

**НАИМЕНОВАНИЕ**

Динамическое фильтрокомпенсирующее устройство

АВТОР

Сидоров

2024-01-12

НОМЕР ДОКУМЕНТА

РЕДАКЦИЯ

СТРАНИЦА

РИМТЭ-005.000.00 ТО

1

1 ИЗ 27

Динамическое фильтрокомпенсирующее устройство (ДФКУ)

Техническое описание

ООО «РиМтехэнерго»
ИНН 5402543239/КПП 540201001
р/с 40702810944070006571 в Сибирском
банке ПАО Сбербанк г. Новосибирск
к/с 30101810500000000641
БИК 045004641

Юридический адрес: Россия, 630082,
г. Новосибирск, ул. Дачная, д.60/1, Офис 28
Почтовый адрес: Россия, 630082,
г. Новосибирск, абонентский ящик 7
Тел/факс: +7 (383) 367-05-42
www.rimteh.com, rimtehenergo@mail.ru

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Динамическое фильтрокомпенирующее устройство	РИМТЭ-005.000.00 ТО	1

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Термины и обозначения.....	3
1. Назначение и технические характеристики	4
2. Устройство и принцип работы.....	5
2.1. Внешний вид.....	5
2.2. Узлы ДФКУ	7
2.3. Режимы работы ДФКУ	8
3. Средства мониторинга и дистанционной сигнализации.....	9
3.1. Программное обеспечение	9
3.2. Дистанционная сигнализация	10
4. Функциональные особенности	10
5. Результаты применения ДФКУ	11

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Динамическое фильтрокомпенсирующее устройство	РИМТЭ-005.000.00 ТО	1

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий документ предназначен для ознакомления с техническими особенностями, конструктивными решениями и функциональными возможностями динамического фильтрокомпенсирующего устройства (ДФКУ), выполненного в шкафном исполнении.

Документ содержит основные технические сведения об ДФКУ и предназначен для профильных специалистов-энергетиков. Акцент в описании сделан на функции и параметры, важные при эксплуатации. При этом многие важные технические моменты – например, описание алгоритма работы широтно-импульсной модуляции – в настоящем документе упущены, как не имеющие непосредственного влияния на основные эксплуатационные характеристики и свойства.

Термины и обозначения

ДФКУ – динамическое фильтрокомпенсирующее устройство;

ЖК – жидкокристаллический;

КПД – коэффициент полезного действия;

ОС – операционная система;

ПК – персональный компьютер;

ЭДС – электродвижущая сила;

IGBT – силовой транзистор с изолированным затвором;

IP 21 – степень защиты оборудования, при котором оборудование имеет защиту от попадания внутрь оболочки твердых тел размерами не менее 12,5 мм и от попадания внутрь оболочки капель конденсата, падающих вертикально;

RS-485 – стандарт физического уровня для асинхронного интерфейса (ANSI TIA/EIA-485-A);

RS-232 – стандарт физического уровня для асинхронного интерфейса (UART);

USB – (англ. Universal Serial Bus) — «универсальная последовательная шина» — последовательный интерфейс для подключения периферийных устройств;

UTP – (англ. Unshielded Twisted Pair) — кабель «неэкранированная витая пара».

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Динамическое фильтрокомпенсирующее устройство	РИМТЭ-005.000.00 ТО	1

1. Назначение и технические характеристики

Динамические фильтрокомпенсирующие устройства (ДФКУ) общепромышленного исполнения применимы для работы в сетях переменного напряжения частотой 50 Гц, с глухозаземлённой нейтралью. Работа в других типах сетей запрещена.

Основные функции ДФКУ:

- подавление спектра высших гармоник до 50-ой включительно (либо заданного спектра);
 - устранение тока гармоник нулевой последовательности;
 - компенсация просадок и скачков напряжения, уменьшение фликкер-эффекта;
 - обеспечение оперативной коррекции коэффициента мощности для устройств с сильнопеременной нагрузкой и одновременное устранение несимметрии напряжения по фазам;
 - уменьшение потерь активной мощности при максимуме нагрузки энергосистемы;
- снижение потерь реактивной мощности в питающей и распределительной сетях вследствие уменьшения токовых нагрузок средствами компенсации.

Таблица 1 – Технические характеристики ДФКУ

№	Модель	ДФКУ-0,4-35	ДФКУ-0,4-75	ДФКУ-0,4-110	ДФКУ-0,4-150	ДФКУ-0,4-185	ДФКУ-0,4-225
	Входные параметры						
1	Номинальное напряжение, В	323...437					
2	Частота сети, Гц	45...55, 54...66					
3	Потребляемая мощность, кВт	От 300Вт (X.X.) до 5% компенсируемого тока					
	Общесистемные параметры						
4	Номера компенсируемых гармоник	2...50					
5	Компенсируемые токи гармонических составляющих фаз и реактива, А	35	75	110	150	185	225
6	Пиковые токи гармонических составляющих и реактива, А	50	106	155	212	262	318
7	Быстродействие	< 1 мс					
8	Масса (не более), кг	95	115	125	240	260	280
9	Габариты (ВхШхГ), мм	1200х600х800		2100х600х800		2300х600х800	
	Подключение и разъёмы						
10	Схема подключения	4-х проводная					
11	Ввод кабеля	Снизу, сверху					
12	Коммуникационный интерфейс	RS485					
	Условия эксплуатации						
13	Степень защиты	IP21					
14	Климатическое исполнение	УХЛ4 (+1...+30°C)					

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Динамическое фильтрокомпенсирующее устройство	РИМТЭ-005.000.00 ТО	1

2. Устройство и принцип работы

2.1. Внешний вид

Конструктивное исполнение ДФКУ - прямоугольный металлический 19" шкаф с запираемой передней дверью (IP 21), в котором расположены: модуль коммутации, модуль выключателей, модуль индикации и силовые блоки. Модули снабжены системой принудительной вентиляции, что допускает работу в помещениях с температурой окружающей среды от +5 до +30°C.

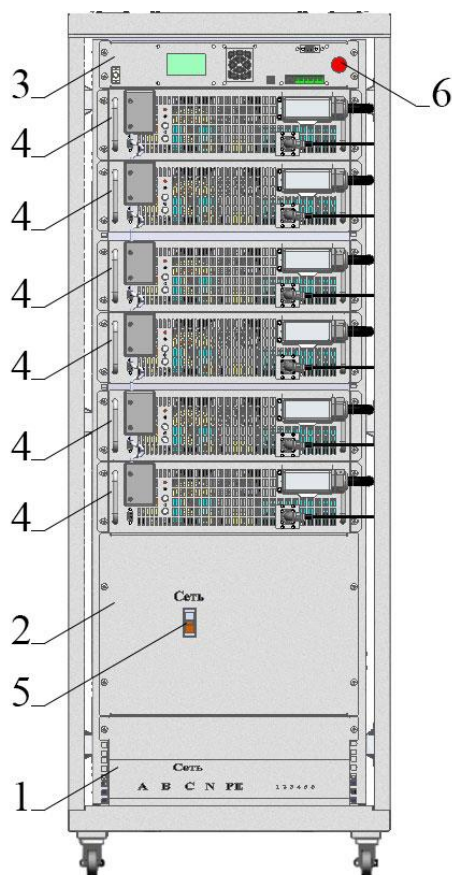


Рисунок 1 – ДФКУ-0,4 -110-380. Вид спереди.

1 – модуль коммутации, 2 – модуль выключателей, 3 – модуль индикации, 4 – силовые блоки (IGBT-модули), 5 – автоматический выключатель «Сеть», 6 – кнопка аварийного отключения ДФКУ («ЕРО»).

Модуль индикации расположен в верхней части шкафа и соединен с главным силовым блоком по интерфейсу RS-232.

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Динамическое фильтрокомпенсирующее устройство	РИМТЭ-005.000.00 ТО	1

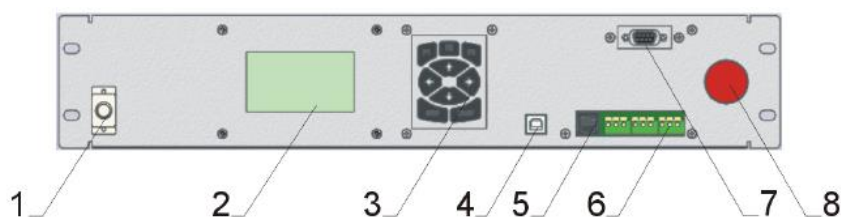


Рисунок 2 - Передняя панель модуля индикации

1 – разъем интерфейса RS-232 для соединения с главным блоком ДФКУ, 2 – ЖК индикатор, 3 – клавиатура, 4 – разъем интерфейса USB, 5 – разъем интерфейса RS-485, 6 – клеммы сухих контактов, 7 – разъем интерфейса RS-232 для связи с ПК, 8 – кнопка аварийного отключения («ЕРО»).

Модуль коммутации расположен в нижней части шкафа. В нём установлены клеммы для присоединения кабелей сети и сигнальных цепей. На панели модуля нанесена маркировка коммутируемых цепей.

Модуль выключателей расположен над модулем коммутации. В нём установлен автоматический 3-полюсный выключатель «Сеть» и (при необходимости) могут быть установлены дополнительные выключатели сигнальных цепей.

Силовые блоки обеспечивают поддержание трёх фаз переменного трёхфазного тока. Блоки связаны между собой системой интерфейса для согласования их работы по сдвигу угла фаз, частоте, амплитуде напряжений, передаче команд управления и данных измерений. Верхний блок является главным управляющим блоком ДФКУ.

На передней панели силовых блоков расположены 2 двухцветных светодиодных индикатора С1 и С2, и две кнопки управления «ВКЛ» и «ВЫКЛ».

Кнопки на главном блоке могут использоваться для включения и выключения нагрузки (нажатие и удержание не менее 4 секунд), а также для «холодного» запуска выключенного ДФКУ при отсутствии сетевого напряжения. Кнопки на остальных блоках предназначены только для технического обслуживания блоков.

Светодиодные индикаторы состояния предназначены для визуального отображения различных состояний данного блока. При этом они могут светиться или мигать зеленым либо красным цветом, или не светиться:

Светодиод С1 главного блока отражает состояние электропитания всего ДФКУ, а светодиоды С1 ведомых блоков - состояние электропитания на фазе сети, к которой подключен блок:

- горит зеленым цветом, если параметры сети соответствуют заданным параметрам;
- мигает зеленым цветом, если один из этих параметров не соответствует требованиям;
- не горит, если напряжение в сети отсутствует.

Светодиод С2 показывает состояние инвертора блока:

- горит зеленым цветом, если инвертор включен;

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Динамическое фильтрокомпенсирующее устройство	РИМТЭ-005.000.00 ТО	1

- горит красным цветом при аварии;
- не горит, если инвертор выключен;

Непрерывный звуковой сигнал возникает при аварийных ситуациях (на всех блоках).

2.2. Узлы ДФКУ

Структурная схема ДФКУ представлена на рисунке 3.

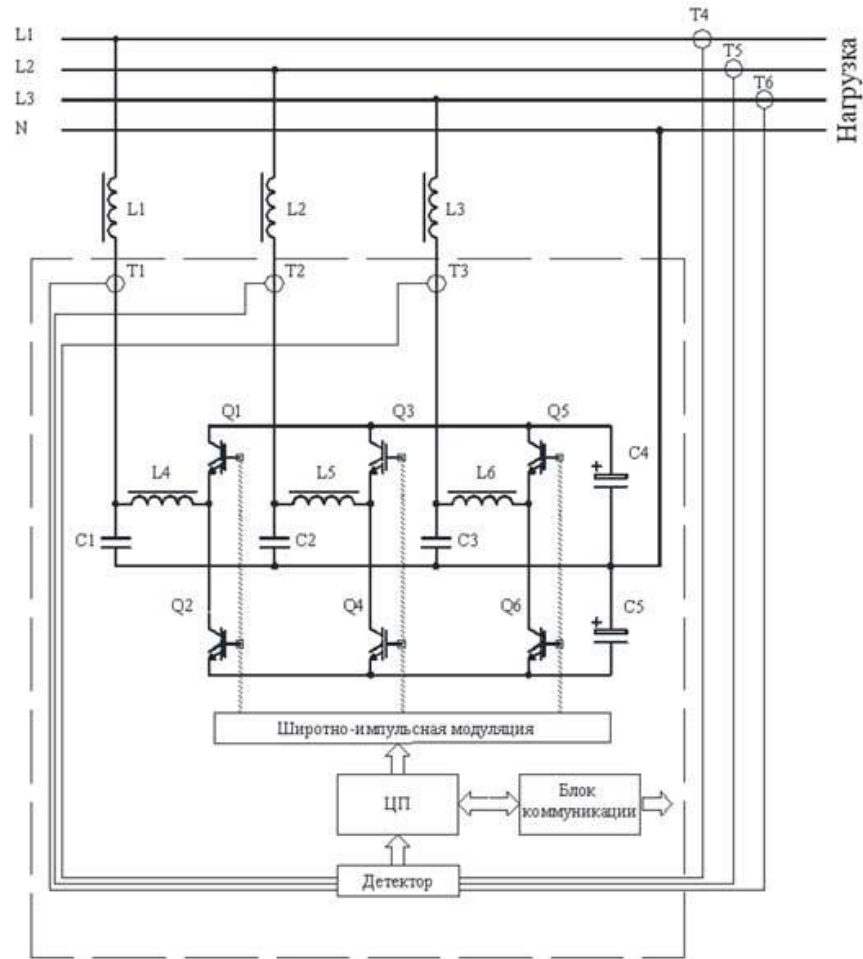


Рисунок 3 – Структурная схема ДФКУ

Назначения узлов ДФКУ следующие:

- **IGBT-модуль** преобразует напряжение сети переменного тока в напряжение постоянного тока для питания общей шины «BUS» (конденсаторов) и обратно в синусоидальное напряжение с частотой, амплитудой, сдвигом фаз и т.д. согласно заданным параметрам;
- **фильтр ЭМС** обеспечивает подавление выбросов выходного напряжения при различных коммутационных процессах в ДФКУ;
- **система управления** на основе микроконтроллера осуществляет контроль текущих параметров и управление алгоритмом работы всех узлов ДФКУ.

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Динамическое фильтрокомпенсирующее устройство	РИМТЭ-005.000.00 ТО	1

2.3. Режимы работы ДФКУ

В зависимости от состояния сети и параметров нагрузки ДФКУ может работать в следующих режимах:

Режим ожидания.

ДФКУ подключено к сети, фильтро-компенсация отключена. Устройство ожидает действий пользователя.

Режим компенсации тока высших гармоник (режим источника тока)

Электронная измерительная система контролирует активную и реактивную составляющую мощности путем измерения мгновенных значений напряжения и тока в силовой сети. Данные анализируются процессорной системой для определения картины спектра гармоник и фазового угла сдвига тока. Эта информация используется генератором импульсов, поступающих на мост широтно-импульсной модуляции преобразователя на основе IGBT для производства и выдачи в цепь именно такого гармонического тока (по амплитуде, форме и фазе), который необходим для компенсации искажений нагрузки и реактивной составляющей, выходящей за установленные пределы в следующем цикле основной кривой тока (синусоиды).

Для работы в данном режиме установка подключается по схеме на рисунке 3, датчики тока устанавливаются в цепь, в которой действуют компенсируемые возмущения. Точка подключения установки выбирается по возможности ближе к источнику возмущения для достижения наибольшей эффективности.

Режим компенсации несинусоидальности напряжения в режиме источника ЭДС (режим источника ЭДС)

В данном режиме установка работает как источник ЭДС на основе анализа формы напряжения в точке подключения.

Принцип работы состоит в следующем. ДФКУ строит идеальную синусоиду напряжения и сравнивает с ней форму напряжения в точке подключения. При искажении фактической синусоиды в следствие гармонических составляющих тока нагрузки ДФКУ действует следующим образом.

При превышении сетевым напряжением идеальной синусоиды (при синхронизированной частоте) происходит отбор энергии из сети через заряд ёмкостей ДФКУ. При снижении фактической формы тока ниже образцовой синусоиды происходит отдача энергии в сеть за счет разряда конденсаторов.

Все описанные преобразования происходят в пределах одного полупериода. Степень влияния ДФКУ на сетевое напряжение определяется мощностью установки и мощности создаваемых в сети помех. При этом точка подключения может быть любой в пределах возмущаемой сети.

Сравнение применения режимов работы установок для решения задачи компенсации гармонических возмущений и реактивной мощности

Сравнение аспектов применения с точки зрения проектирования, применения в схемах приведено в таблице 2.

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Динамическое фильтрокомпенсирующее устройство	РИМТЭ-005.000.00 ТО	1

Таблица 2 – Сравнение режимов работы ДФКУ

Параметр	ДФКУ в режиме компенсации тока высших гармоник	ДФКУ в режиме компенсации несинусоидальности напряжения в режиме источника ЭДС
Подключение к сети	Параллельно сети и нагрузке Дополнительно – датчики тока в цепь питания проблемной нагрузки	Параллельно сети и нагрузке
Точка подключения к сети	В непосредственной близости от проблемной нагрузки	В удобных точках для подключения к сети (резервные фидеры)
Расчет мощности	По результатам замера мощности возмущения. Как правило, в пределах 20-30% от номинальной мощности нагрузки	По результатам анализа несинусоидальности напряжения в точке подключения и мощности нагрузки
Возможность увеличения мощности	Возможна с доработкой конструкции (добавление модулей, шкафов, возможен демонтаж цепей управления)	Возможен без дополнительных операций. Установки, в том числе разной мощности работают независимо, эффект их работы суммируется.

3. Средства мониторинга и дистанционной сигнализации

3.1. Программное обеспечение

Трехфазные ДФКУ поддерживают управление и мониторинг работы изделия через компьютер, работающий под управлением ОС Microsoft Windows 7/8/10, используя программное обеспечение «ДФКУ-Монитор».

Используя предлагаемое программное обеспечение, пользователь получает следующие возможности:

- наглядное отображение режима работы устройства;
- количественный мониторинг параметров сети, выходного напряжения, ток и мощность нагрузки по фазам, температурный режим внутри силовых блоков;
- ведение журнала регистрации параметров сети и сообщений о возникновении аномальных ситуаций в работе изделия.

Для связи с компьютером доступны следующие порты на передней панели блока индикации:

- USB (разъем USB-B) – с установкой драйвера виртуального COM-порта (VCP);
- RS-232 (разъем DB-9) – стандартный COM-порт;
- RS-485 (разъем RJ-45) – с использованием соответствующего контроллера на ПК.

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Динамическое фильтрокомпенсирующее устройство	РИМТЭ-005.000.00 ТО	1

Порт RS-485 также может быть использован для связи с внешними специализированными контроллерами, по протоколу MODBUS RTU.

Для подключения по интерфейсу RS-485 необходимо изготовить кабель на основе UTP-5, следуя документации производителя используемого контроллера. Подключение на стороне ДФКУ следующее:



Номер контакта	Сигнал
1	Tx+
2	Tx-
3	Rx+
4	Rx-
5	не исп.
6	не исп.
7	не исп.
8	не исп.

Рисунок 4 – Контакты разъема RS-485 на стороне ДФКУ

Рекомендуется подключение UTP-кабелем с витыми парами категории 5. Возможно подключение как с использованием двух пар проводников, так и одной пары. Во втором случае контакт 1 должен быть соединен в кабеле с контактом 3, а контакт 2 – с контактом 4.

3.2. Дистанционная сигнализация

На передней панели модуля индикации ДФКУ расположены три нажимных безвинтовых терминальных блока, каждый из которых подключен к отдельному реле, по 3 контакта в блоке (см. рис.2).

При отсутствии сигнала управления замкнуты контакты 1-2 каждого блока, а контакты 1-3 разомкнуты. При появлении сигнала контакты 1-2 размыкаются, контакты 1-3 замыкаются.

4. Функциональные особенности

ДФКУ – это единственные устройства повышения качества электроэнергии, которые способны автоматически менять свои собственные характеристики при изменении параметров сети и динамически адаптироваться к изменениям в гармониках нагрузки и реактивной составляющей по каждой фазе, при этом:

- отсутствует риск резонанса с какой-либо гармонической частотой;
- устройство легко программируется на компенсацию только отдельных гармоник с целью обеспечения максимального КПД в пределах характеристик устройства;
- на практике величина гармонического тока уменьшается приблизительно на 90 %;
- компенсация реактивной мощности сверх заданной величины может осуществляться с точностью до десятых долей процента с миллисекундным быстродействием, что исключает возможность перекомпенсации, присущей статическим батареям конденсаторов;

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Динамическое фильтрокомпенсирующее устройство	РИМТЭ-005.000.00 ТО	1

- изделие автоматически ограничивает ток компенсации по своему максимальному номинальному значению, поэтому ДФКУ не может перегружаться и будет продолжать постоянно работать в таком состоянии без повреждений;

- ДФКУ имеют компактные габариты по сравнению с пассивными фильтрами гармоник;

- для оптимизации компенсации гармоник несколько ДФКУ могут быть соединены в различных конфигурациях, а также в комплексной схеме с пассивными фильтрами и другими устройствами компенсации реактивной мощности;

- при необходимости мощность ДФКУ в режиме работы источника ЭДС легко масштабируется путем дополнительного подключения устройств ДФКУ в удобных точках сети;

- существует возможность модификации системы путем установки литий-ионных аккумуляторных батарей (без реконструкции существующей преобразовательной системы) для обеспечения объекта дополнительной мощностью.

5. Результаты применения ДФКУ

Результатами применения ДФКУ является:

- поддержка требуемого коэффициента мощности установок нагрузки в строго заданных пределах;

- одновременное устранение несимметрии напряжения по фазам;

- устранение тока гармоник нулевой последовательности;

- подавление всего (либо заданного) спектра высших гармоник;

- компенсация провалов и скачков напряжения, уменьшение фликкер-эффекта;

- уменьшение потерь мощности;

- устранение ложных срабатываний устройств релейной защиты;

- снижение общих расходов на электроэнергию за счёт снижения потерь электроэнергии в питающей и распределительной сети;

- уменьшение потерь активной мощности при максимуме нагрузки энергосистемы;

- снижение потерь реактивной мощности в питающей и распределительной сетях вследствие уменьшения токовых нагрузок средствами компенсации;

- подключение дополнительной активной нагрузки за счет частичной токовой разгрузки силовых трансформаторов и питающих кабелей;

- уменьшение нагрузки элементов распределительной сети (подводящих линий, трансформаторов и распределительных устройств), тем самым продление их срока службы;

- снижение стоимости оборудования вновь вводимых трансформаторных подстанций и стоимости сооружения питающей и распределительной сети, обусловленное уменьшением токовых нагрузок;

- максимальное использование мощности автономных дизель-генераторов (судовые установки, электроснабжение геологических партий, стройплощадок, установок разведочного бурения и т.д.);

- устранение глубокой "просадки" напряжения на линиях электроснабжения удаленных потребителей и исключение генерации реактивной энергии в сеть в часы минимальной нагрузки;

НАИМЕНОВАНИЕ	НОМЕР ДОКУМЕНТА	РЕДАКЦИЯ
Динамическое фильтрокомпенирующее устройство	РИМТЭ-005.000.00 ТО	1

- обеспечение оперативной коррекции коэффициента мощности для устройств с сильнопеременной нагрузкой и стабилизации питающего напряжения.