

На правах рукописи

**МУЛЛОЕВ ДЖАХОНШОХ МАДХАКИМОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УЛУЧШЕНИЯ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

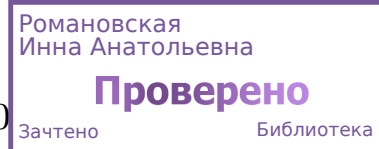
Направление 27.04.04 – «Управление в технических системах»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание степени

магистра техники и технологии

Комсомольск-на-Амуре – 20



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы - Улучшение энергоэффективности электрических сетей обуславливает уменьшение потребления энергоносителей и соответственно уменьшение удельной стоимости производства продукции и услуг для реализации которых необходима электрическая энергия. Это определяет актуальность темы диссертационной работы.

Цель работы - Разработка комплекса электротехнических устройств и способов управления ими, увеличивающих энергоэффективность сетей путем снижения потерь электрической мощности и электрической энергии в элементах системы электроснабжения.

Основные задачи магистерской диссертации:

- Разработка компенсирующей конденсаторной установки и способа управления силовыми ключами этой установки, исключающего броски токов при включении конденсаторных батарей, разработка имитационной модели, для исследования переходных процессов в электрической сети цеха металлургического предприятия, использующей эту установку, и для оценки снижения потерь активной электрической энергии в элементах сети нагруженной дуговыми электросталеплавильными печами.

- Сравнительная оценка снижения потребления из сети реактивной мощности электроприводом постоянного тока с мостовым тиристорным преобразователем с поочередным управлением вентиляльными комплектами, по сравнению с электроприводом с мостовым тиристорным преобразователем с обычным фазовым управлением, и разработка имитационной модели для этой оценки;

- Разработка системы управления компенсированным преобразователем с многократным включением вентиля (ПМВВ) на протяжении периода напряжения сети и анализ его энергетических характеристик.

Характеристика объекта и предмета исследования - электротехнические

устройства и способы управления ими и энергетические показатели этих устройств.

Характеристика методологического аппарата - При исследовании используются основные положения и электротехники, теории автоматического регулирования и силовой электроники.

Научная новизна магистерской диссертации - Разработка модели конденсаторной компенсирующей установки и способа управления силовыми ключами установки, обеспечивающего хорошее качество переходных процессов при регулировании генерируемой реактивной мощности.

Практическая ценность магистерской диссертации – Компенсирующая установка с предлагаемым способом управления ее силовыми ключами, а также исследованные преобразователи переменного напряжения в постоянное с уменьшенным потреблением реактивной мощности целесообразно использовать в электрических сетях промышленных предприятий.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, показана научная новизна, практическая ценность.

**В первой главе** рассмотрены потери мощности, энергии и напряжения в электрических сетях, методики их расчета и необходимость снижения для улучшения энергоэффективности электрических сетей.

**Во второй главе** рассмотрены способы уменьшения потерь электрической энергии в электрических сетях.

**В третьей главе** рассмотрено влияние реактивной мощности на режимы работы электрических сетей и показана необходимость компенсации реактивной мощности протекающей по электрическим сетям.

Показано, что с целью снижения потерь активной энергии от передачи реактивной, в электрических сетях предприятий целесообразно использование местных источников реактивной мощности.

Рассмотрены различные типы местных источников реактивной мощности и рекомендации по их применению.

Рассмотрены достоинства и недостатки компенсаторов реактивной мощности на основе батарей конденсаторов, подключаемых на напряжения сети с помощью силовых ключей. Небольшая стоимость и хорошая надежность таких источников реактивной мощности делает целесообразным их использование в электрических сетях с электроприемниками, потребляющими из относительно медленно изменяющуюся реактивную мощность. Однако для более эффективного использования таких компенсирующих установок актуально устранение их основных недостатков – невысокой точности регулирования генерируемой реактивной мощности и неудовлетворительного качества переходных процессов при подключениях батарей конденсаторов на напряжения сети, сопровождающихся бросками токов и их колебаниями с частотами выше частоты напряжения сети.

Точность регулирования генерируемой источником реактивной мощности достаточно просто может быть увеличена путем увеличения числа ступеней регулирования, то есть увеличением набора комбинаций значений емкостей подключаемых к сети конденсаторных батарей.

С целью практически полного исключения апериодических составляющих в переходных процессах, сопровождающих подключения батарей конденсаторов к напряжениям сети, на основании анализа этих процессов показано, что при преобладающем емкостном сопротивлении компенсирующей установки, угол включения конденсаторов по отношению к моменту перехода напряжений сети от положительных значений к отрицательным значениям, может оставаться неизменным и равным  $\pi$ .

В программной среде для структурного моделирования была разработана имитационная модель трехфазной конденсаторной компенсирующей установки. В модели предусмотрены блоки синхронизации, которые независимо от сигнала задания генерируемой реактивной мощности разрешают подключение конденсаторов фазы через угол  $\pi$  после перехода напряжения этой фазы от отрицательных значений к положительным значениям. Моделируется установка, конденсаторы которой переключаются электронными быстродействующими выключателями.

Результаты моделирования переходных процессов в цеховой системе электроснабжения напряжением 35 кВ при подключении и отключении конденсаторной установки генерирующей 100 МВАр реактивной мощности приведены на рис. 1. При отключенной компенсирующей установке результирующая нагрузка распределительной подстанции составляла 100 МВт активной и 150 МВАр реактивной мощности. На графиках приняты обозначения:  $i_c$ ,  $i_k$  – мгновенные фазные токи сети и конденсатора,  $I_c$  – действующий ток сети.

При подключении конденсаторов компенсирующей установки наблюдается снижение фазных токов распределительной подстанции примерно на 37 % при хорошем качестве переходных процессов, что определяет целесообразность применения в системе управления выключателями таких установок устройств синхронизации углов включения конденсаторов с напряжением сети.

С использованием разработанной имитационной модели конденсаторной компенсирующей установки смоделированы процессы в системе электроснабжения цеха металлургического предприятия с основными потребителями в виде двух дуговых сталеплавильных печей типа ДСП-100 и ДСП-200. Компенсирующая установка подключается к шинам 35 кВ распределительной подстанции цеха. При моделировании использовались типовые данные о нагрузках указанных сталеплавильных печей для шести возможных режимов их работы.

Результаты моделирования, подтверждающие эффективность использования разработанной компенсирующей установки с целью снижения потерь актив-

ной мощности и активной энергии в системе электроснабжения цеха приведены в сводной табл. 1.

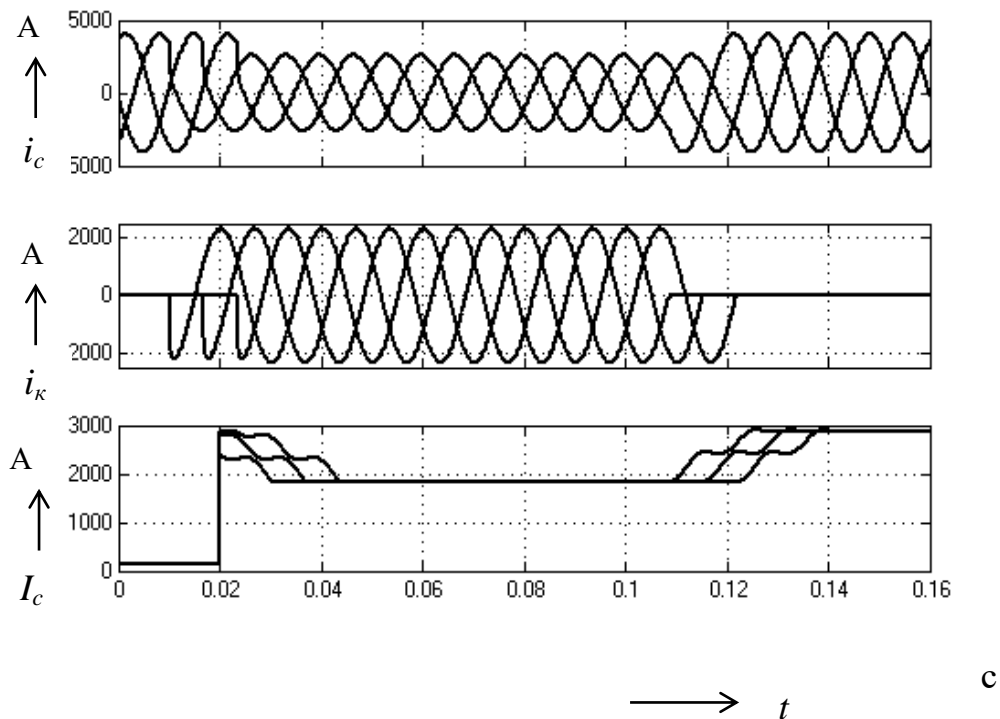


Рисунок 1 – Процессы при подключении компенсатора

Как следует из табл 1., использование компенсирующей установки позволяет снизить потери активной электрической энергии в системе электроснабжения (на оборудовании ввода в цеховую распределительную подстанцию) за время одной плавки в зависимости от числа работающих печей на 39,53 ...41,1% или на 85,42...493,51 кВтч при коэффициенте мощности ( $\cos \varphi$ ) приближающемся к единице.

**В четвертой главе** рассмотрены энергетические показатели управляемых преобразователей переменного напряжения в постоянное и показано, что тиристорные управляемые выпрямители с фазовым способом регулирования работающие со знакопеременными сигналами задания на регулирование выходного напряжения имеют низкое среднее значение коэффициента мощности, что отрицательно влияет на энергоэффективность электрических сетей.

Табл.1 - Режимы работы системы электроснабжение цеха

Но- мер ре- жи- ма	Рабо- таю- щие печи		Пол- ная Мо- щно- сть Наг- руз- ки, кВ А	Ак- тив- ная мош- ность Нагр- узки, кВт	Реак- тив- ная мош- ность Нагру- зки, кВАр	Ток вво- да, А	По- тери ак- тив- ной мош- но- сти на вво- де, кВт	Потери актив- ной электро- энергии на вводе за одну плавку, кВт·Ч	Гене- рируе- мая в сеть реак- тивная мош- ность, кВАр	Ток вво- да по ре- зульта- там мо- делиро- вания, А	По- тери актив- ной мош- ности на вво- де, кВт	Потери актив- ной электро- энергии на вводе за одну плавку, кВт·Ч	Сниже- ние по- терь ак- тивной электро- энергии на вводе за одну плавку, кВт·Ч	Сниже- ние по- терь ак- тивной электро- энергии на вводе за одну плав- ку,%	Коэф- фици- ент мошно- сти с ком- пенса- цией
1	ДСП- 100	1 ре- жим	5000 0	38000	32500	824. 810	72.45 6	185,963	30.225	625	41.601	110.539	85.424	40,56	0.99896
2		2 ре- жим	6000 0	45600	39000	989. 772	104.3 33		30225	764	32.163				0.98925
3	ДСП- 200	1 ре- жим	8500 0	64600	55250	1402 .177	209.3 90	470.825	50375	1073	122.61 6	277.315	193.510	41.10	0.99835
4		2 ре- жим	9500 0	72200	61750	1567 .140	261.5 56		60450	1203	154.12 7				0.998991
5	ДСП- 100, ДСП- 200	1 ре- жим	1350 00	10260 0	84450	2226 .988	528.1 84	1248.490	80600	1701	308.14 7	754.982	493.508	39.53	0.9986
6		2 ре- жим	1550 00	11780 0	100750	2556 .912	696.2 76		100750	1991	422.17 4				1

Разработана имитационная модель реверсивного тиристорного электропривода постоянного тока, с использованием которой был выполнено сравнение значений реактивной мощности, потребляемой из сети электроприводом на основе мостового управляемого тиристорного выпрямителя с обычным фазовым управлением и электропривода, выполненного на основе двухмостового тиристорного выпрямителя с поочередным управлением вентильными комплектами. Путем моделирования показано, что использование выпрямителей с поочередным управлением вентильными комплектами при знакопеременном задании угловой частоты вращения двигателя на 50 % от его номинальной частоты вращения, позволяет снизить потребляемую из сети реактивную мощность на 57,5 % по сравнению с потреблением ее электроприводом на основе мостового тиристорного преобразователя с обычным фазовым управлением.

Исследованы быстродействующие преобразователи переменного напряжения в постоянное (ПМВВ), выполненные на полностью управляемых полупроводниковых приборах (силовых транзисторов), имеющие пониженное потребление реактивной мощности из питающей сети, разработана система управления полупроводниковыми приборами таких преобразователей, ее работоспособность проверена на имитационной модели трехфазного транзисторного ПМВВ.

Показано, что при соответствующем способе управления транзисторами ПМВВ, будет отсутствовать фазовый сдвиг между основными гармониками напряжения сети и потребляемого из сети тока и соответственно не будет потребления из сети реактивной мощности. Коэффициент мощности преобразователя будет определяться только коэффициентом искажения потребляемого из сети тока. Коэффициент мощности трехфазного мостового ПМВВ, при 14-кратном включении вентилей на протяжении периода сети, в середине диапазона регулирования его выпрямленной ЭДС будет равен 0,65, в то время как у мостового тиристорного преобразователя с естественной коммутацией вентилей и обычным фазовым управлением он будет равен 0,45.



## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1 Разработана компенсирующая установка на основе батарей конденсаторов с синхронизированной с сетью системой управления силовыми ключами, при которой будут практически отсутствовать переходные (апериодические составляющие) в токах и напряжениях сети при переключениях конденсаторов.

2 С использованием разработанной имитационной модели компенсирующей конденсаторной установки с синхронизированной с сетью системой управления, работающей в системе электроснабжения цеха металлургического предприятия, показано хорошее качество переходных процессов при работе установки и возможное снижение потерь активной электроэнергии в системе электроснабжения на 39,53 ...41,1% за одну плавку.

3 С использованием разработанной имитационной модели тиристорного электропривода постоянного тока показано, что в электроприводе с тиристорным преобразователем с поочередным управлением мостами, при знакопеременных сигналах задания скорости или тока двигателя, можно снизить потребляемую из сети реактивную мощность на 57,5 %, по сравнению с аналогичным электроприводом на основе тиристорного преобразователя с обычным фазовым управлением.

4 Разработана система управления транзисторами трехфазного мостового компенсированного ПМВВ и показано что такой преобразователь в середине диапазона регулирования его выпрямленной ЭДС имеет коэффициент мощности в 1,45 раза выше, чем коэффициент мощности трехфазного мостового тиристорного преобразователя с обычным фазовым регулированием.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

1. Муллоев Д.М. улучшение энергетической эффективности преобразователей переменного напряжения в постоянное / Д.М. Муллоев, С.А. Васильченко – Материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре ФГБОУ ВО «КНАГУ» 10-21 апреля 2017 г., с.792-794.

2. Васильченко С.А. имитационное моделирование компенсатора реактивной мощности / С.А. Васильченко, Д.М. Муллоев, – Ученые записки КНАГУ, Комсомольск-на-Амуре, 09-20 апреля 2018, с.371-373.