



МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ЭНЕРГИИ**



РОССЕТИ
ФСК ЕЭС
Научно-технический центр



АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

УНИФИЦИРОВАННОЕ МОДУЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Алексеев Н.А.

Заместитель начальника отдела
разработки преобразовательной техники

Москва, 2020

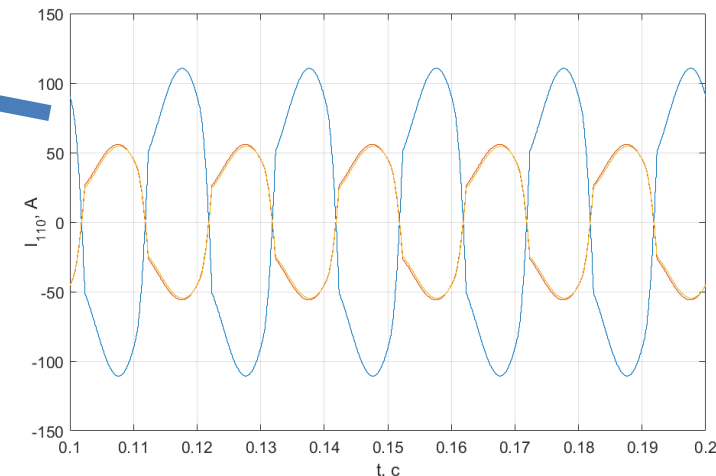
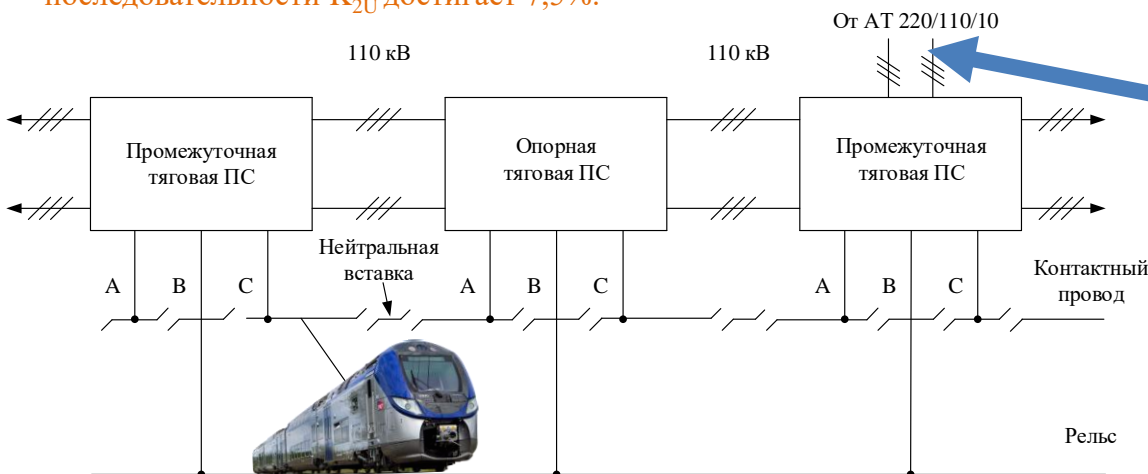
Основные причины низких показателей качества электрической энергии в районах Сибири

- ежегодный рост грузоперевозок с помощью электрифицированной ж/д
- тяговые подстанции ж/д недостаточно оснащены устройствами компенсации
- слабая магистральная электрическая сеть
- подстанции магистральных сетей оснащены «не теми» устройствами компенсации искажений от ЖД

Коэффициент суммарных нелинейных искажений по току достигает K_I 25-37% на ПС 220 кВ «Жирекен»

Коэффициент суммарных нелинейных искажений по напряжению K_U достигает 12,5%

Коэффициент несимметрии по обратной последовательности K_{2U} достигает 7,5%.



Принцип работы МПУ и достигаемые эффекты

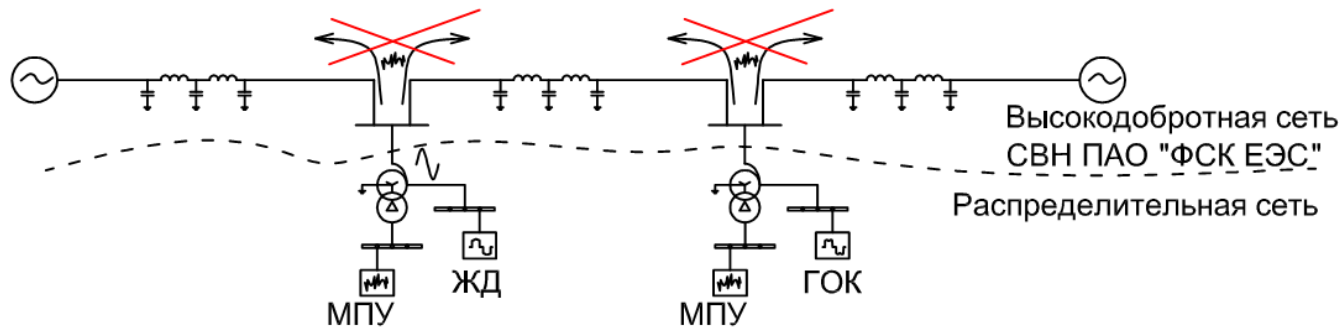


Рисунок 1 - Схема сети с группой искажающих нагрузок и МПУ

Унифицированное модульное преобразовательное устройство для обеспечения качества электроэнергии (МПУ-10000/10 УХЛ1) разработано АО «НТЦ ФСК ЕЭС» по заказу ПАО «ФСК ЕЭС». МПУ обеспечивает предотвращение растекания токов высших гармоник и токов обратной последовательности по сети СВН сотни километров, снижающих качество электроэнергии в энергорайоне.



Преимущества:

- ✓ Повышение КЭ на стороне 110 и 220 кВ.
- ✓ При совпадении частоты полюсов АЧХ сети и максимумов спектра тока нелинейной нагрузки (резонанс токов) предотвращается перегрузка оборудования

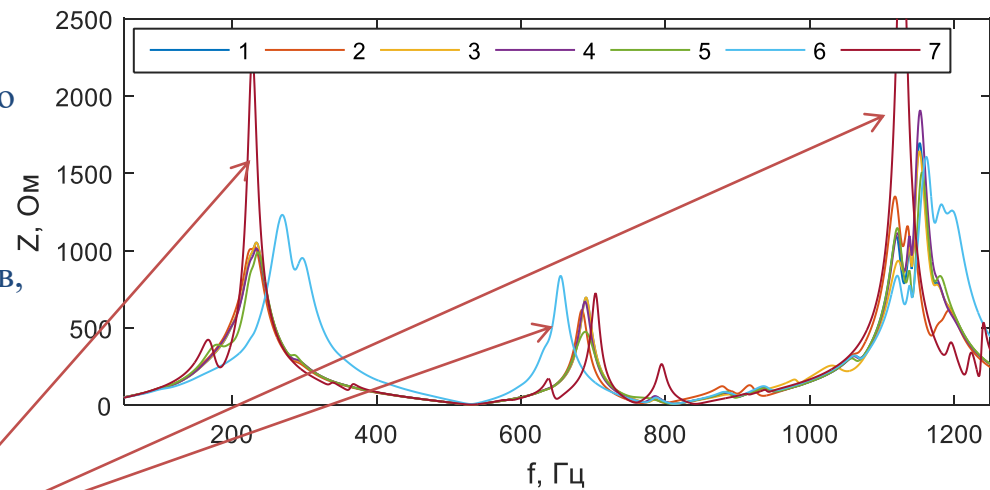


Рисунок 2 - АЧХ сети.
1-7 – различные схемы сети

Принципиальная электрическая схема МПУ и типовая схема подключения МПУ

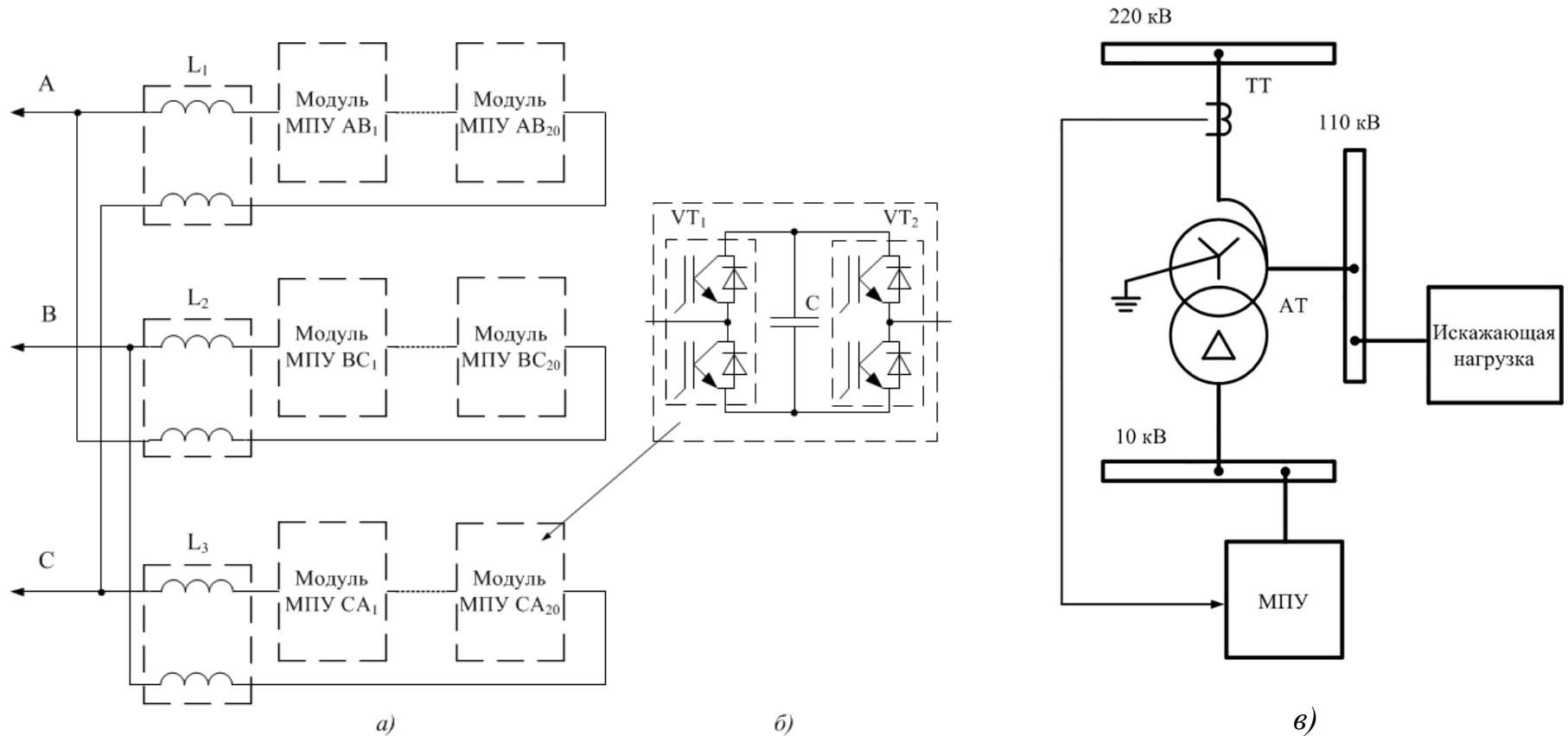


Рисунок 1 – а) схема принципиальная МПУ б) схема модуля МПУ в) типовая
схема подключения МПУ

Компоновка МПУ и основные параметры

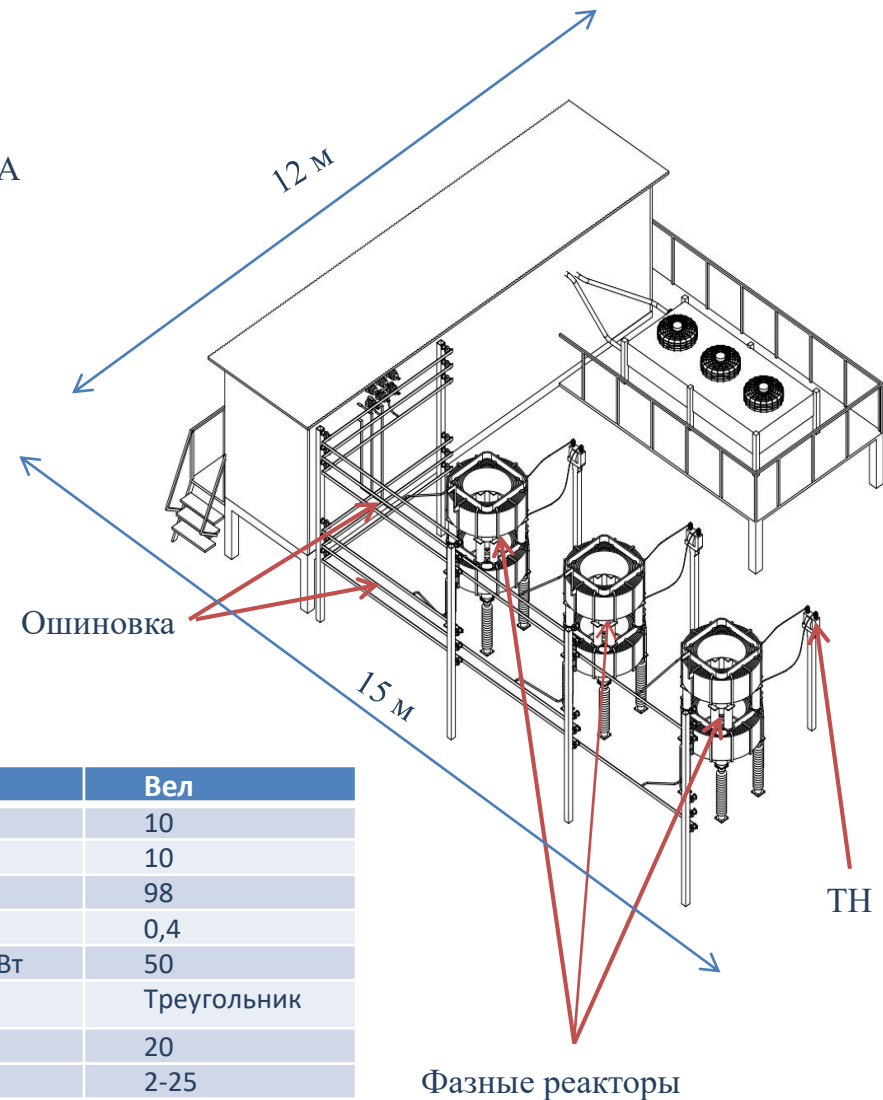


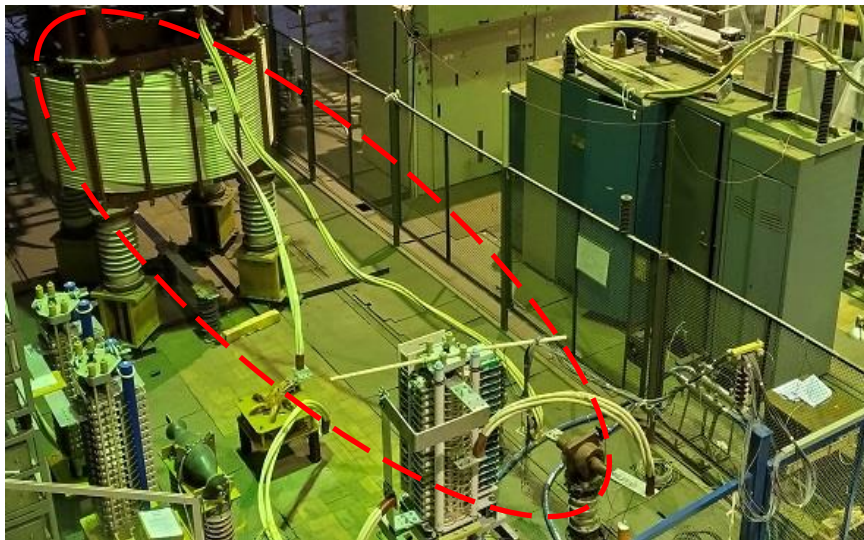
Таблица 1 – Основные параметры МПУ

№	Параметр	Вел
1	Напряжение, кВ	10
2	Мощность, МВА	10
3	КПД (не менее), %	98
4	Напряжение питания СН, кВ	0,4
5	Потребляемая мощность собственных нужд (не более), кВт	50
6	Схема соединения фаз	Треугольник
7	Количество модулей в фазе, шт	20
8	Диапазон компенсируемых гармоник	2-25

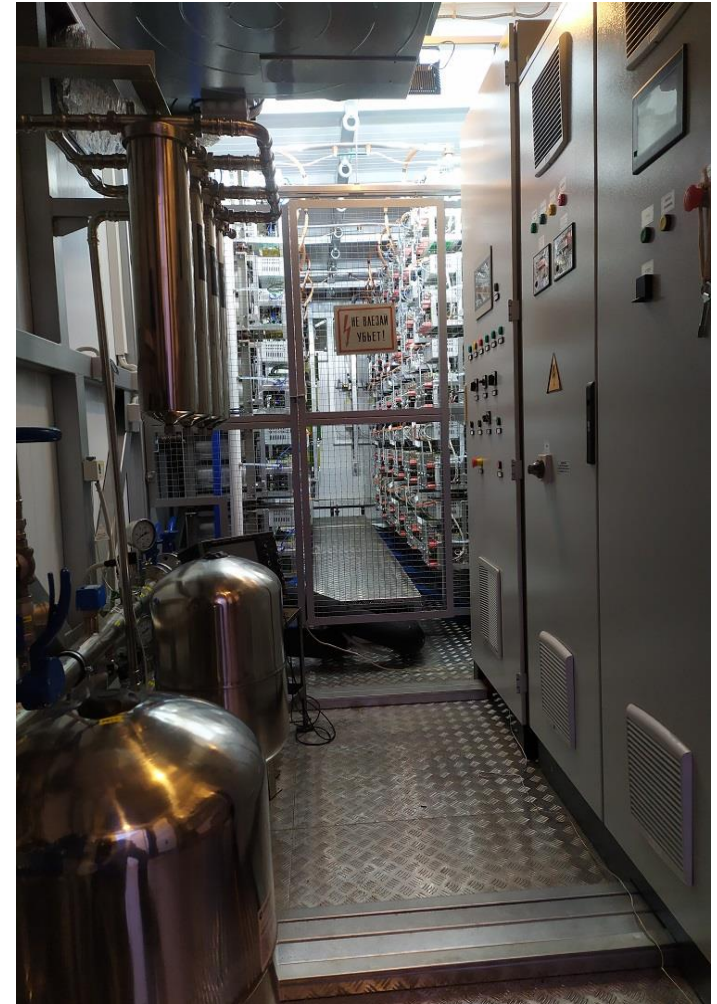
Оборудования МПУ на испытательном полигоне АО «НТЦ ФСК ЕЭС»



МПУ-10000/10 УХЛ1 на Полигоне АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

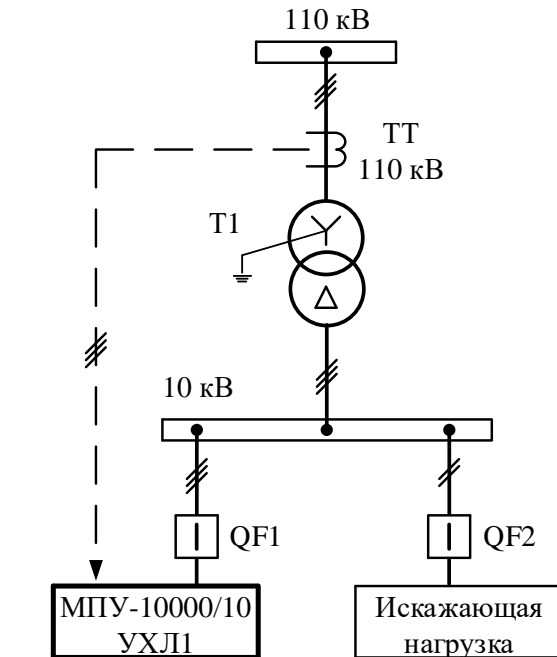


Искажающая нагрузка



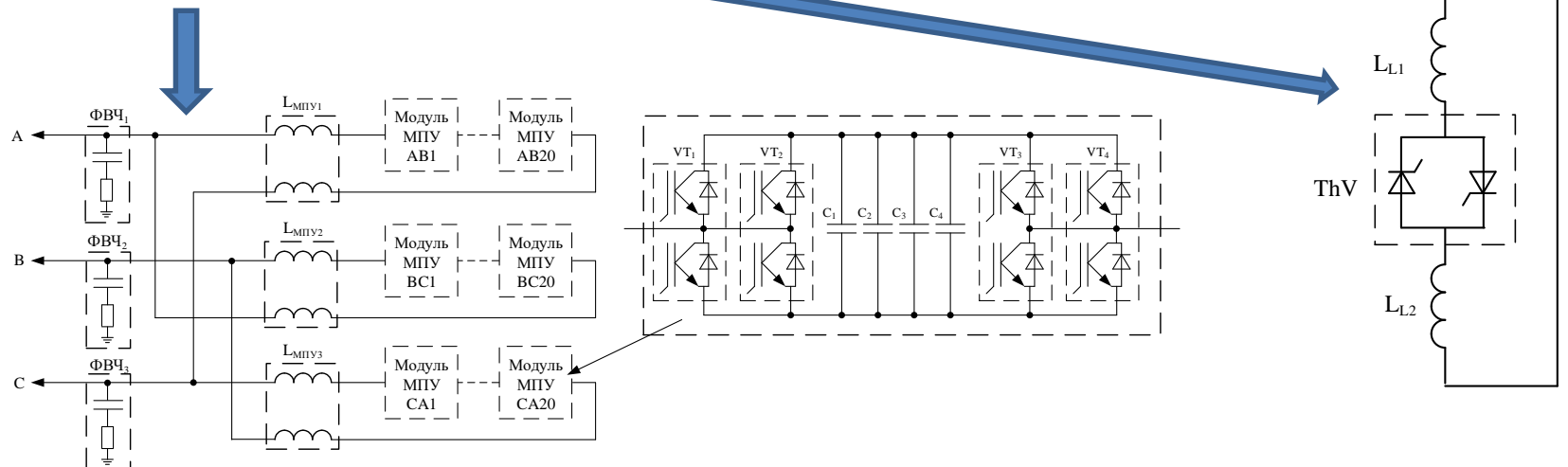
Вид отсека 10 кВ МПУ со стороны входа

Схема испытаний опытного образца МПУ-10000/10 УХЛ 1



Перечень проводимых проверок, испытаний, измерений

1. Проверка системы охлаждения МПУ
2. Проверка опорной изоляции МПУ
3. Проверка защит МПУ
4. Опробование МПУ напряжением
5. Проверка функциональных возможностей МПУ



Подавление гармоник опытным образцом МПУ-10000/10 УХЛ1

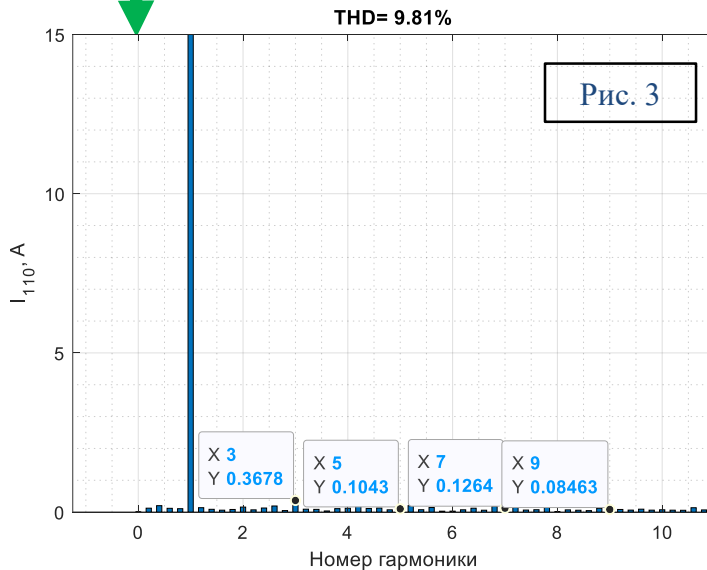
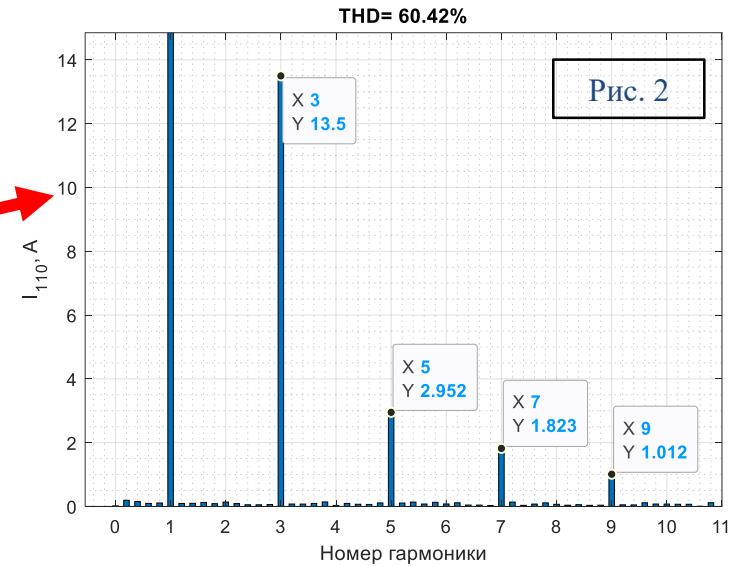
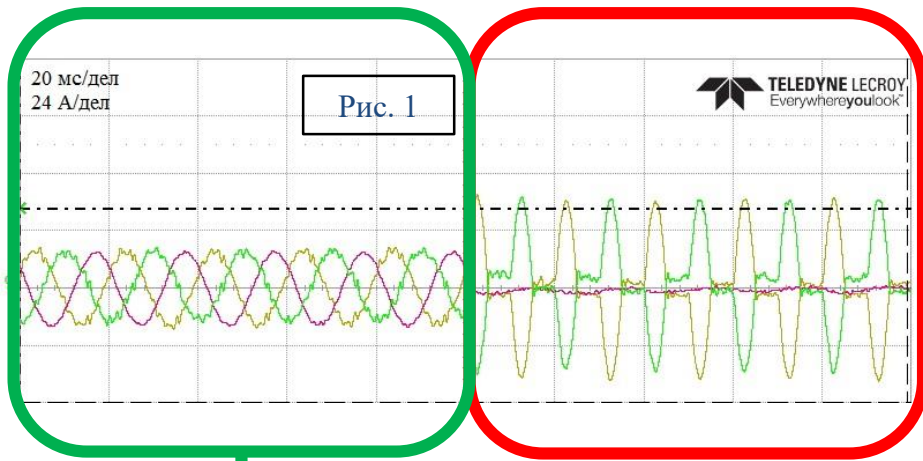


Таблица 1 – Мгновенные значения тока на стороне 110 кВ трансформатора

№ гармоники	Угол управления ТРГ α, эл.гр	I(n), А без МПУ	I(n), А с МПУ
3	119	17,96	2,25
5	108	6,85	0,15
7	103	2,49	0,1
9	100	2,23	0,1

Компенсация тока обратной последовательности опытным образцом МПУ-10000/10 УХЛ1

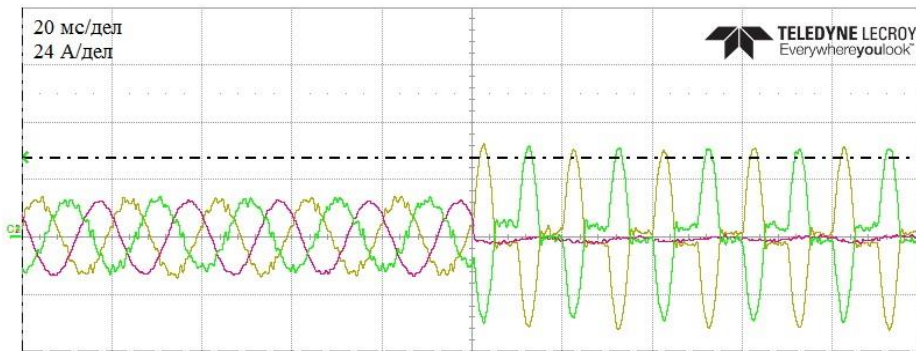


Рисунок 1 – Токи на стороне 110 кВ трансформатора

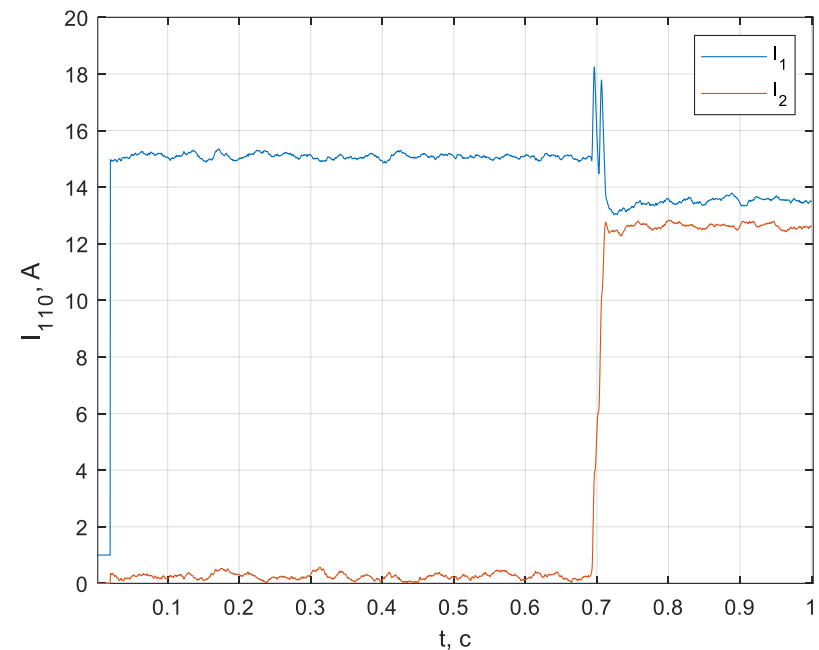


Рисунок 2 – Ток прямой и обратной последовательностей по стороне 110 кВ трансформатора

Параметр	Без МПУ	С МПУ
I_1, A	13,74	15,07
I_2, A	12,5	0,2

Функциональные испытания: компенсация напряжения обратной последовательности опытным образцом МПУ-10000/10 УХЛ1

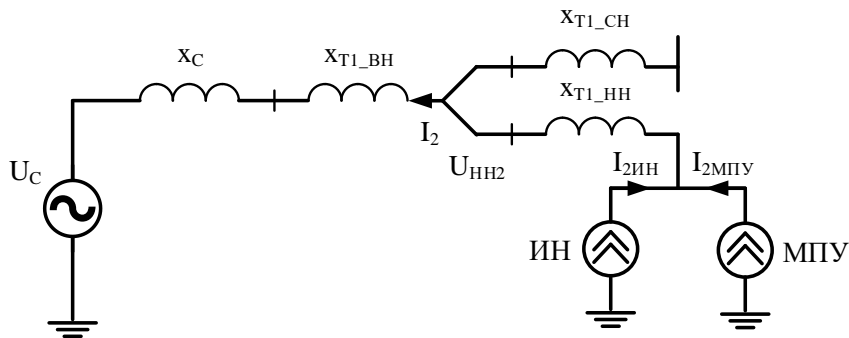


Рисунок 1 – Схема замещения для расчёта напряжения обратной последовательности

$$U_{HH2} = U_{C2} - (X_C + X_{T1BH}) \cdot I_2$$

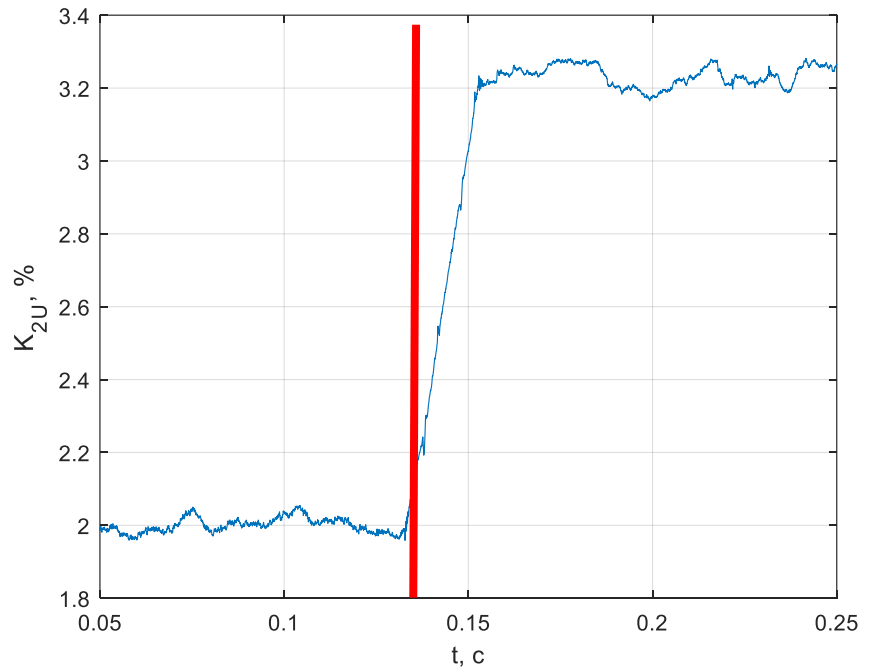


Рисунок 2 – K_{2U} на шинах 10 кВ

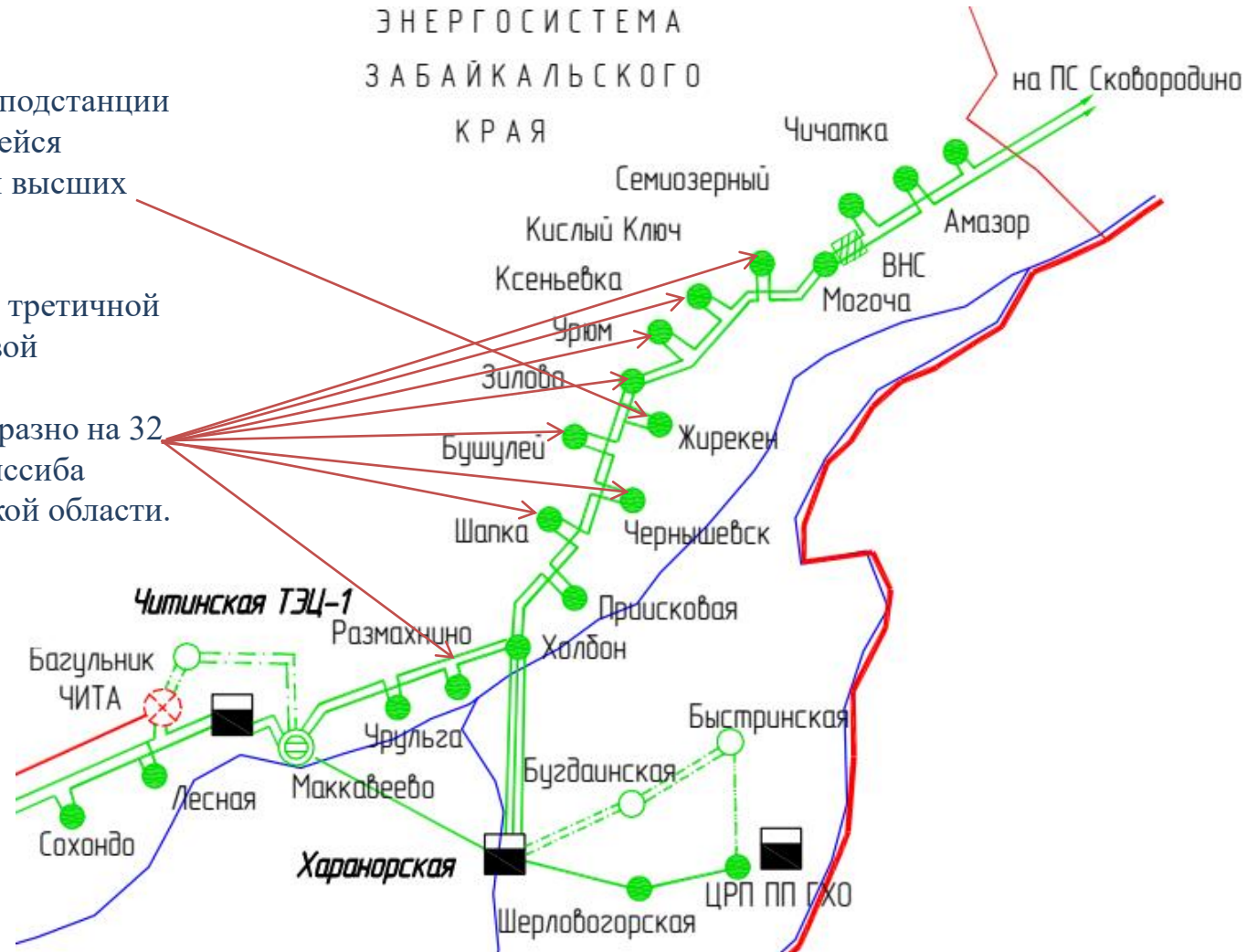
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности:
без МПУ $K_{2U} = 3,22\%$
с МПУ $K_{2U} = 2\%$

Пилотный объект внедрения – ПС 220 кВ Жирекен (Забайкальский ПМЭС)

ПС 220 кВ Жирекен:

- ✓ электроснабжение тяговой подстанции на стороне 110 кВ, являющейся источником несимметрии и высших гармоник
- ✓ схема подключения МПУ к третичной обмотки АТ является типовой

Использование МПУ целесообразно на 32 из 50 тяговых подстанций Транссиба в Забайкальском крае и Амурской области.



Моделирование работы МПУ-10000/10 УХЛ1 на пилотном объекте

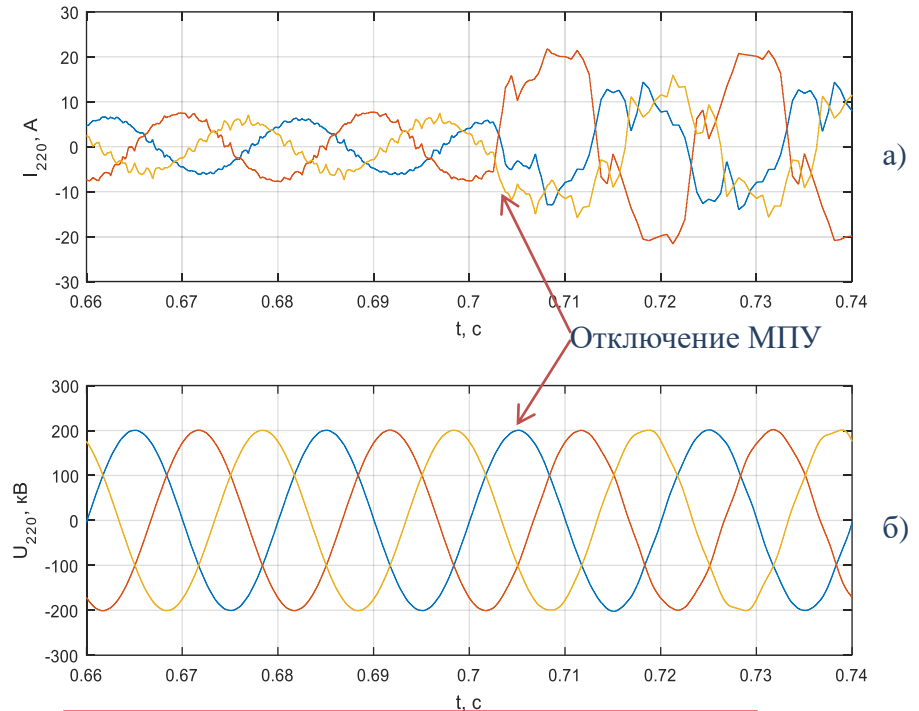
Таблица 1 – Спектр токов ВЛ 215

	Фаза	THD _I , %	I ₍₃₎ , %	I ₍₅₎ , %	I ₍₇₎ , %	I ₍₉₎ , %	I ₍₁₁₎ , %	I ₍₁₃₎ , %
Без МПУ	А	37,4	26,32	22,31	8,01	10,79	3,62	2,01
С МПУ		6,47	1,05	0,52	0,57	1,03	0,26	0,52
Без МПУ	В	25,16	14,11	18,34	8,13	4,68	2,00	0,42
С МПУ		6,91	0,39	0,75	0,41	0,73	0,16	0,06
Без МПУ	С	33,67	2,36	26,37	18,73	5,99	2,52	3,24
С МПУ		12,61	1,25	1,03	0,63	0,88	0,62	1,00

Таблица 2 – Спектр напряжение на 2 сш 220 кВ

	Фаза	THD _U , %	U ₍₃₎ , %	U ₍₅₎ , %	U ₍₇₎ , %	U ₍₉₎ , %	U ₍₁₁₎ , %	U ₍₁₃₎ , %
Без МПУ	А	1,26	0,79	0,08	1,08	0,62	0,04	0,02
С МПУ		0,17	0,01	0,01	0,03	0,04	0,02	0,01
Без МПУ	В	1,74	0,75	0,16	1,83	0,47	0,01	0,00
С МПУ		0,15	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00
Без МПУ	С	2,23	0,10	0,13	2,61	0,33	0,03	0,03
С МПУ		0,14	0,01	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01

Рисунок 1 – Работа МПУ на пилотном объекте при реальной нагрузке автотрансформатора



Применение МПУ мощностью 10 Мвар обеспечивает следующее снижение долевого вклада в ПКЭ:

K_2U с 0,50 до 0,05 %,
 $KU_{(7)}$ с 2,61 до 0,04 %

Оценка быстродействия МПУ

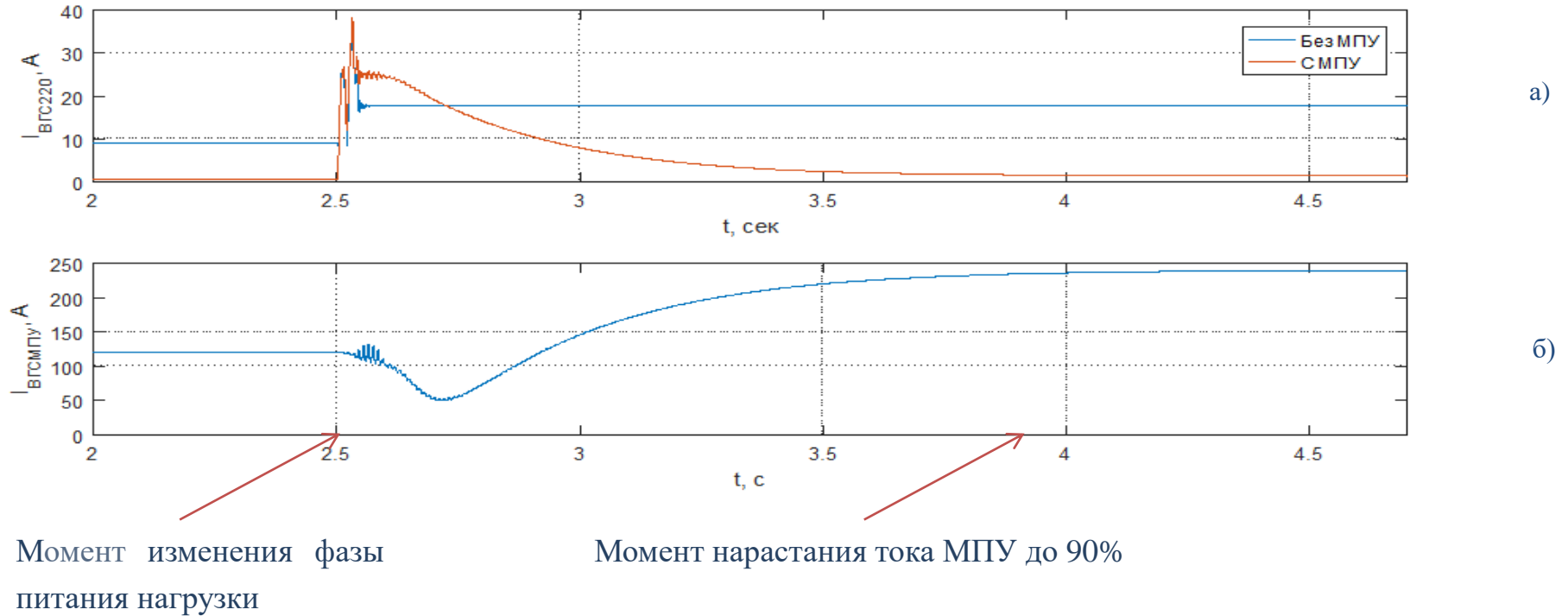


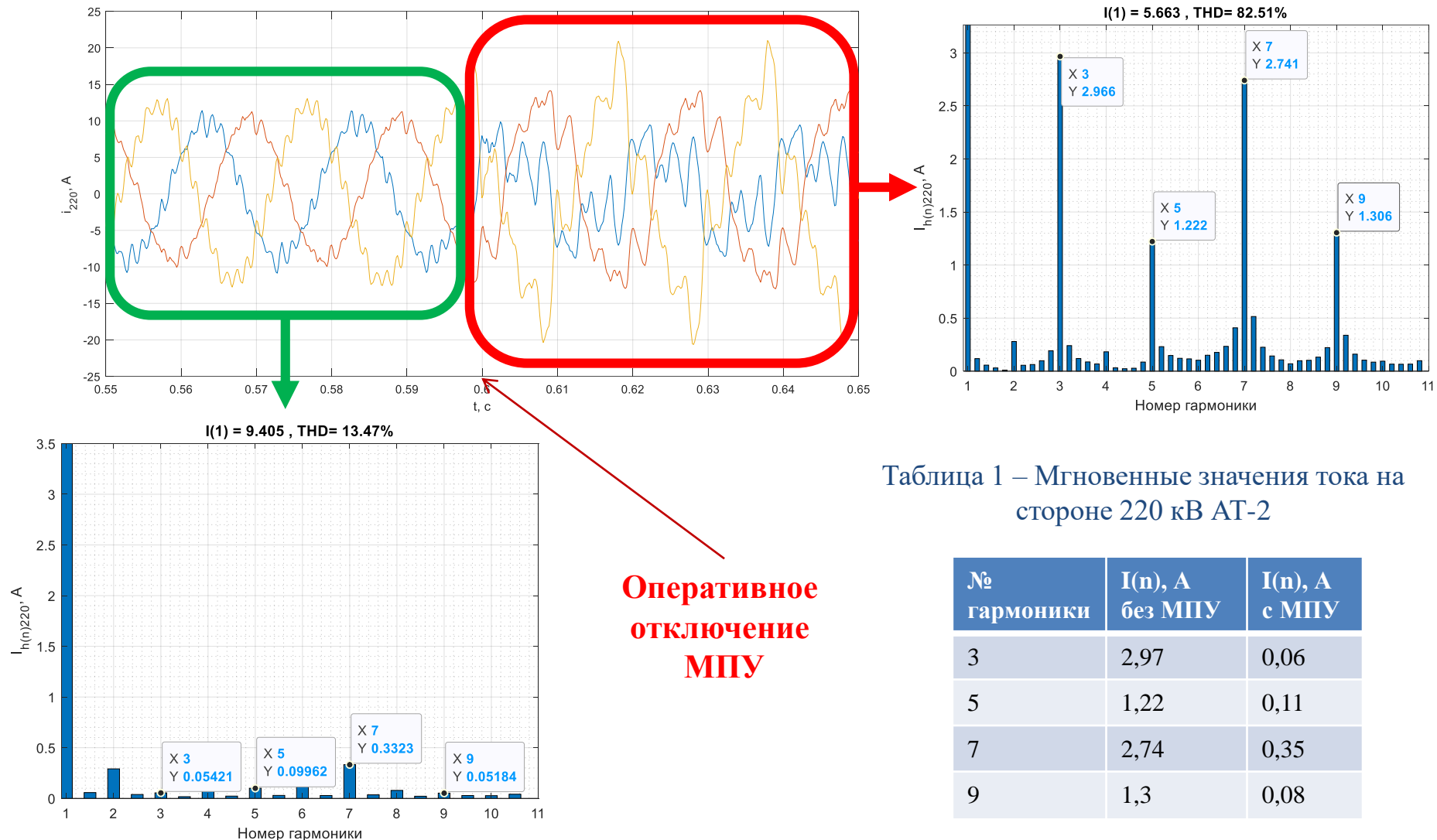
Рисунок 1 – Амплитудные значения среднеквадратичной суммы высших гармоник тока

Быстродействие МПУ (время, за которое ток в фазе МПУ изменяется на 90% относительно предыдущего установившегося значения) **составляет 1,4 с при заводских настройках системы регулирования.**

Внешний вид МПУ-10000/10 УХЛ1 на ПС 220 кВ Жирекен



Подавление опытно-промышленным образцом МПУ-10000/10 УХЛ1 гармоник тока на стороне 220 кВ АТ-2 при пуско-наладочных работах на ПС 220 кВ Жирекен



Компенсация опытно-промышленным образцом МПУ-10000/10 УХЛ1 напряжения обратной последовательности на шинах 10 кВ и 110 кВ АТ2 при пуско-наладочных работах на ПС 220 кВ Жирекен

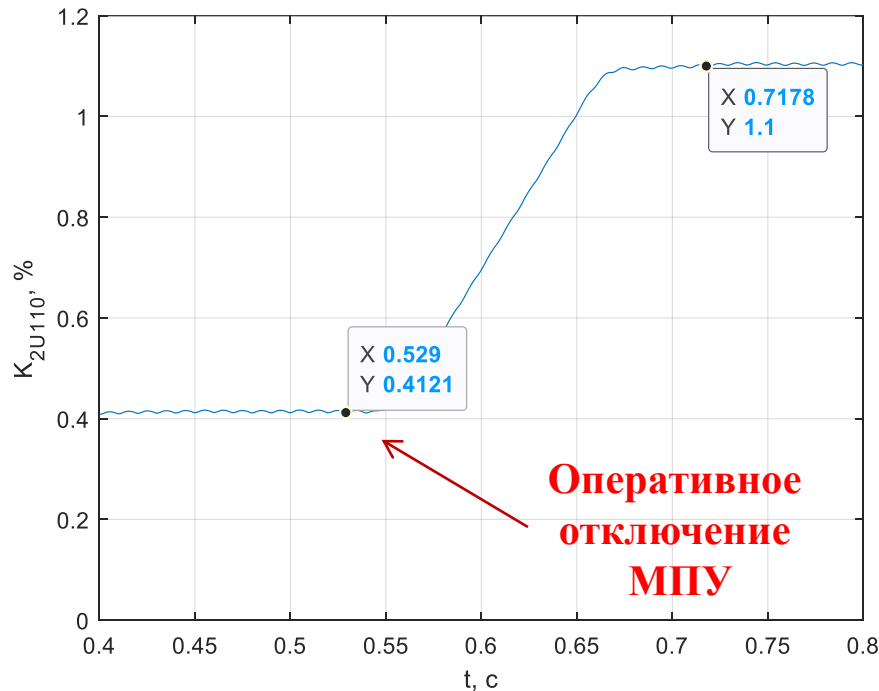


Рисунок 1 – K_{2U} на шинах 110 кВ при отключении МПУ

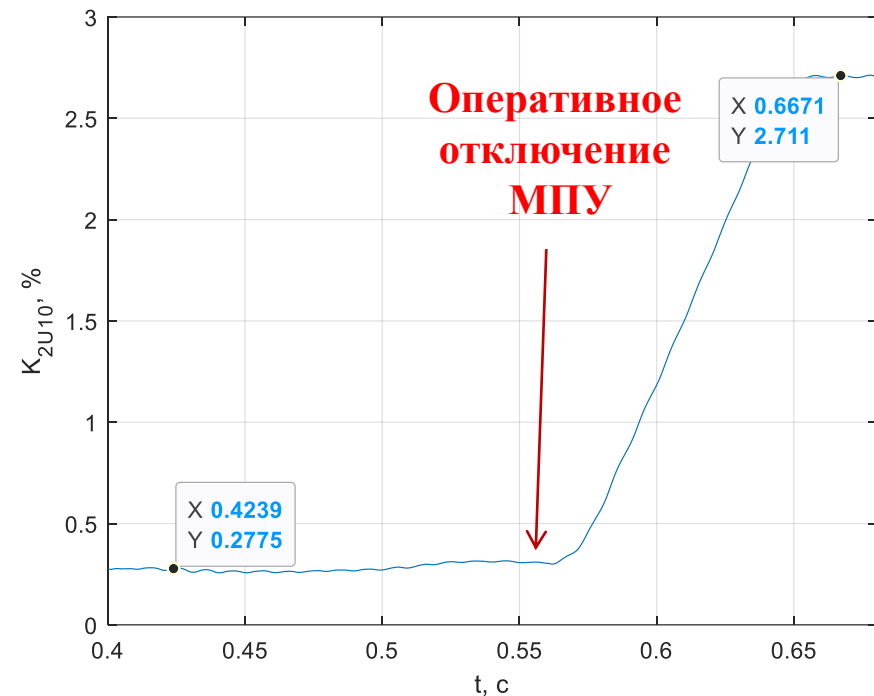


Рисунок 2 – K_{2U} на шинах 10 кВ при отключении МПУ

$$\Delta K_{2u} = \frac{100S_{\text{МПУ}\Sigma}}{2\sqrt{3}U_{\text{H}}I_{\text{K}(3)}},$$

Заключение

1. Наиболее перспективный способ применения результатов НИОКР - установка МПУ на границе балансовой принадлежности ПАО «ФСК ЕЭС» и распределительных сетей, питающих мощные искажающие нагрузки (ЖД, ДСП, ГОК) не достаточно оснащенных компенсирующими устройствами. Это позволит предотвратить прохождение токов высших гармоник и токов обратной последовательности в высокодобротные магистральные сети ПАО «ФСК ЕЭС» и избежать распространения проблем с КЭ на значительных расстояниях от искажающих нагрузок.
2. АО «НТЦ ФСК ЕЭС» по заказу ПАО «ФСК ЕЭС» завершает НИОКР по созданию модульного преобразовательного устройства на отечественной элементной базе мощностью 10 МВА на напряжение 10 кВ, предназначенного для компенсации неактивных составляющих токов от искажающих нагрузок.
3. В рамках НИОКР были проведены заводские испытания МПУ на полигоне завода изготовителя, которые подтвердили:
 - способность устройства селективно подавлять гармоники тока от искажающей нагрузки, снижая наиболее характерные для ТРГ 3, 5, 7 и 9 гармоники с $I_3=17,96$ А, $I_5=6,85$ А, $I_7=2,49$ А, $I_9=2,23$ А до $I_3=2,25$ А, $I_5=0,15$ А, $I_7=0,1$ А, $I_9=0,1$ А.
 - компенсировать ток обратной последовательности на стороне 110 кВ трансформатора, снижая его с $I_2=12,5$ А до $I_2=0,2$ А
 - компенсировать напряжение обратной последовательности на шинах 10 кВ, снижая $K_{2U}=3,22$ % В до $K_{2U}=2$ %
4. МПУ конструкции АО «НТЦ ФСК ЕЭС» позволяет:
 - ✓ компенсировать гармоники тока от искажающей нагрузки независимо от конфигурации сети на основании измерений токов на стороне 220 кВ автотрансформатора
 - ✓ успешно компенсировать гармоники тока от искажающей нагрузки при изменении топологии сети без дополнительной настройки системы управления устройством
 - ✓ Быстродействие устройства составляет 1.4 с, что достаточно для компенсации искажений от железной дороги, электрифицированной на переменном токе.
5. Пилотным объектом внедрения МПУ-10000/10 УХЛ1 является Забайкальский край, подстанция 220 кВ Жирекен.
6. МПУ введено в опытно-промышленную эксплуатацию в декабре 2020 года.
7. Перспективными объектами для масштабного внедрения результатов НИОКР являются тяговые подстанции БАМ и Транссиба в Забайкальском крае и Амурской области. Предварительный анализ, основанный на принятых в общемировой практике предельных значениях эмиссий токов обратной последовательности и токов высших гармоник показывает, что применение МПУ целесообразно на 32 из 50 тяговых подстанций.

Спасибо за внимание !