

Министерство образования и науки Украины  
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта

На правах рукописи

Панченко Владислав Вадимович



УДК 621.331:621.311.1

**УЛУЧШЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ТЯГОВОЙ  
ПОДСТАНЦИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С КОНТАКТНОЙ СЕТЬЮ**

Специальность 05.22.09 – электротранспорт

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

*Ідентичність за  
завданням з іншими  
ришунками дисертації  
завдання  
спеціальної комісії  
код 02071180*



*Якубів Д.І.  
02.12.2015*

Научный руководитель:  
Щербак Яков Васильевич  
доктор технических наук,  
профессор

Харьков - 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
РАЗДЕЛ 1. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С КОНТАКТНОЙ СЕТЬЮ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЕЕ УЛУЧШЕНИЯ.....	15
1.1 Характеристики и параметры для оценки электромагнитной совместимости выпрямительной установки тяговой подстанции постоянного тока с контактной сетью.....	15
1.2 Анализ электромагнитной совместимости выпрямительной установки тяговой подстанции постоянного тока с контактной сетью..	20
1.3 Технические средства для улучшения электромагнитной совместимости выпрямительной установки тяговой подстанции с контактной сетью.....	28
1.3.1 Пассивные сглаживающие фильтры.....	28
1.3.2 Силовые активные фильтры гармоник выпрямленного напряжения тяговой подстанции.....	33
1.3.3 Активные методы улучшения электромагнитной совместимости выпрямителя тяговой подстанции средствами силовой электроники и автоуправления.....	39
1.4 Определение задач исследования.....	45
РАЗДЕЛ 2. СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С УПРАВЛЯЕМЫМ ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ.....	46
2.1 Основные положения.....	46
2.2 Анализ электромагнитных процессов выпрямительной установки с вольтодобавочным преобразователем тяговой подстанции.....	47
2.3 Статический коэффициент передачи выпрямителя с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией.....	49

2.4	Динамические характеристики выпрямителя с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией.....	61
2.4.1	Основные положения.....	61
2.4.2	Импульсная модель выпрямителя с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией в режиме непрерывного тока.....	62
2.5	Фактор пульсаций системы автоматического регулирования с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией.....	72
2.5.1	Определение реакции приведенной непрерывной части на выходную импульсную последовательность вольтодобавочного преобразователя.....	72
2.5.2	Обобщенные выражения для определения фактора пульсаций системы с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией.....	79
2.6	Выводы по разделу.....	89
<b>РАЗДЕЛ 3. РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ КООРДИНАТ</b>		
<b>ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ.....</b>		
3.1	Основные положения.....	92
3.2	Подавления мешающих гармоник выходного напряжения в замкнутой структуре.....	94
3.2.1	Коэффициент подавления мешающей гармоники.....	94
3.2.2	Фактор пульсаций системы подавления мешающих гармоник....	101
3.2.3	Анализ устойчивости замкнутой системы подавления мешающих гармоник.....	107
3.3	Выбор параметров сглаживающего LC-фильтра.....	112
3.4	Регулирование выходного напряжения выпрямительной установки тяговой подстанции.....	122
3.4.1	Общие положения о замкнутой структуре регулирования.....	122
3.4.2	Регулирование выходного напряжения вольтодобавочного преобразователя с LC-фильтром.....	124
3.4.3	Синтез передаточной функции регулятора напряжения.....	127

3.4.4 Инвариантность контуров регулирования выходных координат вольтодобавочного преобразователя.....	137
3.5 Выводы по разделу.....	141
<b>РАЗДЕЛ 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С УЛУЧШЕННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТЬЮ С КОНТАКТНОЙ СЕТЬЮ.....</b>	<b>143</b>
4.1 Основные положения.....	143
4.2 Моделирование электромагнитных процессов выпрямительной установки.....	144
4.3 Экспериментальные исследования замкнутой системы регулирования выходного напряжения выпрямительной установки.....	149
4.4 Экспериментальные исследования замкнутой системы регулирования низкочастотных субгармоник.....	153
4.5 Выводы по разделу.....	164
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>165</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>168</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт внедрения результатов диссертационной работы на ГП «Научно-исследовательский институт «ХЕМЗ».....</b>	<b>182</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акт внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.....</b>	<b>183</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В Акт внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс Учебно-научного института переподготовки и повышения квалификации кадров.....</b>	<b>184</b>