

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологическая академия

**К. Е. РУМЯНЦЕВ**  
**Н. Н. ШАКИР**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КВАНТОВОГО  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА  
С ИНТЕРФЕРОМЕТРАМИ МАХА – ЦЕНДЕРА**

*Учебное пособие*

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....	4
ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. ПАРАМЕТРЫ ПРИМЕНЯЕМЫХ ОДНОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН .....	12
1.1. Параметры одномодового оптического волокна на станциях	12
1.2. Параметры оптического волокна Corning®SMF-28e®ULL .....	13
1.3. Параметры одномодовых оптических коннекторов .....	15
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ	17
2.1. Выбор передающего оптического модуля .....	17
2.2. Выбор волоконного поляризатора .....	25
2.3. Выбор регулируемого волоконно-оптического аттенюатора	26
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАХА – ЦЕНДЕРА ПЕРЕДАЮЩЕЙ СТАНЦИИ АЛИСА .....	31
3.1. Обоснование выбора волоконно-оптического разветвителя	32
3.2. Верхнее плечо первого интерферометра Маха – Цендера .....	35
3.3. Нижнее плечо первого интерферометра Маха – Цендера .....	40
3.4. Квантовые импульсы на выходе несбалансированного интерферометра Маха – Цендера станции Алиса .....	46
3.5. Уточнение требований к оптическому однофотонному передатчику станции Алиса .....	50
4. РАСЧЁТ ЭНЕРГОВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ .....	53
4.1. Расчёт потерь мощности излучения в волоконно-оптической линии связи .....	53
4.2. Исследование временных характеристик линии связи .....	54
4.3. Анализ поляризационных свойств линии связи .....	57
4.4. Компенсация поляризационных искажений в линии связи ...	60
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАХА – ЦЕНДЕРА ПРИЁМНОЙ СТАНЦИИ БОБ .....	63

---

5.1. Уточнение требований к интерферометру приёмной станции	63
5.2. Выбор поляризационного светоделителя .....	65
5.3. Выбор волоконно-оптической линии задержки .....	66
5.4. Выбор второго вращателя плоскости поляризации на $\pi/2$ .....	67
5.5. Выбор второго волоконно-оптического фазового модулятора	68
5.6. Выбор третьего контроллера поляризации .....	68
5.7. Выбор направленного волоконного ответвителя X-типа .....	70
6. ВРЕМЕННОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ КВАНТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ .....	74
7. РЕГИСТРАТОР КВАНТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ И ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК СТРОБИРОВАНИЯ .....	77
7.1. Требования к однофотонному приёмному оптическому модулю .....	77
7.2. Уточнение требований к временным параметрам функционального модуля системы КРК .....	80
7.3. Формулирование требований к электронному блоку стробирования .....	81
8. РАСЧЁТ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГИСТРАЦИИ КВАНТОВЫХ СОСТОЯНИЙ ФОТОНОВ .....	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	87
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	88
ПРИЛОЖЕНИЕ. Статистические свойства длины волны лазера ID300 DFB фирмы ID QUANTIQUE .....	93
ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ .....	100
ГЛОССАРИЙ .....	102