



ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ЕЛЕКТРОРАДІОВИМІРЮВАНЬ



Підручник

За редакцією д-ра техн. наук, проф. Ю. Ф. Павленка

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«Харківський політехнічний інститут»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ЕЛЕКТРОРАДІОВИМІРЮВАНЬ

Підручник
для студентів вищих технічних навчальних закладів

За редакцією д-ра техн. наук, проф. Ю. Ф. Павленка

Затверджено Міністерством освіти і науки України

Харків
Підручник НТУ «ХПІ»
2014

УДК 621.317

ББК 31.221

3-38

Автори :

Ю. Ф. Павленко, д-р техн. наук, проф., *І. П. Захаров*, д-р техн. наук, проф.,
С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф., *В. К. Гусельников*, к.т.н., проф.

Рецензенти :

І. В. Руженцев, д-р техн. наук, Харківський національний університет радіоелектроніки;
М. Д. Кошовий, д-р техн. наук, Харківський національний аерокосмічний університет;
О. В. Прокопов, д-р фіз.-мат. наук, Національний науковий центр «Інститут метрології»

Гриф надано Міністерством освіти і науки України
(лист № 1/11-9617 від 06.06.2013 р.)

Забезпечення єдності електрорадіовимірювань : підручник /
3-38 Ю. Ф. Павленко, І. П. Захаров, С. І. Кондрашов, В. К. Гусельников ; за ред.
Ю. Ф. Павленка. - Х. : Вид-во «Підручник НТУ «ХП», 2014. - 236 с.

ISBN 978-617-687-009-8

У підручнику розглядаються основні складові системи забезпечення єдності вимірювань, найбільша увага приділяється принципам побудови первинних еталонів основних одиниць SI та одиниць у галузі електрорадіовимірювань, питанням побудови повірочних схем і простежуваності результатів вимірювання до еталонів. Аналізуються перспективи подальшого вдосконалення системи забезпечення єдності, зокрема розвитку квантової метрології і перевизначення деяких одиниць у напрямку простежуваності до фундаментальних фізичних сталих.

Призначено для студентів і викладачів ВНЗ, а також фахівців у галузі метрології і вимірювальної техніки.

Іл. 136. Табл. 11. Бібіограф.: 46 назв.

УДК 621.317
ББК 31.221

ISBN-978-617-687-009-8

© Вид-во «Підручник НТУ «ХП», 2014

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень та скорочень	3
Вступ.....	5
Розділ 1. ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ.....	6
1.1. Про термін «єдність вимірювань».....	6
1.2. Міжнародна система одиниць.....	6
1.3. Структура системи забезпечення єдності вимірювань.....	9
1.4. Нормативно-правова основа системи ЗЄВ.....	10
1.5. Організаційна основа забезпечення єдності вимірювань.....	12
1.6. Наукова основа забезпечення єдності вимірювань.....	14
1.7. Технічна основа системи забезпечення єдності вимірювань.....	14
1.7.1. Система державних еталонів.....	15
1.7.2. Стандартні зразки властивостей речовин та матеріалів.....	17
1.7.3. Сукупність робочих засобів вимірювальної техніки.....	18
1.7.4. Система передачі розміру одиниць.....	20
1.7.5. Стандартні довідкові дані про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів.....	22
1.8. Забезпечення єдності вимірювань у міжнародному масштабі.....	24
Контрольні питання.....	24
Розділ 2. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПОБУДОВИ ЕТАЛОНІВ.....	25
2.1. Функції еталона.....	25
2.2. Класифікація еталона.....	26
2.3. Особливості еталонів в порівнянні з іншими засобами вимірювальної техніки.....	26
2.4. Нормовані метрологічні характеристики еталонів.....	28
2.4.1. Способи подання характеристик похибок первинного еталона.....	28
2.4.2. Способи подання характеристик похибок вторинних еталонів.....	29
2.5. Обчислення характеристик похибок еталонів.....	29
2.6. Обчислення характеристик невизначеності еталонів.....	31
2.7. Взаємне перерахування характеристик похибок і невизначеності вимірювань.....	35
2.7.1. Перерахування від характеристик похибки до оцінок невизначеності вимірювань.....	35
2.7.2. Перерахування від невизначеності до оцінок характеристик похибки вимірювань.....	36
2.8. Передача розмірів одиниць ФВ від еталонів робочим засобам вимірювальної техніки	36
2.8.1. Повірочні схеми	36
2.8.2. Методи вимірювань, що застосовуються при передаванні одиниці.....	39
Контрольні питання	40

Розділ 3. ЕТАЛОНИ ОСНОВНИХ ОДИНИЦЬ SI	41
3.1. Секунда.....	41
3.2. Метр.....	50
3.3. Ампер.....	57
3.4. Еталон одиниці температури.....	60
3.5. Кандела.....	68
3.6. Кілограм.....	71
3.7. Моль.....	73
3.8. Висновок	74
Контрольні питання	74

Розділ 4. СИСТЕМА ЕТАЛОНІВ У ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРОРАДІОВИМІРЮВАНЬ. КВАНТОВІ (БАЗОВІ) ЕТАЛОНИ СИСТЕМИ	76
4.1. Одиниці ФВ, що застосовуються в злектрорадіовимірюваннях. Еволюція методології відтворення.....	76
4.2. Квантові ефекти та еталони електричних одиниць на їх основі.....	79
4.3. Система еталонів в області електрорадіовимірювань.....	81
4.4. Еталон вольт на ефекті Джозефсона.....	83
4.4.1. Фізична суть ефекту Джозефсона.....	83
4.4.2. Структурна схема еталона.....	85
4.5. Еталон ома на основі квантового ефекту Холла.....	93
4.5.1. Фізична суть ефекта Холла.....	93
4.5.2. Структурна схема еталона.....	95
4.5.3. Про можливості атестації мір опору за допомогою еталонної ємності.....	99
4.6. Еталон одиниці магнітної індукції на ефекті ядерного магнітного резонансу.....	100
4.7. Еталон ампера на основі квантових ефектів	106
4.8. Висновок	108
Контрольні питання	109

Розділ 5. ЕТАЛОНИ ОДИНИЦЬ НАПРУГИ І СИЛИ ЗМІННОГО СТРУМУ	110
5.1. Еталони одиниці напруги змінного струму.....	110
5.1.1. Параметри змінної напруги.....	110
5.1.2. Основні методи точного вимірювання (відтворення) напруги змінного струму	111
5.1.3. Еталон змінної напруги в діапазоні низьких і середніх частот.....	114
5.1.4. Еталон одиниці напруги на високих частотах.....	119
5.2. Узгодження розміру вольт в частотному і динамічному діапазонах.....	128
5.2.1. Еталон високої напруги постійного та змінного струму.....	128
5.2.2. Узгодження еталонів вольт	129

5.3. Еталони одиниці сили змінного струму	130
5.3.1. Еталони сили струму в діапазоні низьких і середніх частот.....	130
5.3.2. Еталони сили струму в діапазоні високих частот	133
5.4. Узгодження розміру ампера в частотному і динамічному діапазонах.....	136
5.5. Висновки.....	137
Контрольні питання.....	139

Розділ 6. ЕТАЛОНИ ПАРАМЕТРІВ ІНТЕНСИВНОСТІ	140
6.1. Еталони одиниці електричної потужності.....	140
6.1.1. Еталони потужності змінного струму на промисловій частоті.....	141
6.1.2. Еталони одиниці потужності електромагнітних коливань ВЧ- і НВЧ-діапазонів.....	146
6.2. Еталони одиниць напруженості електромагнітного поля.....	151
6.2.1. Загальні положення.....	151
6.2.2. Еталон напруженості електричного поля на частотах до 30 МГц.....	154
6.2.3. Еталон напруженості електричного поля в діапазоні вище 30 МГц.....	156
6.2.4. Еталон напруженості магнітного поля в діапазоні до 30 МГц.....	159
6.3. Еталон одиниці спектральної густини потужності шумового радіовипромінювання.....	161
6.4. Висновки	165
Контрольні питання.....	165

Розділ 7. ЕТАЛОНИ ОДИНИЦЬ ПАРАМЕТРІВ ЛАНЦЮГІВ І ТРАКТІВ.....	166
7.1. Еталон одиниці електричної ємності	166
7.2. Еталон одиниці індуктивності.....	175
7.3. Еталони одиниці кута фазового зсуву між двома напругами.....	178
7.4. Поняття про еталони параметрів трактів з розподіленими постійними.....	181
7.5. Висновки.....	186
Контрольні питання.....	186

Розділ 8. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ І РАДІОТЕХНІЧНИХ СИГНАЛІВ.....	187
8.1. Загальні відомості про вимірювання параметрів сигналів.....	187
8.2. Забезпечення єдності вимірювань нелінійних спотворень.....	189
8.2.1. Загальні відомості про спотворення сигналів. Нелінійні спотворення.....	189
8.2.2. Еталон одиниці коефіцієнта гармонік.....	192

8.3. Еталон одиниці коефіцієнта амплітудної модуляції.....	195
8.3.1. Параметри АМ-сигналу.....	195
8.3.2. Апаратурне рішення та характеристики еталона.....	198
8.4. Еталон одиниці девіації частоти частотно-модульованих коливань.....	201
8.4.1. Параметри сигналу з кутовою модуляцією.....	201
8.4.2. Апаратурне рішення та характеристики еталона.....	204
8.5. Метрологічне забезпечення вимірювальних генераторів.....	211
8.6. Про метрологічне забезпечення осцилографів, аналізаторів спектра та інших багатофункційних засобів вимірювань.....	213
8.7. Висновки.....	214
Контрольні питання.....	214

Розділ 9. ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ... 215

9.1. Перспективи вдосконалення системи одиниць SI.....	215
9.1.1. Явні визначення одиниць.....	219
9.1.2. Визначення через сталі.....	219
9.2. Рішення 24 засідання ГКМВ (2011 р.).....	219
9.3. Аналіз запропонованих визначень основних одиниць.....	221
9.4. Про можливість створення природного еталона маси.....	222
9.4.1. Метод ваг-вагів.....	222
9.4.2. Метод простежуваності до сталої Авогадро.....	223
9.5. Наслідки впровадження нової SI.....	225
9.6. Очікуваний вплив перевизначення основних одиниць на ФФС і науку в цілому.....	227
9.7. Висновки.....	227
Контрольні питання.....	228
Список джерел інформації.....	229