

УДК 621.373(075)  
ББК 32.848-041.3я73  
Х76

Рецензенты:

*Е. Д. Бычков*, д-р техн. наук, профессор кафедры  
«Телекоммуникационные, радиотехнические системы и сети» ОмГУПС;  
*А. А. Губарев*, канд. техн. наук, начальник отдела разработки НПО «МИР»

**Хоменко, И. В.**

Х76 Кварцевые резонаторы и генераторы : учеб. пособие / И. В. Хоменко, А. В. Косых ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2018. – 160 с. : ил.

ISBN 978-5-8149-2583-1

Приведены основы теории, расчёта и моделирования схем автогенераторов, сведения о принципе действия кварцевых резонаторов, их электрических и эксплуатационных характеристиках. Даны описания моделей кварцевых резонатора и автогенератора с результатами моделирования. Представлены варианты заданий и примеры расчётов.

Предназначено для студентов очной и заочной форм обучения по радиотехническим направлениям и профилям, изучающих дисциплины «Устройства генерирования и формирования сигналов», «Радиопередающие устройства», «Устройства генерирования и синтеза частот». Может быть использовано при подготовке к аттестации по указанным дисциплинам, при выполнении домашних заданий, расчётно-графических работ, курсового проектирования, расчётов автогенераторов для выпускных квалификационных работ.

УДК 621.373(075)

ББК 32.848-041.3я73

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Омского государственного технического университета*

ISBN 978-5-8149-2583-1

© ОмГТУ, 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. КВАРЦЕВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ .....	6
1.1. ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ .....	6
1.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ .....	11
1.3. КОНСТРУКЦИЯ КВАРЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА .....	16
1.4. ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА КВАРЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА .....	17
1.5. ТИПЫ СРЕЗОВ КВАРЦЕВЫХ ПЛАСТИН .....	23
1.6. ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАРЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ .....	25
1.7. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КВАРЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ.....	30
1.8. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	38
2. АВТОГЕНЕРАТОРЫ .....	40
2.1. АВТОГЕНЕРАТОРЫ. БАЛАНС АМПЛИТУД. БАЛАНС ФАЗ .....	40
2.2. СХЕМЫ АВТОГЕНЕРАТОРОВ.....	46
2.2.1. Генераторы по трёхточечной схеме.....	47
2.2.2. Анализ трёхточечной ёмкостной схемы кварцевого генератора .....	51
2.2.3. Анализ влияния угла отсечки на мощность рассеивания в кварцевом резонаторе .....	59
2.2.4. Расчёт элементов ёмкостной трёхточечной схемы кварцевого генератора с учётом рассеиваемой мощности на резонаторе .....	61
2.3. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ КГ .....	64
2.4. УПРАВЛЯЕМЫЙ КВАРЦЕВЫЙ АВТОГЕНЕРАТОР .....	68
2.4.1. Расчёт управляющей ёмкости .....	70
2.4.2. Анализ схемы управляемого кварцевого автогенератора .....	75
2.4.3. Частотно-модулированные кварцевые автогенераторы .....	83
2.5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	84
3. МОДЕЛИРОВАНИЕ .....	86
3.1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ .....	86
3.1.1. Модель кварцевого резонатора .....	86
3.1.2. Модель трёхточечной схемы кварцевого генератора .....	89
3.1.3. Синтез ТЗП на основе математического моделирования .....	97
4. ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И ПРИМЕРЫ РАСЧЁТА АВТОГЕНЕРАТОРОВ .....	100

4.1. РАСЧЁТ LC-АВТОГЕНЕРАТОРА.....	100
4.2. РАСЧЁТ КВАРЦЕВОГО АВТОГЕНЕРАТОРА.....	108
5. ТЕМЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ.....	119
5.1. ВЫБОР УГЛА СРЕЗА КВАРЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА .....	119
5.2. РАЗРАБОТКА И РАСЧЁТ СХЕМЫ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЁМКОСТИ.....	121
5.3. РАЗРАБОТКА И РАСЧЁТ СХЕМЫ АВТОГЕНЕРАТОРА .....	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	130
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	131
Приложение 1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КВАРЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА.....	134
Приложение 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КВАРЦЕВОГО ГЕНЕРАТОРА.....	137
Приложение 3. РАСЧЁТ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕРМОЗАВИСИМОГО ПОТЕНЦИОМЕТРА.....	143