

АППАРАТУРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ

HARDWARE REALIZATION OF MEASUREMENTS OF ROOMS SHIELDING EFFICIENCY

Малай И.М. (I. Malay), Пивак А.В. (A. Pivak), Просыпкин С.Е. (S. Prosyppkin)

В настоящее время все более актуальной становится задача настройки и испытаний радиотехнических и радиоэлектронных средств, а также проведение испытаний технических средств (ТС) на электромагнитную совместимость (ЭМС) в условиях, при которых исключается или ослабляется до допустимого уровня влияние внешних электромагнитных полей на результаты измерений параметров испытываемого средства. В ряде случаев возникает необходимость ослабления электромагнитных полей, создаваемых испытуемым средством. В обоих случаях необходимые условия создаются за счет использования экранированных камер (ЭК), которые представляют собой экранированное или имеющее металлические внутренние поверхности помещение, сконструированное специ-



альным параметром камеры является эффективность экранирования, которая характеризует ослабление электромагнитного поля экраном и определяется методом сравнения результатов двух последовательных измерений электромагнитного поля между антеннами (рис. 1) — без экрана и ослабленного экраном. Значение эффективности экранирования Q в децибелах вычисляют по формуле:
 $Q = 10 \lg(\Pi_1/\Pi_2)$ — для электромагнитного поля, (1)
 где Π_1 и Π_2 — плотность потока энергии, измеренная без и в присутствии исследуемого экрана соответственно, Вт/м²;

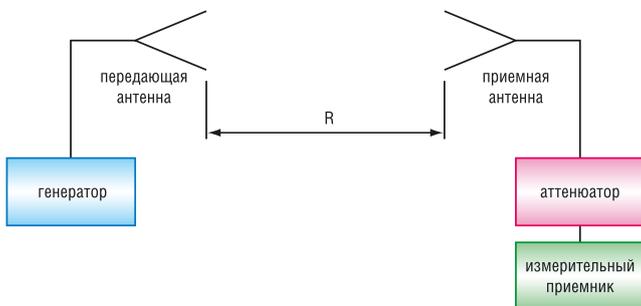


Рис. 1. Схема измерений эффективности экранирования

ально для отделения внутренней электромагнитной обстановки от внешней. Также сходные ЭК применяются, например, для экранировки помещений, к которым предъявляются специальные требования по обеспечению режима безопасности и противодействию технической разведке.

Согласно [1] ЭК относятся к испытательному оборудованию и их метрологическое обеспечение осуществляется согласно [2]. Это означает, что ЭК должны проходить метрологическую аттестацию, общие требования и порядок проведения которой подробно изложены в [2]. Основным нормативным документом, регламентирующим технические требования к ЭК, перечень основных характеристик и методы их испытаний, является [3].

При проведении аттестации ЭК ос-

При измерениях эффективности экранирования возникает проблема выбора измерительной аппаратуры, которая бы обеспечивала решение этой измерительной задачи для каждого из трех классов экранированных камер в зависимости от значений эффективности экранирования [1].

Измерение эффективности экранирования при аттестации выполняется по схеме, представленной на рис. 1.

Как видно из рисунка одним из определяющих факторов при выборе аппаратуры является энергетический потенциал измерительной установки — отношение мощности генератора к уровню собственных тепловых шумов приемника.

$$\text{ЭП} = P_{\text{ген}}/P_{\text{ш}}$$

Мощность сигнала на входе приемника $P_{\text{прм}}$ при условии отсутствия затухания сигнала, обусловленного кабелями и экраном можно записать:

$$P_{\text{прм}} = \frac{P_{\text{ген}} G_{\text{изл}} G_{\text{прм}} \lambda^2}{(4\pi R)^2}, \quad (2)$$

где: $G_{\text{изл}}$, $G_{\text{прм}}$ — коэффициенты усиления излучающей и приемной антенн, соответственно; R — расстояние между антеннами, м; λ — длина волны, м.

В логарифмическом масштабе это выражение может быть записано в следующем виде:

$$P_{\text{прм}}, \text{дБм} = P_{\text{ген}}, \text{дБм} + G_{\text{изл}}, \text{дБ} + G_{\text{прм}}, \text{дБ} - 20 \lg \left(\frac{R}{\lambda} \right) - 22. \quad (3)$$

Если учесть, что в передающем и приемном трактах будет присутствовать суммарное ослабление из-за влияния присоединительных элементов L (дБ), между антеннами будет находиться экран с эффективностью экранирования Q (дБ), а для обеспечения необходимой точности измерений необходимо, чтобы сигнал на входе приемника превышал уровень его собственных шумов на величину Δ (дБ), то выражение (3) примет вид:

$$P_{\text{ш}}, \text{дБм} = P_{\text{ген}}, \text{дБм} + G_{\text{изл}}, \text{дБ} + G_{\text{прм}}, \text{дБ} - 20 \lg \left(\frac{R}{\lambda} \right) - 22 - L - Q - \Delta$$

Откуда необходимый энергетический потенциал может быть записан как:

$$\text{ЭП}(\text{дБ}) = 22 + 20 \lg \left(\frac{R}{\lambda} \right) + L + Q + \Delta - G_{\text{изл}} - G_{\text{прм}}. \quad (4)$$

Расстояние между излучающей и приемной антеннами согласно [1] определяется соотношением:

Таблица 1					
Параметр	П6-59			П6-69	
Частота	1 ГГц	10 ГГц	18 ГГц	26,5 ГГц	40 ГГц
Длина волны, м	0,3	0,03	0,0167	0,0113	0,0075
G_A , дБ	6	19	20	21	20,5
r_A , м	0,3	0,3	0,3	0,09	0,09
Погонное ослабление кабеля UFB142A, дБ/м	0,36	1,08	1,48	1,81	2,23
Необходимый энергетический потенциал, дБ	112 (115)	132 (144)	145 (160)	132 (150)	145 (167)

$$R \geq \frac{2(r_{изл}^2 + r_{прм}^2)}{\lambda} + t, \quad (5)$$

где: $r_{изл}$, $r_{прм}$ — максимальные размеры раскрыва излучающей и приемной антенн, соответственно, м; λ — длина волны, м; t — толщина исследуемого экрана, м.

Для простоты будем полагать, что в качестве приемной и передающей используется одна и та же антенна с наибольшим геометрическим размером раскрыва r_A и коэффициентом усиления G_A , тогда выражение (4) без учета толщины стенки камеры примет вид:

$$ЭП(дБ) = 22 + 40 \lg \left(\frac{2r_A}{\lambda} \right) + L + Q + \Delta - 2G_A. \quad (6)$$

Для того, чтобы получить оценку необходимого энергетического потенциала аппаратуры в диапазоне частот от 1 до 40 ГГц возьмем в качестве антенн следующие: П6-59 (1-18 ГГц) и П6-69 (18-40 ГГц).

термостатированного опорного кварцевого генератора в приемнике и генераторе сигналов или два внешних генератора внутри и снаружи камеры с повышенной стабильностью (например, рубидиевые стандарты частоты).

Энергетический потенциал измерительной установки при использовании генератора SMF-100A с опцией SMF-B32 и различных приемников с полосой пропускания 10 Гц представлен в таблице 3.

Для наиболее распространенного диапазона частот до 1 ГГц, в котором используются ЭК для целей ЭМС и противодействия техническим разведкам, компания Rohde & Schwarz предлагает специализированную установку TFZS. Установка включает в себя переносной приемный модуль на базе анализатора спектра FSV и широкополосной активной антенны, переносной передающий модуль на базе интегрированной измерительной системы IMS

ной радиоизмерительной аппаратуре компании Rohde&Schwarz без использования дополнительных усилителей мощности и маломощных усилителей на выходе приемной антенны позволяют сделать следующие выводы:

1) для измерения эффективности экранирования камер II класса (80 дБ) не слишком больших размеров при длине передающего (приемного) кабеля не более 5 метров достаточно иметь серийный генератор SMF100A с опцией повышенной мощности SMF-B32 и новый анализатор спектра среднего класса FSV40 (без предусилителя);

2) для измерения эффективности экранирования камер II класса больших размеров при длине передающего (приемного) кабеля 5-10 метров необходимо использовать серийный генератор SMF100A с опцией повышенной мощности SMF-B32 и анализатор спектра (измерительный приемник) высшего класса FSU43 (ESU40) с опцией предусилителя FSU-B24 (ESU-B24) или FSV40 с предусилителем для верхнего участка частотного диапазона 30-40 ГГц;

3) при измерениях больших значений эффективности экранирования (III класс до 120 дБ) необходимо использовать дополнительные усилители мощности BBA100 на входе передающей антенны и маломощные усилители на выходе приемной антенны;

4) при измерениях эффективности экранирования помещений сложной конфигурации, требующих большого количества измерений и протоколирования результатов, необходимо использовать специализированную систему TFZS.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ РВ 8.570-98. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение испытаний вооружения и военной техники. Основные положения.
- ГОСТ Р 8.568-97. Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения.
- ГОСТ Р 50414-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование для испытаний. Камеры экранированные. Классы, основные параметры, технические требования и методы испытаний. ☑

In this article requirements to characteristics of means of the measurements used for certification of rooms with high shielding properties, and ways of achievement of a necessary dynamic range of measurements are considered.

Таблица 2

Частота	1 ГГц	10 ГГц	18 ГГц	26,5 ГГц	40 ГГц
Гарантированная выходная мощность генератора SMF100A с опцией SMF-B32 (повышенная выходная мощность), дБм	25	25	22	16	12
Гарантированный уровень собственных шумов в полосе пропускания 10 Гц (с предусилителем), дБм					
FSP40 (с опцией FSP-B25)	-142 (-152)	-132	-120	-115	-112
FSV40 (с опцией FSV-B22)	-142 (-152)	-138	-134	-134	-131
FSU43 (с опцией FSU-B24)	-142 (-154)	-140 (-155)	-138 (-155)	-135 (-153)	-128 (-148)
ESU40 (с опцией ESU-B24)	-142 (-152)	-138 (-155)	-136 (-153)	-133 (-150)	-128 (-145)

Будем считать, что приемный и передающий кабели имеют одинаковую длину по 5(10) метров, в качестве кабеля используется высококачественный кабель UFB142A со сверхмалым затуханием, метрологический запас Δ равен 6 дБ, а необходимая измеряемая эффективность экранирования равна 80 дБ (камера II класса).

(включает в себя генератор до 3 ГГц, усилитель 10 Вт до 1 ГГц, коммутационные устройства для подключения антенн и т.д) и всенаправленной антенны, а также специализированного программного обеспечения для автоматизации процесса измерений и документирования результатов измерений коэффициента экранировки. Энергети-

Таблица 3

Частота	1 ГГц	10 ГГц	18 ГГц	26,5 ГГц	40 ГГц
FSP40 (с опцией FSP-B25)	167 (177)	157	142	131	124
FSV40 (с опцией FSV-B22)	167 (177)	163	156	150	143
FSU43 (с опцией FSU-B24)	167 (179)	165 (180)	160 (177)	151 (169)	140 (160)
ESU40 (с опцией ESU-B24)	167 (177)	163 (180)	158 (175)	149 (168)	140 (157)

Рассмотрим радиоизмерительную аппаратуру компании Rohde&Schwarz, которая может быть использована для проведения подобных измерений (см. табл. 2).

Следует отметить, что для того, чтобы использовать при измерениях узкую полосу пропускания приемника (10 ГГц) необходимо, чтобы нестабильности опорных источников генератора и приемников не приводили к выходу частоты генератора за полосу пропускания приемника. Для этого целесообразно использовать дополнительную опцию

ческий потенциал TFZS в штатном диапазоне частот до 1 ГГц превышает 185 дБ. Система является гибкой и позволяет программному обеспечению поддерживать не только штатный передающий модуль, но и любые генераторы от компании Rohde & Schwarz (включая SMF100A) со встроенными или внешними усилителями, например, новыми модульными усилителями мощности Rohde & Schwarz BBA100.

Сравнение требуемого энергетического потенциала с потенциалом, который может быть реализован на серий-