌های دیگر یا نویزهای محیطی نیز تاثیر نپذیرد (حساسیت‌پذیری یا مصونیت)^۵.

مثال‌هایی از عدم سازگاری الکترومغناطیسی

مثال‌های متعددی از تداخل الکترومغناطیسی وجود دارد که منجر به فاجعه شده است. با هم چند مورد از این اتفاقات را که در محیط‌های شهری و نظامی اتفاق افتاده است، مرور می‌کنیم تا اهمیت رعایت استانداردهای EMC ملموس‌تر گردد.

وقتی نمونه اولیه یک دستگاه کپی در یک دفتر کار قرار داده شد، مشاهده گردید که با هر بار استفاده از دستگاه کپی ساعت دیواری دیجیتال موجود در دفتر روشن و خاموش شده یا عملکرد عجیبی از خود نشان می‌دهد. با پیگیری موضوع مشخص گردید SCRهایی که برای کنترل منبع تغذیه دستگاه کپی و تولید برق DC از برق شهر (AC) استفاده شده‌اند، نویز تولید می‌کنند. در واقع سوئیچ کردن برق AC به دلیل تغییر جریان، در طیف وسیعی از فرکانس نویز به وجود می‌آورد. این نویز از طریق سیم‌کشی AC به ساعت منتقل و عملکرد آن را مختل می‌ساخت [۱].

در سال‌های اول اختراع ترمزهای ABS خودروهای بنزی که به آن مجهز شده بودند در بخش خاصی از یک اتوبان دچار مشکل جدی ترمز می‌شدند. به دلیل اثری که یک فرستنده‌ی رادیویی در آن نزدیکی روی سیستم ABS می‌گذاشت راننده‌ها نمی‌توانستند در پیچ اتوبان ترمز کنند. برای حل مشکل یک حصار توری فلزی در کنار اتوبان کشیدند تا اثر تداخل الکترومغناطیسی را کم کند. از آن به بعد ترمزها درست کار کردند [۲].

در سال ۱۹۸۸ منابع متعددی گزارش دادند که هلیکوپترهای بلک‌هاوک جدید ارتش آمریکا حساسیت‌پذیری بالایی به تشعشعات الکترومغناطیسی دارند. مدارک نشان داد که از زمان به‌کارگیری این هلیکوپترها در سال ۱۹۸۲ بیست و دونفر از خدمه آن در اثر سوانحی که در مجاورت فرستنده‌های رادار، فرستنده‌های رادیویی نظامی و حتی فرستنده‌های رادیویی شهری رخ داده بود، جان خود را از دست داده‌اند. حساسیت‌پذیری سیستم کنترل پرواز به امواج الکترومغناطیسی به عنوان عامل این حوادث شناخته شد [۱].

بی‌شک فاجعه‌بارترین حادثه‌ای که در اثر عدم رعایت سازگاری الکترومغناطیسی به وجود آمده است مربوط به ناو هواپیمابر آمریکایی "فورستال" در جولای ۱۹۶۷ است. در عرشه این ناو چندین جنگنده مسلح با سوخت کاملاً پر، آماده‌ی عملیات بودند. هر هواپیمای جنگنده به ۱۰۰۰ پوند بمب، موشک‌های هوا به هوا و هوا به زمین مسلح شده بود. ناگهان موشکی از یکی از جنگنده‌ها شلیک و جنگنده دیگری را منفجر کرد. سپس باقی تانکرهای سوخت و جنگنده‌های مسلح مانند دانه‌های تسبیح یک به یک منفجر شدند. این فاجعه منجر به مرگ ۱۳۴ نفر از کارکنان ناو هواپیمابر گردید. در نهایت مشخص شد به وجود آمدن ولتاژ ناشی از فرکانس رادیویی بر روی اتصالات الکتریکی مدار فرمان شلیک، حادثه را به وجود آورده است. ولتاژ مذکور را یک رادار جستجوی توان بالا در مدار موشک ایجاد کرده بود [۲].



شکل ۱- انفجار در ناو هواپیمابر فورستال، ۱۹۶۷

در سال ۱۹۹۴ ماهواره STS-60 با هدف ایجاد خلاء با کیفیت بالاتر پرتاب شد. به دلیل آن که ماهواره کوچکی که در این تجربه استفاده شده بود نتوانست در موقعیت درست اتصال قرار گیرد، ماموریت با شکست مواجه

6. Forrestal

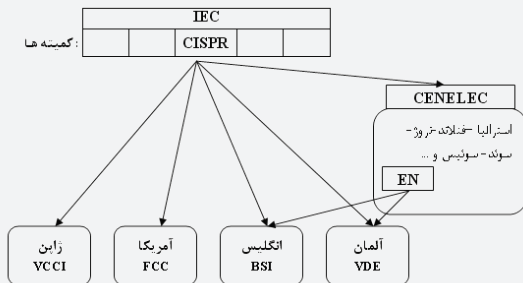
1. Electromagnetic Interference(EMI)
2. Electromagnetic Compatibility (EMC)
3. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): Origin, control, and measurement of electromagnetic effects on electronic and biologic systems.
4. Emission
5. Susceptibility or Immunity

گردید. دلیل این امر اختلال الکترومغناطیسی در سیستم کنترل وضعیت بود. تزویج سلفی بین کابل بدون پوشش حسگر کنترل وضعیت و باس تغذیه ماهواره تداخل ایجاد می‌کرد. کابل سیستم کنترل وضعیت دوباره طراحی شد و پوشش فلزی به آن اضافه گردید. این درس ناخوشایندی بود که به قیمت شکست در یک ماموریت پرهزینه فضایی آموخته شد [۲].

تاریخچه

می‌توان گفت مساله‌ی تداخل و سپس سازگاری الکترومغناطیسی در اواخر سده نوزدهم میلادی و با آزمایش مارکونی بر روی اولین جرقه‌گیر شروع شده است. از دهه‌ی ۱۹۲۰ مقالاتی در مجله‌های مختلف در مورد تداخلات رادیویی منتشر شده است. تداخلات رادیویی ناشی از دستگاه‌های برقی مانند موتورهای برقی و راه‌آهن برقی در دهه‌ی ۱۹۳۰ تبدیل به مشکل بزرگی شد [۱]. جالب است بدانیم که در حوزه‌ی نظامی، قبل از جنگ جهانی اول و با نصب اولین بی‌سیم بر روی خودرو نخستین نشانه‌های تداخل رادیویی مشاهده و مورد توجه قرار گرفته است. البته تا سال ۱۹۳۴ طول کشید تا اولین استاندارد نظامی آمریکا به شماره SCL-49 و با عنوان "پوشش الکتریکی و منبع تغذیه بی‌سیم در خودروها" که به موضوع تداخل الکترومغناطیسی می‌پرداخت منتشر شود [۳]. در همان سال ۱۹۳۴ کمیته CISPR7 در نتیجه‌ی به هم پیوستن چند سازمان بین‌المللی و با هدف تدوین استانداردهای سازگاری الکترومغناطیسی یا به عبارت دیگر تعیین کردن روش‌های اندازه‌گیری و حدود تداخلات الکترومغناطیسی، تشکیل شد. از سال ۱۹۵۰ کمیته CISPR به صورت رسمی زیرمجموعه IEC^۸ (کمیته بین‌المللی الکتروتکنیک) قرار گرفت که وظیفه آن تدوین استانداردهای بین‌المللی است. در سال ۱۹۶۷ مهم‌ترین اتفاق در حوزه EMC تدوین و الزامی شدن دو استاندارد نظامی MIL-STD-461, 462 بود که حدود تداخلات الکترومغناطیسی و روش‌های اندازه‌گیری آن‌ها را برای تجهیزات نظامی تعیین می‌کرد. سپس در سال ۱۹۷۹ به دلیل مشکل روزافزون تداخلات ناشی از انتشارات ناخواسته از دستگاه‌های دیجیتال با سیستم‌های مخابراتی، در آمریکا FCC^۹ قانونی برای سطح انتشار مجاز از دستگاه‌های دیجیتال تصویب کرد. در این قانون روش آزمون و حدود برپایه توصیه‌های CISPR تنظیم شده بود. در اواسط دهه‌ی ۸۰ میلادی اتحادیه اروپا برای اولین بار سری استانداردهایی را که هر دو مساله انتشار و حساسیت پذیری (مصونیت) را در نظر می‌گرفت برای تجهیزاتی که در بازار اعضای اتحادیه عرضه می‌شدند، اجباری کرد [۴]. بدین ترتیب تمام کشورها از جمله ایران به تدریج استانداردهای سازگاری الکترومغناطیسی را الزامی نموده و اغلب آن‌ها از روش‌های توصیه شده در IEC برای تدوین استانداردهای بومی خود بهره بردند. در نمودار شکل (۱) ارتباط استانداردهای محلی برخی از کشورها با CISPR نشان داده شده است. در حین تحولات در حوزه استانداردهای تجاری EMC، نسخه‌های به روز شده استانداردهای

نظامی MIL-STD-461,462 در سال‌های مختلف منتشر می‌گشت. در سال ۱۹۹۹ از تجمیع این دو استاندارد نظامی، استاندارد MIL-STD-461E تدوین شد که هم روش‌ها و هم حدود آزمون را دربرمی‌گرفت. آخرین اصلاحات در سال ۲۰۰۷ بر روی استاندارد 461 انجام و نسخه MIL-STD-461F منتشر گشت [۵].



شکل ۱ - برخی از کشورهایی که از توصیه‌های CISPR برای تدوین استانداردهای محلی خود استفاده کرده‌اند.

نویز و مکانیزم‌های تداخل الکترومغناطیسی

واضح است که برای حذف تداخلات الکترومغناطیسی ابتدا باید منبع این تداخلات و نحوه اثرگذاری آن‌ها را به خوبی شناخت. به طور کلی می‌توان گفت نویز در یک مدار عبارت است از هر سیگنال الکتریکی به غیر از سیگنال اصلی که در آن مدار وجود دارد. در این تعریف اعوجاج که بر اثر عوامل غیرخطی در یک مدار به وجود می‌آید، در نظر گرفته نشده است. اعوجاج اگرچه نامطلوب است ولی تاوقتی که با مدار دیگری تزویج نشود نویز محسوب نمی‌گردد [۶].

منابع نویز را می‌توان به سه دسته عمده تقسیم نمود (۱) منابع نویز ذاتی که در اثر نوسانات در سیستم‌های فیزیکی به وجود می‌آیند مانند نویزهای حرارتی و ضربه؛ (۲) نویزهایی که انسان تولید می‌کند مانند نویز ناشی از موتورها، سوییچ‌ها، کامپیوترها، الکترونیک دیجیتال و فرستنده‌های رادیویی؛ (۳) نویز با منشأ طبیعی مانند نویز در اثر رعد و برق یا لکه‌های خورشیدی [۶].

تداخل اثر نامطلوب نویز است. اگر ولتاژ نویزی باعث عملکرد نامناسب در مداری شود، تداخل به وجود آمده است. نویز را نمی‌توان حذف کرد ولی می‌توان از تداخل جلوگیری کرد. در اصل می‌توان دامنه نویز را تا جایی که دیگر تداخل ایجاد نکند، کاهش داد [۶].

به منظور جلوگیری از تداخلات باید مکانیزم اثرگذاری آن بر دستگاه‌ها شناخته شود. گفته شد که تجهیزات می‌توانند بر محیط اطراف اثر بگذارند (تشنه‌ش) یا از تداخلات موجود در محیط اثر بپذیرند (مصونیت یا حساسیت‌پذیری).^{۱۰} با توجه به تجربیاتی که در این سال‌های طولانی اندوخته شده است، اغلب

۱۰. در استانداردهای تجاری عنوان آزمون‌های اثرپذیری، مصونیت یا همان Immunity است، اما در استانداردهای نظامی آمریکا عنوان حساسیت‌پذیری یا Susceptibility به آزمون‌های اثرپذیری دستگاه از محیط اطراف داده شده است. البته نام‌گذاری اخیر بهتر است زیرا از اشتباه رایج بین دو مفهوم تداخل الکترومغناطیسی مصونیت الکترومغناطیسی، هر دو با مخفف EMI، (Electromagnetic Immunity) یا نویز الکترومغناطیسی (Electromagnetic Interference) جلوگیری می‌کند.

7. Comite International Special des Perturbations Radioelectriques (French name) or, International Special Committee on Radio Interference (CISPR)
8. International Electrotechnical Committee
9. Federal Communications Commission (FCC)

استانداردهای سازگاری الکترومغناطیسی

اغلب استانداردهای EMC آزمون‌ها را بر اساس مکانیزم‌های ترویج دسته‌بندی کرده‌اند. به عنوان اگر مثال به برخی از استانداردهای IEC در جداول (۱) و (۲) که مبنای استاندارد ملی ایران در زمینه سازگاری الکترومغناطیسی قرار گرفته است توجه کنید، آزمون‌ها در ابتدا به دو دسته کلی مصونیت (حساسیت‌پذیری) و انتشاری تقسیم شده‌اند. هر کدام از این دو دسته آزمون نیز در دو حالت هدایتی و تشعشی تعریف شده‌اند.

واضح‌ترین این تقسیم‌بندی‌ها بر اساس مکانیزم ترویج در استاندارد نظامی MIL-STD-461F انجام شده است که در دیاگرام شکل (۴) به خوبی مشخص است. آزمون‌ها دو دسته عمده هدایتی و تشعشی دارند. آزمون هدایتی می‌تواند انتشار از کابل‌های دستگاه باشد (CE) یا حساسیت‌پذیری دستگاه از ناحیه کابل‌های متصل به آن (CS) در آزمون بررسی شود. به همین ترتیب آزمون تشعشی نیز به دو دسته حساسیت‌پذیری تشعشی (RS) دستگاه از انتشارات بیرونی و انتشار تشعشی (RE) دستگاه که در محیط اطراف پخش می‌شد تقسیم می‌گردد. در هر دسته بازه فرکانسی، دامنه و چیدمان هر آزمون با آزمون مشابه متفاوت است. نحوه انجام آزمون‌ها معمولاً

مکانیزم‌های اثرگذاری و اثرپذیری تجهیزات بر محیط و از محیط را خود به دو دسته مهم هدایتی و انتشاری تقسیم می‌کنند. به عبارت دیگر تداخل الکترومغناطیسی ممکن است از طریق کابل‌های یک دستگاه و به شکل هدایتی وارد دستگاه شده و خرابی به بار آورد یا ممکن است به صورت انتشاری و به عنوان مثال از طریق روزه‌های پوشش دستگاه وارد آن شده و خطا ایجاد کند. به همین ترتیب یک دستگاه نیز می‌تواند نویزهای ناخواسته الکترومغناطیسی را به شکل هدایتی و از طریق کابل‌های متصل به خود یا به صورت انتشار در فضای اطرافش، در محیط پیرامونی خود پخش کند. واضح است که هر کدام از این دو صورت هدایتی و انتشاری در حالت‌های مختلف ممکن است به یکدیگر تبدیل شوند. در شکل (۳) نمای کلی از نحوه ترویج نویز با پذیرنده نویز یا همان قربانی نویز نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می‌گردد برای این که مشکل تداخل به وجود بیاید باید یک منبع نویز، پذیرنده و مسیر ترویج وجود داشته باشد. منبع نویز، انرژی تولید می‌کند که از طریق مسیر ترویجی که بین منبع و پذیرنده وجود دارد، عملکرد پذیرنده را خراب می‌کند. مسیر ترویج ممکن است هدایتی یا انتشاری باشد یا نویز هدایتی منبع نویز در پذیرنده تبدیل به تداخل انتشاری شود و بالعکس.



شکل ۳ - مکانیزم‌های ترویج نویز [۷]

www.testmag.ir

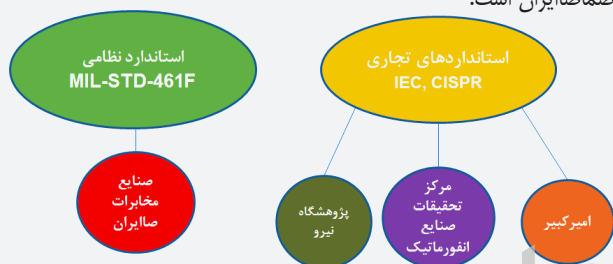
جدول ۱ - برخی از آزمون‌های مصونیت در استانداردهای تجاری IEC

Immunity	
Designation	Description
IEC EN 61000-4-2	Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test
IEC EN 61000-4-3	Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test
IEC EN 61000-4-4	Testing and measurement techniques - Electrical fast transient/burst immunity test
IEC EN 61000-4-5	Testing and measurement techniques - Surge immunity test
IEC EN 61000-4-6	Testing and measurement techniques - Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields
IEC EN 61000-4-7	Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto
IEC EN 61000-4-8	Testing and measurement techniques - Power frequency magnetic field immunity test
IEC EN 61000-4-9	Testing and measurement techniques - Pulse magnetic field immunity test
IEC EN 61000-4-11	Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests

Emission	
Designation	Description
CISPR 11	Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment - Electromagnetic disturbance characteristics - Limits and methods of measurement
CISPR 12	Vehicles, boats and internal combustion engine driven devices - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of receivers except those installed in the vehicle/boat/device itself or in adjacent vehicles/boats/devices
CISPR 14-1	Electromagnetic compatibility - Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus - Part 1: Emission
CISPR 22	Information technology equipment - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement

مراکز آزمون در ایران

مراکز عمده و رسمی انجام آزمون‌های تجاری در ایران دانشگاه امیرکبیر، مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک و پژوهشگاه نیرو هستند. مهم‌ترین و تنها مرکز انجام آزمون‌های نظامی نیز آزمایشگاه سازگاری الکترومغناطیسی صماصایران است.

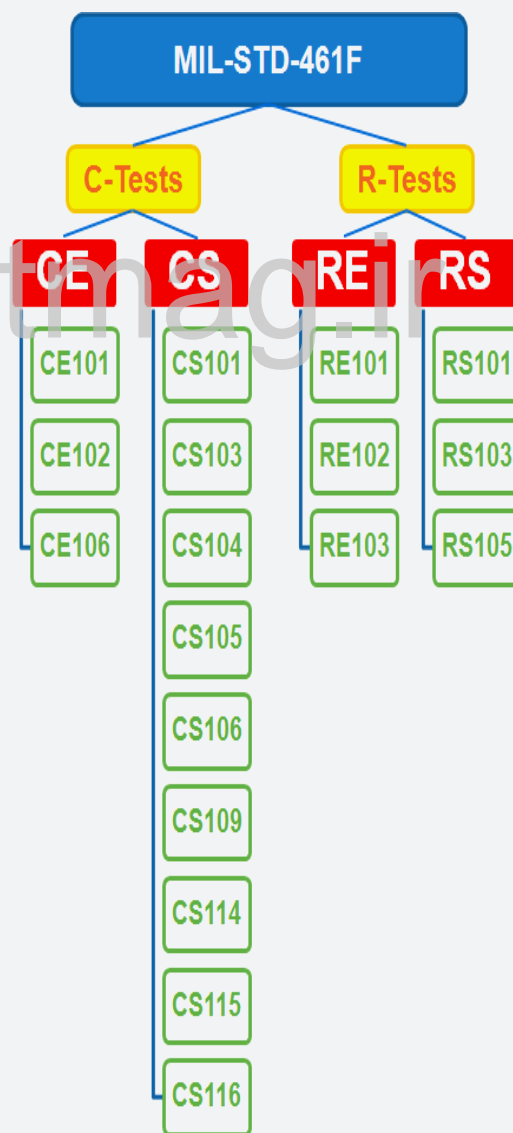


شکل ۵- دسته‌بندی آزمون‌های استاندارد سازگاری الکترومغناطیسی فضایی [۶]

مراجع

- [1] Clayton, R. Paul, "Introduction to Electromagnetic Compatibility", Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [2] Leach, R.D., Alexander, M.B., "Electronic Systems Failures and Anomalies Attributed to Electromagnetic Interference", NASA Reference Publication 1374, July 1995.
- [3] Heirman, Don, "EMC Standards Activities", IEEE EMC Society Newsletter, summer-2010.
- [4] Morgan, David, "A Handbook for EMC Testing and Measurement", 2007
- [5] MIL-STD-461F, "Requirements for the Control of Electromagnetic Interference characteristics subsystems and equipment", 2007.
- [6] Ott, Henry, "Electromagnetic Compatibility Engineering", John Wiley & Sons, Inc. 2009
- [7] Lepkowski, Jim, AND8228/D, "Identification of transient voltage noise sources", <http://onsemi.com>, July 2005
- [8] MIL-STD-461F, "Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment", 2007

در اثر سال‌ها تجربه و مشاهدات عملی در حین کار دستگاه‌های مختلف در کمیته‌های فنی تعیین می‌شود. به همین دلیل هر از چند وقتی با تغییر تکنولوژی و زیادتر شدن تجربیات نسخه‌های جدیدی از استانداردهای EMC منتشر می‌گردد.



شکل ۴- دسته‌بندی آزمون‌های استاندارد سازگاری الکترومغناطیسی فضایی

[۶]