

УДК 535.241

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ
ГОСУДАРСТВЕННОГО РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА
ЕДИНИЦ НАПРЯЖЁННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ
ОТ 10 Гц ДО 300 МГц**

А.А. Смирнов

*ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл., Россия,
smirnov_aa@vniiftri.ru*

Аннотация. Работа посвящена разработке методики калибровки Государственного рабочего эталона единиц напряжённости электрического и магнитного полей в диапазоне частот от 10 Гц до 300 МГц.

Ключевые слова: рабочий эталон, калибровка, единицы напряжённости электрического и магнитного полей.

**DEVELOPMENT OF A PROCEDURE FOR CALIBRATION
OF THE STATE WORKING STANDARD OF ELECTRIC AND
MAGNETIC FIELD STRENGTH UNITS IN THE FREQUENCY
RANGE FROM 10 Hz TO 300 MHz**

A.A. Smirnov

*FSUE "VNIIFTRI", Mendeleevo, Moscow region, Russia,
smirnov_aa@vniiftri.ru*

Annotation. The work is devoted to the development of a calibration procedure for the State working standard of electric and magnetic field strength units in the frequency range from 10 Hz to 300 MHz.

Key words: working standard, calibration, electric and magnetic field strength units.

Цель работы заключается в разработке методики калибровки Государственного рабочего эталона единиц напряжённости электрического и магнитного полей в диапазоне частот от 10 Гц до 300 МГц (РЭНЭМП-10Г/300М) для обеспечения возможности проверки повторяемости (стабильности) калибровочных коэффициентов РЭНЭМП-10Г/300М после изменений состава аппаратуры эталона.

Государственный рабочий эталон единиц напряжённости электрического и магнитного полей РЭНЭМП-10Г/300М воспроизводит и передаёт следующие величины:

- среднее квадратичное значение напряжённости переменного электрического поля с синусоидальной временной зависимостью;
- среднее квадратичное значение напряжённости переменного магнитного поля с синусоидальной временной зависимостью.

Диапазон частот при воспроизведении напряжённости электрического поля составляет от 10 Гц до 300 МГц, а для магнитного поля — от 10 Гц до 30 МГц.

Диапазон воспроизведения напряжённости электрического поля составляет от 0,25 до 2,5 В/м, а для магнитного поля — от 0,8 до 8 мА/м.

Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения напряжённости электрического поля составляют $\pm 4,5\%$ в диапазоне частот от 10 Гц до 30 МГц и $\pm 12\%$ — в диапазоне частот от 30 до 300 МГц.

Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения напряжённости магнитного поля составляют $\pm 6,0\%$.

Рабочий эталон единиц напряжённости электрического и магнитного полей РЭНЭМП-10Г/300М представляет собой генератор электромагнитного поля на базе четырёхпроводной линии передачи с ТЕМ-волной, в котором возбуждаются однородные линейно поляризованные электрическое и магнитное поля [1, 2]. Структурная схема РЭНЭМП-10Г/300М приведена на рис.

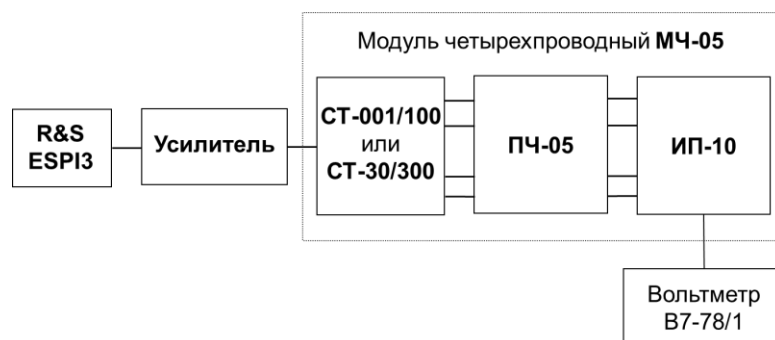


Рис. Структурная схема РЭНЭМП-10Г/300М

Симметрирующий трансформатор (СТ-001/100 или СТ-30/300) предназначен для получения симметричного напряжения и согласования выходного сопротивления генератора и входного сопротивления преобразователя четырёхпроводного (ПЧ-05). Вход симметрирующего трансформатора подключается к генератору через коаксиальный кабель. Симметричное напряжение с выхода подаётся на проводники преобразователя четырёхпроводного ПЧ-05.

Преобразователь четырёхпроводный ПЧ-05 предназначен для возбуждения в пространстве между электродами электромагнитного поля с известными характеристиками. Он представляет собой отрезок четырёхпроводной линии с коническими переходами.

Измерительный преобразователь (ИП-10) предназначен для измерения тока, текущего в проводниках ПЧ-05. Входное сопротивление измерительного преобразователя ИП-10 равно волновому сопротивлению преобразователя четырёхпроводного ПЧ-05. Измерение тока обеспечивается при помощи термопреобразователя вакуумного бесконтактного типа ТВБ-4 с номинальным током 10 мА, включённого последовательно с нагрузочными резисторами. При этом напряжение термо-ЭДС через кабель подаётся на вольтметр постоянного тока В7-78/1.

Принцип работы РЭНЭМП-10Г/300М состоит в том, что при подаче на вход симметрирующего трансформатора через коаксиальный кабель синусоидального напряжения от генератора ЕSPIЗ в центре преобразователя четырёхпроводного ПЧ-05 возбуждается однородное электромагнитное поле с вертикальной поляризацией вектора напряжённости электрического поля и горизонтальной поляризацией вектора напряжённости магнитного поля. Область между проводниками преобразователя четырёхпроводного ПЧ-05 образует рабочий объём, в котором напряжённости электрического и магнитного полей могут быть определены с известной погрешностью.

Напряжённость электрического поля E в центре рабочего объёма ПЧ-05 вычисляется по формуле (1):

$$E = K_E \cdot J, \quad (1)$$

где K_E — калибровочный коэффициент по электрическому полю, Ом·м⁻¹; J — ток в нагрузке, мА.

Напряжённость магнитного поля H в центре рабочего объёма ПЧ-05 вычисляется по формуле (2):

$$H = K_H \cdot J, \quad (2)$$

где K_H — калибровочный коэффициент по магнитному полю, м⁻¹; J — ток в нагрузке, мА.

Коэффициенты калибровки РЭНЭМП-10Г/300М приведены в таблице. Для частот от 10 Гц до 9 кГц значения K_E и K_H равны соответственно значениям K_E и K_H на частоте 9 кГц.

Однако коэффициенты калибровки могут с течением времени изменяться. Например, в связи с возможным выходом из строя термопреобразователя вакуумного бесконтактного типа ТВБ-4.

В результате работы создан проект методики калибровки РЭНЭМП-10Г/300М, заключающийся в том, что при помощи транспортируемого эталона ТЭНЭП проводятся измерения в эталонных установках из состава ГЭТ45-2011 с фиксацией частоты, напряжённости поля и показаний ТЭНЭП.

Определение коэффициента калибровки РЭНЭМП-10Г/300М по электрическому полю производится методом сличения напряжённости электрического поля, воспроизводимого в РЭНЭМП-10Г/300М, и напряжённости электрического поля, воспроизводимого в эталонных установках из состава Государственного эталона ГЭТ 45-2011.

Измерения производятся при помощи дипольной антенны транспортируемого эталона напряжённости электрического поля ТЭНЭП-01 с внешним вольтметром постоянного тока, подключённым согласно руководству по эксплуатации ТЭНЭП-01.

По полученным данным рассчитываются новые калибровочные коэффициенты четырёхпроводной линии по электрическому полю K_E .

Таблица

Коэффициенты калибровки РЭНЭМП-10Г/300М

F , МГц	K_E , Ом/м	K_H , 1/м
0,009	230,4	0,7691
0,15	230,4	0,7691
0,3	230,5	0,7690
0,5	231,0	0,7690
1	230,7	0,7672
3	228,7	0,7678
5	227,2	0,7713
10	224,3	0,7789
20	208,4	0,8331
30	206,6	0,8712
50	216,0	–
75	243,0	–
100	262,1	–
125	307,9	–
150	332,5	–
175	301,8	–
200	241,4	–
225	252,2	–
250	258,3	–
275	373,6	–
300	331,0	–

Определение коэффициента калибровки РЭНЭМП-10Г/300М по магнитному полю K_H производится методом сличения напряжённости магнитного поля, воспроизводимого в РЭНЭМП-10Г/300М, и напряжённости магнитного поля, воспроизводимого в эталонной установке из состава Государственного эталона ГЭТ44-2010. Измерения производятся при помощи измерительной магнитной антенны П6-70. По полученным данным рассчитываются новые калибровочные коэффициенты четырёхпроводной линии по магнитному полю K_H .

Данная методика калибровки позволит контролировать повторяемость (стабильность) коэффициента калибровки.

Список литературы

1. Бузинов В.С. Эталонные измерения параметров радиочастотного электромагнитного поля. — Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2019. — 260 с.
2. Механников А.И. Метрология в радиоэлектронике. Физические основы радиотехнических эталонов. — Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2009. — 175 с.

Статья поступила в редакцию: 01.10.2021 г.

Статья прошла рецензирование: 28.10.2021 г.

Статья принята в работу: 01.11.2021 г.