ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР
«АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ»

www.ic-art.ru

АКТИВНЫЕ ФИЛЬТРЫ АДФ-У

в электроустановках до 1000 В и выше 1000 В

ВЫБОР • ПОДКЛЮЧЕНИЕ • НАЛАДКА

Руководство по применению

Санкт-Петербург
2025

Активные динамические фильтры универсальные АДФ-У предназначены для компенсации балластных токов в промышленных электроустановках, в том числе реактивных токов индуктивного и ёмкостного характера, токов высших гармоник, составляющих токов обратной и нулевой последовательностей.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Активные фильтры АДФ-У. Компенсация высших гармоник и реактивной мощности в электроустановках до 1000 В и выше 1000 В	3
2	Условное обозначение активных фильтров АДФ-У	4
3	Модельный ряд АДФ-У-1. Технические характеристики	5
4	Модельный ряд АДФ-У-2. Технические характеристики	6
5	Модельный ряд АДФ-У-3. Технические характеристики	7
6	Типовые конструктивы активных фильтров АДФ-У	8
7	Интерфейсы активных фильтров АДФ-У	10
8	Выбор силовых кабелей, коммутационных аппаратов и трансформаторов тока для подключения АДФ-У	12
9	Быстродействие активных фильтров АДФ-У	13
10	Типовые схемы подключения силовых и измерительных цепей АДФ-У	14
11	Типовые решения по применению АДФ-У в электроустановках до 1000 В	16
12	Типовые решения по применению АДФ-У в электроустановках выше 1000 В	18
13	Работа АДФ-У при компенсации реактивной мощности	20
14	Работа АДФ-У при компенсации высших гармоник	21
15	Работа АДФ-У при компенсации искажений напряжения, поступающих со стороны источника электроэнергии	22
16	Работа АДФ-У при параллельном подключении изделий для увеличения мощности системы компенсации	23
17	Работа АДФ-У при компенсации высших гармоник и реактивной мощности в электроустановках выше 1000 В	24
18	Разработка, программирование, наладка систем динамической компенсации на базе активных фильтров	26
19	Включение активных фильтров АДФ-У в системы передачи данных	27
20	Выбор активных фильтров АДФ-У на основании данных измерений	28
21	Выбор активных фильтров АДФ-У на основании данных моделирования высших гармоник в электроустановках	30
22	Техническое обслуживание и ремонт активных фильтров	32
23	Комплектность поставки АДФ-У. Гарантии.	33
24	Форма запроса на поставку АДФ-У	33
25	Примеры систем динамической компенсации на базе активных фильтров	34
	Дополнительная информация о применении активных фильтров	36

1. Активные фильтры АДФ-У. Компенсация высших гармоник и реактивной мощности в электроустановках до 1000 В и выше 1000 В

Семейство АДФ-У (активные динамические фильтры универсальные) включает изделия заводской готовности, предназначенные для работы в трёхфазных трёхпроводных и четырёхпроводных сетях частотой 50 Гц и 60 Гц, напряжением 400 В и 690 В.

Активные фильтры АДФ-У с согласующим силовым трансформатором компенсируют высшие гармоники и реактивную мощность в электроустановках напряжением до 10 кВ.

Высоковольтная система динамической компенсации реактивной мощности ёмкостного характера на базе активных фильтров АДФ-У (1200 квар, 10 кВ)

Семейство АДФ-У представлено тремя модельными рядами с единичной мощностью активных фильтров от 35 кВА до 320 кВА.

Мощность системы компенсации наращивается до 8 МВА и более при параллельном подключении активных фильтров АДФ-У.

Инженерный центр «АРТ» поставляет активные фильтры АДФ-У и предоставляет профессиональные услуги по созданию на их базе систем динамической компенсации, в том числе:

- выполнение обследования и измерений в действующих электроустановках,
- моделирование высших гармоник,
- проектирование автоматизированных систем динамической компенсации,
- шефмонтаж оборудования,
- пусконаладка,
- расширенный инструктаж персонала Заказчика.

Специалисты **Сервисного центра «АРТ»** производят гарантийный и послегарантийный ремонт активных фильтров, осуществляют техподдержку в течение всего срока полезного использования оборудования.

2. Условное обозначение активных фильтров АДФ-У

1		2		3		4		5		6		7		8		9
АДФ-У	**-**	**1**	**-**	**400**	**-**	**3**	**-**	**35**	**-**	**50**	**-**	**3**	**-**	**А**	**-**	**xxxx**

1	Наименование изделия	АДФ-У
2	Модельный ряд	1, 2, 3
3	Номинальное напряжение между фазами, В	400 / 690
4	Подключение силовой цепи	3 - трехпроводная / 4 - четырехпроводная
5	Полная мощность, кВА	35–312 (400 В) / 108–323 (690 В)
6	Предельный ток компенсации, А	50–450 (400 В) / 90–270 (690 В)
7	Целевая функция	1 - компенсация реактивной мощности, несимметрии, высших гармоник тока до 49-го порядка, искажений напряжения при включении без трансформаторов тока 2 - компенсация реактивной мощности, несимметрии, высших гармоник тока 3, 5, 7, 9, 11 порядков 3 - компенсация реактивной мощности, несимметрии
8	Габарит шкафа	А, Б, В, Г
9	Опции для АДФ-У	+К1 - ввод кабеля сверху +К2 - встроенный автоматический выключатель +К3 - встроенные трансформаторы тока +К4 - амортизаторы +К5 - исполнение IP54 +К6 - выносной пост оператора +К7 - встроенный ИБП вторичных цепей +К8 - двухстороннее обслуживание +К9 - габаритные размеры по запросу

Активные фильтры АДФ-У на производственной площадке перед отгрузкой Заказчику

Сборка активных фильтров АДФ-У осуществляется в Санкт-Петербурге с использованием комплектующих отечественного производства и комплектующих, закупаемых в дружественных странах.

3. Модельный ряд АДФ-У-1. Технические характеристики

Модельный ряд 1 составляют активные фильтры с расширенным функционалом, максимальным быстродействием и возможностью одновременной компенсации балластных токов разных типов. Компенсируют высшие гармоники до 49-го порядка, в том числе четные и кратные трем. Компенсируют искажения напряжения, поступающие в электроустановку со стороны источника электроэнергии. Способны работать при суммарном коэффициенте гармонических составляющих напряжения KU (THDu) до 20% и более.

Модель	АДФ-У-1												
Напряжение сети, В	400 В (280-480 В)										690 В (480-690 В)		
Частота сети, Гц	50/60												
Полная мощность, кВА	35	52	69	87	104	139	173	208	260	312	108	215	323
Предельный ток компенсации, А	50	75	100	125	150	200	250	300	375	450	90	180	270
Параллельная работа	до 30 изделий АДФ-У-1												
Количество фаз	3												
Подключение к питающей сети	трехпроводная (3 фазы) / четырёхпроводное (3 фазы + нейтраль)												
Компенсация гармонических составляющих тока	до 49-й гармоники включительно, в т.ч. четных и кратных трем												
Коррекция cos ф	до 1,0												
Уровень снижения гармоник	более 98%												
Время отклика, мс	<1 мс												
Коммуникационные порты	RS485, Ethernet (RJ45)												
Протокол связи	Modbus TCP												
Интерфейс оператора	7›› ЖК дисплей, русский язык												
Конструктивное исполнение	электротехнический шкаф напольной установки, одностороннего обслуживания												
Степени защиты, ГОСТ 14254	IP21, IP54 (по запросу)												
Охлаждение	воздушное принудительное												
Максимальные тепловыделения, кВт	0,9	1,3	1,7	2,2	2,6	3,5	4,3	5,2	6,5	7,8	2,7	5,4	8,1
Расход охлаждающего воздуха, м³/ч	600				800	1200		1600	1800	2400	600	1200	1800
Климатическое исполнение и категория размещения, ГОСТ 15150	УХЛ4												
Высота над уровнем моря	до 1000 м.												
Уровень шума	до 70 дБ												
Габарит шкафа[1]	А								Б		А		Б
Вес, кг	350					450			650		350	500	650
Ввод внешних проводников	снизу через цоколь шкафа												
Цвет шкафа	шкаф RAL 7035 (серый)												

Примечание:

1. Габаритные размеры шкафов (ШхГхВ): 600x600x2100 мм (габарит А)
   800x600x2100 мм (габарит Б)

4. Модельный ряд АДФ-У-2. Технические характеристики

Модельный ряд 2 включает активные фильтры среднего ценового диапазона с возможностью компенсации только реактивной мощности и несимметрии, реактивной мощности и высших гармоник тока, или только искажений напряжения на участке электроустановки.

Модель	АДФ-У-2						
Напряжение сети, В	400 В (228–480 В)					690 В (483–793 В)	
Частота сети, Гц	50/60						
Полная мощность, кВА	69	104	139	208	312	120	239
Предельный ток компенсации, А	100	150	200	300	450	100	200
Количество фаз	3						
Подключение к питающей сети	трехпроводная (3 фазы) / четырёхпроводное (3 фазы + нейтраль)						
Компенсация гармонических составляющих тока	до 50-й гармоники включительно						
Коррекция cos ф	до 1,0						
Уровень снижения гармоник	более 95 %						
Время отклика, мс	<5 мс						
Коммуникационные порты	RS485, Ethernet (RJ45)						
Протокол связи	Modbus RTU, TCP/IP						
Интерфейс оператора	7›› ЖК дисплей, русский язык						
Конструктивное исполнение	электротехнический шкаф напольной установки, одностороннего обслуживания						
Степени защиты, ГОСТ 14254	IP44						
Охлаждение	воздушное принудительное						
Максимальные тепловыделения, кВт	1,7	2,6	3,5	5,2	7,8	3,0	6,0
Расход охлаждающего воздуха, $м^3$/ч	281	408	562	816	1224	281	562
Климатическое исполнение и категория размещения, ГОСТ 15150	УХЛ4						
Высота над уровнем моря	до 1500 м. (без снижения эффективности)						
Уровень шума	до 65 дБ						
Габарит шкафа[1]	А		Б		Г	А	Б
Вес, кг	160	180	300	325	425	200	450
Подключение внешних проводников	Нижнее						
Цвет шкафа	шкаф RAL 7035 (серый)						

Примечание:

1. Габаритные размеры шкафов (ШхГхВ): 600x600x2100 мм (габарит А)
800x600x2100 мм (габарит Б)
800x800x2100 мм (габарит Г)

5. Модельный ряд АДФ-У-3. Технические характеристики

Модельный ряд 3 – это бюджетные активные фильтры, ориентированные на работу в электроустановках с относительно небольшими искажениями напряжения, при суммарном коэффициенте гармонических составляющих напряжения KU (THDu) до 12–14%.

Модель	АДФ-У-3				
Напряжение сети, В	400 В (304–456 В)				
Частота сети, Гц	45-55				
Полная мощность, кВА	69	104	139	208	312
Предельный ток компенсации, А	100	150	200	300	450
Количество фаз	3				
Подключение к питающей сети	трехпроводная (3 фазы) / четырёхпроводное (3 фазы + нейтраль)				
Компенсация гармонических составляющих тока	до 50-й гармоники включительно				
Коррекция cos ф	до 1,0				
Уровень снижения гармоник	более 95 %				
Время отклика, мс	<10 мс				
Суммарный коэффициент искажения напряжения в сети (THDu)	до 14%				
Коммуникационные порты	RS485				
Протокол связи	Modbus RTU				
Интерфейс оператора	7›› ЖК дисплей, русский язык				
Конструктивное исполнение	электротехнический шкаф напольной установки, одностороннего обслуживания				
Степени защиты, ГОСТ 14254	IP21				
Охлаждение	воздушное принудительное				
Максимальные тепловыделения, кВт	1,7	2,6	3,5	5,2	7,8
Расход охлаждающего воздуха, м^3/ч	416	704	832	1408	2112
Климатическое исполнение и категория размещения, ГОСТ 15150	УХЛ4				
Высота над уровнем моря	до 1500 м. (без снижения эффективности)				
Уровень шума	до 70 дБ				
Габарит шкафа[1]	В				Г
Вес, кг	300	310	350	360	450
Подключение внешних проводников	Нижнее				
Цвет шкафа	шкаф RAL 7035 (серый)				

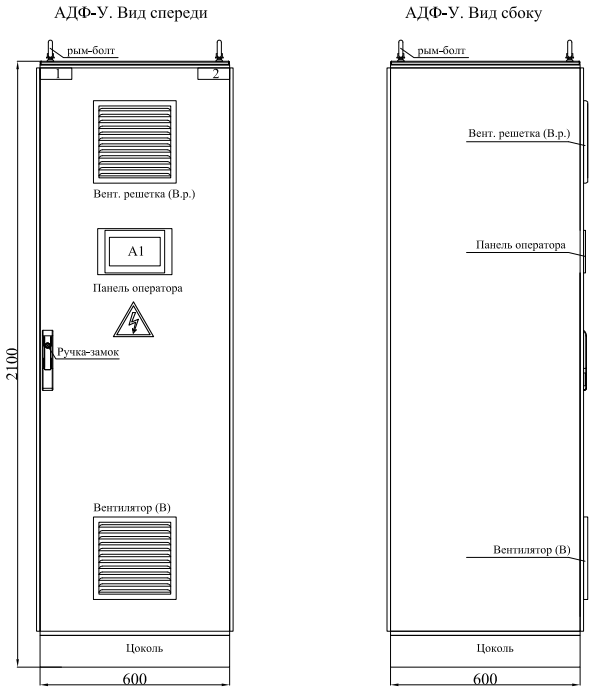
Примечание:

1. Габаритные размеры шкафов (ШхГхВ): 600x800x2100 мм (габарит В)
   800x800x2100 мм (габарит Г)

6. Типовые конструктивы активных фильтров АДФ-У

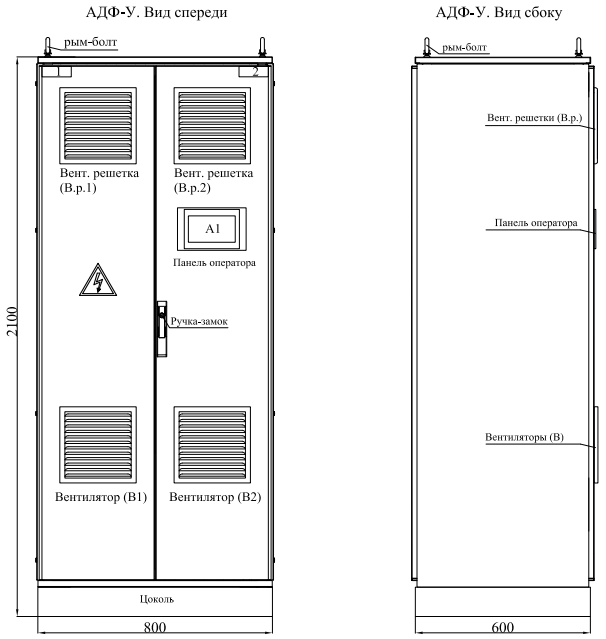
Активные фильтры АДФ-У производятся в стандартных корпусах напольной установки, с нижним вводом кабеля, одностороннего обслуживания, с габаритами от 600*600*2100 мм до 800*800*2100 мм.

ГАБАРИТ «А»



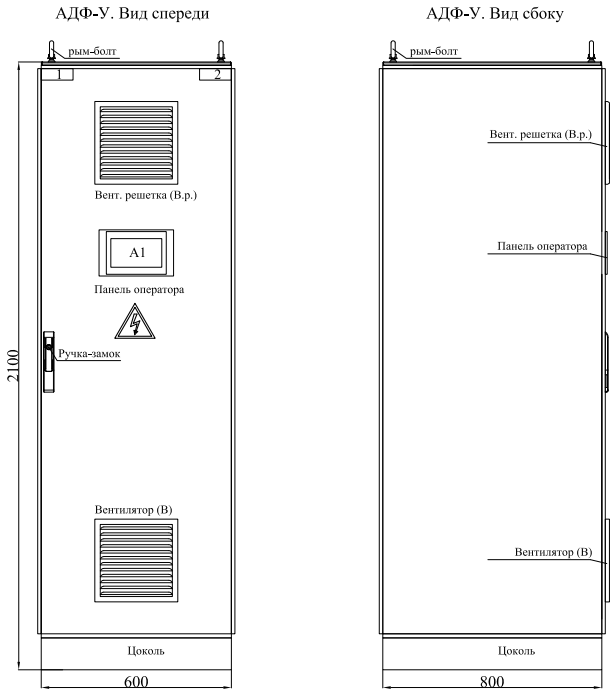
Габарит А (600*600*2100 мм)

ГАБАРИТ «Б»



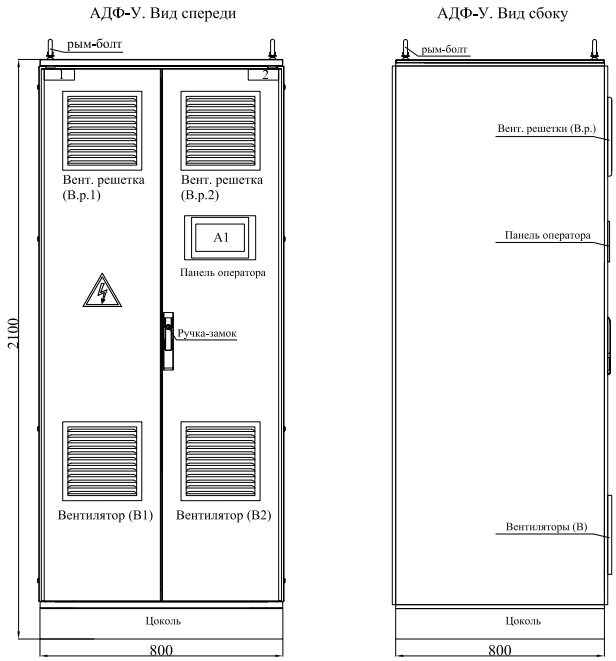
Габарит Б (800*600*2100 мм)

ГАБАРИТ «В»



Габарит В (600*800*2100 мм)

ГАБАРИТ «Г»



Габарит Г (800*800*2100 мм)

По согласованным Заказчиком частным заданиям выполняется сборка и поставка активных фильтров АДФ-У в нестандартных конструктивах, в том числе:

- в шкафах с уменьшенной высотой,
- в шкафах уменьшенной глубиной,
- в шкафах с двухсторонним обслуживанием,
- в шкафах с верхним вводом кабелей,
- в шкафах с повышенной степенью защиты,
- в шкафах с встроенными измерительными трансформаторами тока и др.

Это позволяет размещать активные фильтры в блочно-модульных зданиях, на судах, на буровых платформах и др.

Пример монтажа фильтров АДФ-У в нестандартных конструктивах (с уменьшенной глубиной)

При установке в электротехнических помещениях возможна также сборка активных фильтров на каркасах, без лицевых панелей. В этом случае управление силовыми модулями осуществляется от выносного поста оператора.

Установка активных фильтров на каркасах

Выносной пост оператора

По отдельным заявкам разрабатываются и изготавливаются монтажные комплекты активных фильтров для установки в щитовую продукцию Заказчиков (например, в составе низковольтных комплектных устройств систем частотно-регулируемого электропривода).

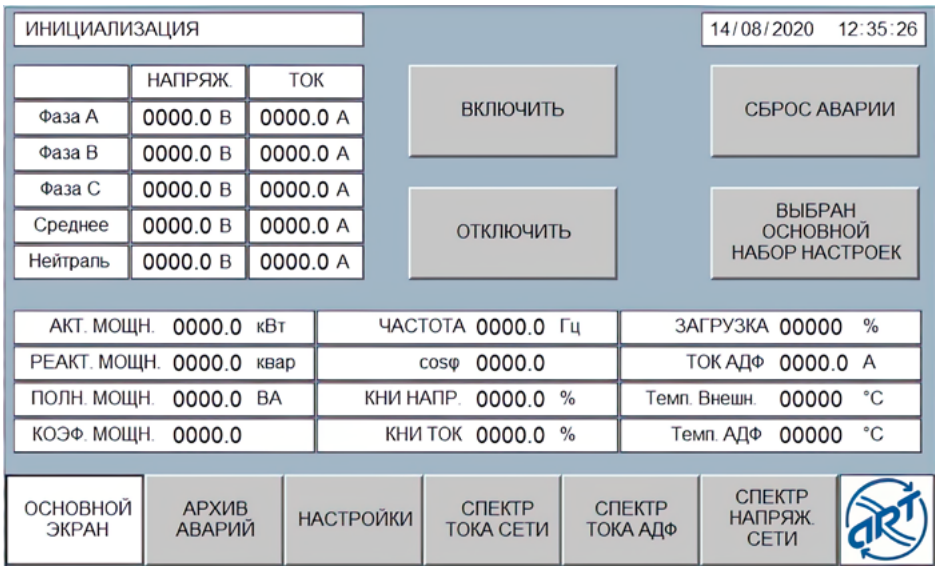
7. Интерфейсы активных фильтров АДФ-У

Стандартным органом управления АДФ-У является графическая панель оператора на двери шкафа активного фильтра. Русскоязычный интерфейс оператора предназначен для наладки активного фильтра, диагностики, отображения графиков спектров гармоник, анализа архивов сообщений и др.

Примеры графических панелей активных фильтров АДФ-У

Посредством панели оператора возможно включить/отключить активный фильтр и выбрать режим его работы: компенсация реактивной мощности, компенсация гармоник, компенсация несимметрии и др. При помощи сенсорных кнопок имеется возможность переключать дисплей графической панели на отображение текущих и архивных параметров работы АДФ-У, производить включение/отключение АДФ-У, изменять режимы компенсации и текущие настройки.

Переключение между рабочими кадрами панели оператора выполняется после касания соответствующей области (вкладки) экранного меню.



Основной экран графической панели активного фильтра АДФ-У

Параметры электрической сети и активного фильтра отображаются на кадре «Основной экран».

В первом окне экрана «Настройки» графической панели активного фильтра осуществляется выбор режима (режимов) компенсации (коэффициент мощности, гармоники, несимметрия). Осуществляется задание поддерживаемого коэффициента мощности или величины реактивной мощности, формируемой АДФ-У в статическом режиме.

При выборе режима компенсации гармоник, во втором окне экрана «Настройки» осуществляется задание степени компенсации (в процентах) для отдельных гармоник.

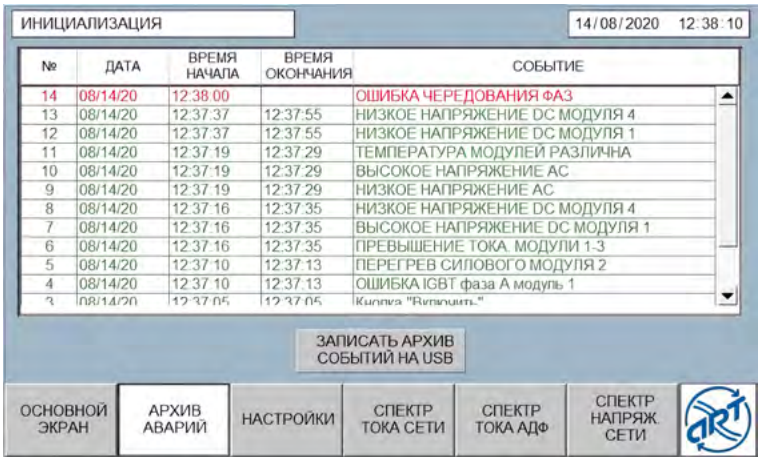
Экран «Настройки», основное окно

Экран «Настройки», дополнительное окно

На кадрах спектров гармоник данные по каждому порядку гармоник отображаются в виде столбчатых диаграмм. Это позволяет контролировать эффективность работы АДФ-У в режимах компенсации гармоник тока и напряжения.

Экран «Спектр тока сети» графической панели активного фильтра АДФ-У

На экране «Архив аварий» отображаются записи о событиях и предупреждениях, возникающих при работе АДФ-У. Основные параметры работы АДФ-У архивируются и хранятся в памяти панели. Архивы событий и данных просматриваются на экране и/или записываются на внешний накопитель с подключением через разъем USB A для последующего просмотра и анализа на персональном компьютере.



Экран «Архив аварий» графической панели активного фильтра АДФ-У

Интерфейс оператора общий для всех активных фильтров АДФ-У, но доступность отдельных настроек определяется модельным рядом и целевой функцией фильтра.

При необходимости местное управление включением/отключением АДФ-У может быть реализовано при помощи кнопок с замыкающими контактами и световых индикаторов на двери шкафа. Дистанционное управление в этом случае осуществляется по цифровому каналу связи.

8. Выбор силовых кабелей, коммутационных аппаратов и трансформаторов тока для подключения АДФ-У

Рекомендации по выбору элементов цепей подключения АДФ-У
Автоматические выключатели, кабельные изделия

Модель	Номинальный ток (In) вводного автоматического выключателя, А (рекомендации)	Уставка рабочего тока расцепителя в кратности к номинальному току (Ir/In) вводного автоматического выключателя (рекомендации)	Вводная силовая кабельная линия в составе четырехжильных/ одножильных кабелей с медными жилами при прокладке в воздухе
Напряжение питающей сети 400 В			
АДФ-У-1-400-3(4)-35-50	100	0,8	1x(4x25) /4x(1x10)
АДФ-У-1-400-3(4)-52-75	160	0,7	1x(4x35) / 4x(1x25)
АДФ-У-1-400-3(4)-69-100 АДФ-У-2-400-3(4)-69-100 АДФ-У-3-400-3(4)-69-100	160	0,95	1x(3x70+1x35) / 4x(1x35)
АДФ-У-1-400-3(4)-87-125	250	0,8	1x(3x95+1x50) / 4x(1x50)
АДФ-У-1-400-3(4)-104-150 АДФ-У-2-400-3(4)-104-150 АДФ-У-3-400-3(4)-104-150	250	0,9	1x(3x120+1x70) / 4x(1x70)
АДФ-У-1-400-3(4)-139-200 АДФ-У-2-400-3(4)-139-200 АДФ-У-3-400-3(4)-139-200	400	0,7	2x(3x50+1x25) / 3x(1x95)+1x(1x50)
АДФ-У-1-400-3(4)-173-250	400	0,8	2x(3x70+1x35) / 3x(1x95)+1x(1x50)
АДФ-У-1-400-3(4)-208-300 АДФ-У-2-400-3(4)-208-300 АДФ-У-3-400-3(4)-208-300	400	0,95	2x(3x95+1x50) / 3x(1x120)+1x(1x70)
АДФ-У-1-400-3(4)-260-375	630	0,8	2x(3x120+1x70) / 3x(1x185)+1x(1x95)
АДФ-У-1-400-3(4)-312-450 АДФ-У-2-400-3(4)-312-450 АДФ-У-3-400-3(4)-312-450	630	0,95	2x(3x150+1x70) / 6x(1x95)+1x(1x95)
Напряжение питающей сети 690 В			
АДФ-У-1-690-3(4)-108-90	160	0,9	1x(3x70+1x35) / 4x(1x35)
АДФ-У-2-690-3(4)-120-100	160	0,95	1x(3x70+1x35) / 4x(1x35)
АДФ-У-1-690-3(4)-215-180	250	0,9	1x(3x120+1x70) / 4x(1x70)
АДФ-У-2-690-3(4)-239-200	400	0,7	2x(3x50+1x25) / 3x(1x95)+1x(1x50)
АДФ-У-1-690-3(4)-323-270	400	0,95	2x(3x95+1x50) / 3x(1x120)+1x(1x70)

Проектирование схемы подключения силовых цепей

Граница проектирования – шинные терминалы (или кабельные наконечники), присоединяемые к системе шин (L1…L3, N) в составе АДФ-У. В составе вводных силовых кабельных линий рекомендуется применять кабели, не распространяющие горение или негорючие, с медными жилами. Сечения жил в составе рекомендуемых кабелей приняты для температур: жил +65°С; окружающего воздуха +25°С.

При выборе кабелей необходимо учитывать особенности их прокладке на объекте.

Проектирование схемы подключения измерительных цепей (трансформаторы тока ТА1-ТА3)

Граница проектирования – клеммник ХТМ в составе АДФ-У.
Рекомендации:
Класс точности трансформаторов тока 0,5;
Ток вторичной обмотки трансформатора тока 5А.
Сечение жил кабеля, обеспечивающего подключение ТА1-ТА3 к ХТМ, выбирается в зависимости от значения нагрузки и длины кабеля с целью исключения перегрузки ТА.

9. Быстродействие активных фильтров АДФ-У

Быстродействие активных фильтров определяется схемой включения силовых и измерительных цепей и свойствами комплектующих изделий.

Быстродействие – неоднозначный термин, и его трактовки изготовителями оборудования сильно отличаются. Иногда в технических спецификациях приводятся несколько параметров.

Время реакции, время цикла управления (***reaction time, control loop time***) – интервал, в течение которого информация об изменившейся величине измеряемого сигнала попадает в управляющее устройство активного фильтра и обрабатывается им. При тактовой частоте контроллера 40 кГц минимально возможное время реакции составит 25 мкс. Данной величиной (до 50 мкс) часто оперируют производители активных фильтров в контексте измерения быстродействия, однако технического смысла в ней не много – за это время выходной ток активного фильтра никак не изменился и компенсации возмущающего воздействия не произошло.

Время переключения, время коммутации (***switching time***) – интервал времени между двумя ближайшими коммутациями силовых ключей активного фильтра, т. е. теоретическое время изменения выходного тока. При частоте коммутации силового модуля 20 кГц минимально возможное время переключения составит 50 мкс. На практике таких коммутаций требуется больше одной, у разных производителей данная величина может быть указана в пределах до 500 мкс (0,5 мс). За это время возмущающее воздействие так же не было скомпенсировано.

Время отклика, время реагирования (***response time***), – интервал времени, в течение которого выходной ток активного фильтра достигает 90% заданной величины. В зависимости от настроек регулятора может принимать значения от десятков микросекунд (условно быстро, с большим перерегулированием) до единиц миллисекунд (условно медленно, без перерегулирования).

Время согласования (***settling time)*** – интервал времени, по истечении которого выходной ток активного фильтра достиг заданной величины и удерживается в пределах +-5% от неё. Как и время отклика, будет зависеть от настроек регулятора и реактивной составляющей полного сопротивления сети в точке подключения, т. е. будет меняться в зависимости от места установки (даже для фильтров одного производителя).

Приведенные количественные показатели быстродействия справедливы для той электроустановки, в которой были измерены, что не позволяет их достоверно и корректно сравнивать. К тому же, измеряются они в лабораторных условиях для случая мгновенного ступенчатого изменения нагрузки, что маловероятно встретить в реальных электроустановках.

Время отклика активного фильтра кратно (чаще на порядки) меньше времени изменения нагрузки компенсируемых потребителей, т. е. в подавляющем большинстве случаев активный фильтр «быстрее» той нагрузки, которую призван компенсировать.

В линейке активных фильтров АДФ-У применяются силовые модули с частотой коммутации силовых ключей от 14 кГц до 40 кГц. **Время реакции** (***reaction time, control loop time)*** составляет 15–50 мкс (в зависимости от модельного ряда). **Время отклика *(response time)*** составляет 1–15 мс (в зависимости от модельного ряда).

Наибольшее быстродействие достигается при включении по схеме с разомкнутым контуром регулирования, далее следует вариант с замкнутым контуром регулирования, и наиболее «медленным» является регулирование без датчиков тока.

В линейке АДФ-У наибольшее быстродействие системы компенсации обеспечивают активные фильтры Модельного ряда 1.

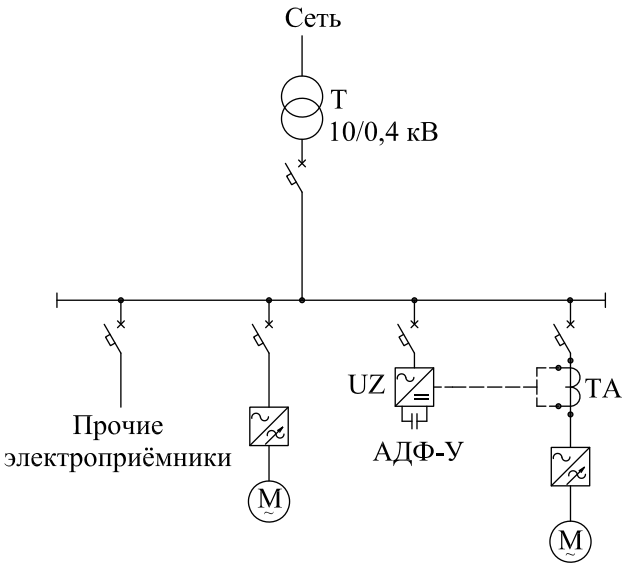
10. Типовые схемы подключения силовых и измерительных цепей АДФ-У

Активные фильтры АДФ-У могут подключаться по схемам трехпроводного и четырёхпроводного соединения так же, как обычные трехфазные электроприёмники.

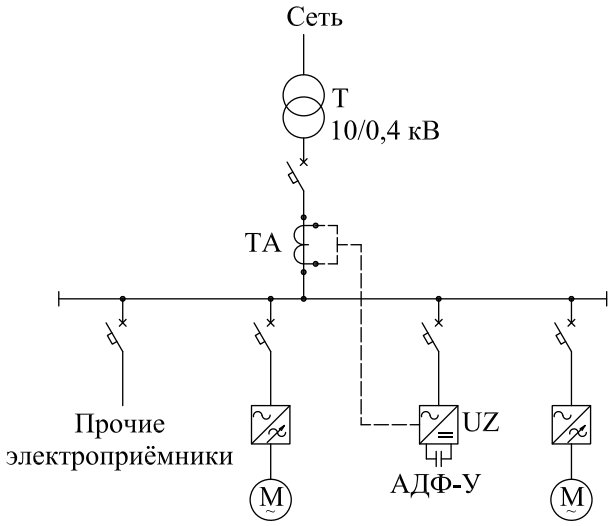
Если фильтры применяются для непосредственной компенсации искажений напряжения, то установка измерительных трансформаторов тока не требуется.

Активные фильтры АДФ-У, применяемые для компенсации реактивной мощности, несимметрии токов трёхфазной цепи и токов высших гармоник, должны получать и обрабатывать данные измерений от стандартных трансформаторов тока. Поставка трансформаторов тока, чаще всего, выполняется Заказчиком.

Тип АДФ-У, место и схема подключения силовых и измерительных цепей определяются характером решаемой задачи, расположением источников балластных токов, физической возможностью организовать подключение и др.



Компенсация высших гармоник.
Разомкнутый контур регулирования



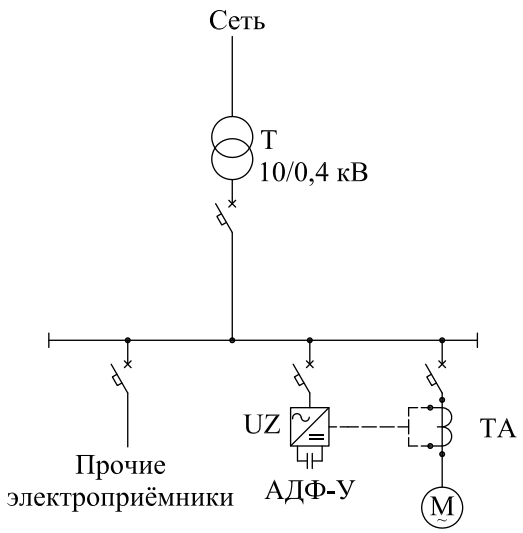
Компенсация высших гармоник.
Замкнутый контур регулирования

Компенсация высших гармоник тока с разомкнутым контуром регулирования позволяет достичь максимального быстродействия и точности обеспечения заданных параметров компенсации. Ток фильтра внешними устройствами не измеряется и процессор АДФ-У реагирует непосредственно на возмущение (ток в нагрузке).

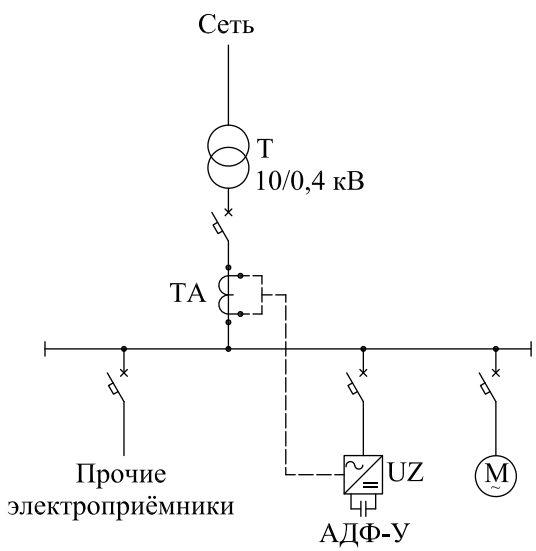
Компенсация высших гармоник в замкнутом контуре регулирования предполагает измерение суммарного тока нагрузки и тока фильтра. Такая схема удобна, например, для компенсации высших гармоник на вводе трансформатора (на сборных шинах подстанции). При этом измеряется результирующий ток, полученный с учетом реакции фильтра на возмущения в нагрузке. Быстродействие, в общем случае, оказывается ниже.

Компенсация реактивной мощности и/или несимметрии в трёхфазной цепи с разомкнутым контуром регулирования позволяет получить максимальное быстродействие и предпочтительна при резкой переменных нагрузках (быстро изменяющихся токах индуктивного / ёмкостного характера).

Компенсация реактивной мощности и несимметрии в трёхфазной цепи с замкнутым контуром регулирования позволяет упростить схему измерительных цепей при компенсации групповых нагрузок, но быстродействие, в общем случае, будет ниже.



Компенсация реактивной мощности.
Разомкнутый контур регулирования



Компенсация реактивной мощности.
Замкнутый контур регулирования

Активные фильтры АДФ-У предполагают использование стандартных трансформаторов тока с номинальным током вторичной обмотки 5 А.

Ниже приведены примеры подключения АДФ-У с двумя трансформаторами тока и с тремя трансформаторами тока.

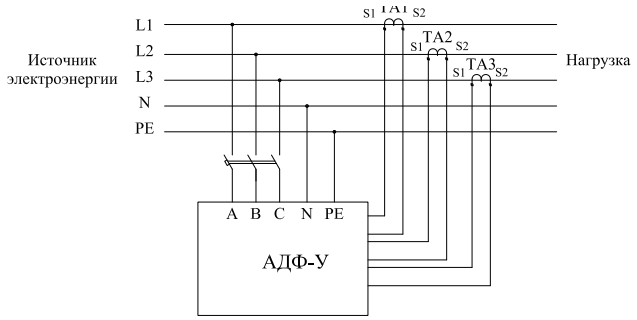


Схема подключения АДФ-У со стороны нагрузки
(3-фазная 4-проводная сеть) с использованием трех трансформаторов тока (TA1-TA3)

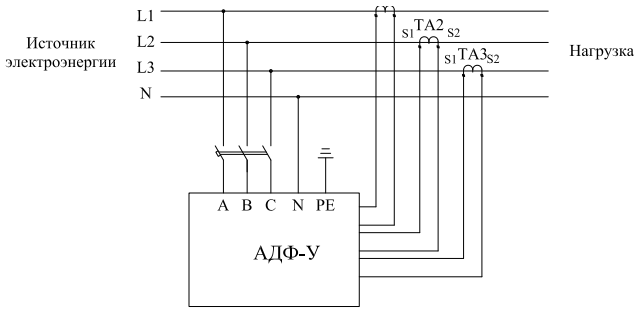


Схема подключения АДФ-У со стороны нагрузки
(3-фазная 3-проводная сеть) с использованием трех трансформаторов тока (TA1-TA3)

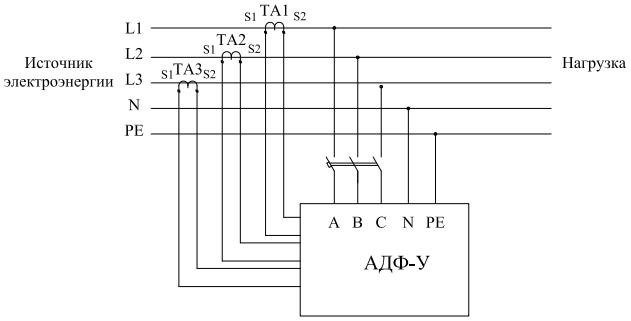


Схема подключения АДФ-У со стороны источника электроэнергии
(3-фазная 4-проводная сеть) с использованием трех трансформаторов тока (TA1-TA3)

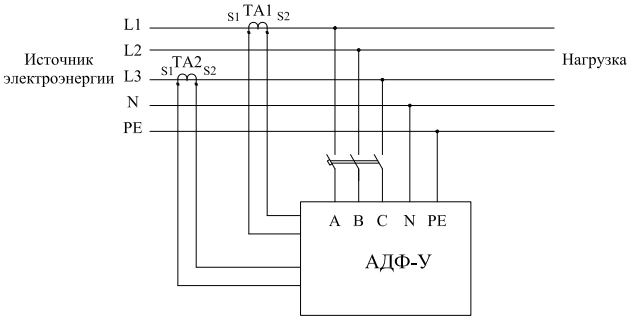
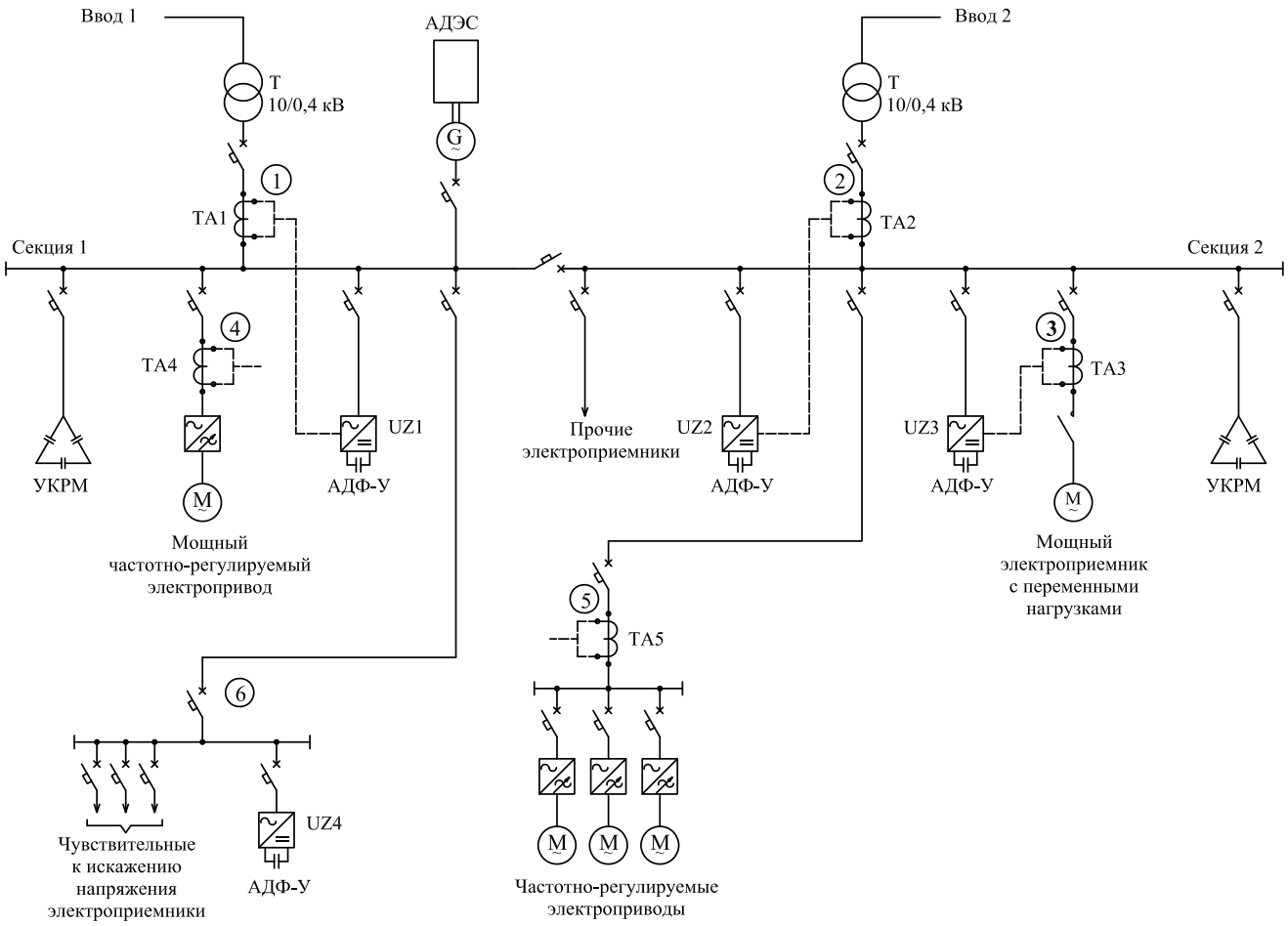


Схема подключения АДФ-У со стороны источника электроэнергии
(3-фазная 4-проводная сеть) с использованием двух трансформаторов тока (TA1, TA2)

Для подключения вторичных обмоток трансформаторами тока рекомендуется применять промежуточный клеммный блок с перемычками, поскольку размыкание вторичной обмотки трансформатора тока недопустимо. С его помощью можно замкнуть накоротко выводы S1 и S2 каждого трансформатора тока до завершения подготовительных работ.

11. Типовые решения по применению АДФ-У в электроустановках до 1000 В

Решение по применению активных фильтров зависит от схемы электроустановки, организации электроснабжения в штатных и нештатных условиях эксплуатации, состава и режимов работы электроприёмников и др.



Условная схема электроустановки с различными вариантами подключения активных фильтров АДФ-У

Решение 1 (точки 1 и 2 на рисунке), наиболее простое и очевидное, заключается в присоединении активных фильтров UZ1 и UZ2 на сборные шины подстанции/распредустройства с установкой трансформаторов тока на соответствующих вводах.

Если фильтры UZ1 и UZ2 настроены на компенсацию высших гармоник и/или реактивной мощности, то каждый из них обеспечит снижение балластных токов (токов высших гармоник и реактивных токов) на соответствующей секции шин.

При реализации Решения 1 важно учитывать, что в случае отключения какого-либо из вводов и замыкания секционного выключателя один из фильтров «увидит» нулевой ток и перестанет работать. В случае отключения обоих вводов и запуска аварийной дизельной электростанции перестанут работать оба фильтра. Таким образом, в аварийной ситуации данное решение не позволит получить пользу от применения активных фильтров.

Решение 2 предполагает компенсацию балластных токов непосредственно на присоединениях электроприемников.

Точка 4 – место установки измерительных трансформаторов для контроля токов высших гармоник, возникающих при работе, например, мощного частотно-регулируемого привода. При подключении к UZ1 цепей от датчиков в Точке 4 фильтр будет штатно работать при любой конфигурации вводов (в том числе, при электроснабжении от аварийной дизельной электростанции).

Точка 5 – место установки измерительных трансформаторов на присоединении нескольких частотно-регулируемых электроприводов. При подключении датчиков к фильтру UZ2 он также будет компенсировать нелинейные токи группы электроприводов, независимо от выбора источника электроэнергии.

Точка 3 – место установки измерительных трансформаторов на присоединении мощного асинхронного электропривода, работающего с резкой переменными нагрузками. Цепи от этих датчиков подключаются к соответствующему активному фильтру UZ3, если требуется динамическая компенсация реактивной мощности на данном присоединении (например, для компенсации провалов напряжения).

Решение 3 (Точка 6) обеспечивает компенсацию нелинейных искажений напряжения на присоединении чувствительных электроприемников (например, оборудования сотовой связи, систем передачи данных и др.). Активный фильтр UZ4 непосредственно контролирует фору напряжения на стороне источника электроэнергии, и для его работы применение трансформаторов тока не требуется.

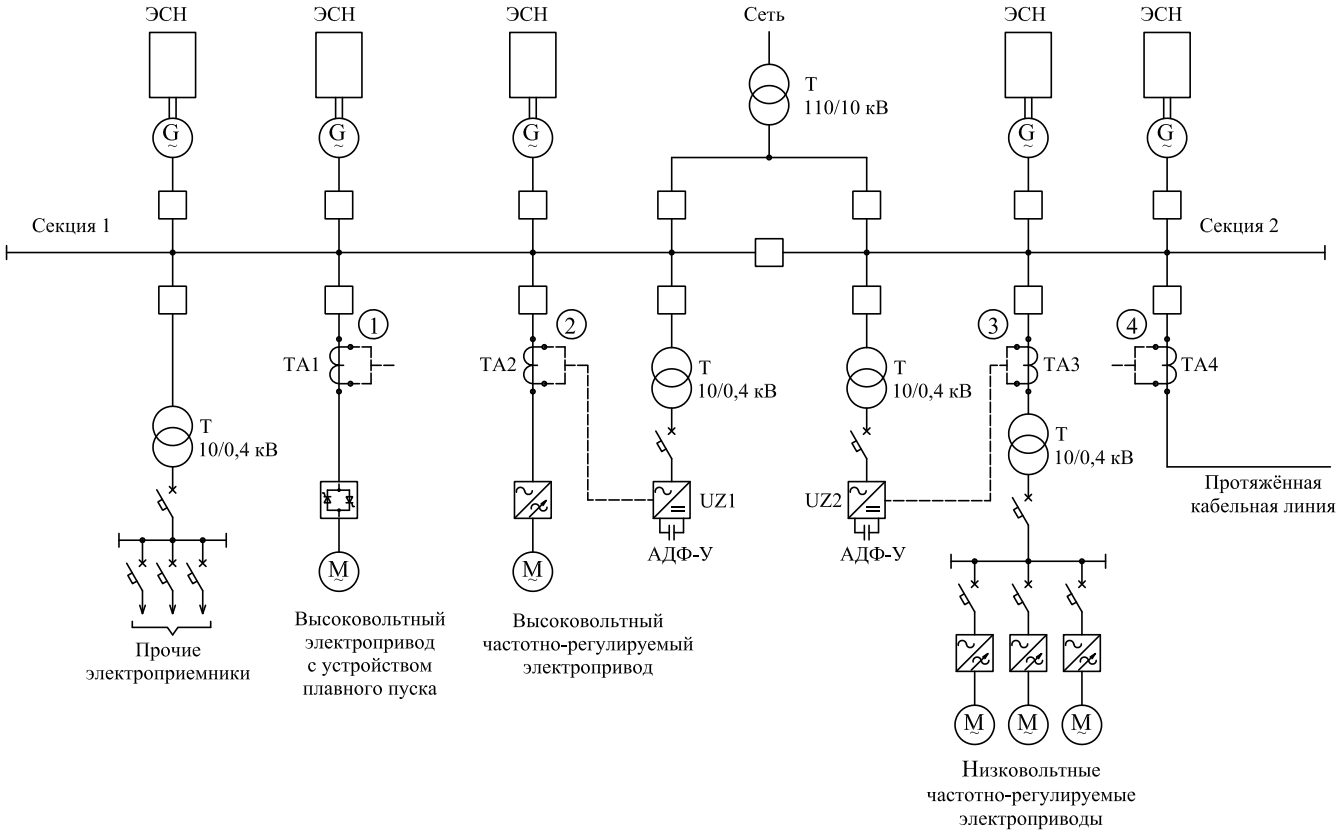
Устройства компенсации реактивной мощности (УКРМ) могут, в принципе, применяться одновременно с активными фильтрами АДФ-У. При этом важно учитывать, что УКРМ не должны оказаться в контуре протекания токов компенсации высших гармоник, формируемых активными фильтрами. Это создает риски перегрева конденсаторов.

Активные фильтры АДФ-У (на фото слева)
в РУ 0,4 кВ промышленного предприятия

В реальных проектах эти и другие решения могут комбинироваться для достижения требуемых результатов с минимальными затратами на дополнительное оборудование систем динамической компенсации.

12. Типовые решения по применению АДФ-У в электроустановках выше 1000 В

Активные фильтры АДФ-У подключаются в электроустановках напряжением 6(10) кВ через соответствующий согласующий силовой трансформатор. Измерительные трансформаторы тока устанавливаются непосредственно в силовой цепи высоковольтной электроустановки и имеют соответствующий класс напряжения.



Условная схема электроустановки с включением активных фильтров АДФ-У на напряжение 6(10) кВ через согласующий трансформатор

Общие решения по применению активных фильтров в электроустановках до 1000 В и выше 1000 В аналогичны, но в последнем случае мощности систем компенсации, как правило, выше.

Решение 1 – компенсация реактивной мощности индуктивного характера при резкой переменных нагрузках.

Точка 1 – место установки измерительных трансформаторов TA1 на присоединении высоковольтного электропривода, подключаемого, например, через тиристорное устройство плавного пуска. При частых пусках наброcы реактивной мощности индуктивного характера вызывают провалы напряжения и риски отключения ответственных электроприёмников. Активные фильтры UZ1 компенсируют реактивную мощность и провалы напряжения.

Решение 2 – компенсация высших гармоник тока при работе высоковольтного частотно-регулируемого электропривода.

Точка 2 – место установки измерительных трансформаторов TA2, подключаемых к активному фильтру UZ1. При этом компенсируются высшие гармоники, возникающие при работе частотно-регулируемого привода. Спектр гармоник сильно зависит от топологии силовой части привода и при наладке системы компенсации фильтр настраивается на подавление гармоник требуемых порядков.

Решение 3 - компенсация высших гармоник тока при работе большого количества низковольтных частотно-регулируемых приводов, запитанных от комплектной трансформаторной подстанции.

Точка 3 - место установки измерительных трансформаторов тока ТА3 на ячейке, питающей КТП. Активный фильтр UZ2 блокирует появление искажений на сборных шинах, при этом в большинстве случаев достаточно компенсировать высшие гармоники 5-го, 7-го, 11-го, 13-го порядков.

Решение 4 - компенсация реактивной мощности ёмкостного характера.

Точка 4 - место установки измерительных трансформаторов тока ТА4 на ячейке, питающей маломощные электроприёмники по протяжённой кабельной линии. При подключении длинного кабеля на сборные шины распредустройства источник электроэнергии нагружается существенной реактивной мощностью ёмкостного характера (иногда более 1 Мвар). Если электроснабжение осуществляется в автономном режиме, то возникают риски отключение генераторов электростанции. Применение активных фильтров UZ2 компенсирует реактивную мощность ёмкостного характера и обеспечивает штатную работу автономных источников.

Активные фильтры АДФ-У компенсируют реактивную мощность ёмкостного характера на шинах 10 кВ

Согласующий трансформатор высоковольтной системы динамической компенсации на базе фильтров АДФ-У

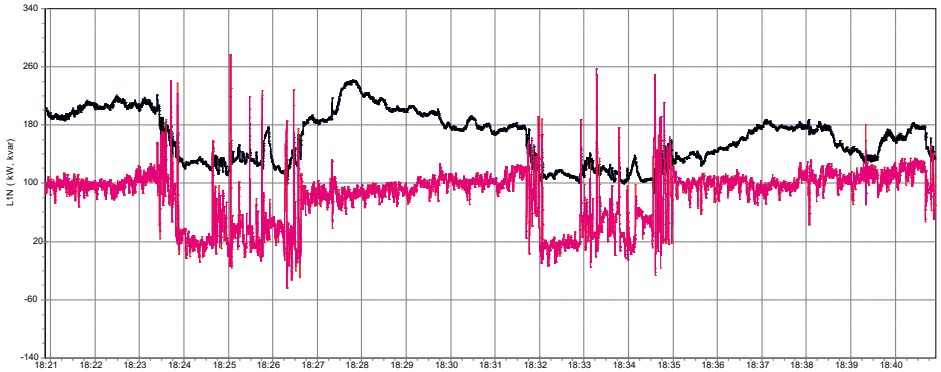
Во многих случаях компенсация высших гармоник и реактивной мощности целесообразна как на стороне низкого напряжения (до 1000 В), так и в сетях 6(10) кВ. Решение о топологии системы компенсации выбирается при проектировании на основании данных измерений и/или моделирования, исходя из поставленной Заказчиком задачи.

13. Работа АДФ-У при компенсации реактивной мощности

Эффект от работы активных фильтров иллюстрируется графиками нагрузки электроприводов по системе «управляемой выпрямитель – двигатель постоянного тока» (УВ-Д), с резкими изменениями активной мощности и, в особенности, реактивной мощности.

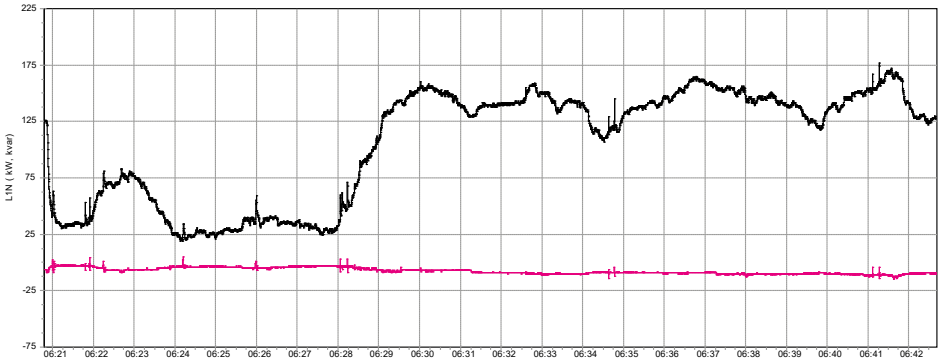
Верхняя кривая на графиках – активная мощность; нижняя кривая – реактивная мощность.

Активная мощность не превышает 200 кВт, а реактивная мощность изменяется в диапазоне от нуля до 300 квар.



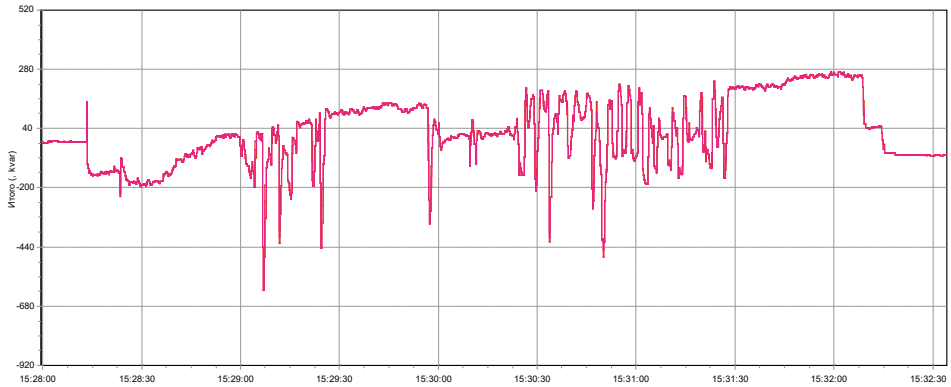
Графики нагрузки электроприводов по системе УВ-Д при отключенной компенсации реактивной мощности (АДФ-У отключены)

При включении АДФ-У реактивная мощность снижается практически до нуля (нижняя линия).



Графики нагрузки электроприводов по системе УВ-Д при включенной компенсации реактивной мощности (АДФ-У включены)

Эффект от работы активных фильтров при компенсации переменной по знаку реактивной мощности (индуктивного и ёмкостного характера) иллюстрируется графиками нагрузки бурового комплекса.



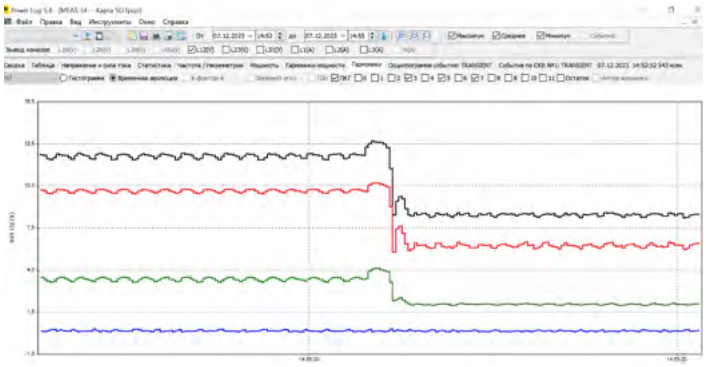
Графики нагрузки системы компенсации реактивной мощности на базе фильтров АДФ-У при работе бурового комплекса

Реактивная мощность, вырабатываемая АДФ-У, изменяются от (-) 600 квар до (+) 280 квар, в зависимости от нагрузки контролируемого присоединения. При этом Cos ф в точке подключения фильтров поддерживается близким к единице.

Применение активных фильтров АДФ-У для компенсации реактивной мощности разгружает источники электроэнергии (генераторы, трансформаторы), линии электропередачи, коммутационную аппаратуру, уменьшает потери, падения напряжения и др.

14. Работа АДФ-У при компенсации высших гармоник

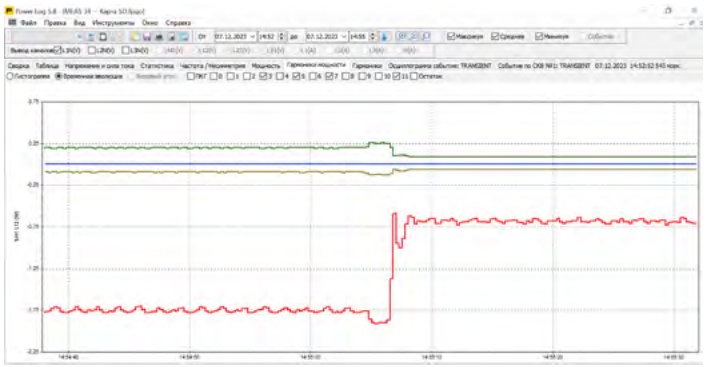
Эффект от работы активных фильтров иллюстрируется графиками высших гармоник напряжения на присоединении электропривода гребной установки по системе «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель». Электропривод запитан от судовой электростанции.



Гармоники напряжения на генераторе судовой электростанции. Левая часть – АДФ-У отключен. Правая часть – АДФ-У включен.

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения KU (или THDu в англоязычной терминологии) достигает 13 % (левая часть графиков). Преобладают гармоники 5-го порядка (до 10 %).

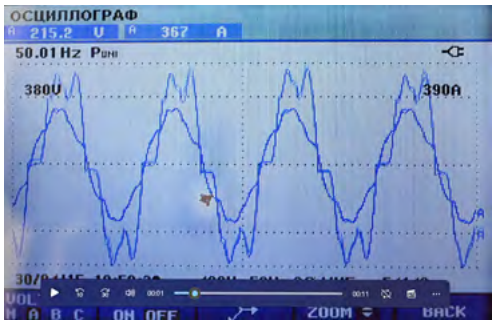
При включении АДФ-У суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения снижается до 8%, что соответствует требованиям РС (Российский морской регистр судоходства).



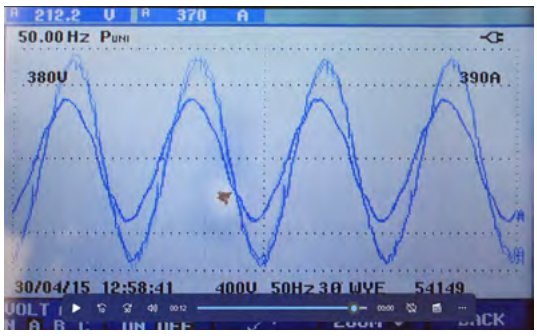
Графики гармоник мощности на генераторе судовой электростанции. Левая часть – АДФ-У отключен. Правая часть – АДФ-У включен.

Гармоники мощности при этом кратно снижаются по величине (нижняя линия), сохраняя отрицательный знак. Это подтверждает, что искажения формируются на стороне электроприёмников.

На фото приведены осциллограммы тока и напряжения на присоединении электропривода при отключенных (слева) и включенных (справа) фильтрах АДФ-У.



Ток и напряжение при отключенных АДФ-У

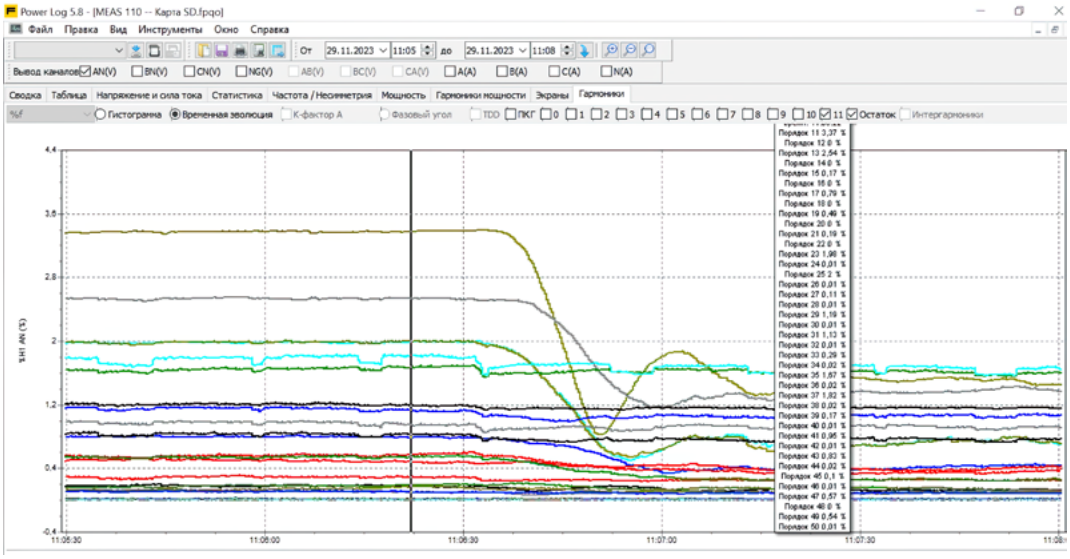


Ток и напряжение при включенных АДФ-У

Большинство активных фильтров уверенно компенсируют реактивную мощность в сетях с высоком содержанием высших гармоник, а также компенсируют одновременно высшие гармоники и реактивную мощность.

15. Работа АДФ-У при компенсации искажений напряжения, поступающих со стороны источника электроэнергии

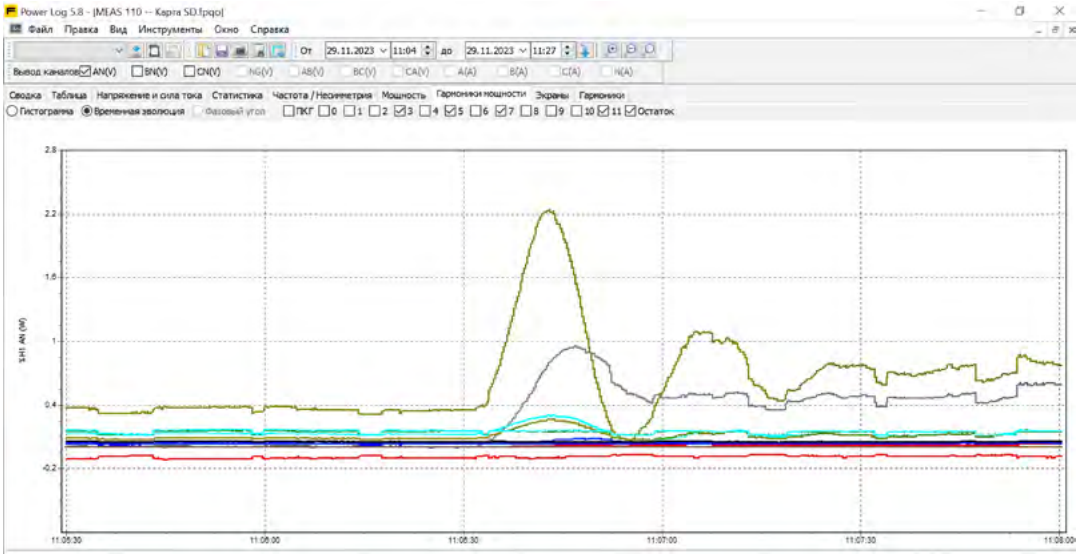
Эффект от работы активных фильтров иллюстрируется графиками высших гармоник напряжения на вводе питания поликлиники, подключенной к сетям металлургического предприятия.



Гармоники напряжения на Вводе трансформатора 10/0,4 кВ. Левая часть – АДФ-У отключен. Правая часть – АДФ-У включен

Изначально гармоники порядков 11, 13, 23, 25, 35, 37 превышают допустимые ГОСТ значения (левая часть графиков). Это вызывает сбои в работе диагностического оборудования медицинского учреждения.

При включении АДФ-У в работу в 11 час. 06 мин. (правая часть графиков) искажения напряжения снижаются до приемлемых величин. Фильтр работает БЕЗ трансформаторов тока, непосредственно измеряя и компенсируя искажения напряжения на сборных шинах подстанции.



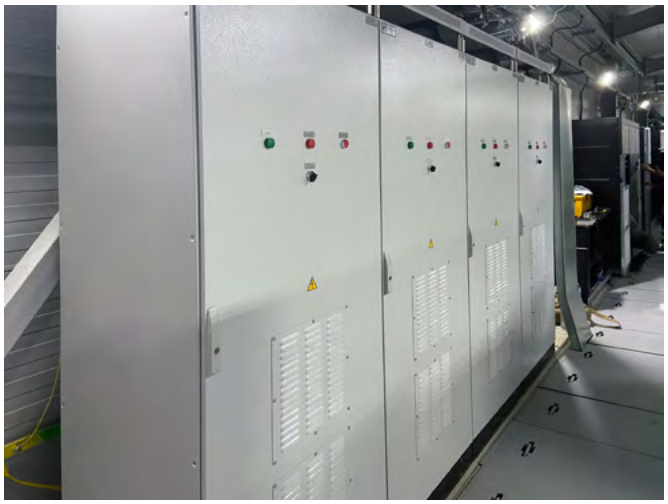
Гармоники мощности на Вводе трансформатора 10/0,4 кВ. Левая часть – АДФ-У отключен. Правая часть – АДФ-У включен

Гармоники мощности имеют положительный знак, что подтверждает поступление искажений на РУ-0,4 кВ трансформаторной подстанции со стороны источника электроэнергии.

Применение активных фильтров обеспечило стабильную работу диагностического оборудования.

16. Работа АДФ-У при параллельном подключении изделий для увеличения мощности системы компенсации

Активные фильтры АДФ-У предполагают параллельное подключение изделий для увеличения мощности системы компенсации.

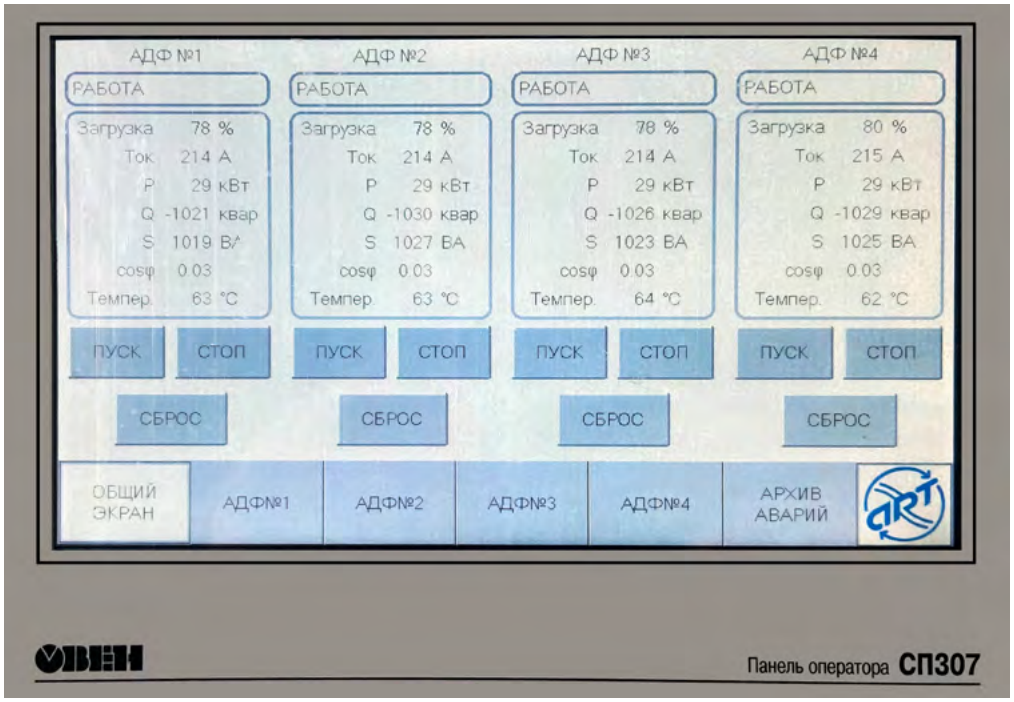


Пример параллельного подключения четырех фильтров АДФ-У для увеличения мощности системы компенсации (до 1200 кВА)

Пример коммутационной сборки для системы компенсации реактивной мощности с четырьмя фильтрами АДФ-У

Защита фильтров, создание видимого разрыва цепей для проведения ППО и ППР отдельных модулей, осуществляется низковольтным комплектным устройством (НКУ) станции управления.

На двери НКУ размещается панель оператора, общая для всех фильтров.

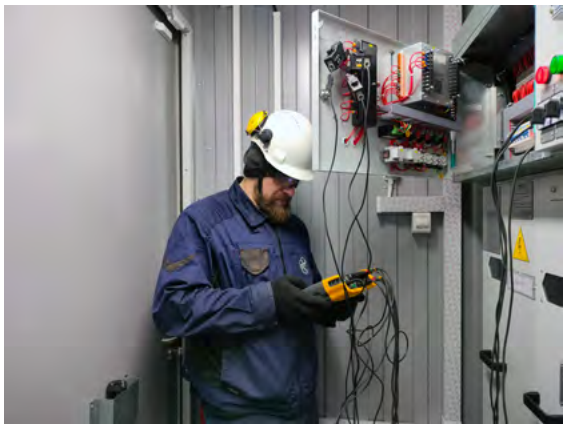


Панель оператора системы динамической компенсации на базе четырех активных фильтров АДФ-У.

Распределение нагрузок между фильтрами при параллельном подключении нескольких изделий осуществляется, в данном случае, по принципу «ведущий – ведомые». Любой из фильтров АДФ-У может назначаться «ведущим» с панели оператора. При его возможной остановке следующий фильтр становится «ведущим», и работа системы компенсации не прерывается.

17. Работа АДФ-У при компенсации высших гармоник и реактивной мощности в электроустановках выше 1000 В

Эффект от работы активных фильтров иллюстрируется графиками переменных, зафиксированных прибором FLUKE 435 на Вводе 6 кВ при пуске привода бурового насоса в 09 час. 11 мин. Фильтры подсоединены на сборные шины 6 кВ через согласующий трансформатор, настроены на одновременную компенсацию высших гармоник 5-го порядка и реактивной мощности.

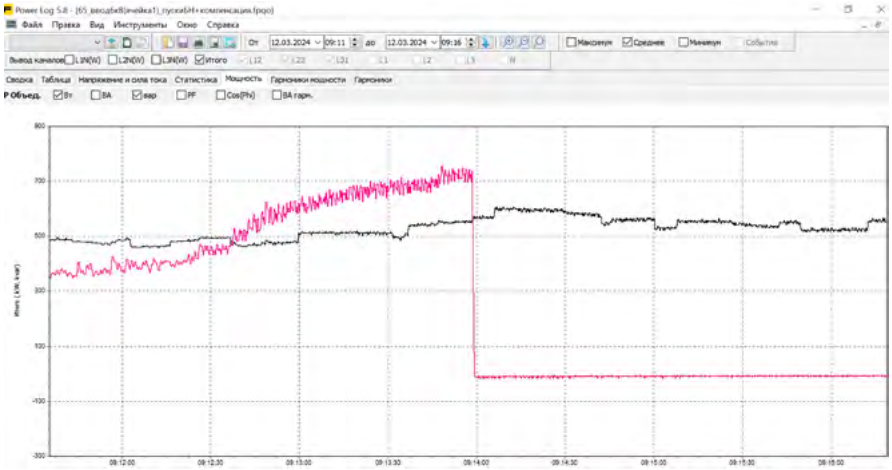


Измерения на Вводе 6 кВ при пуске привода бурового насоса

Согласующий трансформатор для подключения активных фильтров

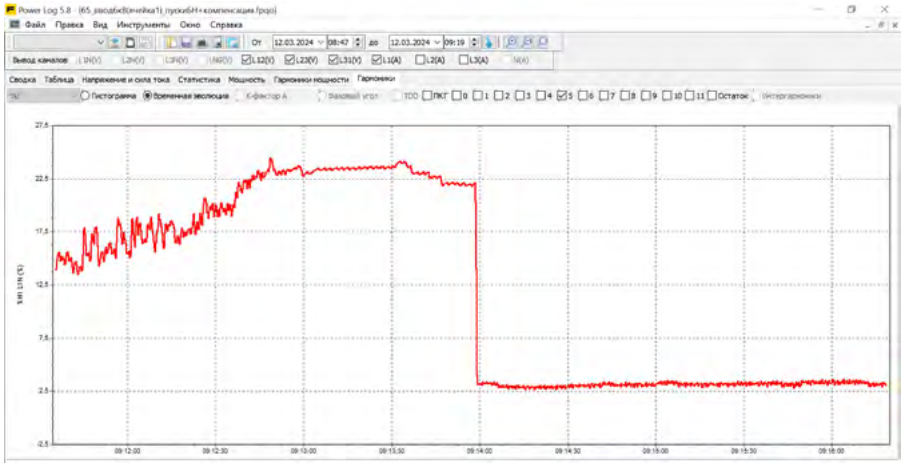
При разгоне бурового насоса активная мощность на Вводе возрастает от 430 кВт до 600 кВт; реактивная мощность увеличивается от 200 квар до 750 квар (левая часть графика).

При включении активных фильтров в 09 час. 14 мин. реактивная мощность снижается до нуля (правая часть графика).



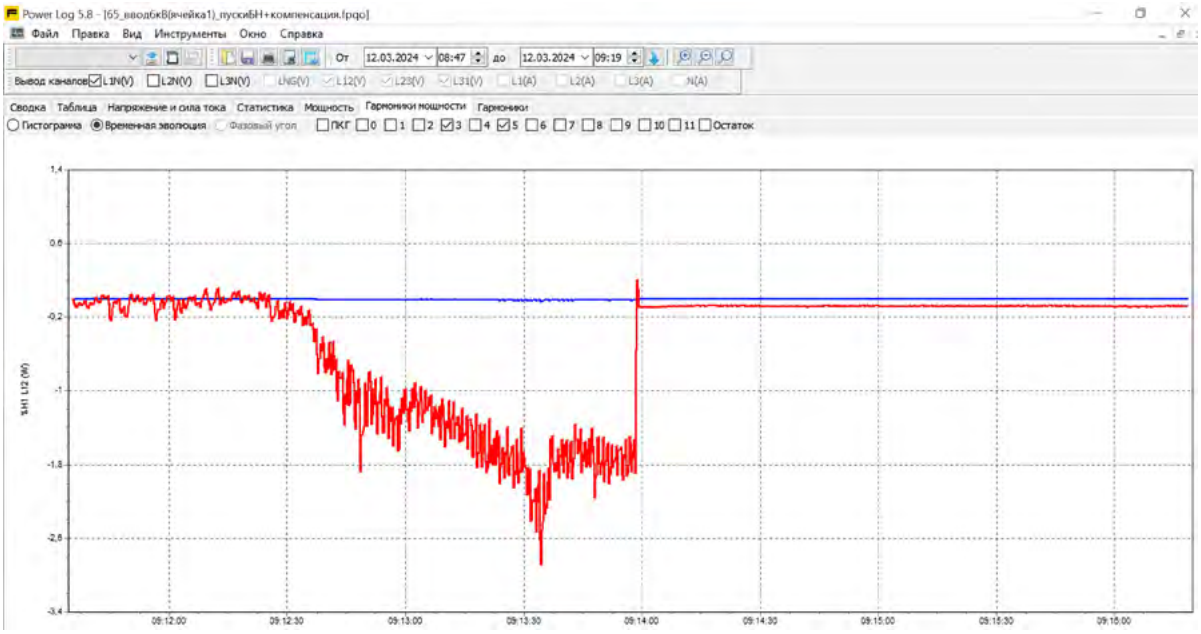
Мощность активная и реактивная на Вводе 6 кВ при пуске привода бурового насоса. Левая часть – фильтры отключены. Правая часть – фильтры включены.

Одновременно с этим, гармоники тока 5-го порядка снижаются с 25% до 3%.



Гармоники тока на Вводе 6 кВ при пуске привода бурового насоса. Левая часть – фильтры отключены. Правая часть – фильтры включены.

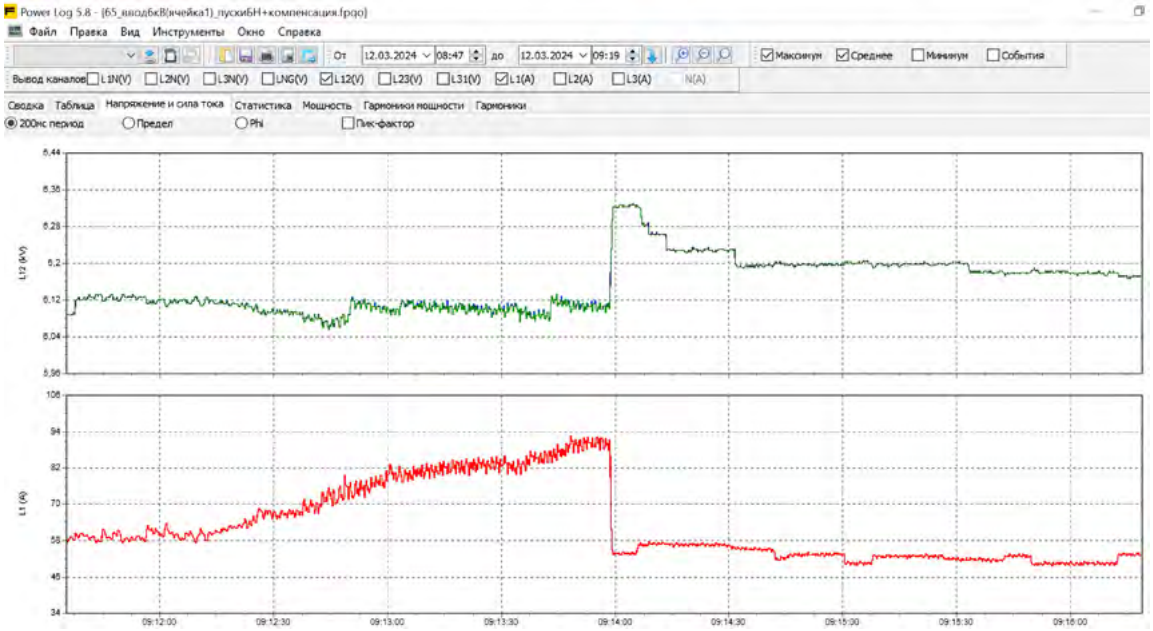
Гармоники мощности 5-го порядка на Вводе 6 кВ имеют отрицательный знак, что подтверждает формирование нелинейных искажений на стороне нагрузки. При включении активных фильтров гармоники мощности уменьшаются до нуля.



Гармоники мощности на Вводе 6 кВ при пуске привода бурового насоса. Левая часть – фильтры отключены. Правая часть – фильтры включены.

Применение активных фильтров АДФ-У компенсирует потребление по Вводу 6 кВ реактивной мощности и преобладающих высших гармоник (в данном случае 5-го порядка). Это приводит к уменьшению полного тока на Вводе с 90 А до 50 А.

Напряжение на Вводе возрастает с 6,1 кВ до 6,2 кВ.



Напряжение и ток на Вводе 6 кВ при пуске привода бурового насоса. Левая часть – фильтры отключены. Правая часть – фильтры включены.

Компенсация высших гармоник и реактивной мощности в электроустановках выше 1000 В активными фильтрами является добротной альтернативой применению высоковольтных изделий СТАТКОМ. Активные фильтры проще размещать в стесненных условиях, обслуживать, ремонтировать и др.

18. Разработка, программирование, наладка систем динамической компенсации на базе активных фильтров АДФ-У

Активные фильтры АДФ-У управляются встроенным контроллером, ресурсов которого, в большинстве случаев, достаточно для построения локальной системы динамической компенсации (СДК) высших гармоники и/или реактивной мощности. Настройка режимов компенсации выполняется с панели оператора, после чего фильтр работает в автоматическом режиме.

Однако, при создании сложных и высоковольтных систем динамической компенсации приходится решать дополнительные задачи, выходящие за зону ответственности АДФ-У.

Управление конфигурацией СДК при объединении фильтров в несколько групп повышает надёжность и живучесть системы.

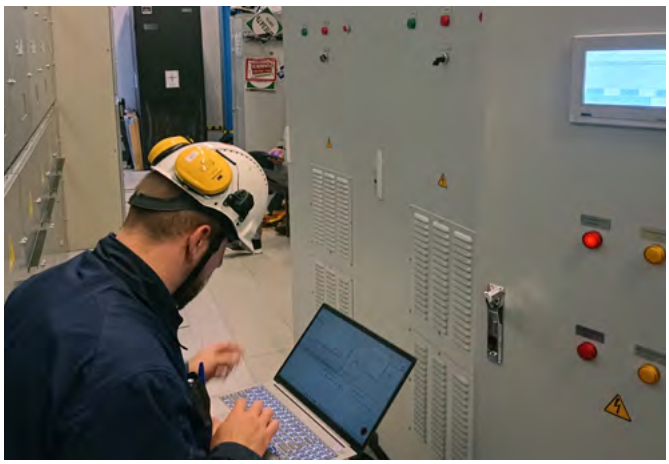
Управление коммутационными аппаратами на водах СДК обеспечивает байпасирование системы, автоматическое повторное включение и др.

Управление режимами компенсации повышает эффективность использования ресурсов СДК при изменениях нагрузок на объекте (например, применяя компенсацию высших гармоник днем и компенсацию реактивной мощности ночью).

Интеграция СДК в АСУ ТП предприятия предоставляет оперативному персоналу и техническим руководителям дополнительные данные о работе электроустановок.

Инженерный центр «АРТ» предлагает, наряду с поставкой активных фильтров АДФ-У, полный комплекс работ по созданию сложных и высоковольтных систем динамической компенсации (от обследования и измерений до пусконаладки).

Обследование электроустановок и разработка общих решений СДК



Наладка системы динамической компенсации на базе активных фильтров АДФ-У

По требованиям Заказчиков, возможна поставка СДК в контейнерах и блочно-модульных зданиях.

Изготовление высоковольтной СДК на базе активных фильтров для буровой установки

19. Включение активных фильтров АДФ-У в АСУ ТП

Активные фильтры семейства АДФ-У интегрируются в системы управления верхнего уровня посредством стандартных интерфейсов Ethernet, RS-485, RS-232 и открытого документированного протокола связи Modbus TCP или RTU.

Используя удалённый доступ к АДФ-У, можно осуществлять:

- чтение текущих параметров работы АДФ-У и электрической сети;
- чтение/запись настроек параметров компенсации;
- чтение состояния (работа, авария, др.);
- удалённое управление.

Интеграция АДФ-У в АСУ ТП позволяет дистанционно включать и отключать фильтры, контролировать работу нескольких фильтров с одного поста управления, изменять настройки и приоритет работы системы компенсации (реактивная мощность, высшие гармоники и др.), вести архивы, отображать графики, и др. Системы передачи данных используются также для обеспечения параллельной работы АДФ-У.

Экран АРМ оператора энергокомплекса, отображающий информацию
от системы динамической компенсации на базе активных фильтров АДФ-У

Активные фильтры АДФ-У являются источником дополнительной информации для АСУ ТП предприятия в части параметров электроэнергии.

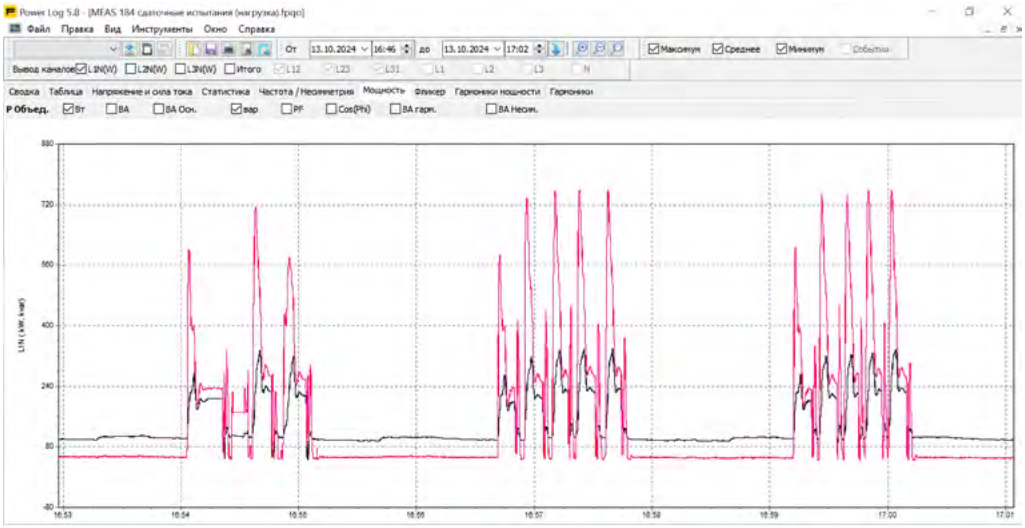
В реальном времени доступны измеряемые и рассчитываемые фильтром величины:

- фазные напряжения;
- фазные токи;
- токи высших гармоник;
- токи обратной и нулевой последовательностей;
- мощность активного, индуктивного и ёмкостного характера.

Доступны также расчетные параметры качества электроэнергии и другая информация, зависящая от модели фильтра.

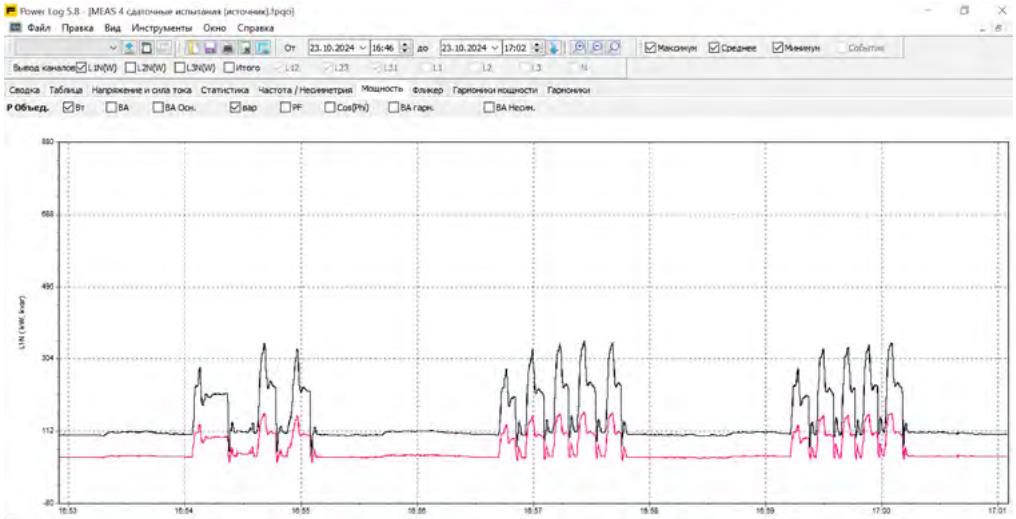
20. Выбор активных фильтров АДФ-У на основании данных измерений

Активные фильтры АДФ-У могут быть лучшим решением для компенсации реактивной мощности, если при работе электроустановки её величина и/или знак быстро изменяются.



Мощность активная (нижняя линия) и реактивная (верхняя линия) на вводе питания бурового комплекса при спуско-подъёмных операциях до включения активных фильтров (АДФ-У отключены)

Реактивная мощность на приведенном графике изменяется от (–) 300 квар, ёмкостного характера, до (+) 1500 квар, индуктивного характера. Решение о выборе установленной мощности активных фильтров (в «кВА») принимается с опорой на здравый смысл, исходя из постановки задачи (уменьшение провалов напряжения, предотвращение срабатывания защит генераторов и др.). Компенсировать реактивную мощность до нуля во всех режимах эксплуатации – дорого, и не всегда рационально. Задавшись целевым значением cos ф (в данном примере 0,87), можно определить требуемую реактивную мощность системы компенсации (в «квар»).

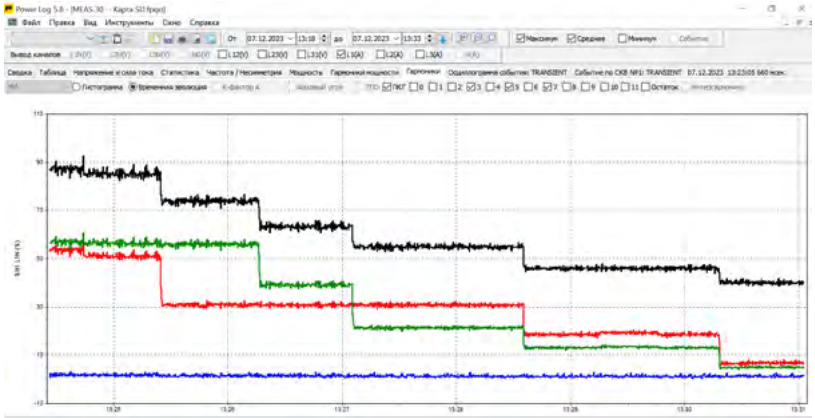


Мощность активная (верхняя линия) и реактивная (нижняя линия) на вводе питания бурового комплекса при спуско-подъёмных операциях после включения активных фильтров (АДФ-У включены)

Активные фильтры АДФ-У при компенсации искажений, возникающих на присоединениях нелинейных электроприёмников, могут настраиваться на подавление гармоник определенных порядков. Это позволяет оптимально использовать ресурсы фильтра и устранять, главным образом, те гармоники, которые вызывают проблемы в электроустановке.

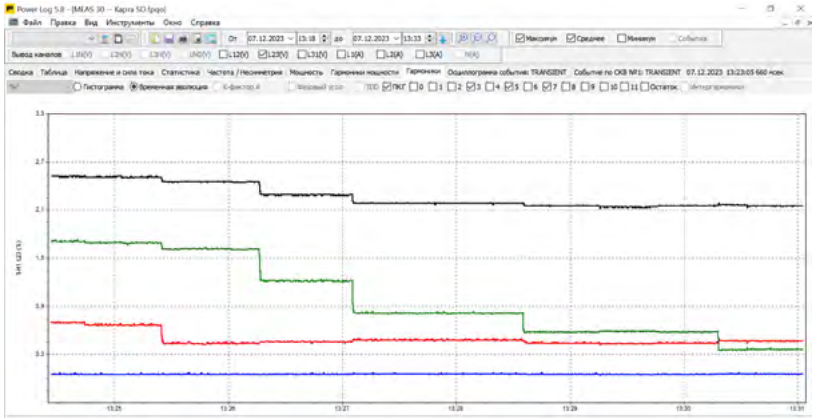
Задавшись целевым значением суммарного коэффициента гармонических составляющих тока THDi и/или определив (на основе данных измерений) порядки преобладающих гармоник тока, можно рассчитать требуемый ток компенсации активного фильтра. При этом важно учитывать, что величина и спектр гармоник сильно зависят от нагрузки электроприёмников.

Распределить ресурсы активного фильтра на подавление гармоник отдельных порядков можно при пусконаладке. На приведенных ниже графиках суммарный коэффициент гармонических составляющих тока THDi (верхняя линия) при отключенном активном фильтре достигает 90 % (левая часть графика). Преобладают гармоники 5-го и 7-го порядков (нижние линии).



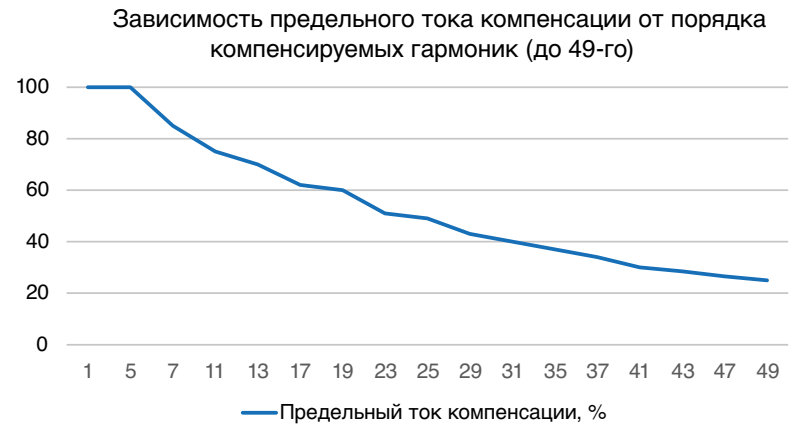
Гармоники тока на Вводе питания частотно-регулируемого электропривода при наладке фильтра с подбором настроек компенсации гармоник 5-го и 7-го порядков

При включении АДФ-У и корректировке настроек (с увеличением степени подавления гармоник 5-го и 7-го порядков), величина THDi (верхняя линия) снижается до 25%. При этом снижается и суммарный коэффициент искажения напряжения THDu.



Гармоники напряжения на Вводе питания частотно-регулируемого электропривода при наладке фильтра с подбором настроек компенсации гармоник 5-го и 7-го порядков

В общем случае измерения проводятся несколькими приборами контроля качества электроэнергии одновременно (на разных присоединениях, на разных уровнях напряжения и др.). Сопоставление графиков изменения THDi, THDu, активной мощности, реактивной мощности, тока, напряжения, и др. раскрывает общую картину образования нелинейных искажений на объекте и позволяет принять взвешенное решение о применении активных фильтров. При этом удобнее ориентироваться не на полную мощность, а на предельный ток компенсации, который данный тип АДФ-У способен длительно обеспечивать.



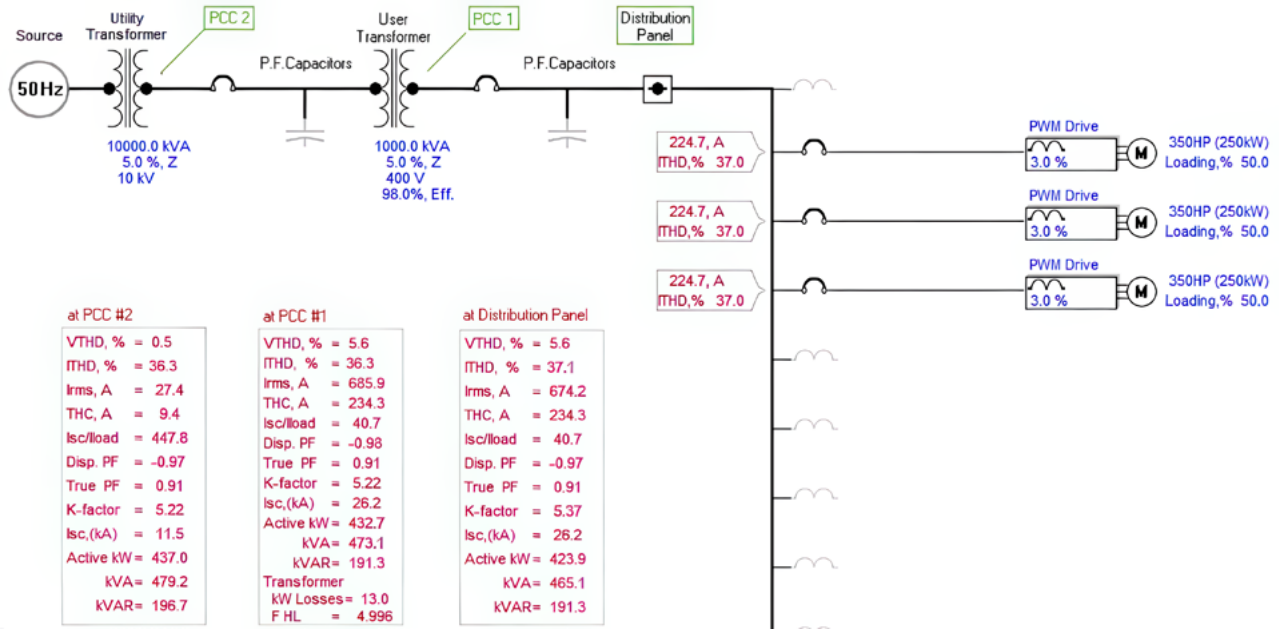
Зависимость предельного тока компенсации от порядка (номера) компенсируемых гармоник для Модельного ряда 1 активных фильтров АДФ-У

Важно учитывать, что допустимый для фильтра предельный ток компенсации уменьшается по мере увеличения порядка (номера) компенсируемых гармоник.

21. Выбор активных фильтров АДФ-У на основании данных моделирования высших гармоник в электроустановках

Активные фильтры АДФ-У часто указываются в спецификациях проектов строящихся и/или реконструируемых объектов, когда измерения с целью выбора фильтров невозможны. Вместе с тем, сегодня доступны множество программных продуктов (от бесплатных до очень дорогих), позволяющих моделировать высшие гармоники в электроустановках разной сложности.

Практика такова, что на стадии проектирования не все исходные данные, необходимые для построения и применения модели, удается получить. В таких ситуациях решения о выборе активных фильтров принимаются с опорой на здравый смысл, и расчеты выполняются для нескольких сценариев. Выбирая сценарии, приходится учитывать ряд факторов, влияющих на величину и спектр высших гармоник тока и напряжения.



Пример моделирования высших гармоник в условной электроустановке с частотно-регулируемыми электроприводами при питании от электроэнергетической системы

Тип и нагрузка нелинейных электроприёмников.

На схеме в Разделе 11 показаны частотно-регулируемые электроприводы UZ1 – UZ3, подключенные в точке 5. Эта схема взята за основу, и в расчете принята установленная мощность преобразователей частоты по 250 кВт. Во входных цепях преобразователей частоты есть «трехпроцентные» дроссели. Приводы работают с нагрузкой 50 % от номинальной. Трансформатор мощностью 1000 кВА выполнен с Uk = 5%. Секционный выключатель разомкнут. По результатам расчета на вторичной обмотке трансформатора имеем: THDi = 37,1% (при токе 224 А); THDu = 5,6%.

Если нет других нелинейных нагрузок и искажений напряжения, сформированных на стороне источника электроэнергии, то без установки активных фильтров, вероятно, можно обойтись.

Вместе с тем, при нагрузке преобразователей частоты 100 % (и прочих равных условиях) THDi = 27,6% (при токе 447 А); THDu = 8,3%. Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения Ku несколько превышает предельно допустимое значение (8%) по ГОСТ 32144-2013 (перечисление «в»). Активные фильтры, скорее всего, нужны.

Если тип нагрузки изменится с «частотно-регулируемый привод» на «тиристорный управляемый выпрямитель – двигатель», то Ku (THDu) будет более 10%. Активные фильтры необходимо устанавливать.

Дроссели в силовых цепях нелинейных электроприёмников.

Применение преобразователей частоты без дросселей в силовых цепях ухудшает качество электроэнергии. При нагрузке преобразователей 100 % (и прочих равных условиях) THDi = 34,7 % (при токе 447 А); THDu = 10,4%. Активные фильтры однозначно нужны.

Напряжение короткого замыкания трансформатора.

Влияние нелинейных нагрузок на искажения напряжения тем больше (в точке их присоединения), чем больше напряжение короткого замыкания трансформатора. При мощности трансформатора 1000 кВА, Uk = 8%, нагрузке преобразователей 100% (без входных дросселей) THDu = 13,4%. Активные фильтры однозначно нужны.

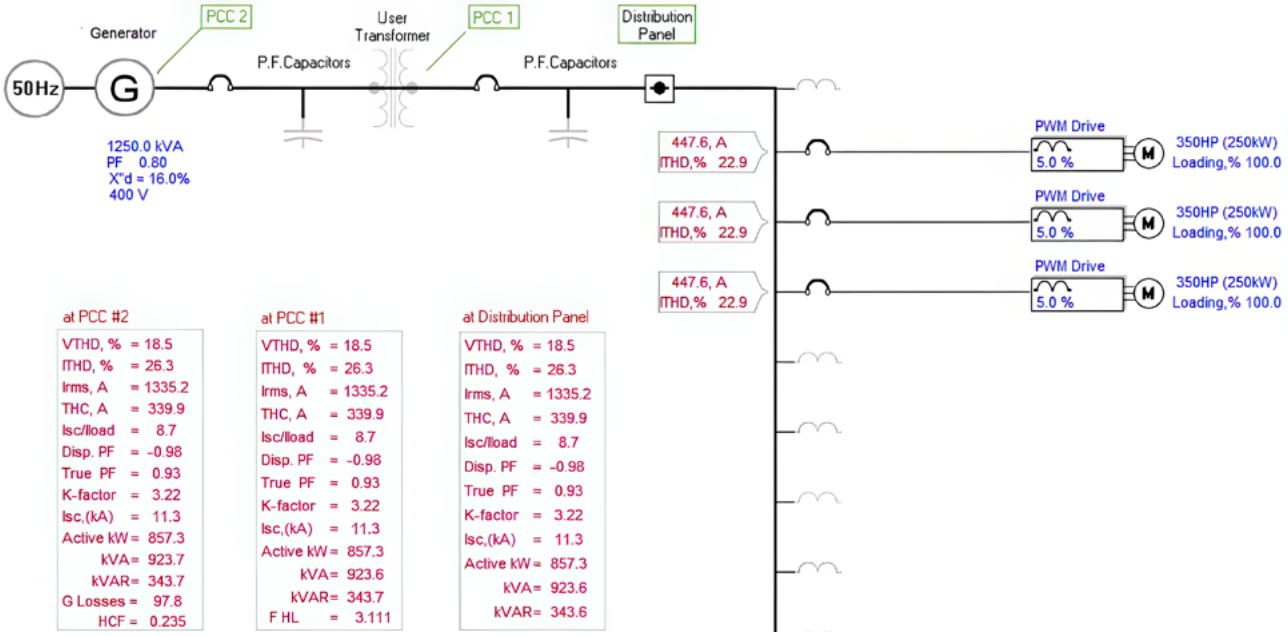
Установленная мощность трансформатора.

Влияние нелинейных нагрузок на искажения напряжения тем меньше, чем больше установленная мощность трансформатора. При мощности 3200 кВА, Uk = 6%, нагрузке преобразователей 100% (без входных дросселей) THDu = 7,3%. Без установки активных фильтров, вероятно, можно обойтись.

Электроснабжение от автономной электростанции.

Влияние нелинейных нагрузок на искажения напряжения существенно возрастает при автономном электроснабжении (например, от дизель-генератора).

На схеме ниже - питание потребителей секции 2 переключается с электроэнергетической системы на автономный источник электроэнергии.



Пример моделирования высших гармоник в условной электроустановке с частотно-регулируемыми электроприводами при питании от автономного источника электроэнергии

При нагрузке преобразователей 100% (с входными «пятипроцентными» дросселями) THDu = 18,5%. Активные фильтры однозначно нужны.

Таким образом, рассматривая различные сценарии, возможно оценить риски возникновения нештатых ситуаций и принять взвешенное решение о применении активных фильтров.

Ряд программных продуктов позволяют учитывать при моделировании также высшие гармоники напряжения, поступающие в электроустановку со стороны источника электроэнергии.

22. Техническое обслуживание и ремонт активных фильтров

Активные фильтры АДФ-У по топологии, элементной базе, приёмам монтажа, технического обслуживания и ремонта в основном аналогичны низковольтным преобразователям частоты. Специалисты, эксплуатирующие современные электроприводы на предприятиях, не встречают особых трудностей при обслуживании активных фильтров.

Поддержка производителя может потребоваться в ряде случаев для диагностики изделий, поставки ЗИП и ремонта.

В составе Инженерного центра «АРТ» в Санкт-Петербурге функционирует Сервисный центр, осуществляющий гарантийный ремонт активных фильтров, послегарантийный ремонт активных фильтров, ППО и ППР активных фильтров.

Ремонт активных фильтров в Сервисном центре «АРТ» в Санкт-Петербурге

Компонентный ремонт плат управления активных фильтров

Работы выполняются как в офисе Сервисного центра, так и на объектах Заказчиков командированным персоналом.

Ремонт активных фильтров в Сервисном центре «АРТ» в Санкт-Петербурге

При возможности удаленного доступа к изделиям АДФ-У через интернет, специалисты Сервисного центра выполняют также дистанционный мониторинг, диагностику, параметрирование активных фильтров.

23. Комплектность поставки АДФ-У. Гарантии.

Поставка активных фильтров АДФ-У осуществляется в соответствии с заказной спецификацией/опросным листом.

Комплект поставки.

1. Активный фильтр серии АДФ-У.
2. Эксплуатационная документация.
3. Декларация соответствия ТР ТС.

Эксплуатационная документация включает:

- Паспорт на активный фильтр серии АДФ-У – 1 экз;
- Руководство по эксплуатации активного фильтра АДФ-У - 1 экз;
- Опросный лист, согласованный Заказчиком, или Спецификация – 1 экз.

Стандартный гарантийный срок на поставляемые активные фильтры АДФ-У составляет 12 месяцев с даты начала эксплуатации, но не более 18 месяцев с даты поставки. Период гарантийной поддержки может быть увеличен при своевременном техническом обслуживании и обеспечении складского запаса ЗИП. Условия продления гарантий согласовываются на этапе размещения заказа на поставку оборудования.

ООО «Инженерный центр «АРТ» обеспечивает гарантийное обслуживание и гарантийный ремонт активных фильтров АДФ-У в собственном сервисном центре в г. Санкт-Петербург.

Производитель оставляет за собой право вносить изменения в характеристики оборудования, его внешний вид и комплектность. Актуальная информация о продукции доступна на сайте Инженерного центра «АРТ» – www.ic-art.ru

24. Форма запроса на поставку АДФ-У

Наименование проекта / объекта эксплуатации _____

ФИО / телефон / эл. почта _____

Напряжение сети 400 В 690 В Другое

Требуемая мощность компенсации _____ квар

Требуемый ток компенсации гармоник _____ А

Порядки гармоник, подлежащих компенсации _____

Характеристика основных электроприемников, создающих искажения тока / реактивную мощность (нужное подчеркнуть):

Преобразователи частоты	Управляемые выпрямители
Асинхронные электродвигатели	Тиристорные регуляторы мощности
Электрическая сварка / плавка	Светодиодное освещение
Компьютерные блоки питания	Кабельный электрообогрев

25. Примеры систем динамической компенсации на базе активных фильтров АДФ-У

Система компенсации реактивной мощности на целлюлозно-бумажном комбинате разгружает трансформаторы РТП от реактивного тока. Это уменьшает провалы напряжения на сборных шинах при пусках асинхронных электродвигателей и снижает риски срабатывания защит ответственных электроприёмников.

Активные фильтры АДФ-У компенсируют реактивную мощность на сборных шинах 690 В

Высоковольтная система компенсации реактивной мощности ёмкостного характера на компрессорной станции устраняет ёмкостную нагрузку генераторов электростанции собственных нужд (ЭСН), создаваемую протяженными кабельными линиями напряжением 10 кВ. Это предотвращает срабатывание защит генераторов ЭСН и обеспечивает надежное электроснабжение объекта в режиме «Автономный».

Активные фильтры АДФ-У компенсируют реактивную мощность на сборных шинах 10 кВ

Система компенсации высших гармоник на установке воздушного охлаждения газа с преобразователями частоты разгружает трансформаторы БКТП от балластных токов. Это снижает нагрев трансформаторов, предотвращает влияние преобразователей частоты на другие электроприёмники объекта.

Активные фильтры АДФ-У компенсируют высшие гармоники, создаваемые при работе преобразователей частоты

Система компенсации искажений напряжения на подстанции 10/0,4 кВ, запитанной по сетям металлургического предприятия, устраняет гармоники высоких порядков от мощных выпрямительных установок в производственных цехах. Это обеспечивает штатную работу диагностического оборудования поликлиники и других ответственных электроприёмников.

Активные фильтры АДФ-У компенсируют искажения напряжения, возникающие на стороне источника электроэнергии

Активные фильтры АДФ-У с 2019 года успешно применяются на объектах энергетики, флота, нефтегазового комплекса.

Дополнительная информация о применении активных фильтров

- «Применение активных фильтров в электроустановках объектов добычи и транспорта газа». Шкитов Денис Александрович, к.т.н., Касымов Андрей Николаевич, Филькин Максим Вячеславович, Зобов Игорь Борисович, к.т.н. ГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ Спецвыпуск № 3 (853).
- «Компенсация высших гармоник и реактивной мощности на СПБУ «Арктическая». Зобов Игорь Борисович, к. т. н., Мелентьев Александр Сергеевич, Спешилов Николай Евгеньевич. «Морской флот» № 4, 2017 г.
- «Активные фильтры. Практика компенсации высших гармоник в электроустановках». Зобов Игорь Борисович, к. т. н., Мелентьев Александр Сергеевич. «Новости Электро-Техники» № 4(124)–5(125), 2020 г.
- «Активные фильтры. Практика компенсации реактивной мощности». Зобов Игорь Борисович, к. т. н., Малышев Дмитрий Андреевич. «Новости ЭлектроТехники» № 6(126), 2020 г.
- Каналы Инженерного центра «АРТ» на: VK Видео, Дзен, Rutube и YouTube
- Сайт Инженерного центра «АРТ» - www.ic-art.ru

Офис Инженерного центра «АРТ»
195194, г. Санкт-Петербург, Таллинская ул., д. 7, литер «А»
Офисный центр «К12». Офис 2-Н
+7 (812) 445-24-22; 445-24-76; 445-23-47
e-mail: office@ic-art.ru

АКТИВНЫЕ ФИЛЬТРЫ АДФ-У
в электроустановках до 1000 В и выше 1000 В
Выбор. Подключение. Наладка.
Руководство по применению

Версия 2.1.
2025