

ООО «НПФ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА: НАУКА И ПРАКТИКА»

«Утверждаю»

Генеральный директор
ООО «НПФ ЭЛНАП»

Р.К. Борисов
“ ” 2024 г.



ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

по дополнительному соглашению №2 от 12.04.2024 к договору субподряда
№1125-СШФ/сп-23/025-2023 от 16.06.2023

«Проведение опытной эксплуатации устройств для снижения коммутационных высокочастотных перенапряжений на силовых трансформаторах Т1-Т5 филиала ПАО «РусГидро» - «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»

Заключительный

2024 г.

Список исполнителей

Генеральный директор	Р.К. Борисов
Зам. ген. директора	М.Н. Смирнов
Инженер	А.В. Голдун
Нормоконтролер	О.В. Соловкова

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение.....	стр. 4
1.	Регистрация ВЧКП на силовых трансформаторах Т1-Т5	6
2.	Результаты сравнения данных по регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек.....	11
2.1.	Вывод/ввод Т1	11
2.2.	Вывод/ввод Т2	12
2.3.	Вывод/ввод Т3	12
2.4.	Вывод/ввод Т4	13
2.5.	Вывод/ввод Т5	14
2.6.	Включение/отключение реакторов РШ-541 и РШ-542.....	15
2.7.	Вывод/ввод КВЛ 500 кВ СШГЭС-Новокузнецкая №1.....	16
2.8.	Вывод/ввод КВЛ 500 кВ СШГЭС-Новокузнецкая №2.....	16
2.9.	Вывод/ввод КВЛ 500 кВ СШГЭС-Означенное №1	17
2.10.	Вывод/ввод КВЛ 500 кВ СШГЭС - Означенное N2.....	18
2.11.	Отключение/включение разъединителей Р1-С1, Р2-С1 и Р1-С2, Р2-С2	18
3.	Краткий анализ результатов регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек.....	20
	Заключение.....	27
	Приложение 1. Коммутации за октябрь – ноябрь 2024 года.....	29
	Приложение 2. Данные о ВЧКП за 2022-2023 годы.....	31
	Приложение 3. Осциллограммы ВЧКП до и после установки РС-цепочек.....	40

Введение

При выполнении работ по установке РС-цепочек на стороне низкого напряжения (НН) трансформаторов Т1-Т5 было принято решение о проведении регистрации высокочастотных коммутационных перенапряжений (ВЧКП) в порядке опытной эксплуатации РС-цепочек (Протокол совещания по реализации проектов Программы НИОКР ПАО «РусГидро» от 21.11.2023 №316).

Цель данной работы – определение эффективности РС-цепочек, установленных на силовых трансформаторах Т1-Т5, по снижению ВЧКП.

Работы выполнялись в 4 этапа.

1 этап: 4-й квартал 2023 г. – 1-й квартал 2024 г.

2 этап: 2-й квартал 2024 г.

3 этап: 3-й квартал 2024 г.

4 этап: 4-й квартал 2024 г.

На первом этапе работы была выполнена подготовка системы регистрации к мониторингу ВЧКП на блоках Т1-Т5 СШГЭС, заменен неисправный датчик напряжения на фазе А трансформатора Т3.

На всех этапах работы в соответствии с ТЗ были выполнены:

- Осуществление контроля работы регистраторов и датчиков напряжения.
- Получение и анализ информации о коммутациях в КРУЭ 500 кВ от службы мониторинга оборудования СШГЭС.
- Регистрация ВЧКП и передача информации о времени и месте возникновения ВЧКП в службу диагностики СШГЭС.
- Получение и анализ информации о параметрах ВЧКП при коммутациях в КРУЭ 500кВ в режиме мониторинга.
- Проведение сравнений данных о ВЧКП, полученных на блоках Т1-Т5 с установленными РС-цепочками, с данными о ВЧКП, полученными при аналогичных коммутациях в 2022-2023 годах на блоках Т1-Т5 без РС-цепочек.

- Передача оперативной информации об эффективности РС-цепочек по снижению ВЧКП на генераторном напряжении блоков Т1-Т5.

Результаты сравнения наибольших зарегистрированных амплитудных значений ВЧКП на всех трансформаторах до (за 2022-2023 г.) и после (4-й квартал 2023 г. и 2024 г.) установки РС-цепочек на всех этапах представлены для всех коммутаций при следующих операциях:

- ввод/вывод трансформаторов Т1-Т5;
- ввод/вывод КВЛ;
- включение/отключение реакторов РШ -541 и РШ-542;
- включение/отключение секционных выключателей В-С1 и В-С2 с разъединителями Р1-С1, Р2-С1, Р1-С2 и Р2-С2.

С учетом опыта эксплуатации РС-цепей на силовых трансформаторах Т1-Т5 СШГЭС и результатов мониторинга ВЧКП в 2024 году была выполнена корректировка (актуализация) методических указаний по защите силового электротехнического оборудования ГЭС от ВЧКП.

1. Регистрация ВЧКП на силовых трансформаторах Т1-Т5

Регистрация ВЧКП проводилась после установки и начала опытной эксплуатации РС-цепей на каждом трансформаторе:

- На трансформаторе Т1 – с 14 октября 2023 года.
- На трансформаторе Т2 – с 25 ноября 2023 года.
- На трансформаторе Т3 – с 12 ноября 2023 года.
- На трансформаторе Т4 – с 30 ноября 2023 года.
- На трансформаторе Т5 – с 16 декабря 2023 года.

Регистрация проводилась до 12 ноября 2024 года.

За время регистрации проводились коммутации при вводе/выводе Т1-Т5, КВЛ 500 СШГЭС-Новокузнецкая №1, СШГЭС-Новокузнецкая №2, СШГЭС-Означенное №1 и СШГЭС-Означенное №2.

Также выполнялись коммутации при включении/отключении реакторов РШ-541 и РШ-542.

Для регистрации ВЧКП специально выполнялись коммутации при отключении/включении секционных выключателей В-С1 и В-С2 (с отключением/включением разъединителей Р1-С1, Р2-С1 и Р1-С2, Р2-С2).

Фактически за период регистрации ВЧКП после установки РС-цепей выполнялись коммутации всеми выключателями и разъединителями, установленными в КРУЭ 500 кВ.

Время и продолжительность (дни) вывода и ввода трансформаторов за 2024 год можно определить по регистрации напряжения в обзорном режиме (рисунок 1). На рисунке 1 приведен пример обзорного режима для Т2 фазы А за 2024 год. Видно, что за 2024 год три раза выполнялся вывод/ввод Т2.

Аналогичная информация была получена по всем трансформаторам для трех фаз.

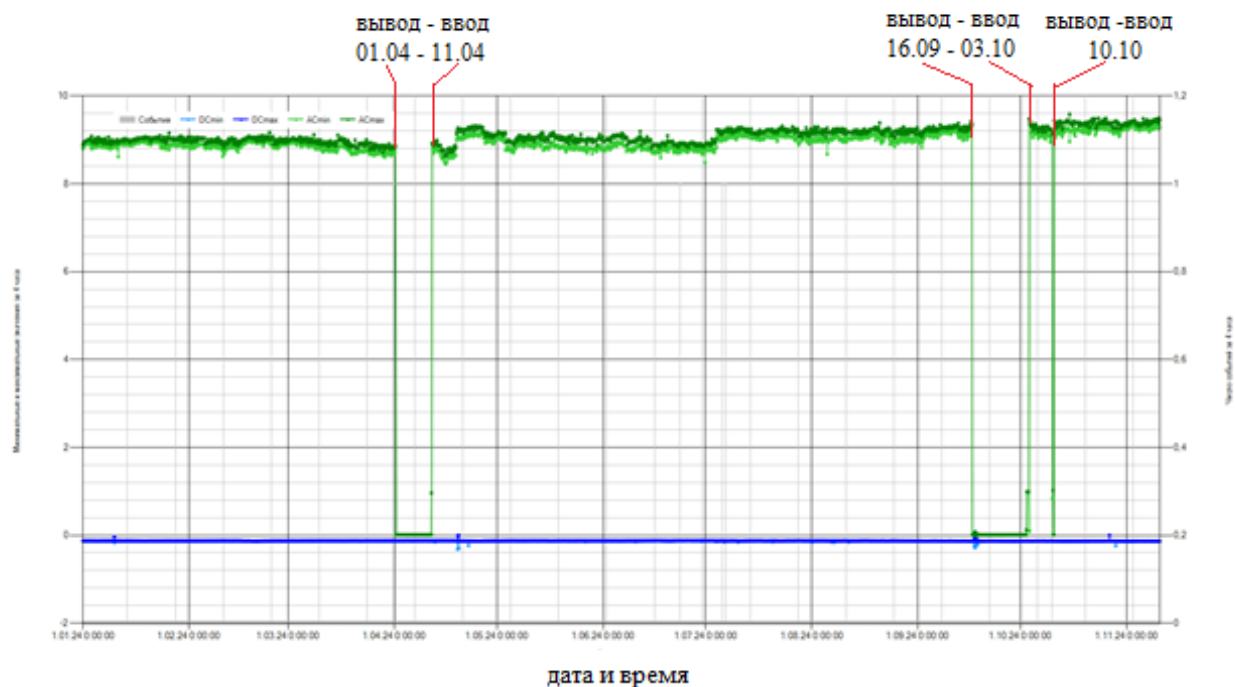
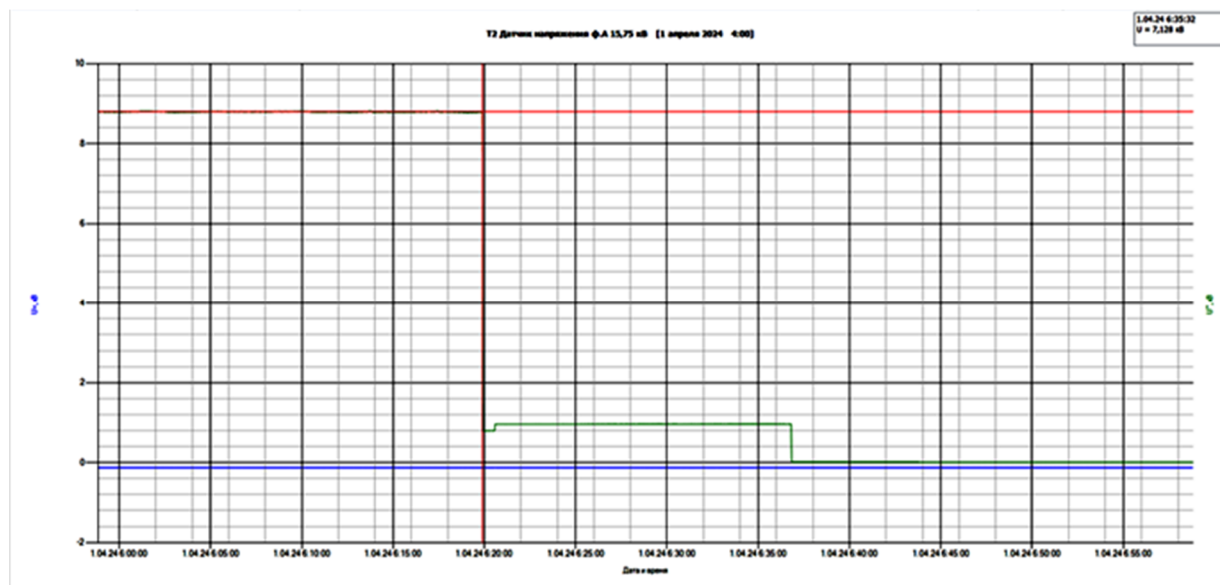
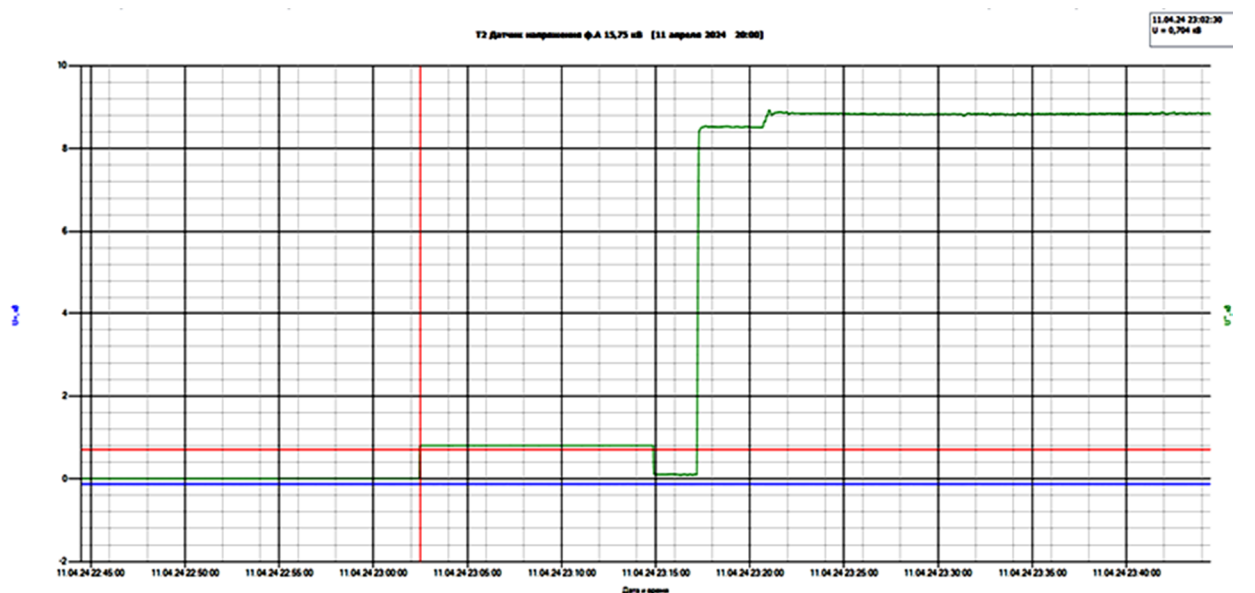


Рисунок 1. Обзорный режим для Т2 за 2024 год

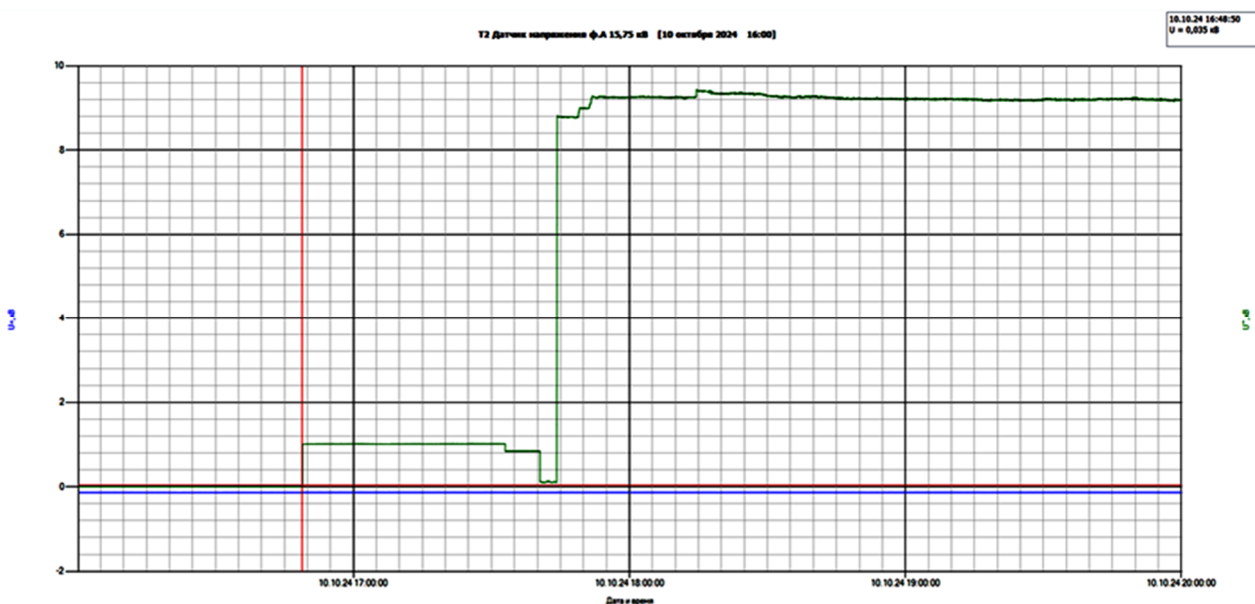
На осциллограммах регистрации в режиме самописца (действующее напряжение за секунду) можно увидеть изменение напряжения (процесс коммутаций), например, при выводе Т2 01.04 (рисунок 2а) и вводе Т2 11.04 (рисунок 2б). Для сравнения приведена осциллограмма ввода Т2 10.10 (рисунок 2в).



а) Вывод трансформатора Т2 01.04



б) Ввод трансформатора T2 11.04



в) Ввод трансформатора T2 10.10

Рисунок 2. Вывод и ввод трансформатора T2

Данные о коммутациях в КРУЭ 500 кВ на 4-м этапе (с 01.09.2024 по 12.10.2024) представлены в Приложении 1.

В таблице 1 приведены данные о коммутациях в КРУЭ 500 кВ за весь период регистрации после установки РС-цепей.

Таблица 1. Данные о коммутациях за весь период регистрации после установки РС-цепей

№ п.п.	Коммутации	Даты
1.	Ввод/вывод Т1	14.10.2023 09.01.2024 – 21.02.2024 25.04.2024 – 21.02.2024 22.06.2024 14.10.2024 – 28.10.2024
2.	Ввод/вывод Т2	14.11.2023 – 25.11.2023 01.04.2024 – 11.04.2024 16.09.2024 – 03.10.2024 10.10.2024.
3.	Ввод/вывод Т3	12.11.2023 28.11.2023 – 21.12.2023 22.04.2024 – 23.04.2024 11.11.2024
4.	Ввод/вывод Т4	30.10.2023 10.01.2024 – 11.01.2024 05.02.2024 – 06.02.2024 27.05.2024 – 29.05.2024
5	Ввод/вывод Т5	16.12.2023 20.05.2024 – 22.05.2024 08.10.2024 - 10.10.2024
6.	Ввод/вывод КВЛ 500 кВ СШГЭС-Новокузнецкая №1	07–08.07.2024 17–19.07.2024 28.10.2024
7.	Ввод/вывод КВЛ 500 кВ СШГЭС-Новокузнецкая №2	23.06.2024 05–06.07.2024
8.	Ввод/вывод КВЛ 500 кВ СШГЭС-Означенное №1	16.09.2024 21.09.2024
9.	Ввод/вывод КВЛ 500 кВ СШГЭС-Означенное №2	23.09.2024 27.09.2024
10.	Включение/отключение реакторов РШ-541	25.12.2023 19.04.2024 13.06.2024 07.07.2024 03.09.2024
11.	Включение/отключение реакторов РШ-542	13.06.2024 19.04.2024 06.07.2024
12.	Отключение/включение секционных выключателей В-С1 и В-С2 с отключением/включением соответствующих разъединителей: Р1-С1, Р2-С1 и Р1-С2, Р2-С2	19.04.2024

При проведении регистрации ВЧКП уставки по импульсным перенапряжениям были в основном 40 кВ. Для получения более полной информации в отдельных случаях уставки изменялись. Так, например, на Т5 были установлены уставки 30 кВ. На Т3 до мая 2024 г. уставки были 30 кВ.

При анализе результатов регистрации было установлено, что при включении разъединителя ВЧКП могут быть по амплитуде значительно выше уставки, а при отключении разъединителя, как правило, по амплитуде близки к значению уставки.

Для того чтобы проверить максимальные перенапряжения, 28 октября при вводе КВЛ 500 кВ СШГЭС-Новокузнецкая №1 на всех трансформаторах были увеличены уставки до 70 кВ. В результате была получена одна осциллограмма ВЧКП на Т4 с амплитудой 80 кВ при включении В-Т1-542.

Для проведения сравнений ВЧКП, зарегистрированных после установки РС-цепей, с ВЧКП, зарегистрированными до установки РС-цепей в 2022-2023 годах, были обработаны результаты регистрации за 2022-2023 год и представлены амплитудные значения ВЧКП в табличном виде с указанием даты регистрации (см. Приложение 2).

2. Результаты сравнения данных по регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек

При оценке эффективности РС-цепочек рассматривались наибольшие амплитудные значения, зарегистрированные до (за 2022-2023 г., Приложение 2) и после установки РС-цепочек (за 1-й - 4-й этапы).

2.1 Вывод/ввод Т1

Вывод/ввод Т1 выполнялся:

- в 2022 году 6 раз;
- в 2023 году 3 раза;
- в 2024 году 4 раза.

Количество коммутаций было больше, чем 180. При этом зарегистрированных ВЧКП до установки РС-цепочек на всех трансформаторах при одних и тех же коммутациях было в несколько раз больше, чем после установки РС-цепочек.

Результаты регистрации наибольших зарегистрированных амплитудных значений ВЧКП на всех трансформаторах до и после установки РС-цепочек при выводе/вводе блока Т1 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение данных по регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек при выводе/вводе блока Т1

Коммутируемый аппарат	Амплитудные значения ВЧКП, кВ									
	Т1		Т2		Т3		Т4		Т5	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
В-С1-Т1	36	-	40	-	52	-	150	80	25	-
Р-С1-Т1	-	-	33	-	-	-	125	50	-	-
РС-С1-Т1	42	-	56	-	58	34	150	80	36	-
В-Т1-542	57	-	48	-	52	-	140	-	30	-
Р-Т1-542	-	-	-	-	50	-	80	38	-	-
РЛ-Т1-542	100	-	70	-	53	-	150	84	-	-
Р2-Т1	110	60	64	-	48	-	150	60	30	-

Амплитудные значения ВЧКП, превышающие испытательные значения грозвым импульсом или близкие к этим значениям до установки РС-цепочек, после установки РС-цепочек на всех трансформаторах при комму-

тациях (вывод/ввод Т1) снизились примерно в 2-3 раза и не превышают испытательные значения грозовым импульсом.

2.2 Вывод/ввод Т2

Вывод/ввод Т2 выполнялся:

- в 2022 году 5 раз;
- в 2023 году 6 раз;
- в 2024 году 2 раза.

Количество коммутаций было больше, чем 180. При этом зарегистрированных ВЧКП до установки РС-цепочек на всех трансформаторах при одних и тех же коммутациях было в несколько раз больше, чем после установки РС-цепочек.

Результаты регистрации наибольших зарегистрированных амплитудных значений ВЧКП на всех трансформаторах до и после установки РС-цепочек при выводе/вводе блока Т2 приведены в таблице 3.

Таблица 3. Сравнение данных по регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек при выводе/вводе блока Т2

Коммутируемый аппарат	Амплитудные значения ВЧКП, кВ									
	Т1		Т2		Т3		Т4		Т5	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
В-С2-Т2	70	-	90	-	60	-	150	80	-	-
Р-С2-Т2	-	-	44	-	48	-	88	44	-	-
РС-С2-Т2	50	-	90	-	50	-	150	84	42	35
В-Т2-543	36	-	46	-	44	-	55	-	-	-
Р-Т2-543	48	-	48	-	50	-	52	37	-	-
РЛ-Т2-543	60	-	55	-	45	-	140	60	-	-
Р2-Т2	55	54	120	49	54	46	78	74	28	-

Амплитудные значения ВЧКП, превышающие испытательные значения грозовым импульсом или близкие к этим значениям до установки РС-цепочек, после установки РС-цепочек на всех трансформаторах при коммутациях (вывод/ввод Т2) снизились примерно в 2-3 раза и не превышают испытательные значения грозовым импульсом.

2.3 Вывод/ввод Т3

Вывод/ввод Т3 выполнялся:

- в 2022 году 4 раза;
- в 2023 году 7 раз;
- в 2024 году 2 раза.

Количество коммутаций было больше, чем 180. При этом зарегистрированных ВЧКП до установки РС-цепочек на всех трансформаторах при одних и тех же коммутациях было в несколько раз больше, чем после установки РС-цепочек.

Результаты регистрации наибольших зарегистрированных амплитудных значений ВЧКП на всех трансформаторах до и после установки РС-цепочек при выводе/вводе блока Т3 приведены в таблице 4.

Таблица 4. Сравнение данных по регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек при выводе/вводе блока Т3

Коммутируемый аппарат	Амплитудные значения ВЧКП, кВ									
	Т1		Т2		Т3		Т4		Т5	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
В-С2-Т3	50	42	46	-	60	-	150	78	30	-
Р-С2-Т3	58	40	-	-	50	-	150	60	30	-
РС-С2-Т3	50	28	46	42	-	-	130	84	48	40
В-С1-Р1	-	-	-	-	-	-	80	-	-	-
В-Т3-Р1	36	-	42	-	-	-	92	40	-	-
Р-Т3-Р1	50	-	42	-	60	-	100	60	-	-
РЛ-Т3-Р1	68	26	42	25	48	-	140	84	-	-
Р2-Т3	56	46	80	25	78	34	78	66	-	-

Амплитудные значения ВЧКП, превышающие испытательные значения грозовым импульсом или близкие к этим значениям до установки РС-цепочек, после установки РС-цепочек на всех трансформаторах при коммутациях (вывод/ввод Т3) снизились примерно в 2-3 раза и не превышают испытательные значения грозовым импульсом.

2.4 Вывод/ввод Т4

Вывод/ввод Т4 выполнялся:

- в 2022 году 7 раз;
- в 2023 году 2 раза;
- в 2024 году 4 раза.

Количество коммутаций было больше, чем 180. При этом зарегистрированных ВЧКП до установки РС-цепочек на всех трансформаторах при одних и тех же коммутациях было в несколько раз больше, чем после установки РС-цепочек.

Результаты регистрации наибольших зарегистрированных амплитудных значений ВЧКП на всех трансформаторах до и после установки РС-цепочек при выводе/вводе блока Т4 приведены в таблице 5.

Таблица 5. Сравнение данных по регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек при выводе/вводе блока Т4

Коммутируемый аппарат	Амплитудные значения ВЧКП, кВ									
	Т1		Т2		Т3		Т4		Т5	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
В-С1-Т4	48	-	60	-	60	36	140	64	25	-
Р-С1-Т4	27	-	26	-	32	-	150	40	25	-
РС-С1-Т4	40	-	30	-	42	45	78	48	40	-
В-Т4-541	48	-	-	-	30	-	150	50	-	-
Р-Т4-541	35	-	27	-	50	-	150	44	25	-
РЛ-Т4-541	28	-	32	-	30	-	56	46	-	-
Р2-Т4	-	-	32	-	73	34	140	84	30	-

Амплитудные значения ВЧКП, превышающие испытательные значения грозовым импульсом или близкие к этим значениям до установки РС-цепочек, после установки РС-цепочек на всех трансформаторах при коммутациях (вывод/ввод Т4) снизились примерно в 2-3 раза и не превышают испытательные значения грозовым импульсом.

2.5 Вывод/ввод Т5

Вывод/ввод Т выполнялся:

- в 2022 году 4 раза;
- в 2023 году 4 раза;
- в 2024 году 2 раза.

Количество коммутаций было больше, чем 140. При этом зарегистрированных ВЧКП до установки РС-цепочек на всех трансформаторах при одних и тех же коммутациях было в несколько раз больше, чем после установки РС-цепочек.

Результаты регистрации наибольших зарегистрированных амплитудных значений ВЧКП на всех трансформаторах до и после установки РС-цепочек при выводе/вводе блока Т5 приведены в таблице 6.

Таблица 6. Сравнение данных по регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек при выводе/вводе блока Т5

Коммутируемый аппарат	Амплитудные значения ВЧКП, кВ									
	Т1		Т2		Т3		Т4		Т5	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
В-С2-Т5	75	-	52	-	100	-	140	52	-	-
Р-С2-Т5	44	-	27	-	44	43	74	68	42	-
РС-С2-Т5	100	47	90	-	60	-	140	78	42	-
Р-Т5-544	42	-	80	-	44	-	140	-	44	-
РЛ-Т5-544	35	32	-	-	28	-	140	84	25	-
Р2-Т5	-	-	-	-	50	-	130	84	64	40

Амплитудные значения ВЧКП, превышающие испытательные значения грозовым импульсом или близкие к этим значениям до установки РС-цепочек, после установки РС-цепочек на всех трансформаторах при коммутациях (вывод/ввод Т5) снизились примерно в 2-3 раза и не превышают испытательные значения грозовым импульсом.

2.6 Включение/отключение реакторов РШ-541 и РШ-542

Количество коммутаций было больше, чем 80.

Результаты регистрации наибольших зарегистрированных амплитудных значений ВЧКП на всех трансформаторах до и после установки РС-цепочек при Включение/отключение реакторов РШ-541 и РШ-542 приведены в таблице 7.

Таблица 7. Сравнение данных по регистрации ВЧКП до установки РС-цепочек при коммутациях РШ-541 и РШ-542

Коммутируемый аппарат	Амплитудные значения ВЧКП, кВ									
	Т1		Т2		Т3		Т4		Т5	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
В-РШ-541	120	-	110	-	60	28	150	84	92	24
В-РШ-542	190	48	100	43	60	-	150	68	62	-

Амплитудные значения ВЧКП при коммутациях после установки РС-цепочек на всех трансформаторах ниже зарегистрированных значений до

установки РС-цепочек и не превышают испытательные значения грозовым импульсом.

2.7 Вывод/ввод КВЛ 500 кВ СШГЭС-Новокузнецкая №1

Выполнялась регистрация ВЧКП при коммутациях при выводе/вводе КВЛ 500 кВ СШГЭС-Новокузнецкая №1.

Результаты регистрации наибольших зарегистрированных амплитудных значений ВЧКП на всех трансформаторах до и после установки РС-цепочек приведены в таблице 8.

Таблица 8. Сравнение данных по регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек при коммутациях при выводе/ вводе КВЛ 500 кВ СШГЭС-Новокузнецкая №1

Коммутируемый аппарат	Амплитудные значения ВЧКП, кВ									
	Т1		Т2		Т3		Т4		Т5	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
В-Т4-541	48	-	-	-	30	-	70	42	-	-
Р-Т4-541	34	-	-	-	50	42	150	58	-	-
Р-Т1-542	62	42	50	-	50	-	110	72	-	-
РЛ-Т4-541	34	-	-	-	68	-	105	80	32	-
В-С2-541	55	-	40	-	50	42	140	84	40	32
РЛ-С2-541	31	-	38	-	41	-	76	44	44	30
РС-С2-541	42	-	60	-	80	-	140	80	75	34

Амплитудные значения ВЧКП при коммутациях после установки РС-цепочек на всех трансформаторах ниже зарегистрированных значений до установки РС-цепочек и не превышают испытательные значения грозовым импульсом.

2.8 Вывод/ввод КВЛ 500 кВ СШГЭС-Новокузнецкая №2

Выполнялась регистрация ВЧКП при коммутациях при вводе КВЛ 500 кВ СШГЭС-Новокузнецкая №2.

Результаты регистрации наибольших зарегистрированных амплитудных значений ВЧКП на всех трансформаторах до и после установки РС-цепочек приведены в таблице 9.

Таблица 9. Сравнение данных по регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек при коммутациях при вводе КВЛ 500 кВ СШГЭС-Новокузнецкая №2

Коммутируемый аппарат	Амплитудные значения ВЧКП, кВ									
	Т1		Т2		Т3		Т4		Т5	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
В-Т1-542	52	42	82	-	52	-	92	-	-	-
В-С2-542	70	43	80	48	58	50	150	84	-	-
Р-Т1-542	62	42	50	-	50	-	110	72	-	-
РЛ-Т1-542	100	-	70	-	53	-	150	76	-	-
РЛ-С2-542	40	-	46	-	36	-	80	40	-	-
РС-С2-542	50	-	90	-	44	-	150	80	-	-

Амплитудные значения ВЧКП при коммутациях после установки РС-цепочек на всех трансформаторах ниже зарегистрированных значений до установки РС-цепочек и не превышают испытательные значения грозовым импульсом.

2.9 Вывод/ввод КВЛ 500 кВ СШГЭС-Означенное №1

Выполнялась регистрация ВЧКП при коммутациях при выводе/вводе КВЛ 500 кВ СШГЭС-Означенное №1.

Результаты регистрации наибольших зарегистрированных амплитудных значений ВЧКП на всех трансформаторах до и после установки РС-цепочек приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Сравнение данных по регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек при коммутациях при выводе/вводе КВЛ 500 кВ СШГЭС-Означенное №1

Коммутируемый аппарат	Амплитудные значения ВЧКП, кВ									
	Т1		Т2		Т3		Т4		Т5	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
В-С1-543	70	42	46	-	50	-	150	84	-	-
РЛ-С1-543	90	-	30	-	32	-	135	60	-	-
РС-С1-543	50	-	100	-	35	-	140	76	-	-
В-Т2-543	30	-	-	-	-	-	46	-	-	-
РЛ-Т2-543	40	-	-	-	-	-	105	57	-	-
Р-Т2-543	46	-	90	-	45	-	84	57	-	-

Амплитудные значения ВЧКП при коммутациях после установки РС-цепочек на всех трансформаторах ниже зарегистрированных значений до установки РС-цепочек и не превышают испытательные значения грозовым импульсом.

2.10 Вывод/ввод КВЛ 500 кВ СШГЭС - Означенное №2

Выполнялась регистрация ВЧКП при коммутациях при выводе/вводе КВЛ 500 кВ СШГЭС-Означенное №2

Результаты регистрации наибольших зарегистрированных амплитудных значений ВЧКП на всех трансформаторах до и после установки РС-цепочек приведены в таблице 11.

Таблица 11. Сравнение данных по регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек при коммутациях при выводе/вводе КВЛ 500 кВ СШГЭС-Означенное №2

Коммутируемый аппарат	Амплитудные значения ВЧКП, кВ									
	Т1		Т2		Т3		Т4		Т5	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
РЛ-С1-544	46	-	27	-	-	-	68	58	-	-
РС-С1-544	62	50	54	-	51	42	150	46	48	-
РЛ-Т5-544	-	-	-	-	-	-	80	42	-	-
Р-Т5-544	-	-	42	-	52	-	140	42	42	-

Амплитудные значения ВЧКП при коммутациях после установки РС-цепочек на всех трансформаторах ниже зарегистрированных значений до установки РС-цепочек и не превышают испытательные значения грозовым импульсом.

2.11 Отключение/включение разъединителей Р1-С1, Р2-С1 и Р1-С2, Р2-С2

Выполнялась регистрация ВЧКП при коммутациях при отключении/включении разъединителей Р1-С1, Р2-С1 и Р1-С2, Р2-С2.

Результаты регистрации наибольших зарегистрированных амплитудных значений ВЧКП на всех трансформаторах до и после установки РС-цепочек приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Сравнение данных по регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек при коммутациях P1-C1, P2-C1 и P1-C2, P2-C2

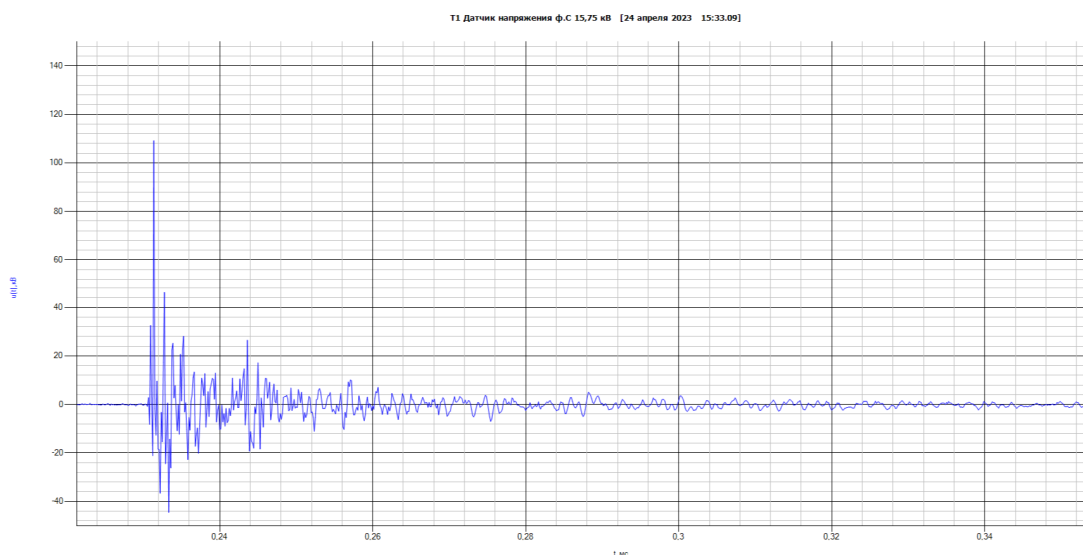
Коммутируемый аппарат	Амплитудные значения ВЧКП, кВ									
	T1		T2		T3		T4		T5	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
P1-C1	100	50	48	-	140	80	150	84	27	22
P2-C1	28	-	30	25	30	-	165	65	36	-
P1-C2	64	-	60	32	56	50	80	80	30	-
P2-C2	30	-	40	-	28	27	120	84	42	26

Амплитудные значения ВЧКП при коммутациях после установки РС-цепочек на всех трансформаторах ниже зарегистрированных значений до установки РС-цепочек и не превышают испытательные значения грозовым импульсом.

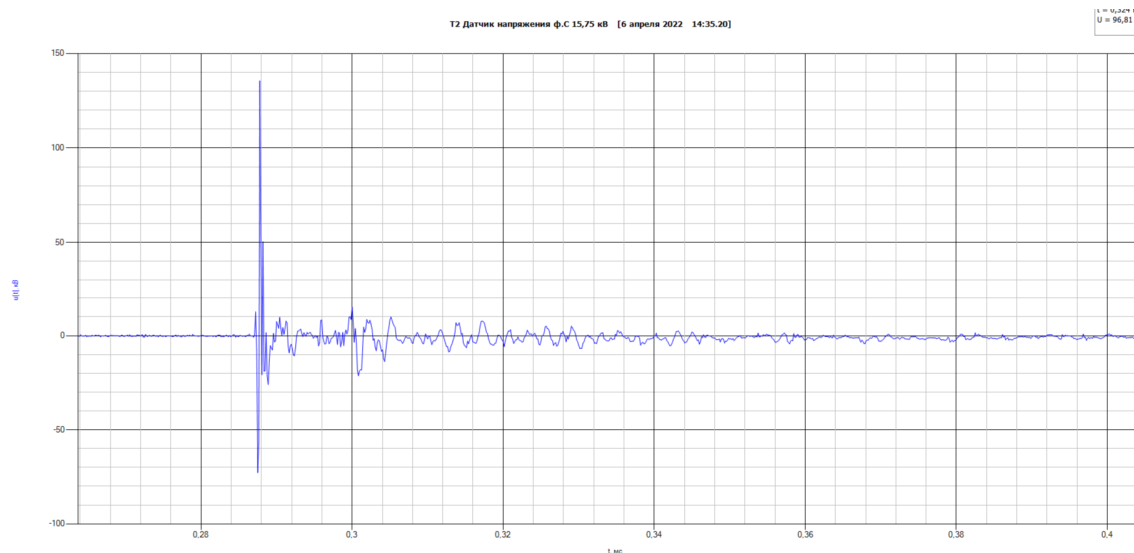
В Приложении 3 приведены для сравнения осциллограммы ВЧКП до и после установки РС-цепочек при различных коммутациях.

3. Краткий анализ результатов регистрации ВЧКП до и после установки RC-цепочек

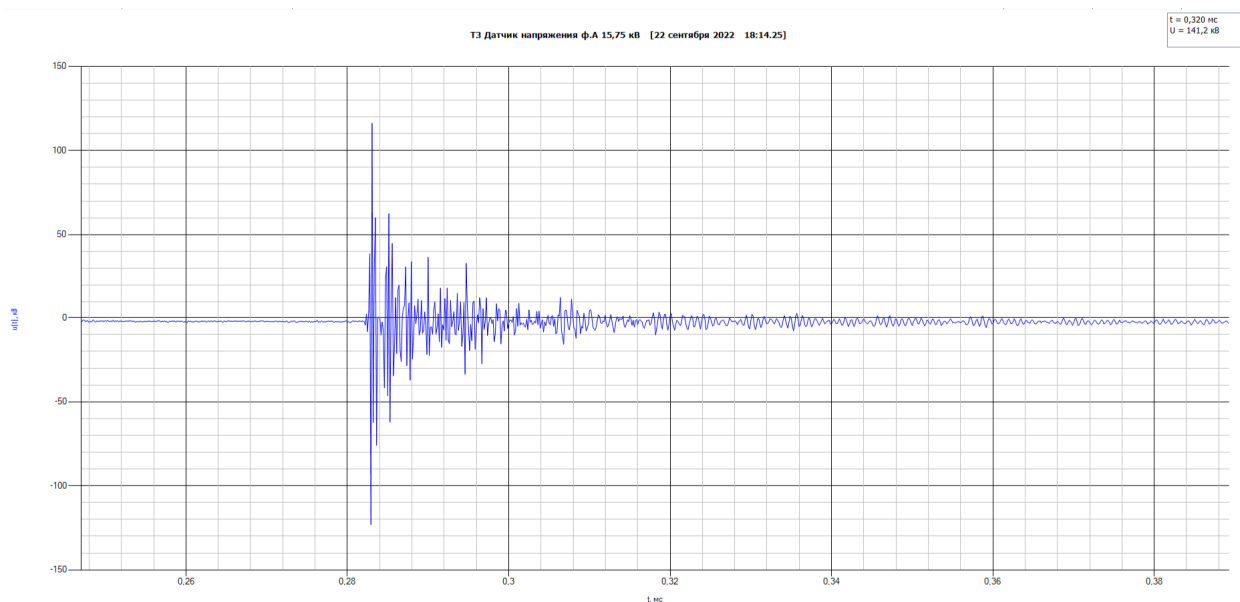
До установки RC-цепочек регистрировались ВЧКП с амплитудой более 100 кВ. В большинстве случаев такие ВЧКП были относительно небольшой длительности - десятки микросекунд (рисунок 3).



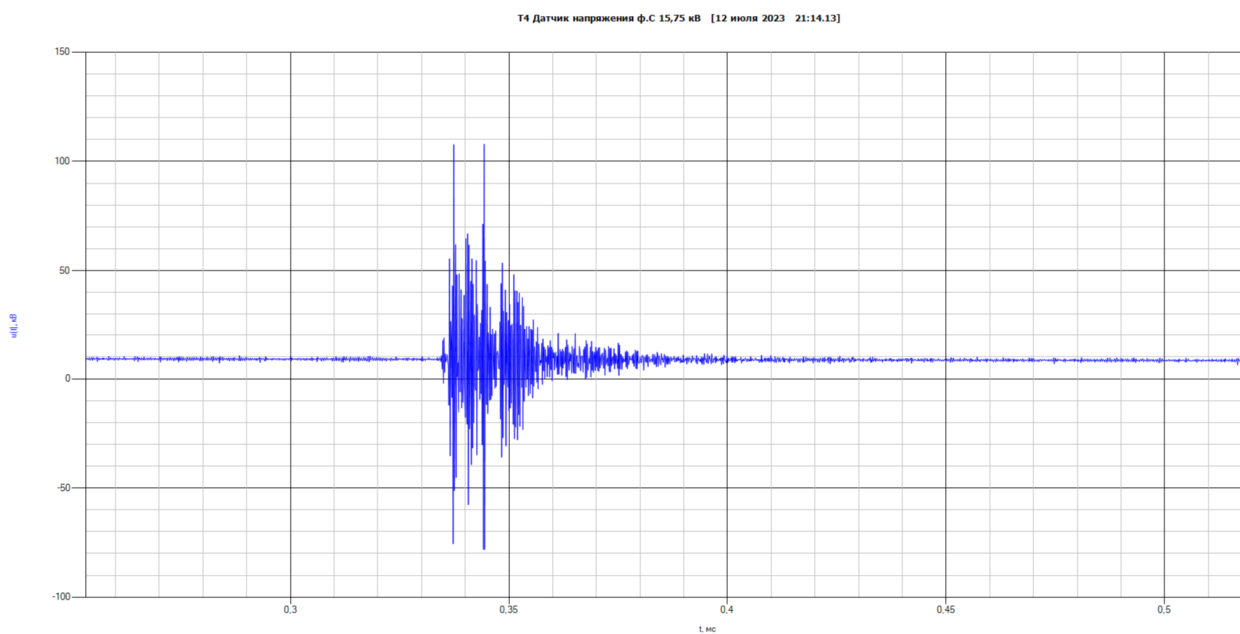
ВЧКП на T1, на стороне НН



ВЧКП на T2, на стороне НН



ВЧКП на Т3, на стороне НН



ВЧКП на Т4, на стороне НН

Рисунок 3. ВЧКП небольшой длительности

Даже при возникновении резонанса на высоких частотах (мегагерцы) длительность таких ВЧКП была в пределах ста микросекунд (рисунок 4).

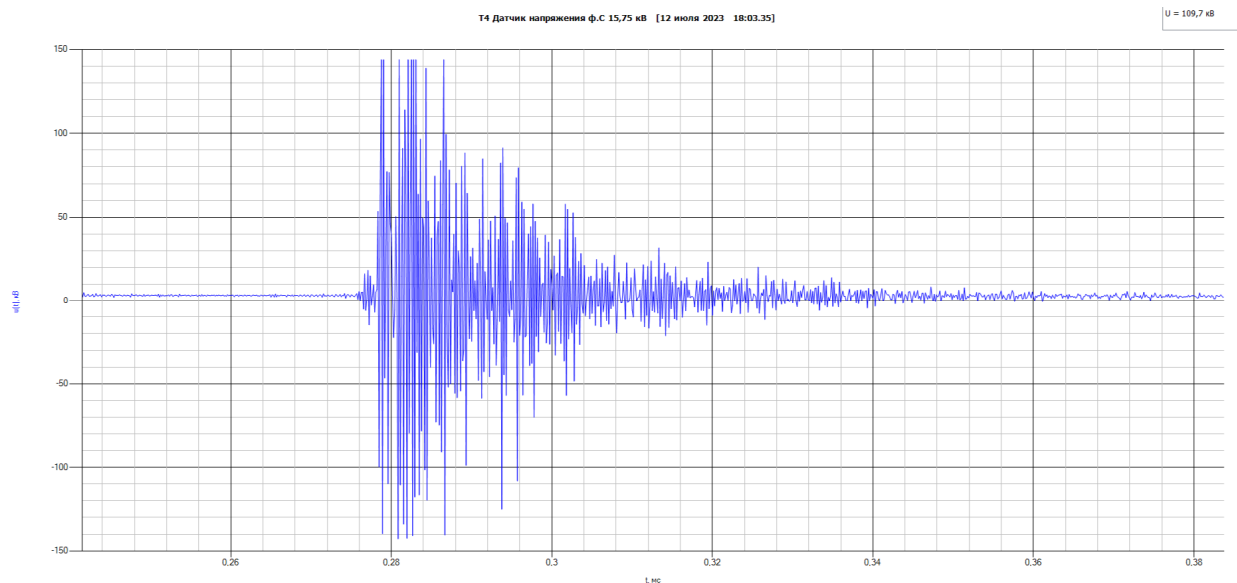
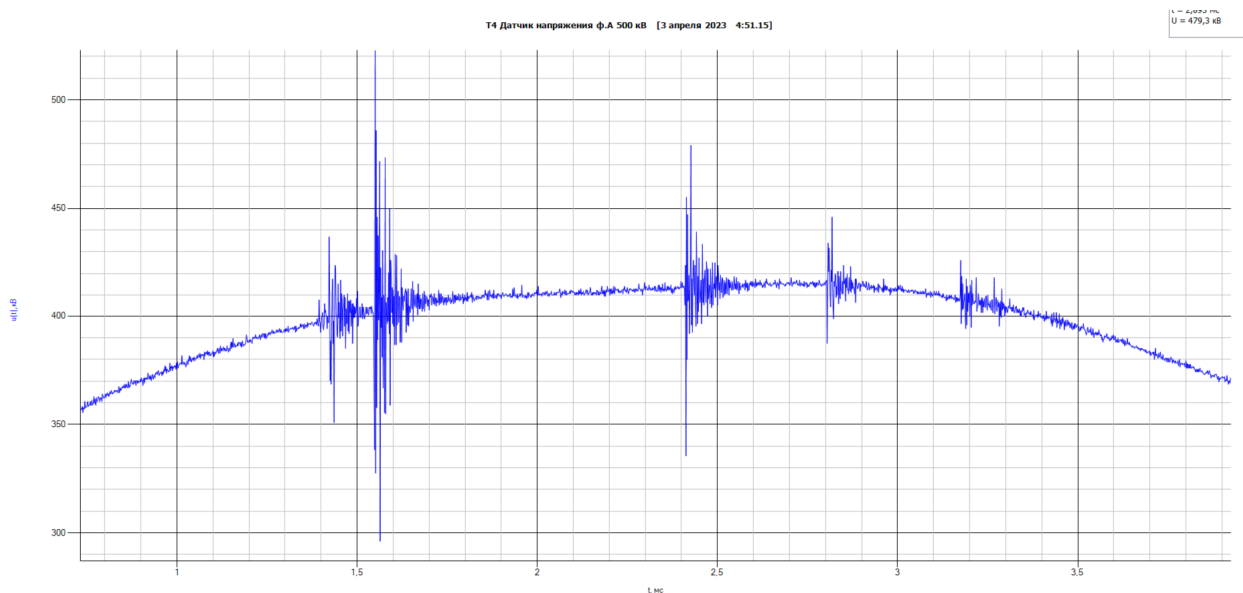
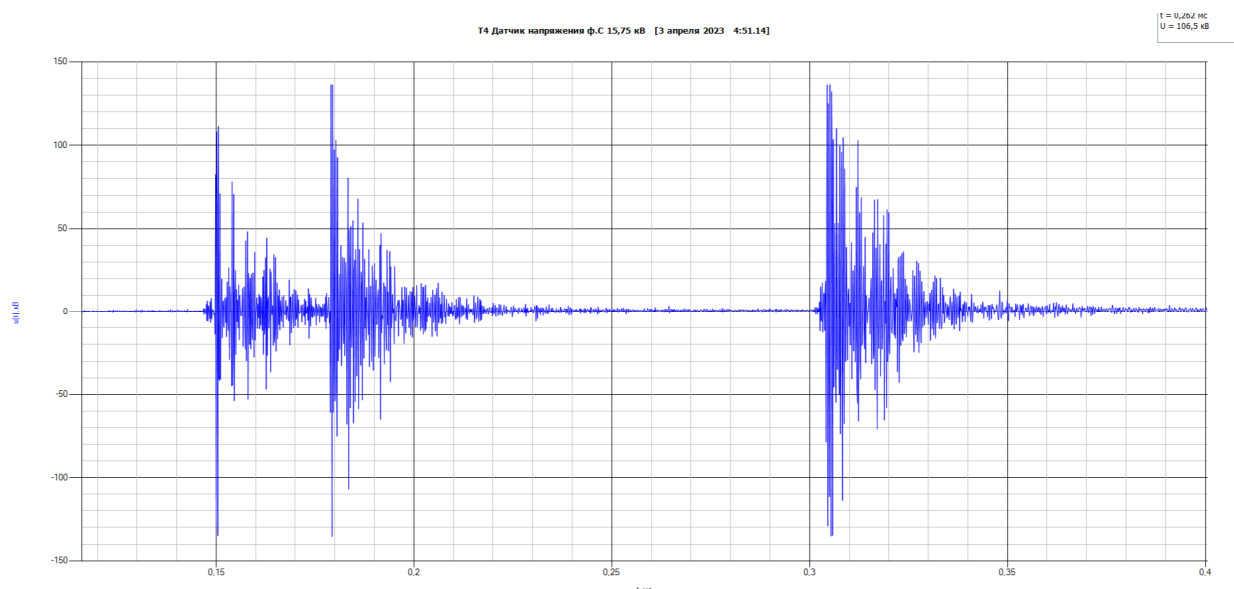


Рисунок 4. Резонанс на высоких частотах

Такие ВЧКП не могут вызвать повреждение изоляции при однократном воздействии, так как они имеют малую энергию. Даже с учетом того, что при одной коммутации таких импульсов может быть много – до нескольких штук на полупериоде 50 Гц (рисунок 5) – пробой изоляции и КЗ маловероятны.



ВЧКП на стороне ВН трансформатора



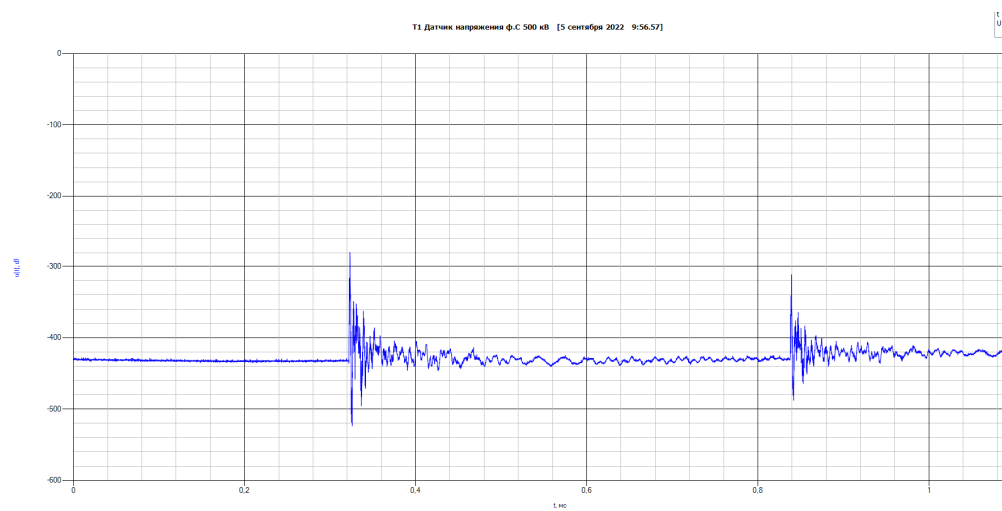
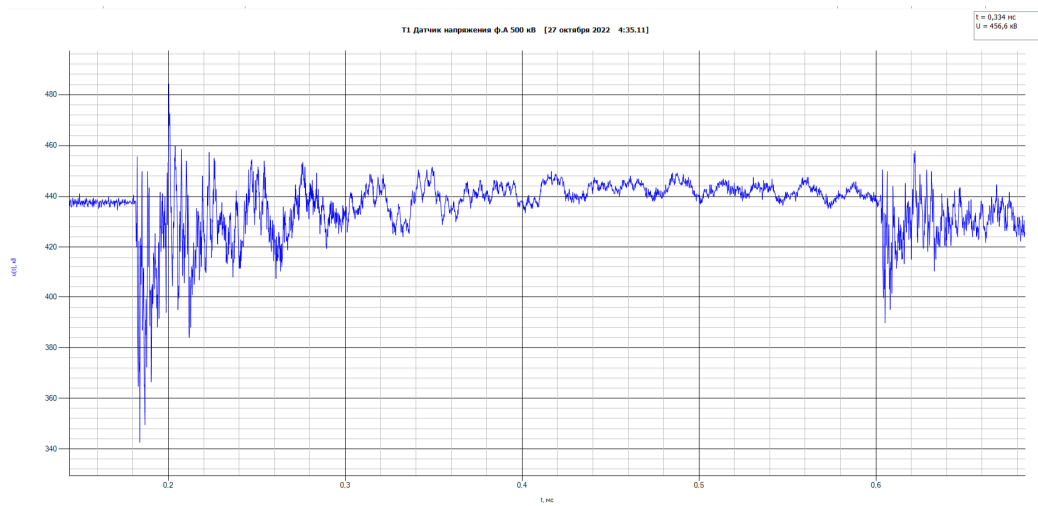
ВЧКП на стороне НН

Рисунок 5. ВЧКП при коммутации выключателя в КРУЭ 500кВ

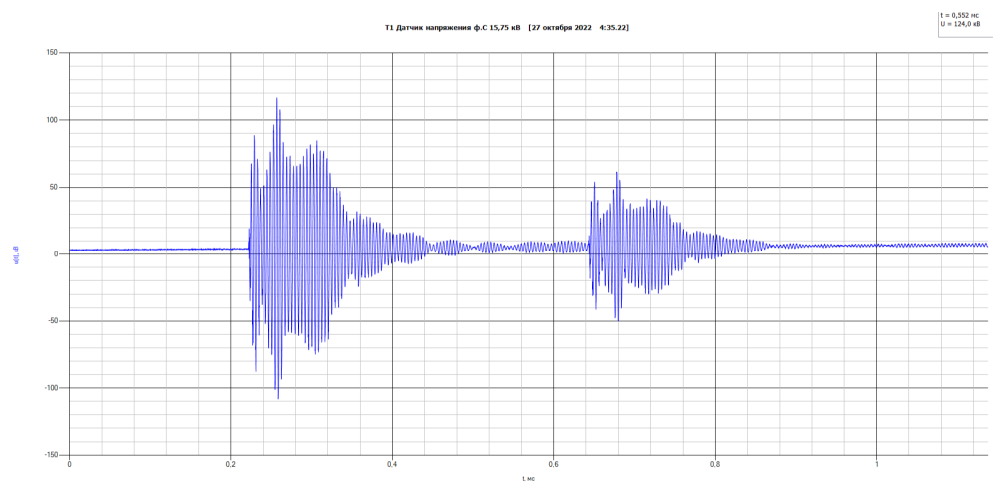
Опасность таких ВЧКП состоит в кумулятивном эффекте. При возникновении ВЧКП происходят частичные разряды (ЧР) в изоляции, которые снижают электрическую прочность изоляции и при многократном воздействии могут привести к ее пробое даже при рабочем напряжении. Системы мониторинга ЧР не могут фиксировать такие разряды, так как время коммутации относительно небольшое. Эффект снижения прочности изоляции при многократном воздействии ВЧКП может проявиться только через несколько лет.

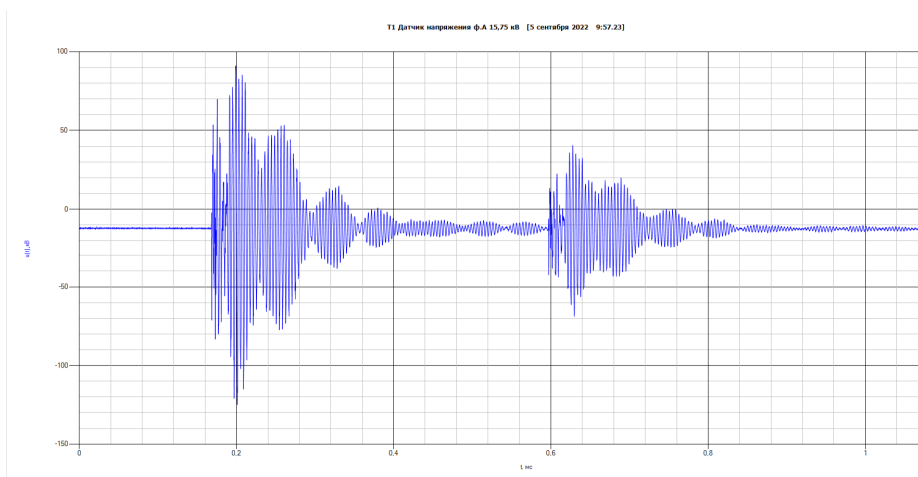
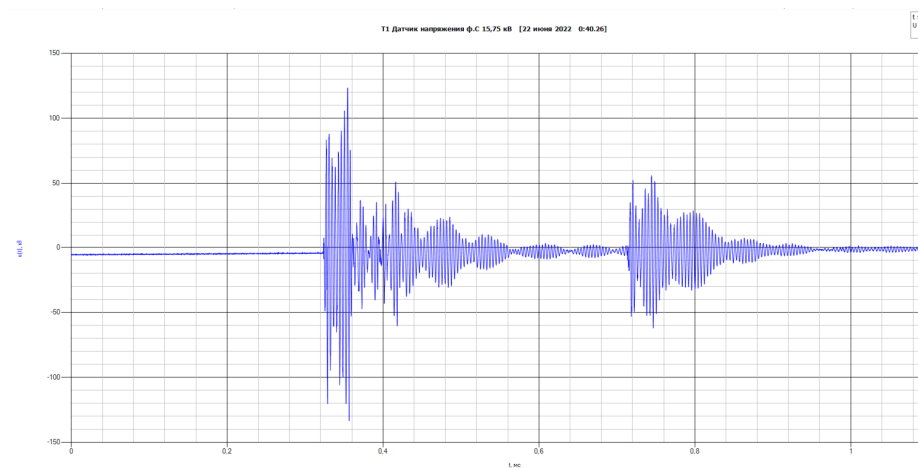
Наибольшую опасность представляют резонансные ВЧКП большей длительности, которые были зарегистрированы до установки РС-цепочек (рисунок 6). Такие ВЧКП регистрировались при коммутациях выключателей ВРШ-541 и ВРШ-542. ВЧКП на стороне ВН в спектре частот содержат как высокие (мегагерцы), так и относительно низкие (десятки килогерц) частоты.

Резонанс в трансформаторе возникает, как правило, на частотах 50 и 250 кГц. Длительность таких ВЧКП – сотни микросекунд, а зарегистрированная амплитуда – до 190 кВ (рисунок 7).



ВЧКП на стороне ВН





ВЧКП на стороне НН

Рисунок 6. ВЧКП при коммутации ВРШ- 541

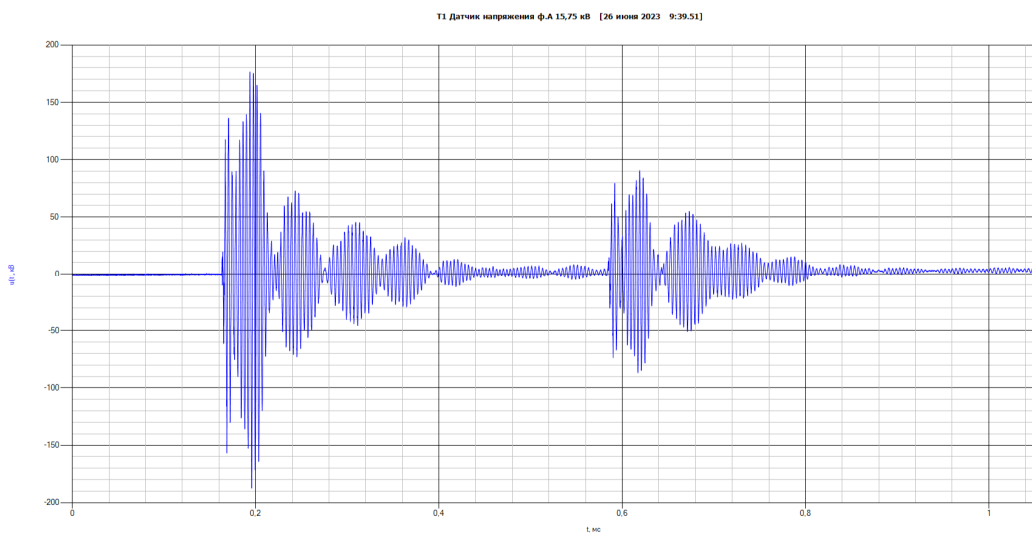
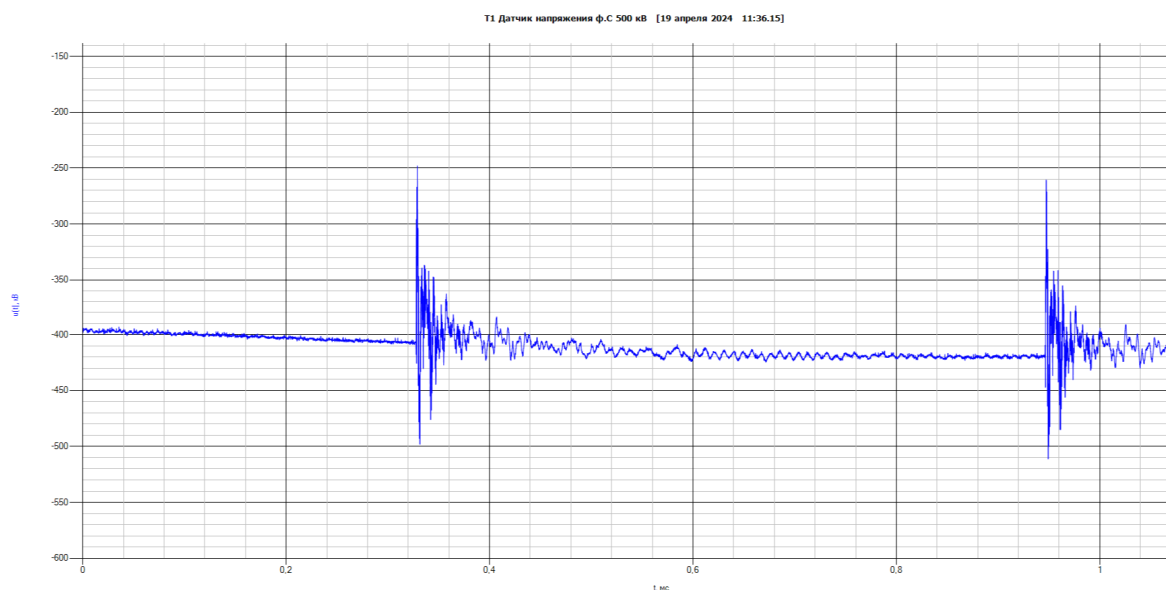


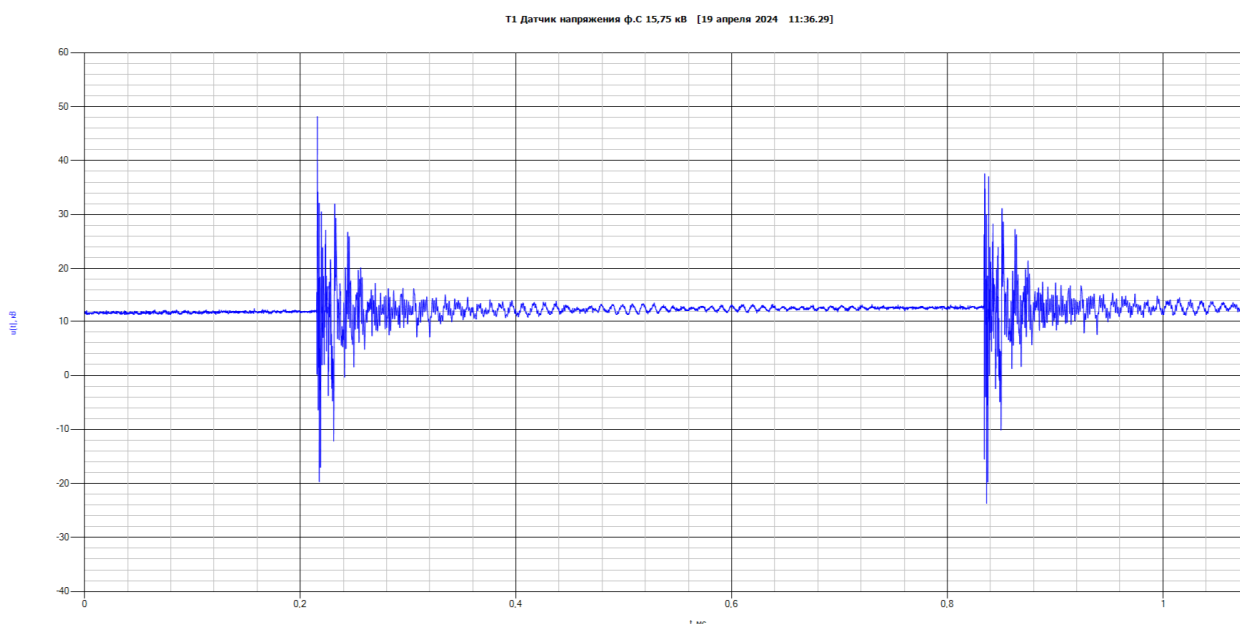
Рисунок 7. Наибольшая зарегистрированная амплитуда ВЧКП при коммутации ВРШ- 542

После установки RC-цепей на всех трансформаторах амплитуда ВЧКП снизилась примерно в 2-3 раза. Причем при уставке 40 кВ количество регистрируемых ВЧКП сократилось на порядок по сравнению с тем, что было до установки RC-цепей.

При коммутациях ВРШ-541 и ВРШ-542 амплитуда ВЧКП снижалась в 4-5 раз, резонанс на частотах 50 и 250 кГц отсутствует (рисунок 8). На стороне ВН ВЧКП до и после установки RC-цепей не отличаются.



ВЧКП на ВН



ВЧКП на НН

Рисунок 8. ВЧКП при коммутации ВРШ-541 после установки RC-цепей

Заключение

Работы по теме «Проведение опытной эксплуатации устройств для снижения коммутационных высокочастотных перенапряжений на силовых трансформаторах Т1-Т5 филиала ПАО «РусГидро» - «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного» выполнялись в 4 этапа:

1 этап: 4-й квартал 2023 г. – 1-й квартал 2024 г.

2 этап: 2-й квартал 2024 г.

3 этап: 3-й квартал 2024 г.

4 этап: 4-й квартал 2024 г.

На всех этапах работы в соответствии с ТЗ были выполнены:

- Регистрация ВЧКП на блоках Т1-Т5 и передача информации о времени и месте возникновения ВЧКП в службу диагностики СШГЭС.
- Осуществление контроля работы регистраторов и датчиков напряжения.
- Получение и анализ информации о параметрах ВЧКП при коммутациях в КРУЭ 500кВ в режиме мониторинга.
- Проведение сравнения данных о ВЧКП, полученных на блоках Т1-Т5 с установленными РС-цепочками, с данными, полученными при аналогичных коммутациях в 2022-2023 годах без РС-цепочек.

За время регистрации ВЧКП до и после установки РС-цепочек выполнялись коммутации всех выключателей и разъединителей в КРУЭ 500 кВ более 1000 раз. Каждый аппарат включался/отключался не менее 15 раз.

После установки РС-цепочек также выполнялись коммутации всеми аппаратами при следующих операциях:

- ввод/вывод трансформаторов Т1-Т5;
- ввод/вывод КВЛ;
- включение/отключение реакторов РШ -541 и РШ-542;
- включение/отключение секционных выключателей В-С1 и В-С2 с разъединителями Р1-С1, Р2-С1, Р1-С2 и Р2-С2.

Амплитудные значения ВЧКП при коммутациях после установки РС-цепочек на всех трансформаторах ниже зарегистрированных значений до установки РС-цепочек и не превышают испытательные значения грозовым импульсом.

С учетом опыта эксплуатации РС-цепей на силовых трансформаторах Т1-Т5 СШГЭС и результатов мониторинга ВЧКП в 2024 году была выполнена корректировка (актуализация) методических указаний по защите силового электротехнического оборудования ГЭС от ВЧКП.

Коммутации за октябрь - ноябрь 2024 года

Коммутируемый аппарат	Коммутация	Дата	Время
		01.10.	
В-T2-543	Отк.		04:49:34
РЛ-T2-543	Отк.		04:49:55
Р-T2-543	Отк.		04:50:14
В-C2-T2	Отк.		05:46:02
Р-C2-T2	Отк.		05:46:40.
РС-C2-T2	Отк.		05:47:19
Ввод Т2		03.10.	
РС-C2-T2	Вкл.		15:10:35.
Р-C2-T2	Вкл.		15:11:02.
Р-T2-543	Вкл.		15:32:19
РЛ-T2-543	Вкл.		15:32:28
В-T2-543	Вкл.		16:04:17
Вывод Т5		08.10	
В-T5-544	Отк.		04:07:33
В-C2-T5	Отк.		04:09:02
Р2-T5	Отк.		04:09:29
В-C2-T5	Вкл.		04:09:57
В-T5-544	Вкл.		04:10:41
Ввод Т5		09.10.	
В-T5-544	Откл.		22:50:34
В-C2-T5	Откл.		22:50:54
Р2-T5	Вкл.		22:51:09
В-T5-544	Вкл.		23:34:10
Вывод/ввод Т2		10.10	
РЛ-РШ-541	Откл.		04:26:58.
В-T2-543	Откл.		07:41:32.
В-C2-T2	Вкл.		07:43:11
В-T2-543	Вкл.		07:43:20
В-T2-543	Откл.		17:32:17
В-C2-T2	Откл.		17:32:32
Р2-T2	Вкл.		17:32:49
В-T2-543	Вкл.		17:55:21
		11.10.	
РЛ-РШ-541	Вкл.		00:16:13
Вывод Т1		14.10.	
В-C1-T1	Откл.		04:27:13
Р2-T1	Откл.		04:28:11
В-C1-T1	Вкл.		04:28:39
В-T1-542	Вкл.		04:28:54
Новокузнецкая №1		27.10.	
В-T4-541	Откл.		18:35:45

В-С2-541	Откл.		18:36:12
РЛ-541			18:37:11
В-РШ-541	Вкл.		18:37:38
ДФЗ КВЛ-541			19:54:24
В-РШ-541	Откл.		20:15:34
Новокузнецкая №2 Ввод т1		28.10.	
В-РШ-542	Вкл.		10:02:37
В-Т1-542	Откл.		10:02:45
В-С2-542	Откл.		10:02:53
В-РШ-542	Откл.		10:17:35
РЛ-542	Вкл.		10:18:07
В-С2-542	Вкл.		11:25:12
В-Т1-542	Вкл.		11:25:25
Новокузнецкая №2		01.11.	
В-Т1-542	Откл.		20:57:19
В-С2-542	Откл.		20:57:32
РЛ-542	Вкл.		20:58:05
В-РШ-542	Вкл.		20:58:37
В-РШ-542	Откл.		23:13:34
		11.11.	
В-Т3-Р1	Откл.		04:21:37
В-С2-Т3	Откл.		04:21:56
Р2-Т3	Откл.		04:22:18
В-С2-Т3	Вкл.		04:22:28
В-Т3-Р1	Вкл.		04:22:52
В-С2-Т3	Откл.		05:10:03
Р-С2-Т3	Откл.		05:15:11
РС-С2-Т3	Откл.		05:15:22
В-Т3-Р1	Откл.		06:12:12
РЛ-Т3-Р1	Откл.		06:12:31
Р-Т3-Р1	Откл.		06:12:40
В-С1-Р1	Откл.		06:35:09
РЛ-С1-Р1	Откл.		06:35:35
РС-С1-Р1	Откл.		06:35:46

Данные о ВЧКП за 2022-2023 годы

Ввод/вывод блока Т1								
Год	Коммутируемый аппарат	Дата	Амплитудные значения перенапряжений, кВ					
			T1	T2	T3	T4	T5	
2022	В-С1-Т1	14.04	-	-	26	140	-	
		13.09	-	34	30	140	25	
		11.10	36	37	-	46	-	
		13.10	-	37	42	50	-	
		05.11	-	34	42	140	-	
2023		17.04	-	40	52	140	-	
		25.09	-	-	40	/145	-	
2022		Р-С1-Т1	25.04	-	33	-	46-	-
2023			20.04	-	-	-	/44	-
			24.04	-	-	-	100	-
	10.10		-	-	-	125/40	-	
2022	РС-С1-Т1	21.04	-	/27	/30	/37	/28	
		25.04	-	52	27	68	30	
		18.10	42	56/45	27/33	140/50	-	
		10.11	-	/52	-	/70	/36	
2023		20.04	-	-	/40	/46	-	
		24.04	-	-	58	135	-	
		10.10	-	-	45/36	160/44	-	
2022		В-Т1-542	13.09	-	-	-	40	-
			12.10	57	48	32	140	-
			05.11	-	-	-	40	-
2023	20.04		-	-	/50	-	/30	
	25.09		-	-	-	/44	-	
2022	Р-Т1-542	-	-	-	-	-	-	
2023		20.04	-	-	-	/60	-	
		05.07	-	-	/50	-	-	
		14.10	-	-	-	42	-	
2022	РЛ-Т1-542	21.04	-	/25	-	/37	-	
		27.06	/80	/57	/29	/55	-	
		10.11	-	50/46	-	130/42	-	
2023		20.04	-	-	-	/42	-	
		24.04	-	-	-	135	-	
2022	Р2-Т1	14.04	-	/25	/22	/40	-	
		25.04	-	52	27	70	30	
		26.06	28/47	48/55	27/27	-	-	
		13.09	/40	/50	/25	/50	-	
		10.10	-	/40	/48	/150	-	
		11.10	-	-	-	54	-	
		05.11	/27	/64	/27	/53	-	
		10.11	/60	-	-	-	-	
2023		17.04	/44	/46	-	/60	-	
		24.04	110	-	-	53	-	
		25.09	/52	/55	-	/40	-	
		14.10	62	44	-	60	-	

Ввод/вывод блока Т2							
Год	Коммутируемый аппарат	Дата	Амплитудные значения перенапряжений, кВ				
			T1	T2	T3	T4	T5
2022	В-С2-Т2	16.03	-	-	50	150	-
		06.04	-	40	28	150	-
		27.06	43	35	30	61	-
		25.07	-	-	44	68	-
		28.11	42	Отк.	60	92	-
2023		01.03	-	Отк.	-	140	-
		09.03	42	Отк.	76	130	-
		03.04	-	Отк.	-	150	-
		19.08	-	Отк.	34	-	-
		14.11	-	Отк.	-	72	-
2022	Р-С2-Т2	06.12	-	90	48	70	-
2023		17.03	-	Отк.	-	/42	-
		21.03	-	Отк.	-	60	-
		18.07	-	44	-	88	-
2022	РС-С2-Т2	01.04	Не вк.	Не вк.	/40	/46	/30
		06.04	Не вк.	40	-	140	-
		25.05	-	-	-	130	-
		27.06	/31	/45	/36	/72	-
		05.12	/45	/40	/48	/30	/30
		06.12	-	60	42	140	-
2023		17.03	/48	Отк.	-	/50	-
		21.03	40	36	-	140	-
		18.07	-	Отк.	50	140	42
		14.11	-	Отк.	-	/70	38/30
2022	В-Т2-543	16.03	Не вк.	Не вк.	-	64	-
2023		06.04	Не вк.	Отк.	-	140	-
		01.03	-	Отк.	-	50	-
		19.03	36	42	44	55	-
		19.08	-	/46	-	-	-
		20.08	-	Отк.	-	/48	-
2022	Р-Т2-543	04.10	/-	/48	-	/43	-
2023		17.03	/48	Не вк	/50	/52	-
2022	РЛ-Т2-543	01.04	Не вк.	Не вк.	-	/30	-
		04.10	/33	/55	/33	/44	-
		05.12	/40	Отк.	-	/44	-
		06.12	-	50	-	140	-
2023		17.03	/46	Не вк.	/45	/44	-
		21.03	42	Не вк.	-	140	-
		18.07	60	Отк.	-	140	-
2022	Р2-Т2	16.03	Не вк.	Не вк.	/30	/27	-
		06.04	Не вк.	Не вк.	-	-	-
		10.04	Не вк.	-	-	/35	/28
		27.06	/55	/47	/48	/50	-
		01.07	31	Отк.	29	-	-
		25.07	/33	/44	/27	/55	-
		27.07	36	22	35	-	-
		28.11	/42	/40	/42	/55	-
2023		01.03	/46	/76	/44	/58	-
		02.03	-	42	48	50	-
		09.03	/50	/72	/52	/54	-
		19.03	40	82	54	43	-
		21.03	46	70	-	50	-
		03-04	/50	/120	/48	/48	-

		04.04	-	Не вк.	-	68	-
		19.08	44	56	-	-	-
		14.11	/40	52	/40	/50	-
		25.11	-	Отк.	-	40	-

Ввод/вывод блока Т3							
Год	Коммутируемый аппарат	Дата	Амплитудные значения перенапряжений, кВ				
			T1	T2	T3	T4	T5
2022	В-С2-Т3	12.03	-	-	Не вк.	150	30
2023		13.02	44	46	60	120	-
		04.03	50	-	Отк.	130	-
		15.05	-	-	Отк.	130	-
		22.05	42	-	Отк.	150	-
		30.10	-	43	Отк.	74	-
		02.11	-	-	Отк.	64	-
		20.12	/42	-	Отк.	-	-
21.12	-	-	Отк.	78	-		
2022	Р-С2-Т3	12.03	-	-	Не вк.	150	30
2023		20.02	-	-	Отк.	/42	-
		21.02	-	-	50	44	-
		17.05	-	-	Отк.	/48	-
		22.05	-	-	Отк.	52	-
		01.11	-	-	Отк.	/42	-
		21.12	-	-	Отк.	60	-
		2022	РС-С2-Т3	16.05	/28	/30	Отк.
2023	18.05	32		40	Отк.	-	-
	20.02	/50		/40	Отк.	/50	/48
	21.02	-		-	Отк.	46	-
	17.05	/25		/46	Отк.	/48	/45
	22.05	-		-	Отк.	130	40
	01.11	-		/42	Отк.	/40	/44
	02.11	-		-	Отк.	68	42
	20.12	-		-	Отк.	/50	/36
	21.12	-		-	Отк.	70	44
2023	В-С1-Р1	02.11	-	-	Отк.	80	-
2023	РС-С1-Р1	01.11	-	-	Отк.	/40	-
2023	РЛ-С1-Р1	01.11	/40	-	Отк.	/40	-
		02.11	-	-	Отк.	75	-
2022	В-Т3-Р1	11.05	30	42	Отк	92	-
2023		15.05	36	-	Отк	-	-
		23.05.	-	40	Отк.	42	-
		20.12	-	-	Отк.	/40	-
2022	Р-Т3-Р1	12.03	Не вк.	Не вк.	Не вк.	100	-
2023		14.11	/42	/40	/60	/46	-
		20.02	/50	/42	Отк	/56	-
		17.05	/27	-	Отк	-	-
		22.05	-	-	Отк	82	-
		01.11	-	-	42	-	-
		02.11	-	-	Отк	-	-
		20.12	-	-	Отк /42	-	-
21.12	-	-	Отк.	80	-		
2022	РЛ-Т3-Р1	16.05	/27	/28	Отк.	/54	-
		18.05	36	30	Отк.	-	-
		14.11	/34	/34	/42	/41	-
2023		20.02	/46	/42	Отк.	/42	-
		21.02	68	-	48	48	-
		17.05	-	-	Отк.	/40	-
		22.05	40	-	Отк.	140	-
		01.11	-	-	Отк.	/42	-
		02.11	-	-	Отк.	80	-
		20.12	-	-	Отк.	72/54	-

2022	P2-T3	11.05	-	/35	/30	/36	-
		18.05	36	36	32	52	-
2023		13.02	/25	/66	/60	/40	-
		04.03	/25	/80	/60	/60	-
		15.05	/32	/83	/78	/60	-
		23.05.	-	-	56	76	-
		30.10	-	/40	/60	/40	-
		12.11	-	-	33	40	-
		21.12	-	-	30	48	-

Ввод/вывод блока Т4							
Год	Коммутируемый аппарат	Дата	Амплитудные значения перенапряжений				
			T1	T2	T3	T4	T5
2022	B-C1-T4	11.02	-	-	-	140	-
		28.04	34	32	42	Отк.	-
		26.05	48	-	48	Отк.	25
		22.06	48	-	46	Отк.	-
		01.11	-	60	60	50	-
2023		03.07	-	-	33	Отк.	-
		16.10	-	-	44	Отк.	-
2022	P-C1-T4	04.05	/27	/26	/32	/40	/25
2023		05.07	-	-	-	150	-
2022	PC-C1-T4	06.05	25	30	35	38	25
2023		23.10	/40	-	/32	Отк.	40
		29.10	-	-	42	Отк.	-
2022	B-T4-541	11.02	-	-	-	140+	-
		06.05	-	-	-	44	-
2023		05.07	-	-	-	53	-
	P-T4-541	23.10	-	-	-	Отк.	-
2022		04.05	/27	/27	-	/28	-
		11.07	/35	-	/40	/54	/25
2023		23.10	-	-	/32	Отк.	-
2022	PЛ-T4-541	06.05	28	32	-	36	-
		11.07	-	-	/30	/56	-
2022	P2-T4	11.02	He вк.	He вк.	He вк.	150	He вк.
		10.04	He вк.	-	-	/35	/28
		28.04	-	32	32	40	-
		06.05	-	-	-	140	25
		26.05	-	-	/25	/60	/30
		22.06	-	-	/32	Отк.	-
2023		03.07	-	-	/73	/50	-
		05.07	-	-	-	130	-
		16.10	-	-	/46	/42	-
		29.10	-	-	35	Отк.	-

Ввод/вывод блока Т5							
Год	Коммутируемый аппарат	Дата	Амплитудные значения перенапряжений, кВ				
			T1	T2	T3	T4	T5
2022	B-C2-T5	09.03.	He вк.	He вк.	He вк.	150	He вк.
		11.03	He вк.	He вк.	He вк.	62	He вк.
		18.05	35	52	Отк.	68	Отк.
2023		22.03	52	-	35	120	Отк.
		05.04	75	-	-	140	Отк.
		27.04	70	-	44	140	Отк.
	P-C2-T5	29.05	-	-	100	100	Отк.
		04.12	-	-	-	52	Отк.
2022		23.05	/26	/27	/26	/46	Отк.
2023		10.04	-	-	-	/44	Отк.
		15.04	44	-	44	46	Отк.

		27.04	-	-	-	68/48	Отк.
		10.11	-	-	Отк.	/74	/42
2022	РС-C2-T5	25.05	46	-	-	130	Отк.
		09.07	44	35	48	100	Отк.
2023		10.04	/26	-	/60	/42	Отк.
		15.04	-	-	-	140	Отк.
		27.04	100/34	90	50/40	140/40	Отк.
		10.11	/47	-	-	/42	42
2023	B-T5-544	29.05	48	-	-	-	Отк.
2022	P-T5-544	11.03	-	-	-	130	Не вк.
		23.05	/28	/26	/26	/36	Отк.
		18.10	Отк.	/44	/28	/43	/44
2023		10.04	/40	/80	/44	/40	Отк.
		27.04	42/25	42	33	140/40	Отк.
2022	РЛ-T5-544	25.05	35	-	28	120	Отк.
		18.10	Отк.	-	-	/50	/25
2023		10.04	-	-	-	/50	Отк.
		15.04	25	-	25	140	Отк.
		27.04	-	-	-	/130	Отк.
2022	P2-T5	09.03	Не вк.	Не вк.	Не вк.	/82	Не вк.
		11.03	Не вк.	Не вк.	Не вк.	150	40
		18.05	-	-	Отк.	/52	/38
		25.05	-	-	-	60	28
		09.07	-	-	/25	/60	/45
2023		22.03	-	-	-	/40	/50
		24.03	-	-	-	70	42
		05.04	-	-	/50	/52	/50
		15.04	-	-	-	130	42
		29.05	-	-	-	/64	/64
		31.05	-	-	-	130	45
		04.12	-	-	-	/48	/32
		16.12	-	-	-	74	32

Включение/отключение реактора РШ-542							
Год	Коммутируемый аппарат	Дата	Амплитудные значения перенапряжений, кВ				
			T1	T2	T3	T4	T5
2022	В-РШ-542	15.03	Не вк.	Не вк.	Не вк.	150	33
		28.03	Не вк.	Не вк.	50	150	-
		22.06	130	50	45	56	-
		05.09	150	56	60	54	-
		04.10	100	60	60	42	27
		06.10.	/46	/56	-	/140	/42
		19.10	170	50	64	60	-
		09.11	-/44	70/110	60/60	63/80	48/62
		07.12	55	-	-	44	-
2023		13.06	170	42	54	64/60	40
		26.06	190/44	80	46	62	-
		08.07	/150	-	/52	/140	-
		24.10	44	100	50	Отк.	-
2022	РЛ-РШ-542	04.03	Не вк.	Не вк.	Не вк.	100	Не вк.
		29.03	Не вк.	Не вк.	/40	150	-
2023		26.06	/40	-	-	/44	-
		07.07	50	-	-	-	-
2022	РЛ-542	05.09	-	-	-	/50	-
2023							

Включение/отключение реактора РШ-541							
Год	Коммутируемый аппарат	Дата	Амплитудные значения перенапряжений, кВ				
			T1	T2	T3	T4	T5
2022	В-РШ-541	28.03	Не вк.	Не вк.	60	150	50
		09.07	100	25	48	110	Отк.
		10.10.	44	58	32	40	-
		13.10.	Отк.	65	52	140	50
		22.06	/44	25	-	Отк.	-
		09.07	100	-	48	110	Отк.
		22.07	/46	58	/36	/57	-
		10.10	44	65/42	32	40	-
		13.10	-/44	62	53/30	140/14	50/-
		17.10	Отк.	48	60	0	80
		27.10	120	44	50	140	92
		29.10	/54	60	/27	140	-
		30.10	-	74	48	/100	35
		09.11	Отк.	110	60	100	61
						140	
2023		12.04	-	40	42	150	Отк.
		18.04	Отк.	-	-	55	-
		13.06	76	-	-	130/10	-
		10.07	100	-	42	0	44
		19.07	-	-	48	125	-
		21.07	-	-	42	170	-
		25.12	-	-	-	80	-
						/48	
2022	РЛ-РШ-541	04.03	Не вк.	Не вк.	Не вк.	150/60	Не вк.
		05.03	Не вк.	Не вк.	Не вк.	150	Не вк.
		11.07	/32	/47	/43	/60	-
		20.07	31	31	50	150	-
2023		10.07	-	-	-	/47	-
		27.12	-	-	-	80	-
2022	РЛ-541	17.10	-	-	-	/45	-
2023		10.07	-	-	-	/48	-

Включение/отключение КВЛ Означенная.N1							
Год	Коммутируемый аппарат	Дата	Амплитудные значения перенапряжений, кВ				
			T1	T2	T3	T4	T5
2023	B-C1-543	13.05	70	46	50	140	-
		02.10	Отк.	-	-	150	-
2022	РЛ-С1-543	04.10	/40	/30	/31	/44	-
2023		11.05	/28	-	/50	/42	-
		13.05	32	-	-	100	-
2023	РС-С1-543	11.05	/48	-	/34	/42	-
		13.05	50			140	-
		12.10.	34	100	35	68	-
2023	В-Т2-543	13.05	30	-	-	-	-
		06.10	Отк.	-	-	46	-
2023	РЛ-Т2-543	11.05	-	-	-	/44	-
		13.05	40	-	-	105	-
2023	Р-Т2-543	11.05	/46	/40	-	/48	-
		13.05	25	90	45	84	-
		06.10	Отк.	-	-	45	-

2022	РЛ-543	04.10	-	-	-	44	-
2023		11.05	-	-	-	/50	-
		02.10	Отк.	-	-	/50	-
		06.10	Отк.	-	-	65	-

Включение/отключение КВЛ Означенная N2							
Год	Коммутируемый аппарат	Дата	Амплитудные значения перенапряжений, кВ				
			T1	T2	T3	T4	T5
2023	В-С1-544						
2022	РЛ-С1-544	18.10	-	/27	-	/50	-
		23.10	46	-	-	60	-
		30.10	-	-	-	/42	-
2023		05.06	-	-	-	/47	-
		09.06	-	-	-	68	-
2022	РС-С1-544	18.10	-	/42	/46	/60	/30
		23.10	-	54	38	130	48
		30.10	-	-	-	/45	-
		31.10	/45	/34	/51	/60	/42
2023		05.06	/40	-	/44	/48	-
		09.06	42	-	-	150	-
2022	В-Т5-544						
2023							
2022	РЛ-Т5-544	23.10	-	-	-	80	-
2023		05.06	-	-	-	/43	-
2022	Рз-РЛ-С1-541	20.10.	/110	/46	/54	/130	/47
2022	Р-Т5-544	23.10	-	42	52	140	-
2023		05.06	-	-	/40	/44	/42
		09.06	-	-	-	-	34
2022	РЛ-544	18.10	-	-	-	/43	-
2023		05.06	-	-	-	/44	-

Включение/отключение КВЛ Новокузнецкая N2							
Год	Коммутируемый аппарат	Дата	Амплитудные значения перенапряжений, кВ				
			T1	T2	T3	T4	T5
2022	В-Т1-542	14.09	-	-	-	40	-
		17.09	-	-	-	46	-
2023		08.07	52	82	52	92	-
2023	Р-Т1-542	05.07	/56	/50	/50	/40	-
		07.07	62	-	-	110	-
2022	РЛ-Т1-542	21.04	-	-	-	/36	-
		22.06	60	70	53	150	-
		07.07	58	-	27	50	-
2023		05.07	/40	-	-	/42	-
		07.07	100	-	32	110	-
2022	В-С2-542	07.07	60	64	52	90	-
		05.09	-	34	-	56	-
		17.09	-	34	-	56	-
2023		26.06	70	-	-	150	-
		24.10	44	80	58	43	-
2023	РЛ-С2-542	05.07	/40	-	-	Отк.	-
		07.07	-	-	36	80	-
2022	РС-С2-542	07.07	32	48	34	100	-
2023		05.07	-	/90	/44	Отк.	-
		07.07	50	84	44	150	-
	РЛ-542						-

Включение/отключение КВЛ Новокузнецкая N1							
Год	Коммутируемый аппарат	Дата	Амплитудные значения перенапряжений, кВ				
			T1	T2	T3	T4	T5
2023	В-Т4-541	12.07	-	-	-	60	-
		21.07	48	-	30	70	-
2022	Р-Т4-541	15.07	-	-	38	150	-
2023		10.07	-		/50	/50	-
		12.07		-		150	-
2022	РЛ-Т4-541	15.07	34	-	30	60	-
2023		10.07	-	-	/45	/42	-
		12.07			68	105	-
2022	В-С2-541	17.04 к.з	-	30/30	/40	54/50	/40
		22.06	/33	-	/32	/60	-
		15.07	55	40	46	140	-
		22.07	35	-	32	-	-
2023		12.07	-	-	50	150	-
		16.08	50			43	
2022	РЛ-С2-541	11.07	-	-	-	68	-
		15.07	31	38	41	76	-
2023		10.07	-	-	-	/40	/44
		12.07	-	-	-	80	-
		14.08.	-	-	-	/48	-
		16.08	-	-	-	140	-
2022	РС-С2-541	11.07	/32	/32	/34	/64	/45
		17.10.	27	48	80	160	33
2023		10.07	-	-	/45	/40	/44
		12.07	42	-	50	130	45
		14.08.	/42	/60	/32	/30	-
		16.08	-	47	33	145	75
2022	РЛ-541						
2023		10.07	-	-	-	/48	-

Включение/отключение В-С1							
Год	Коммутиру- емый аппарат	Дата	Амплитудные значения перенапряжений				
			T1	T2	T3	T4	T5
2022	В-С1	15- 17.06	-	-	-	-	-
2023							
2022	Р1-С1	15- 17.06	80/46	48/ /32	140/42	150/42	27
2022		20.09	80	46	120	68	-
		22.09	/30	/44	/36	/46	/25
		27.09	/100	-	-	40	-
		30.10					
		2023	08.11	46	42	-	74/68
2022	Р2-С1	15- 17.06	28/26	30/27	30/31	165/70	-
2022		22.09	-	-	27	140	-
		2023	08.11	-	-	-	78/44

Включение/отключение В-С2							
Год	Коммути- руемый аппарат	Дата	Амплитудные значения перенапряжений, кВ				
			T1	T2	T3	T4	T5
2022	В-С2	-	-	-	-	-	-
2023		-	-	-	-	-	-
2022	P1-С2	29.09	45	60	56	74	-
2023		09.11	50	-	-	78/40	/30
2023	P2-С2	09.11	-	-	-	74/50	42/34
2022		20.09	/30	/40	/28	/42	-
		27.09	-	-	-	/44	/42
		29.09	-	-	26	120	26

Осциллограммы ВЧКП до и после установки RC-цепочек

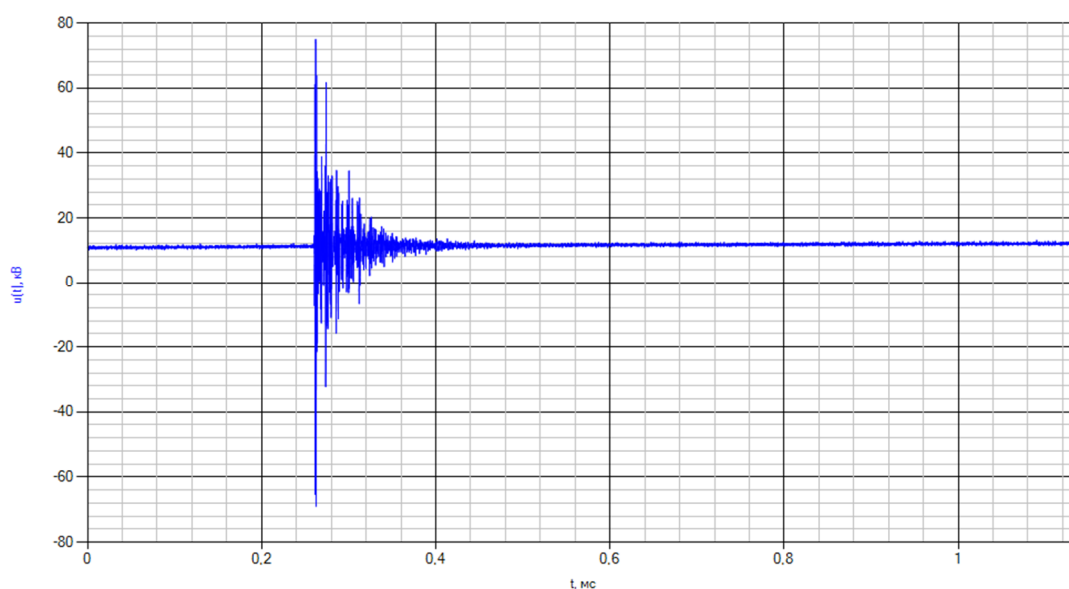
Ввод КВЛ 500кВ СШГЭС-Новокузнецкая №2

В-С2-542

До установки RC-цепочек:

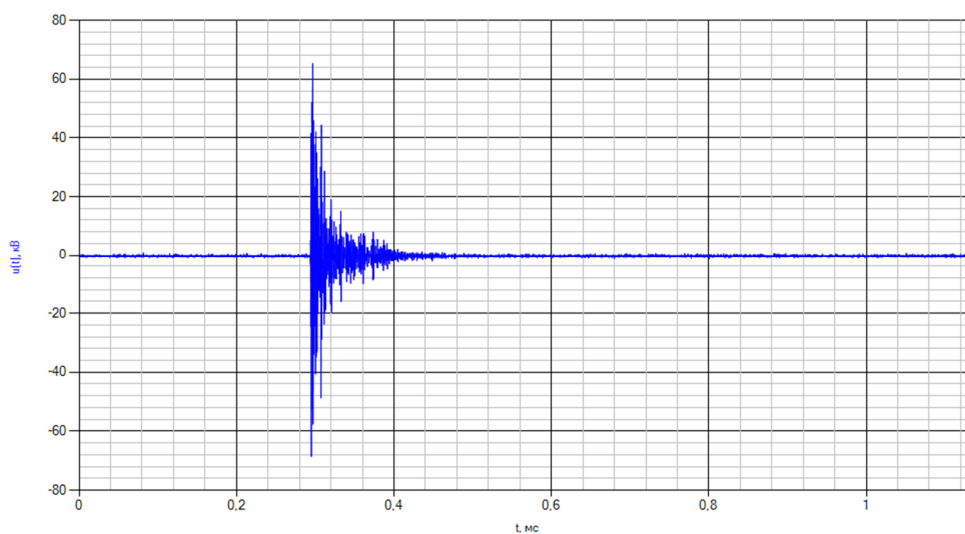
T1

T1 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [26 июня 2023 11:12.00]



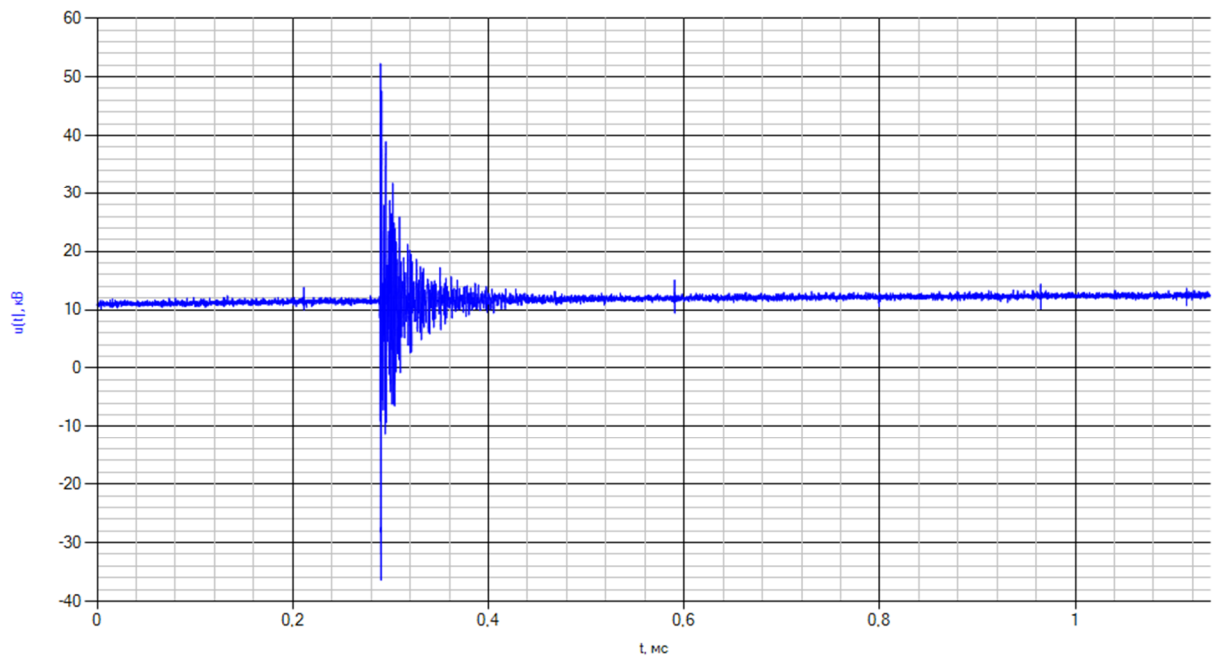
T2

T2 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [7 июля 2022 2:36.52]



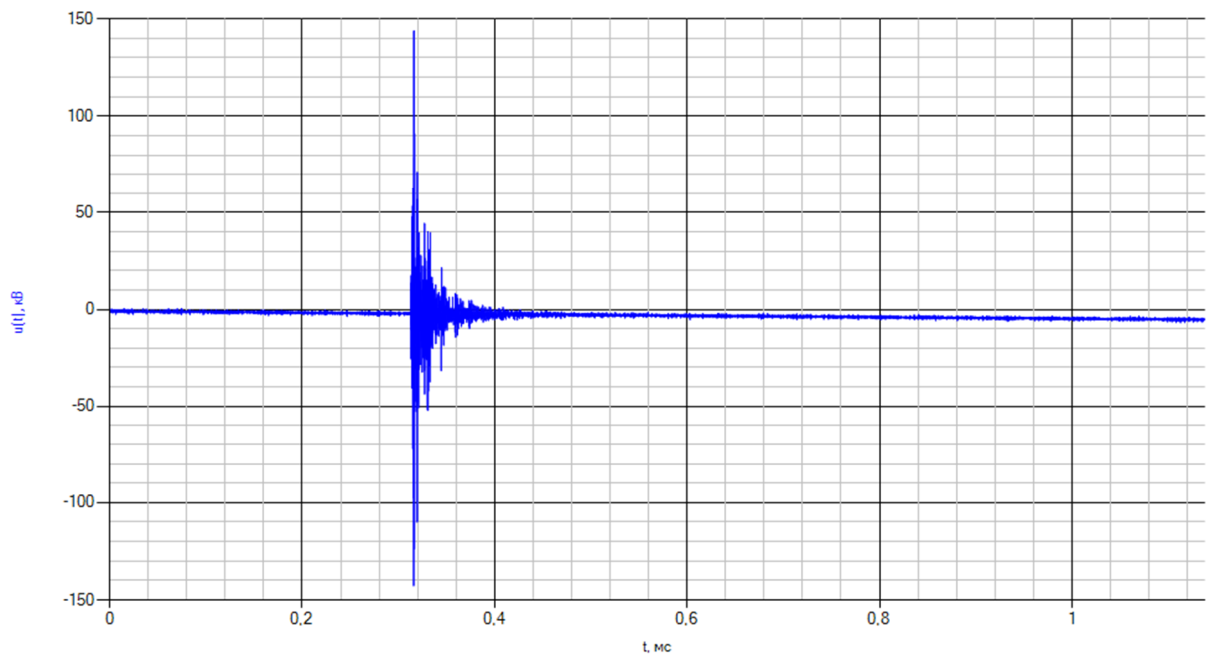
T3

T3 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [7 июля 2022 2:36.54]



T4

T4 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [26 июня 2023 11:11.56]

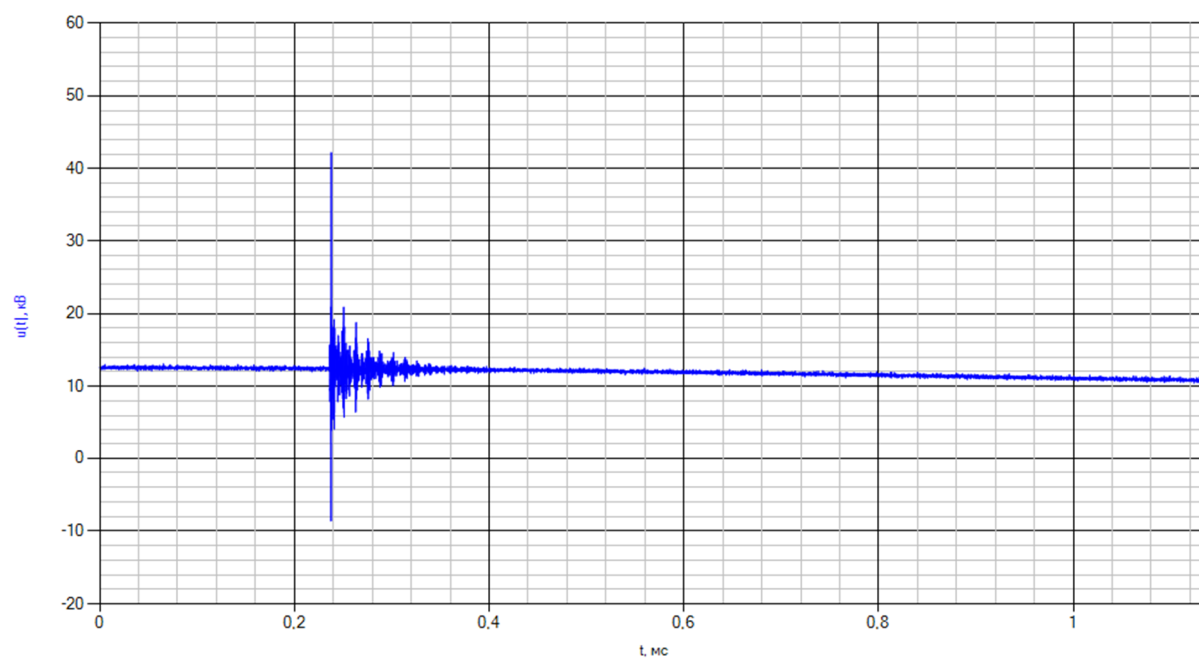


T5 нет

После установки RC-цепочек:

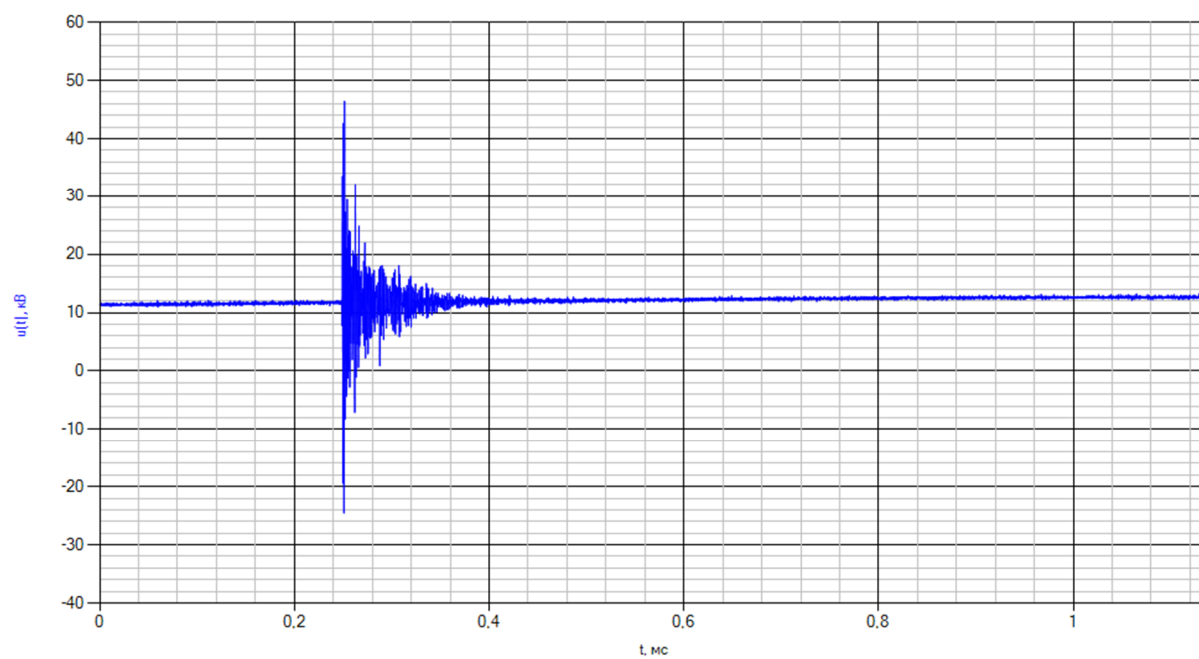
T1

T1 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [5 июля 2024 22:23.39]



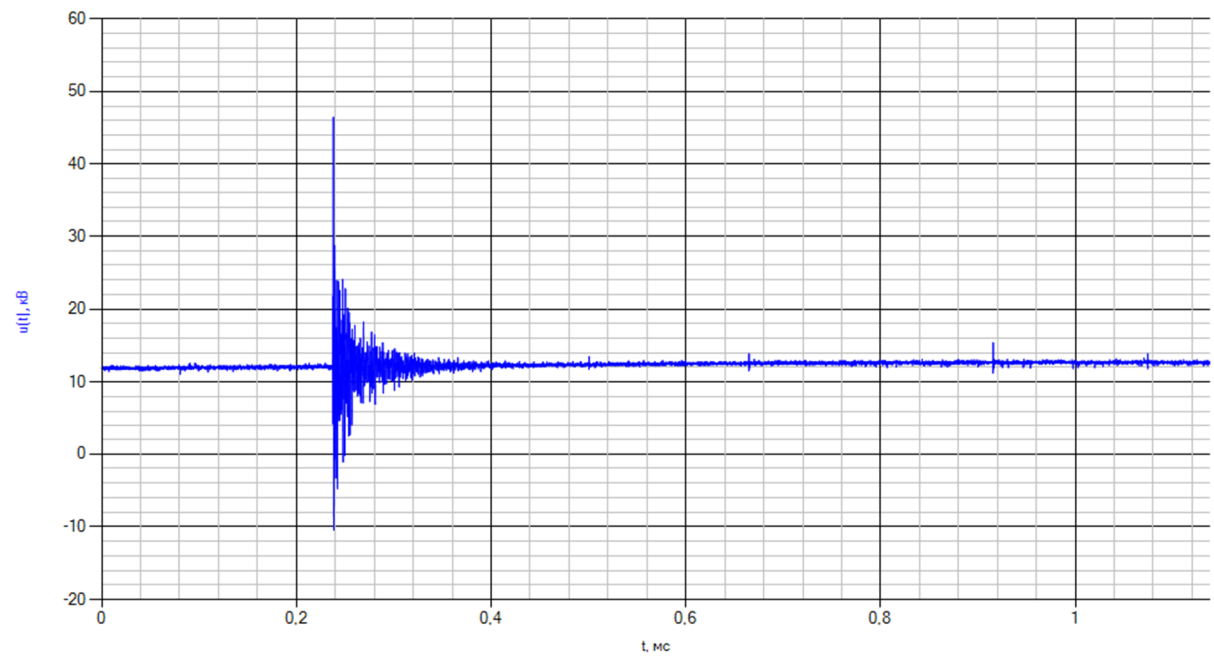
T2

T2 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [5 июля 2024 22:23.26]



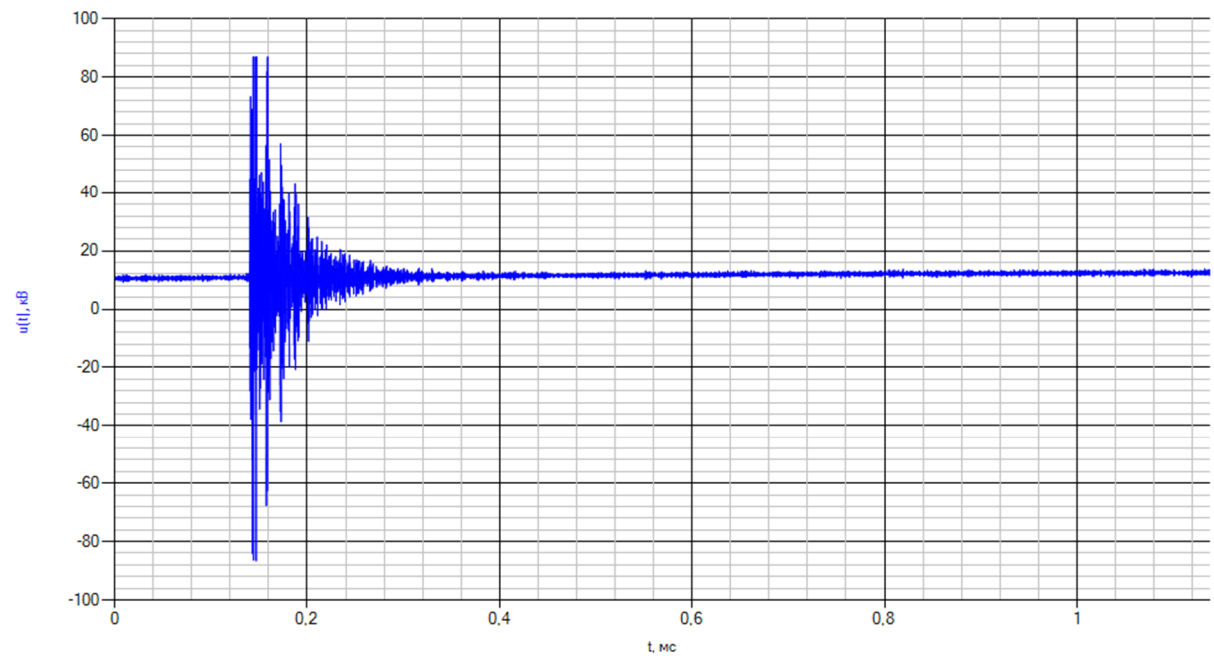
T3

T3 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [5 июля 2024 22:23.28]



T4

T4 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [5 июля 2024 22:23.28]



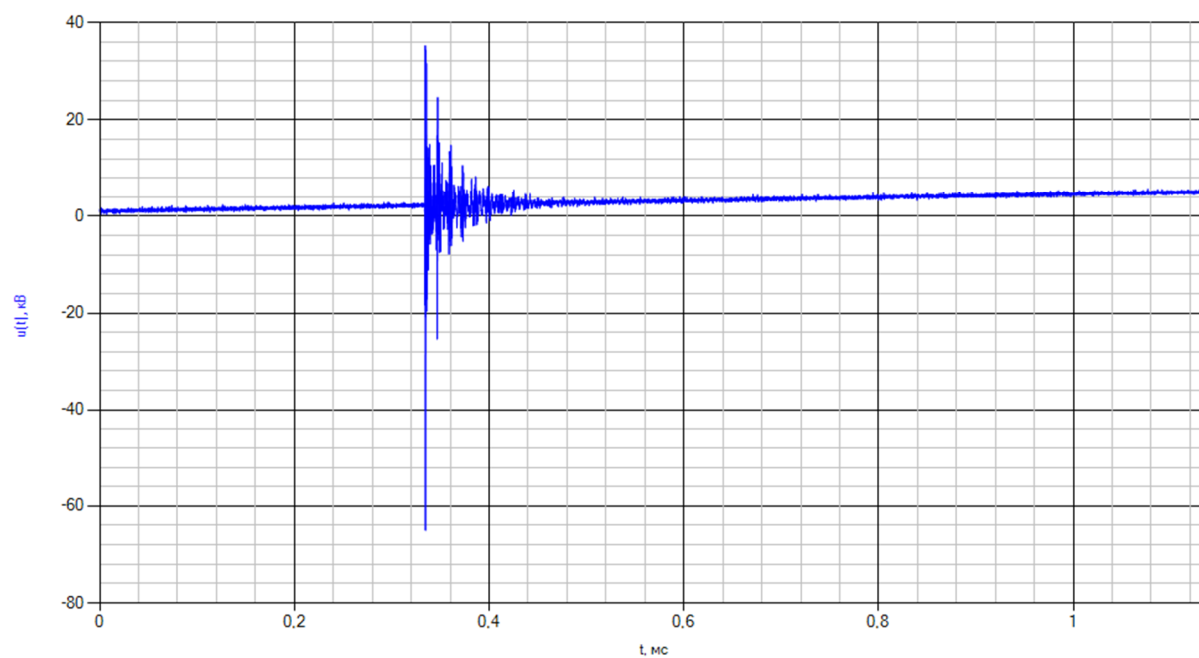
T5 нет

P-T1-542

До установки RC-цепочек:

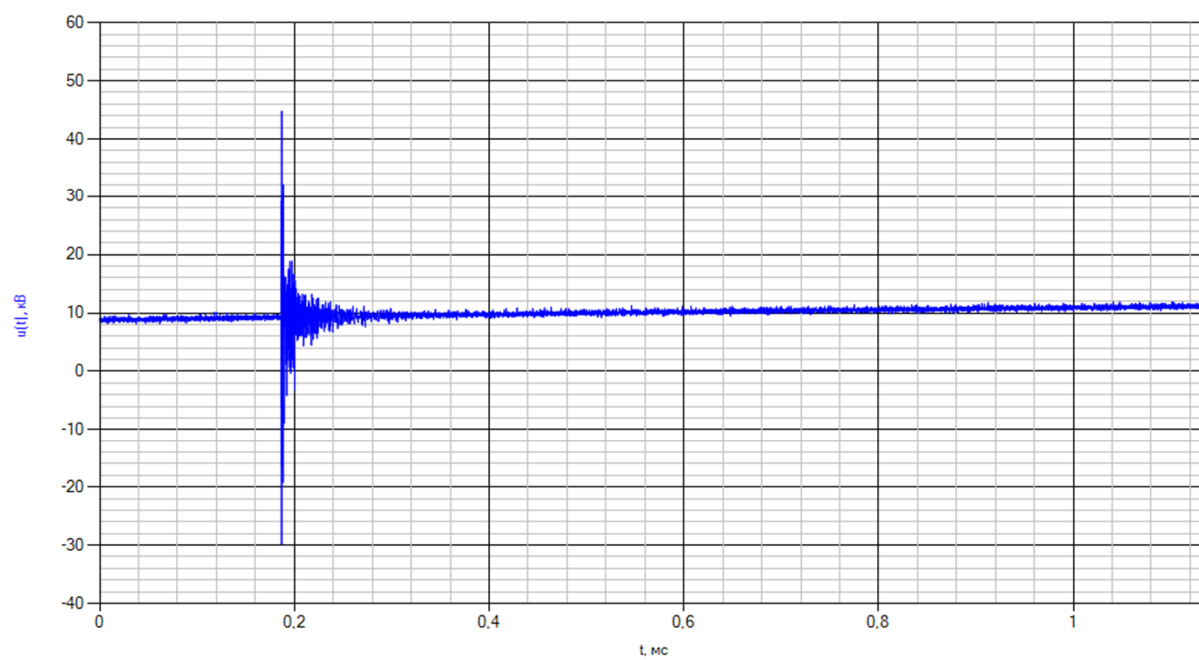
T1

T1 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [7 июля 2023 19:32.53]



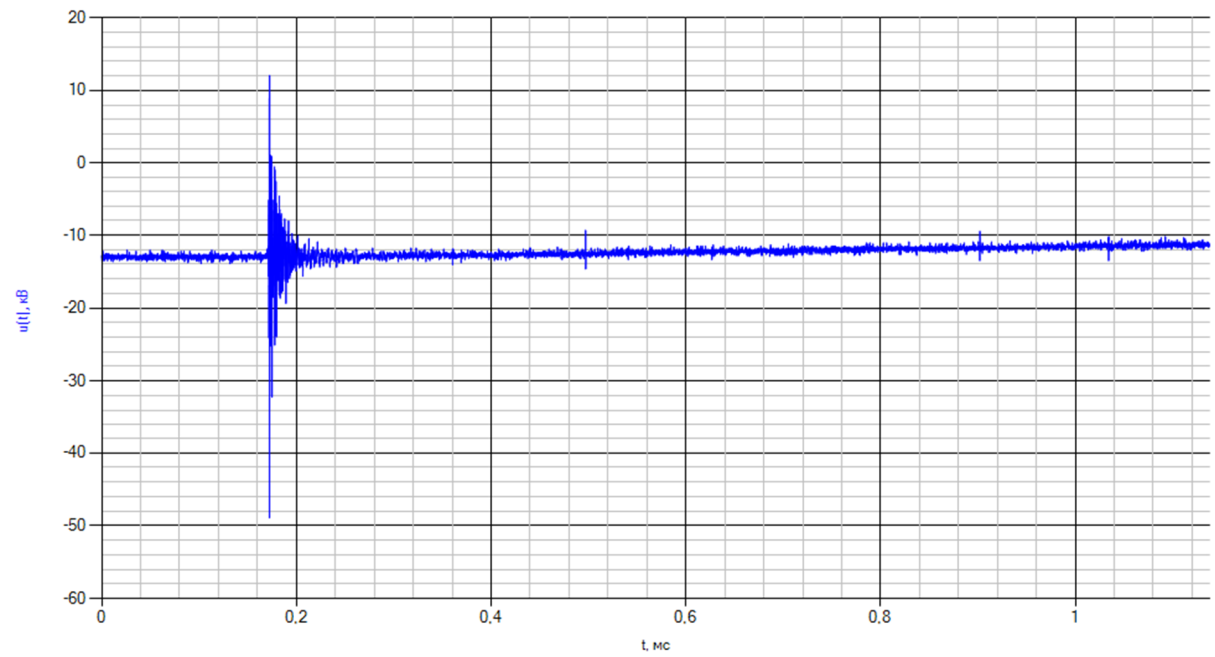
T2

T2 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [5 июля 2023 5:02.42]



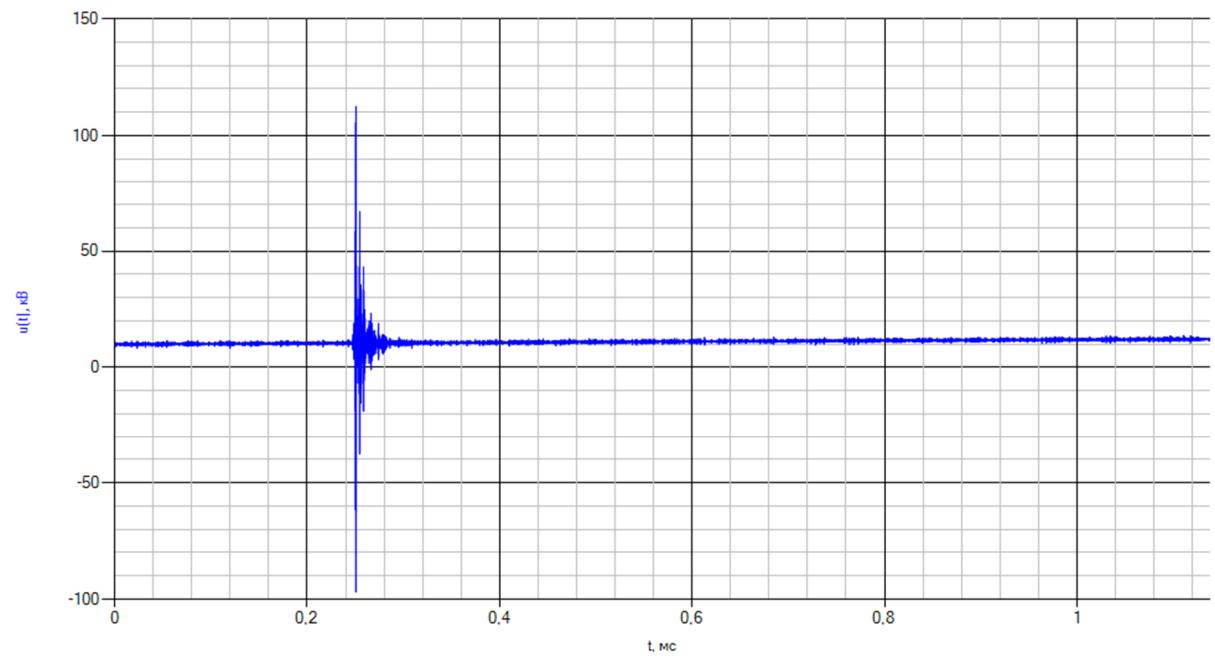
T3

T3 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [5 июля 2023 5:02.44]



T4

T4 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [7 июля 2023 19:33.58]

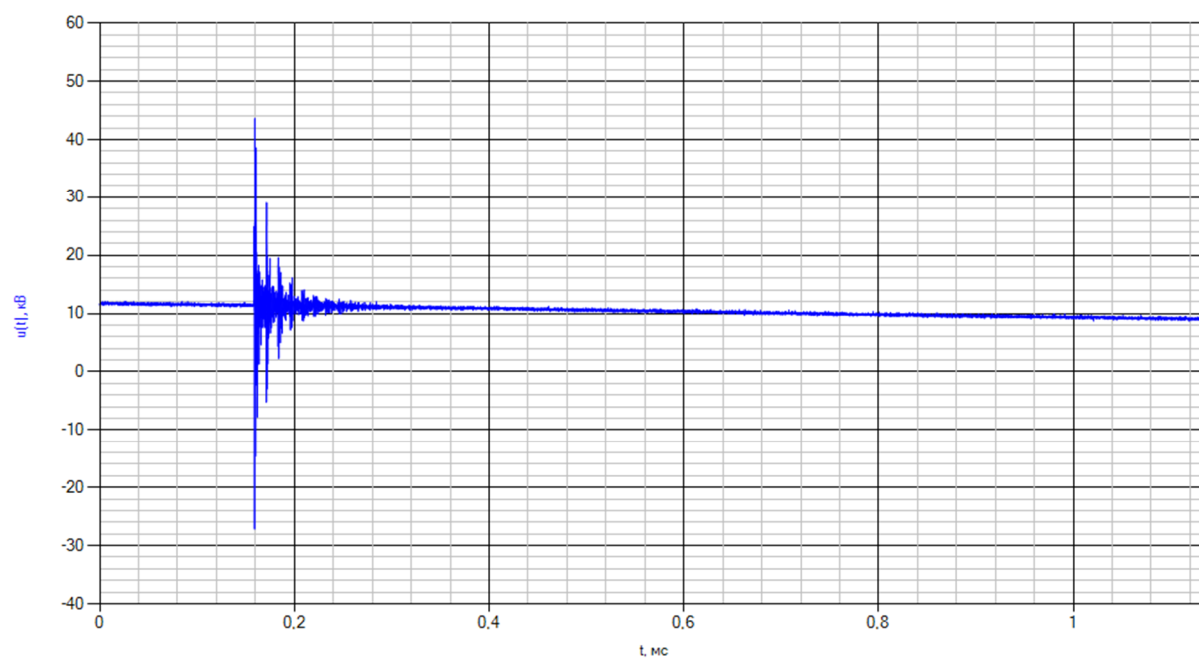


T5 нет

После установки RC-цепочек:

T1

T1 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [5 июля 2024 22:46.09]

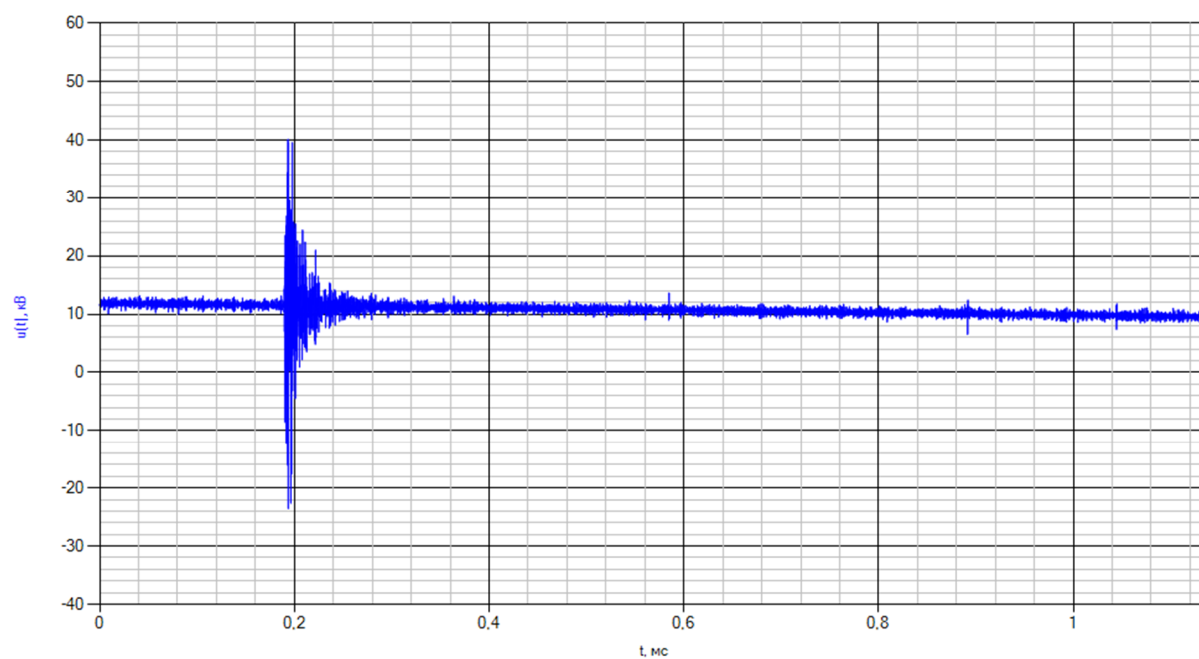


T2 нет

T3 нет

T4

T4 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [5 июля 2024 22:45.48]



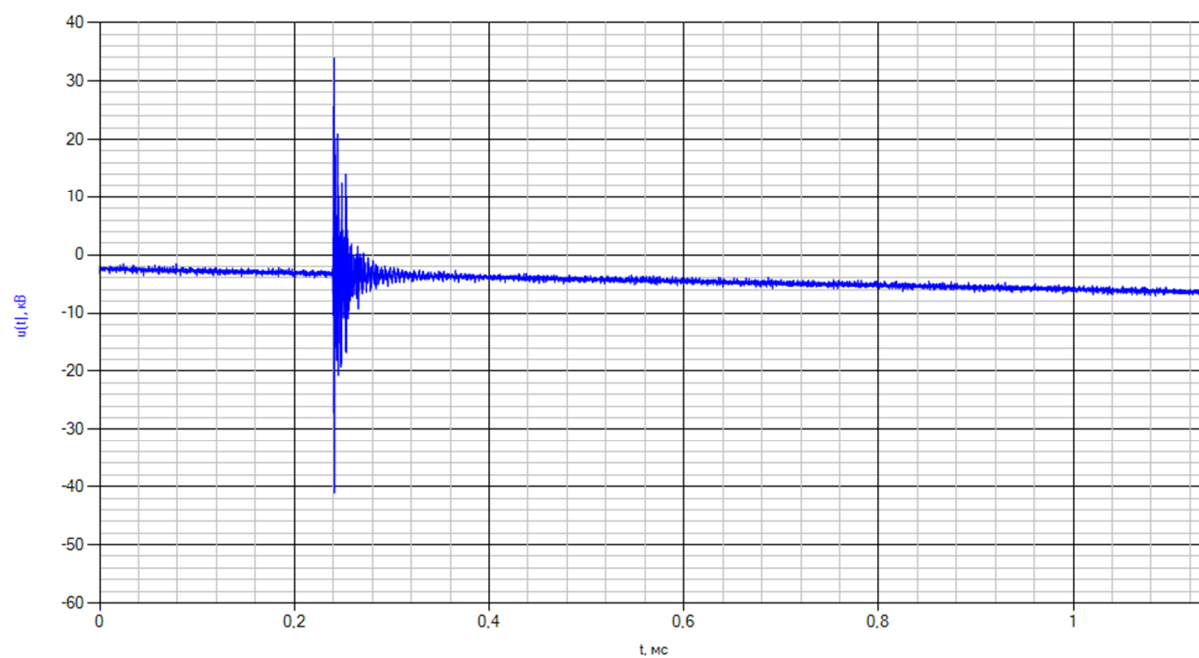
T5 нет

РЛ-С2-542

До установки RC-цепочек:

T1

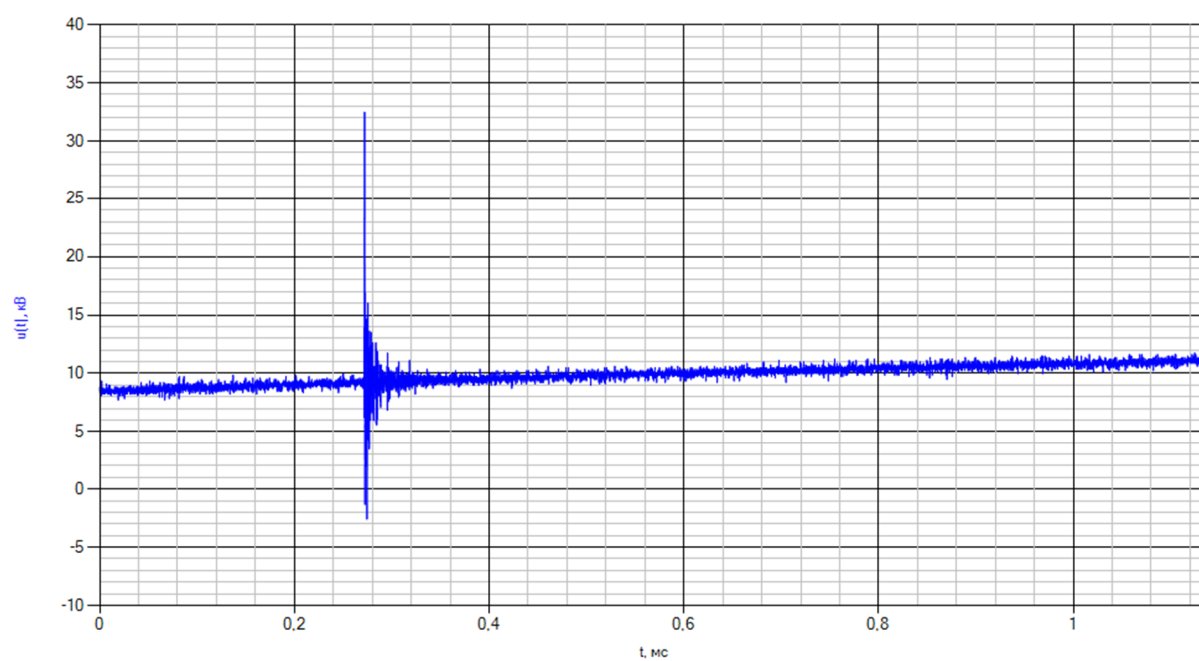
T1 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [5 июля 2023 5:55.32]



T2 нет

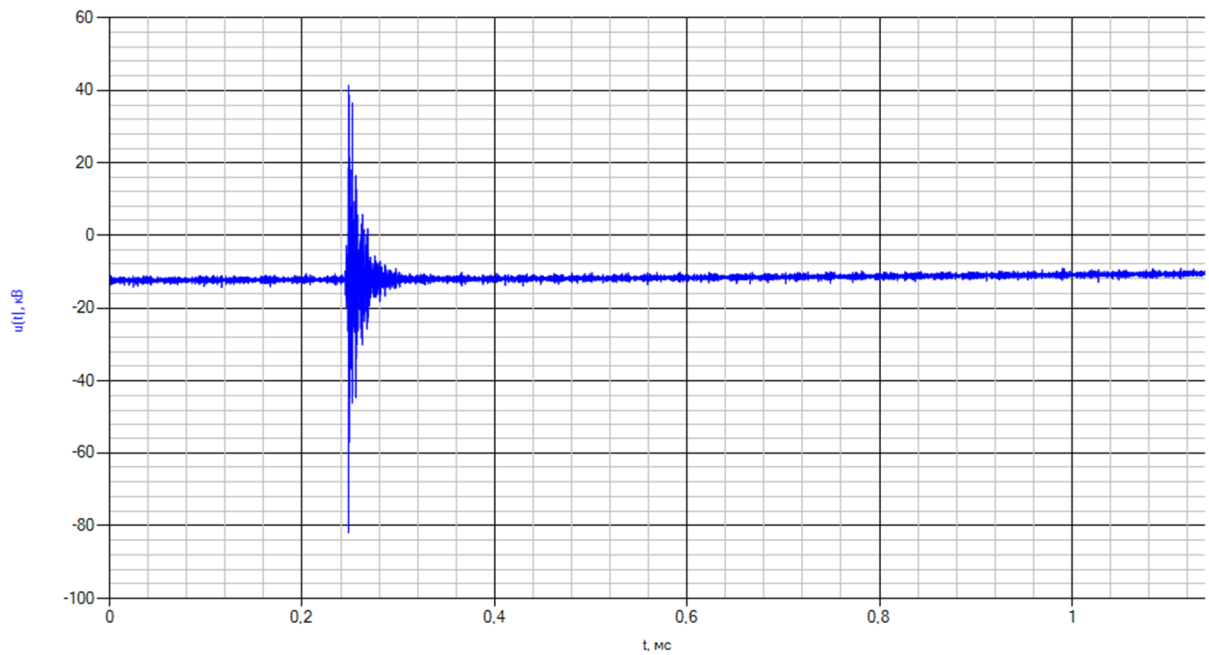
T3

T3 Датчик напряжения ф.В 15,75 кВ [7 июля 2023 18:56.17]



T4

T4 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [7 июля 2023 18:56.17]



T5 нет

После установки RC-цепочек:

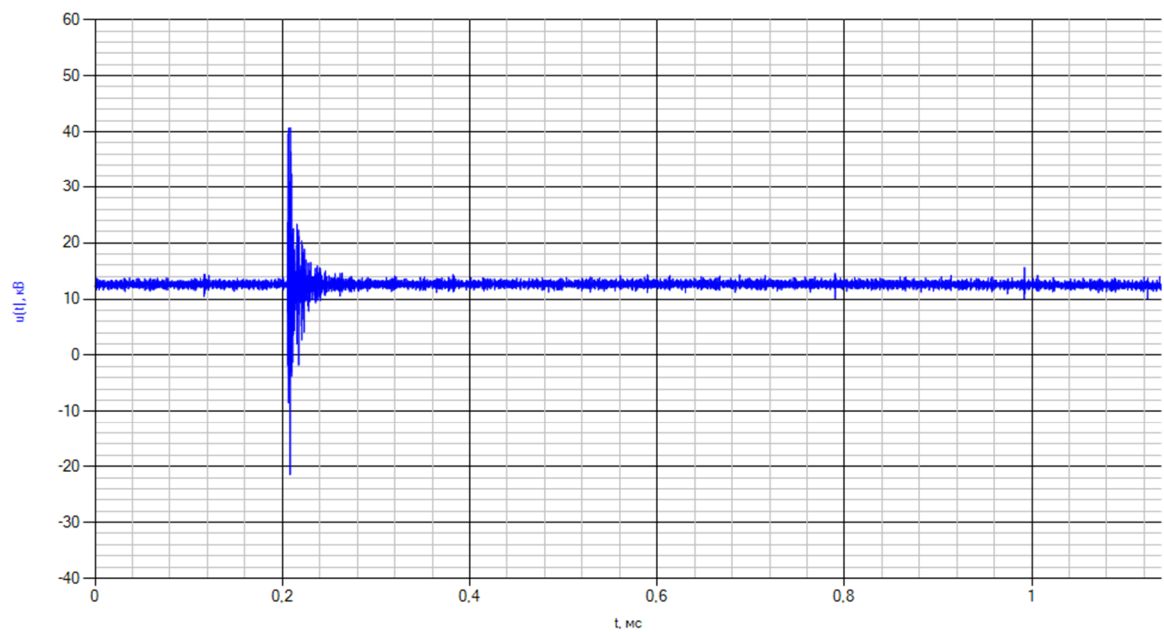
T1 нет

T2 нет

T3 нет

T4

T4 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [5 июля 2024 22:23.19]



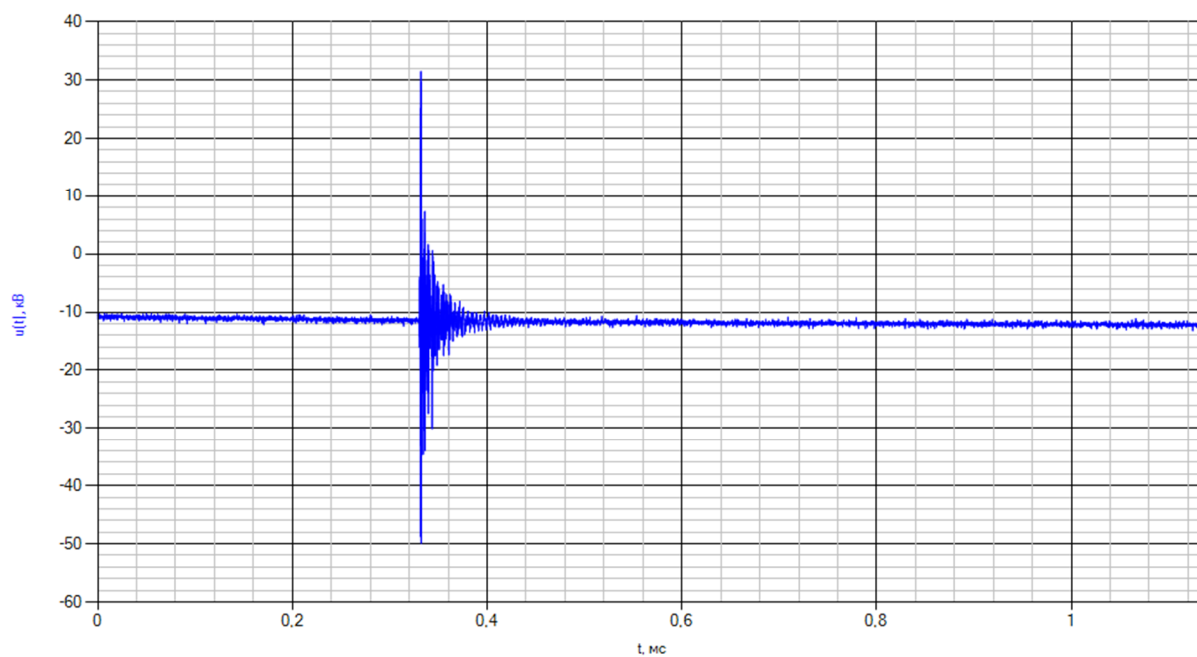
T5 нет

PC-C2-542

До установки RC-цепочек:

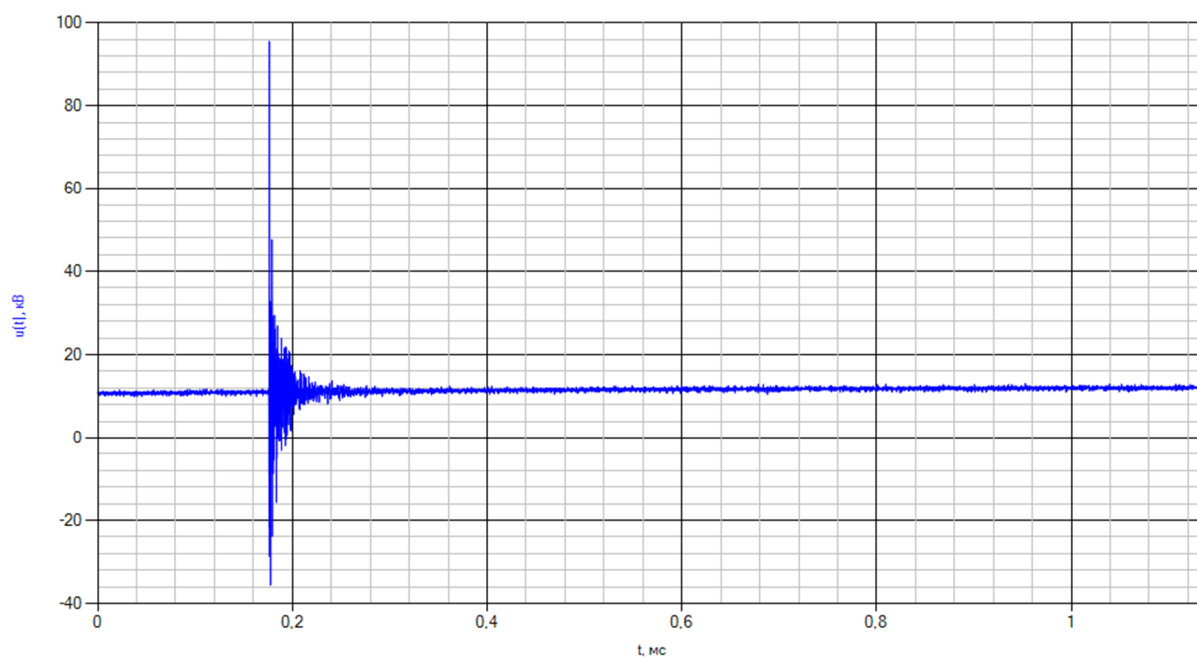
T1

T1 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [7 июля 2023 18:55.15]

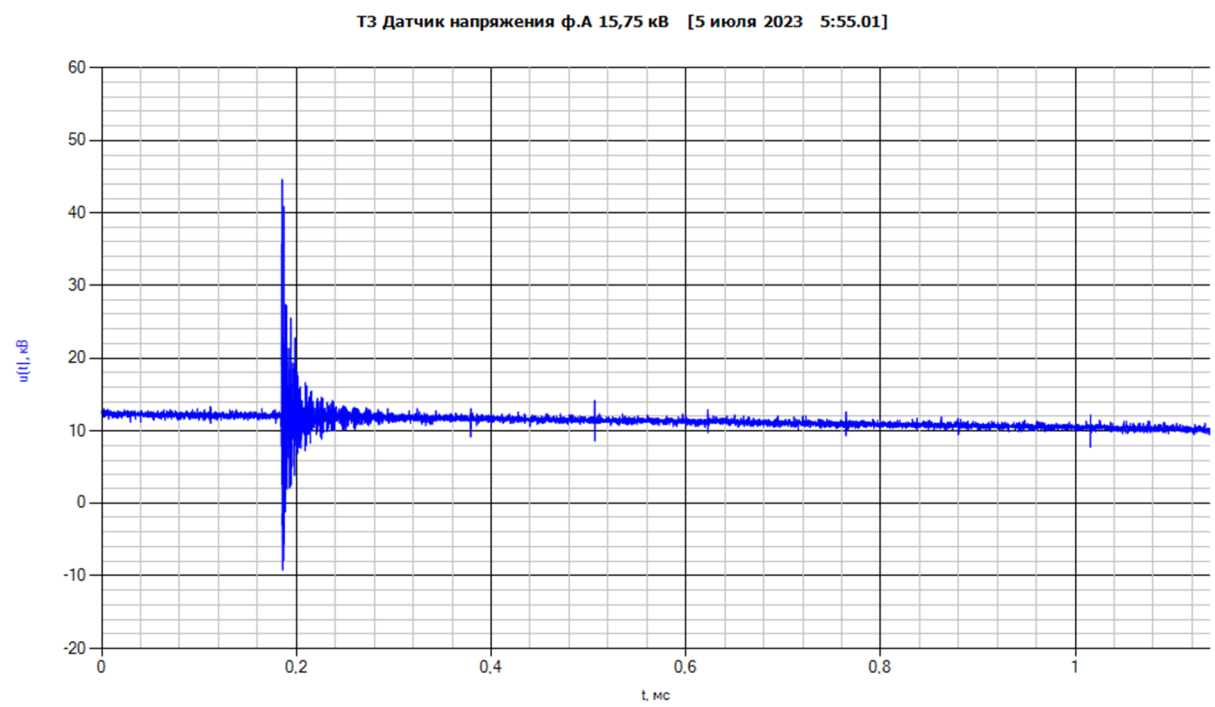


T2

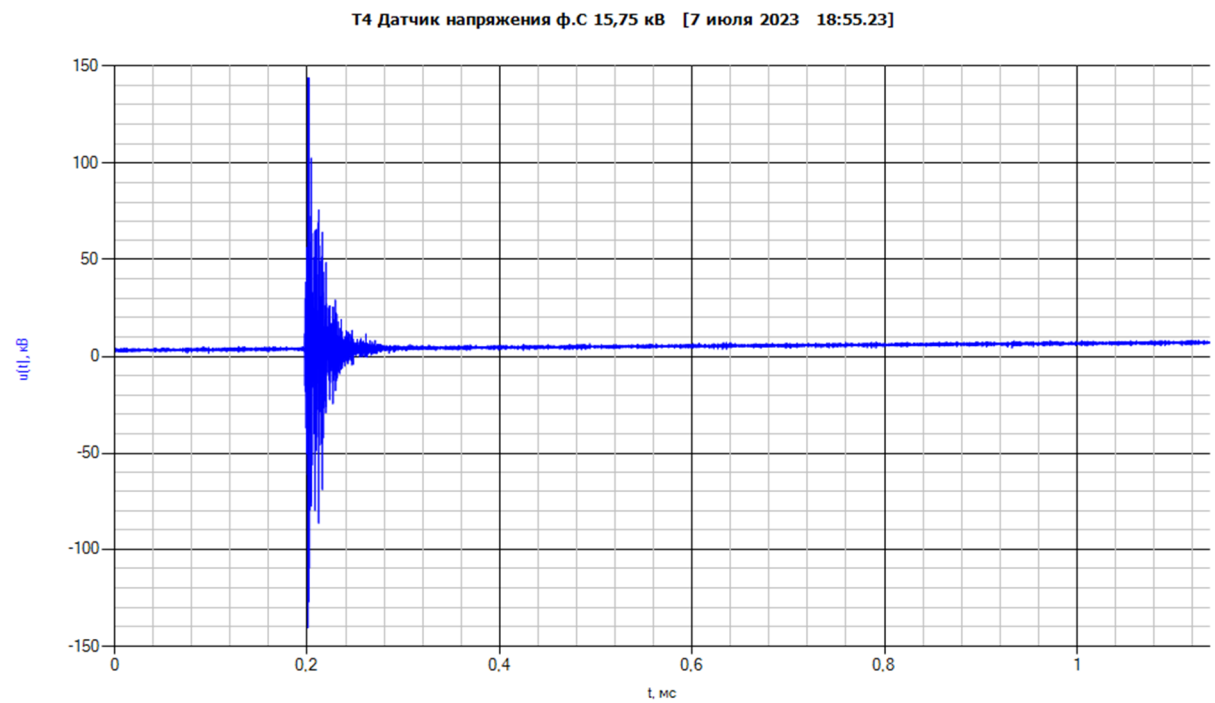
T2 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [5 июля 2023 5:55.01]



T3



T4



T5 нет

После установки RC-цепочек:

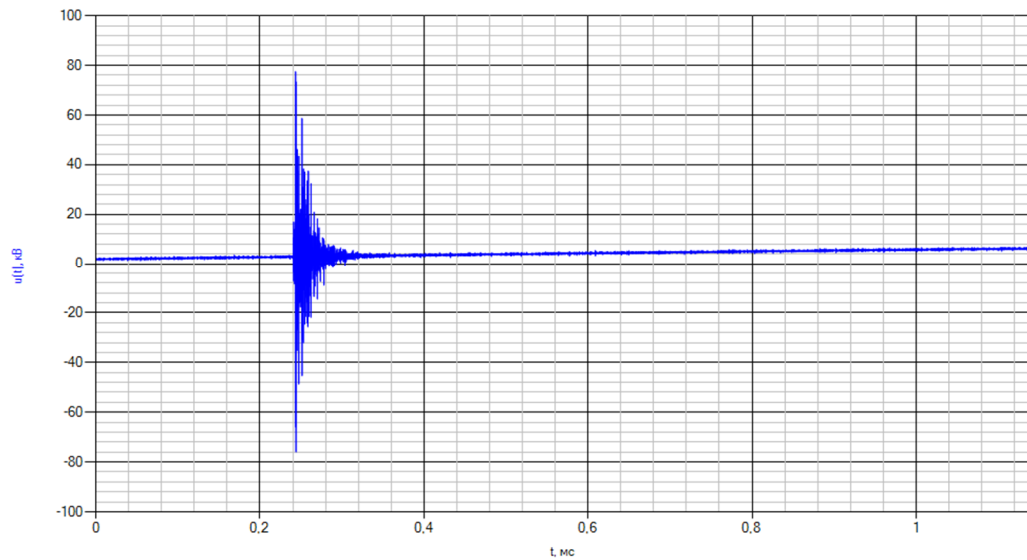
T1 нет

T2 нет

T3 нет

T4

Т4 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [5 июля 2024 22:23.12]



T5 нет

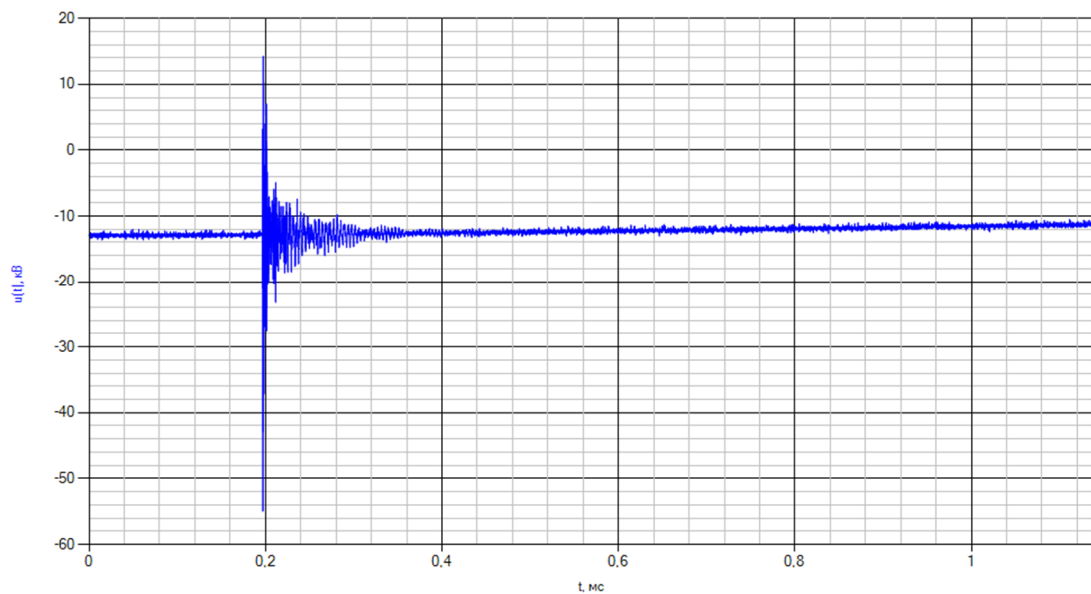
Вывод/ввод КВЛ 500 кВ Саяно-Шушенская ГЭС - Новокузнецкая N1

В-С2-541.

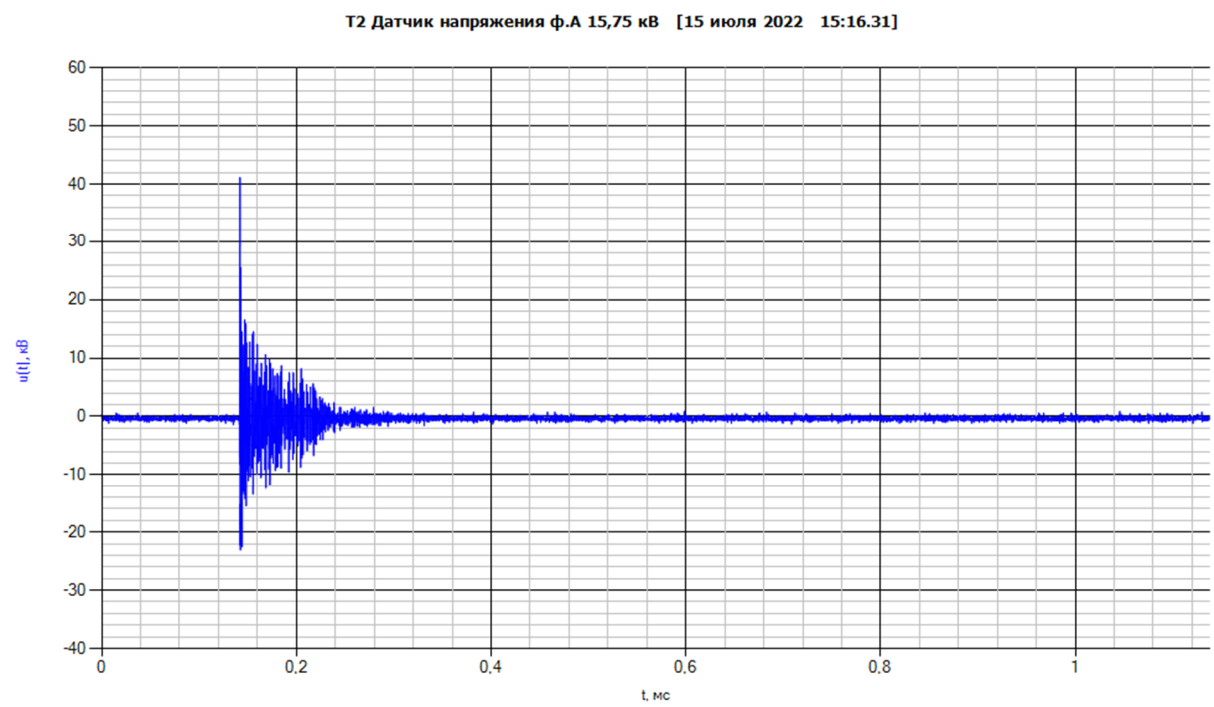
До установки RC-цепочек:

T1

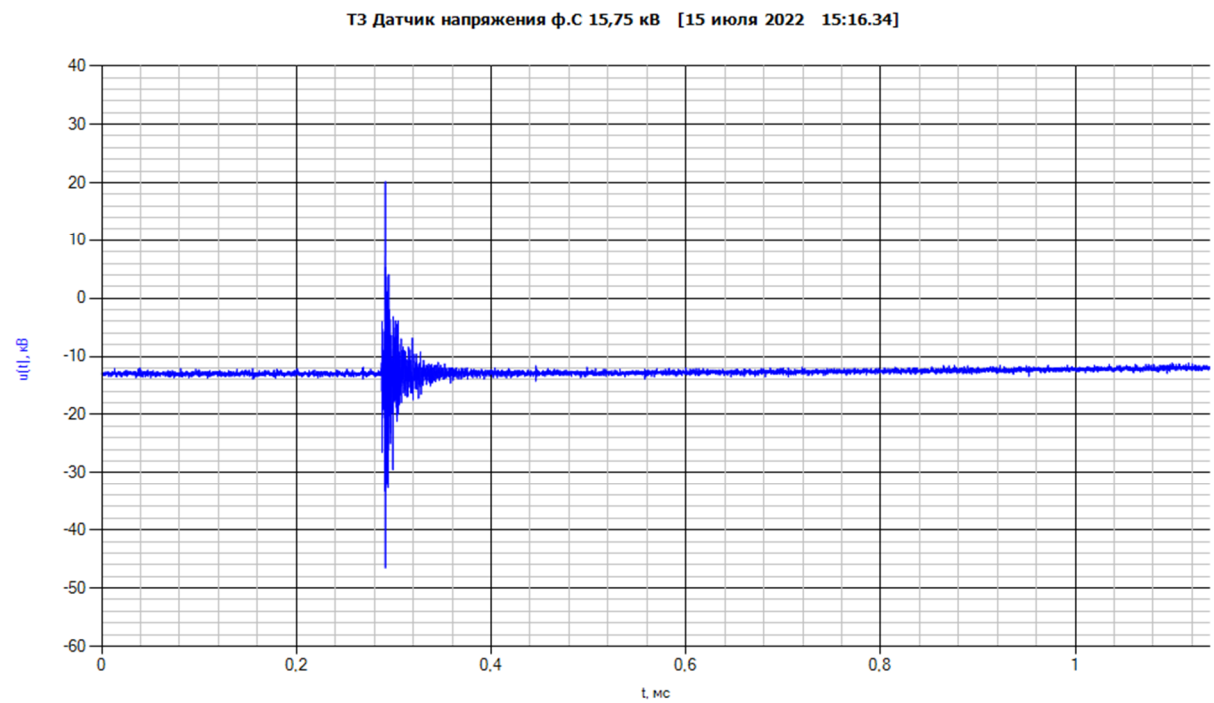
Т1 Датчик напряжения ф.В 15,75 кВ [15 июля 2022 15:16.38]



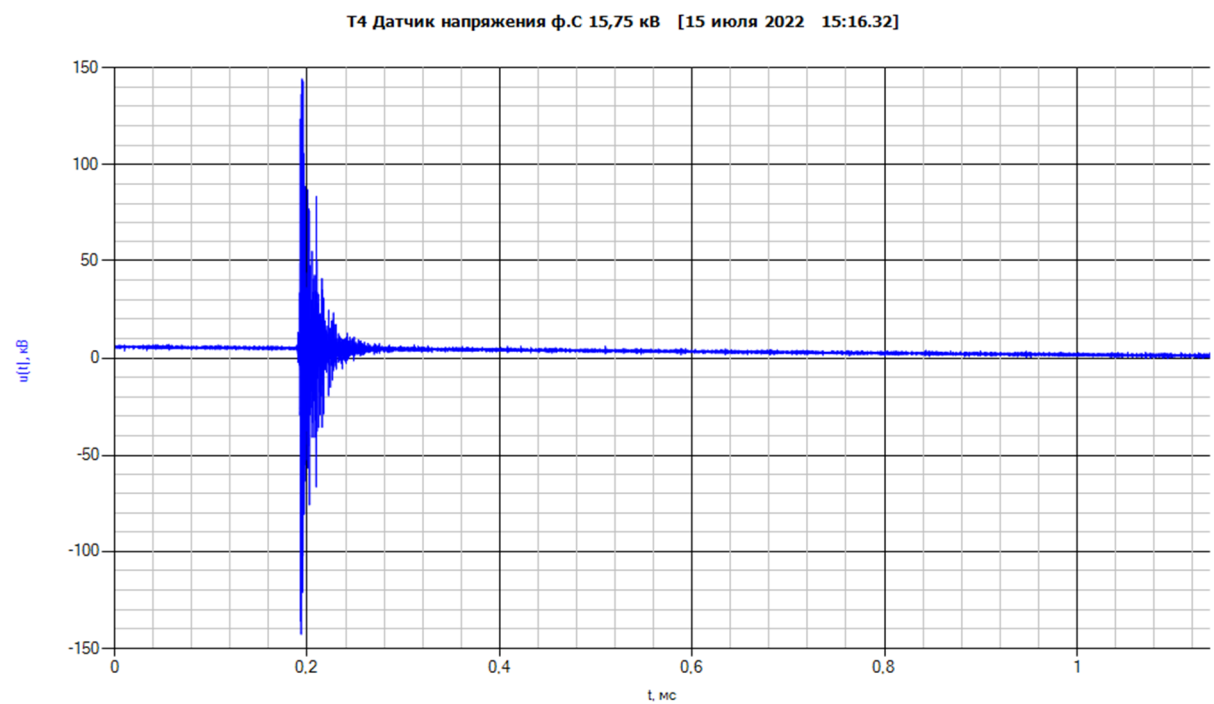
T2



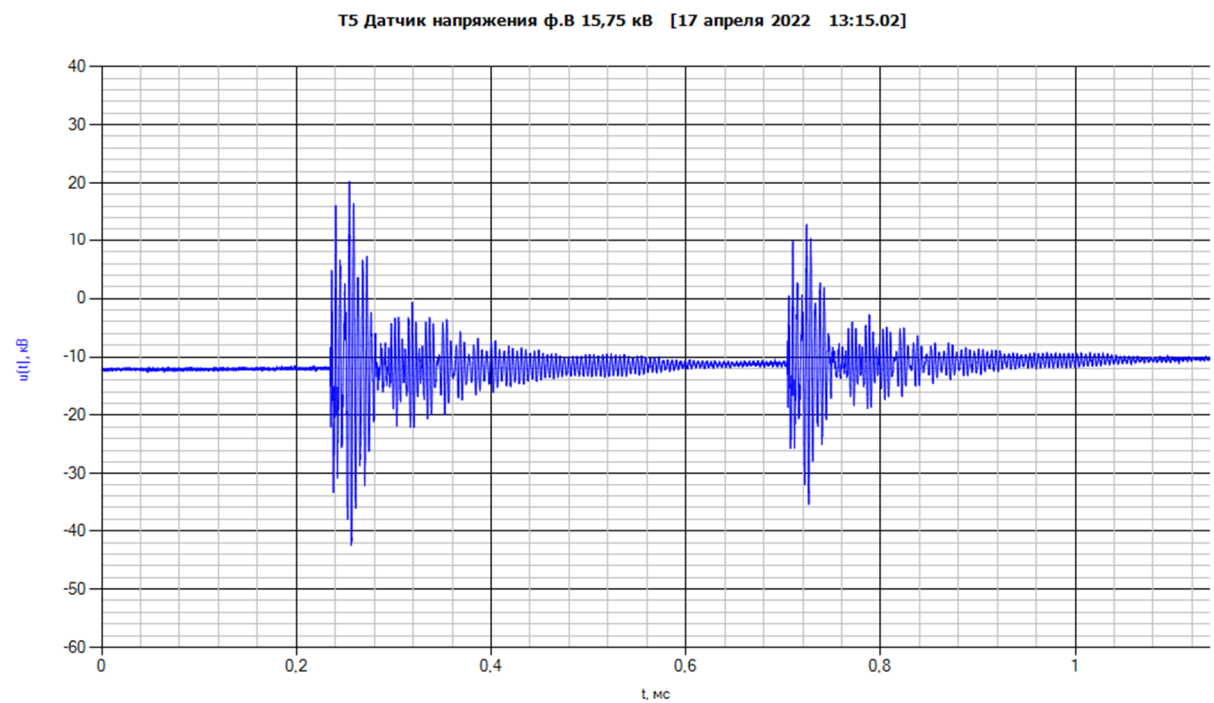
T3



T4



T5

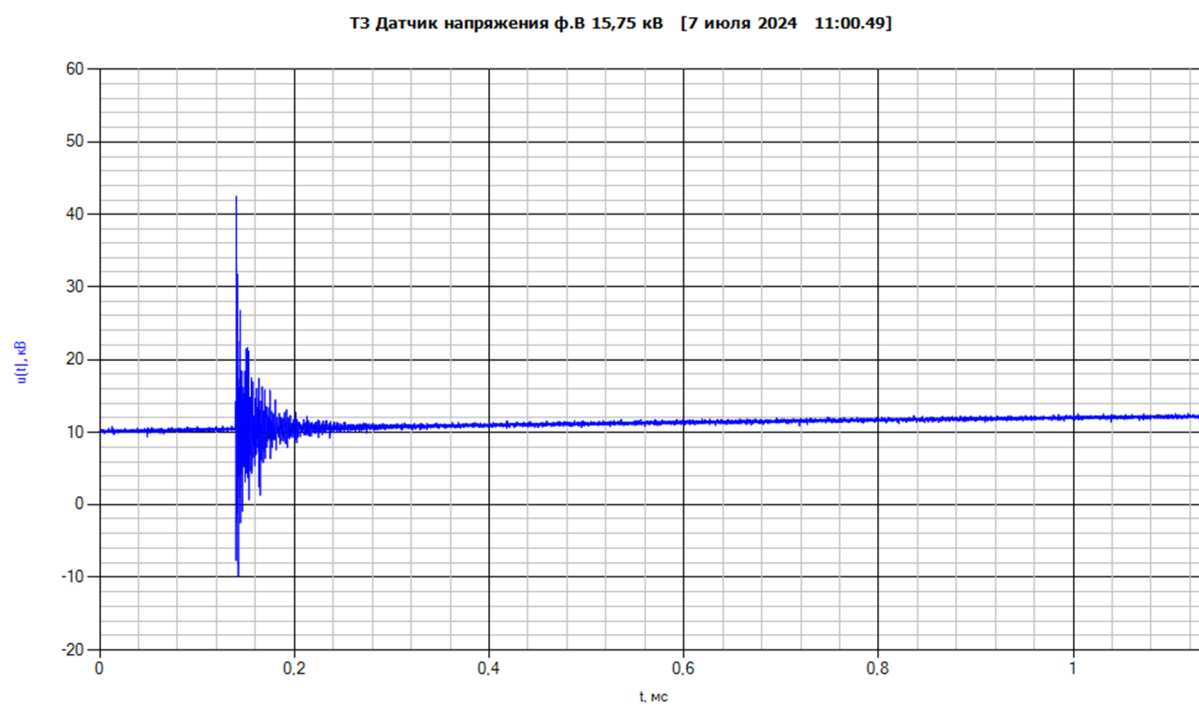


После установки RC-цепочек:

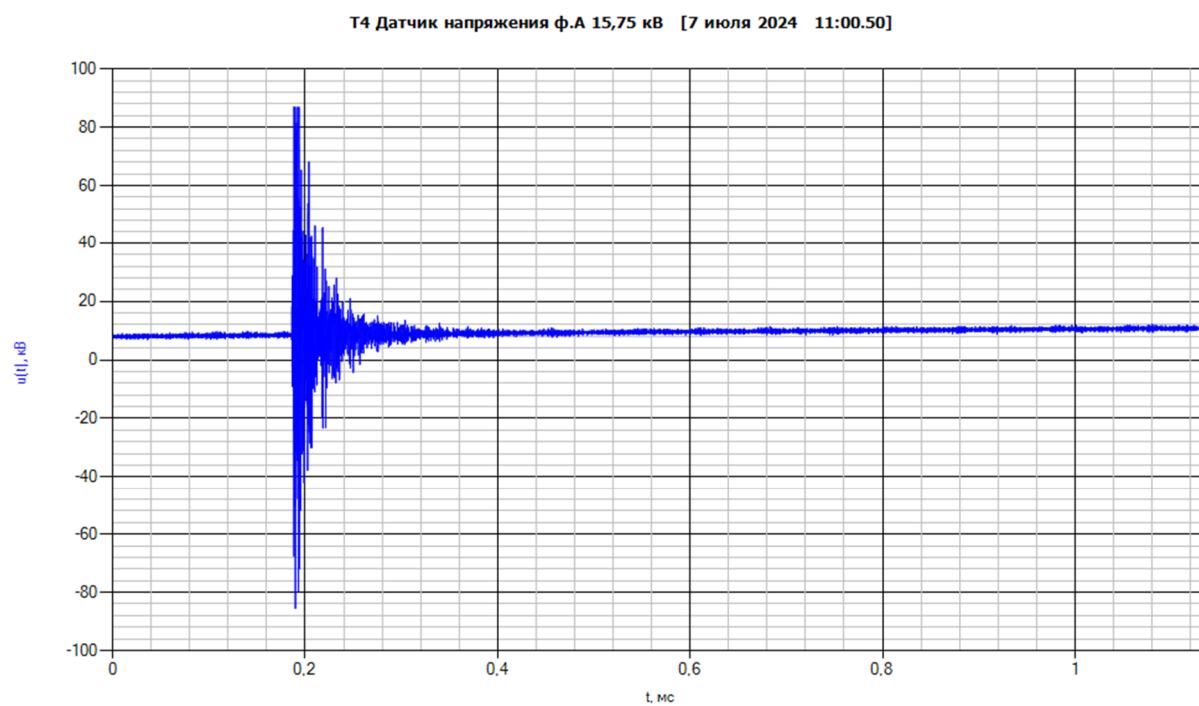
T1 нет

T2 нет

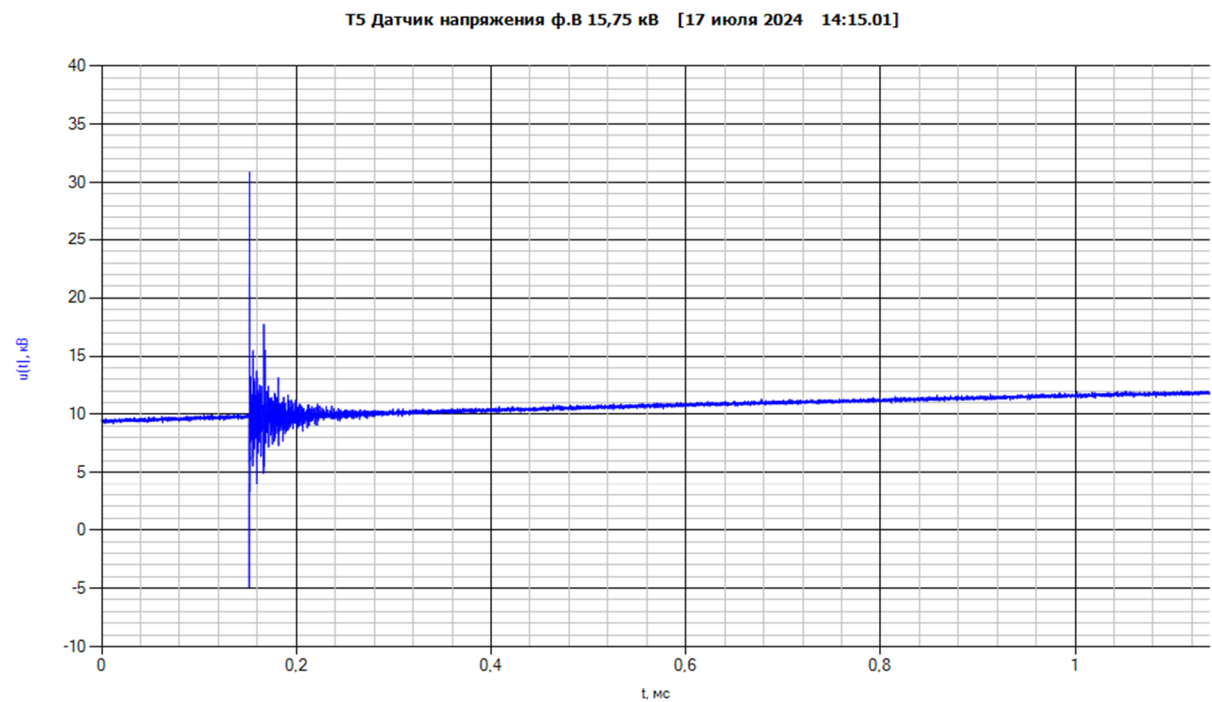
T3



T4



T5



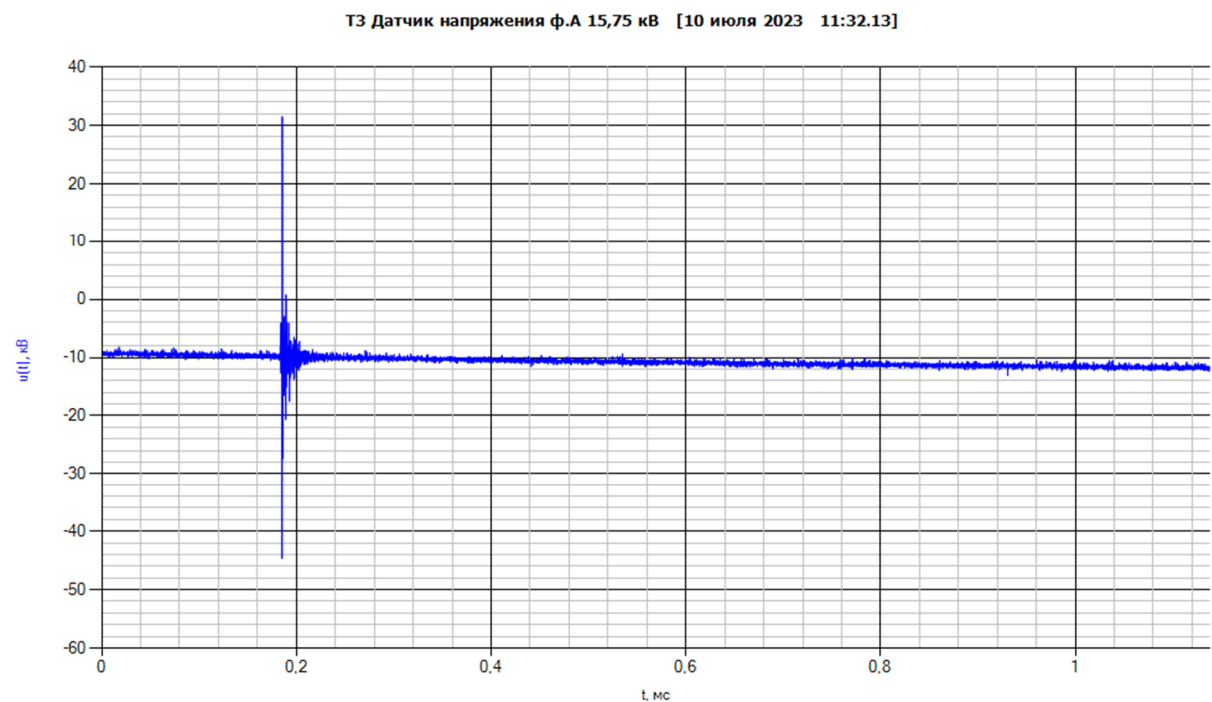
P-T4-541

До установки RC-цепочек:

T1 нет

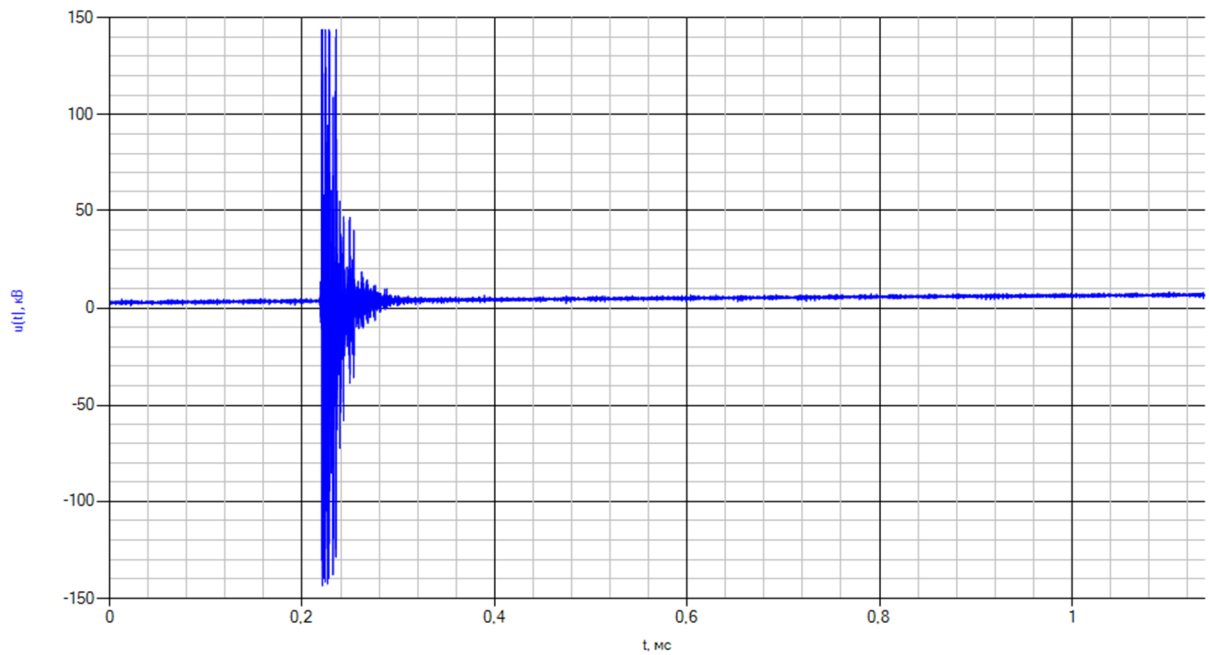
T2 нет

T3



T4

T4 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [12 июля 2023 21:13.41]



T5 нет

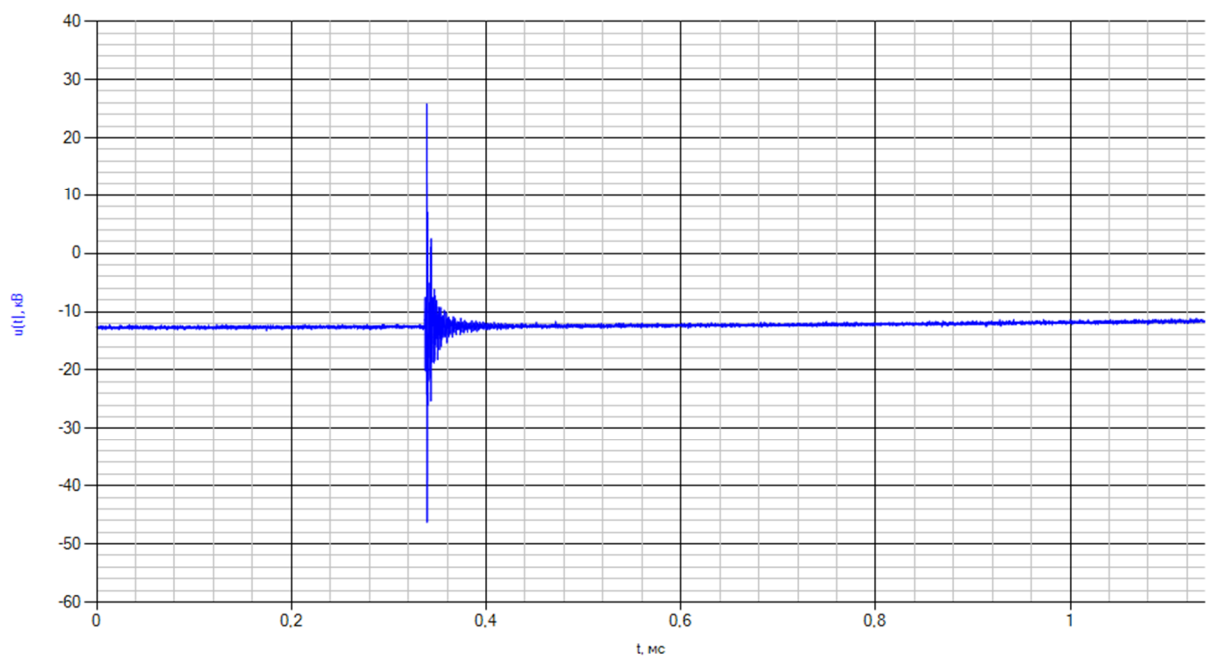
После установки RC-цепочек:

T1 нет

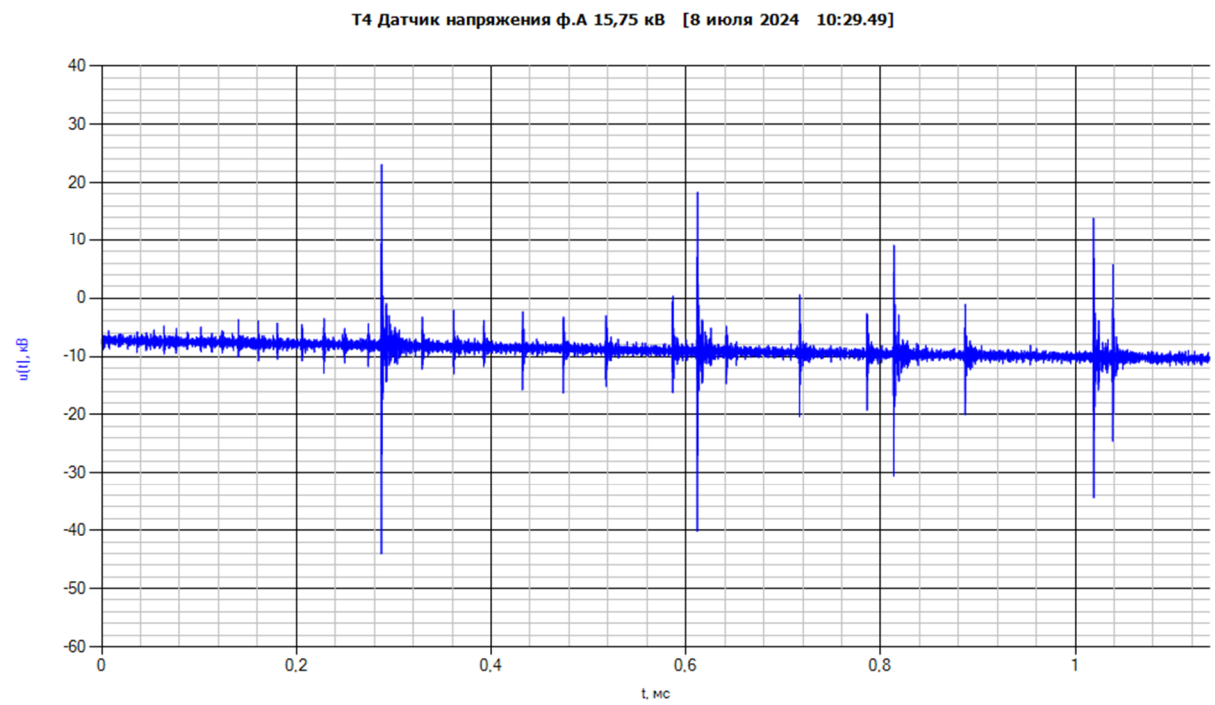
T2 нет

T3

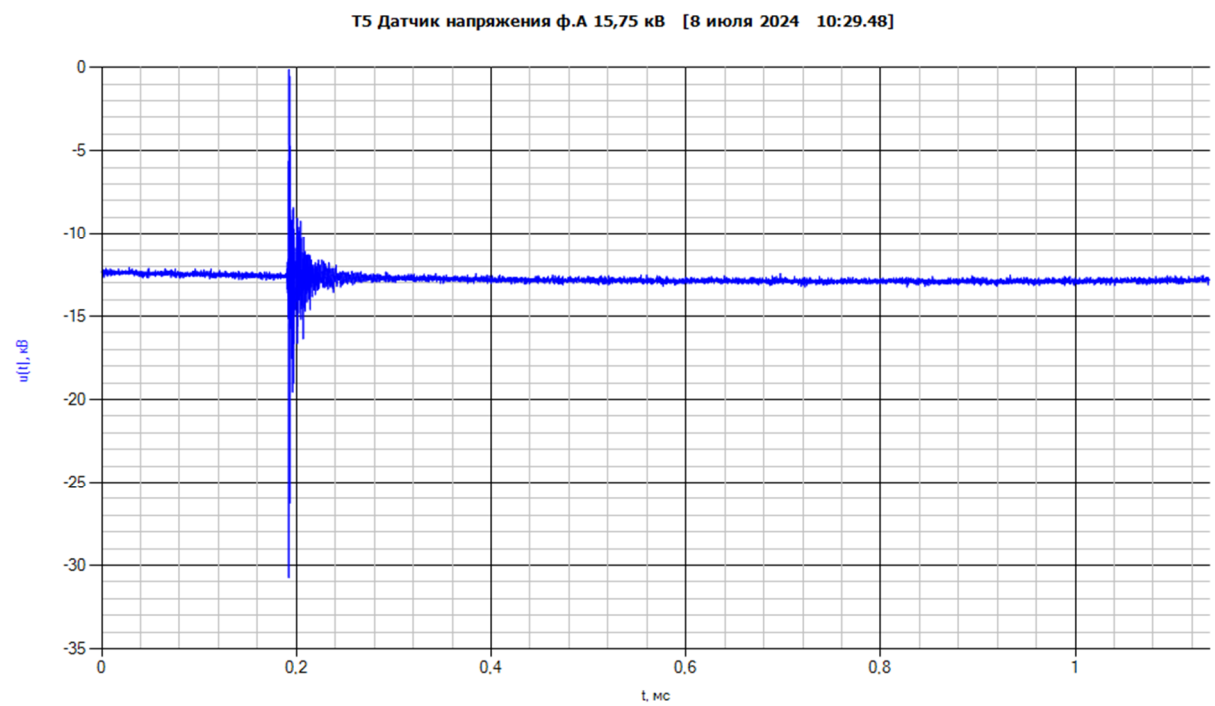
T3 Датчик напряжения ф.В 15,75 кВ [8 июля 2024 10:29.49]



T4



T5

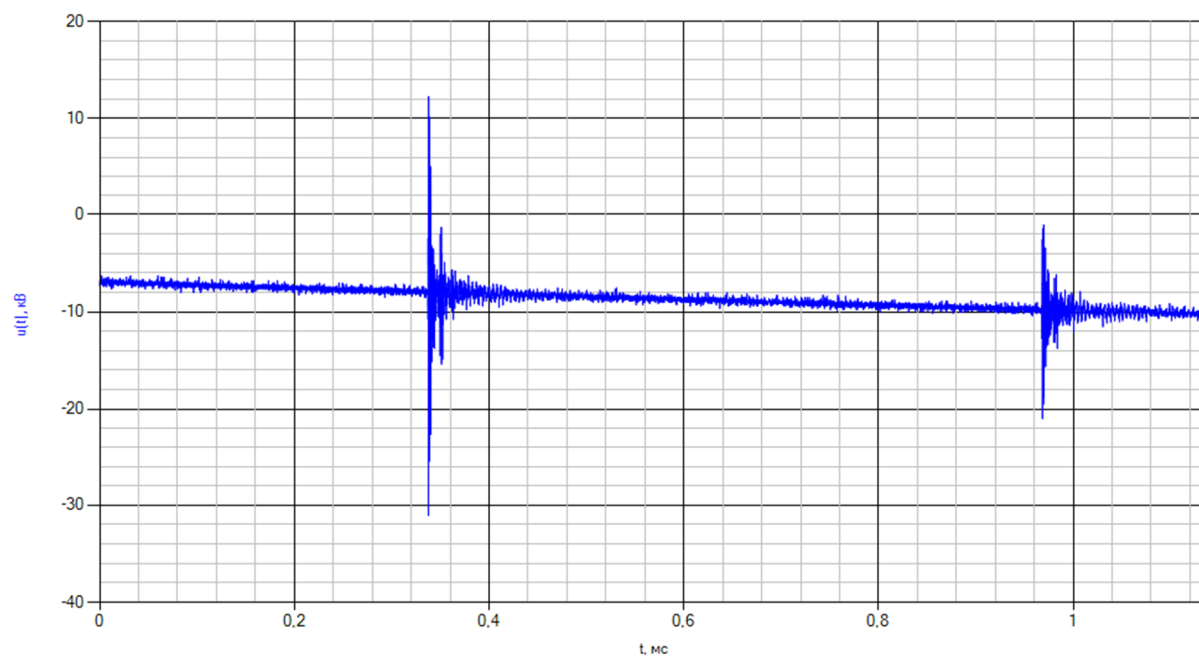


РЛ-С2-541

До установки RC-цепочек:

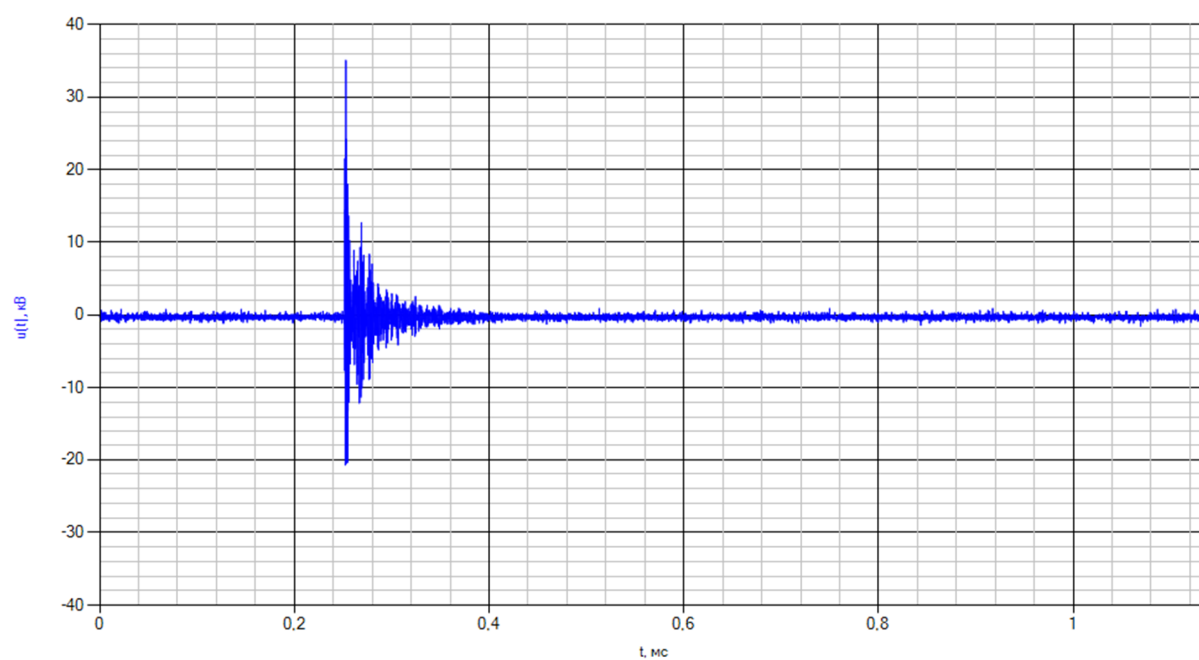
T1

T1 Датчик напряжения ф.В 15,75 кВ [15 июля 2022 15:08.47]



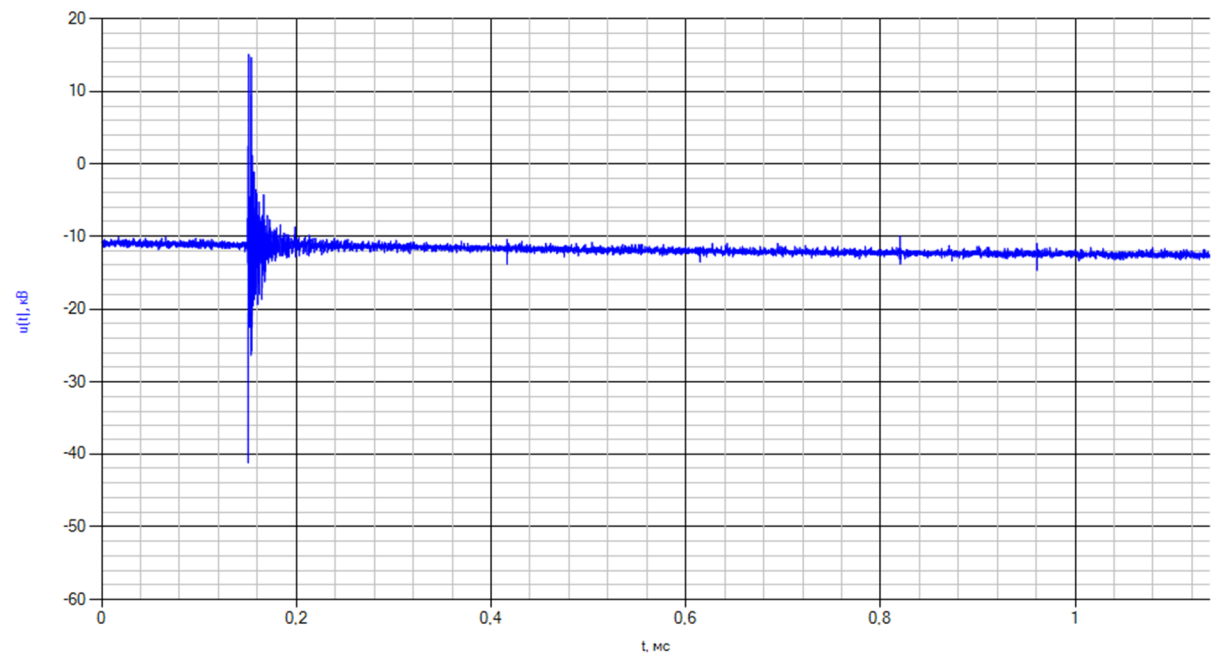
T2

T2 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [15 июля 2022 15:08.41]



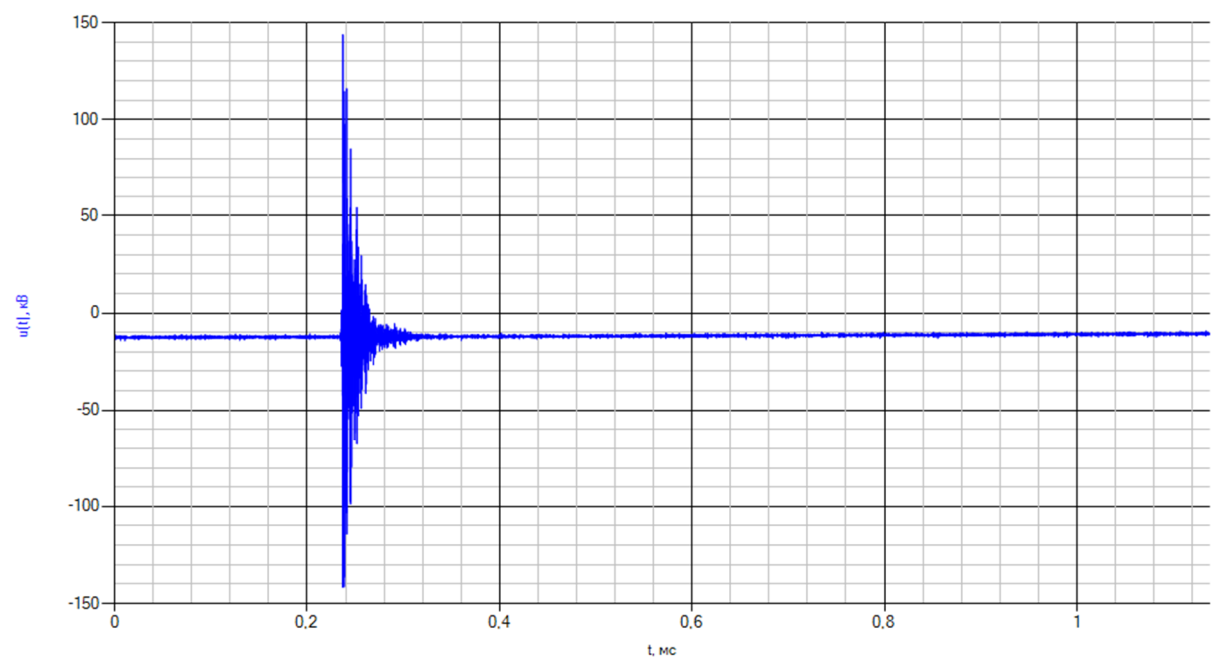
T3

T3 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [15 июля 2022 15:08.41]

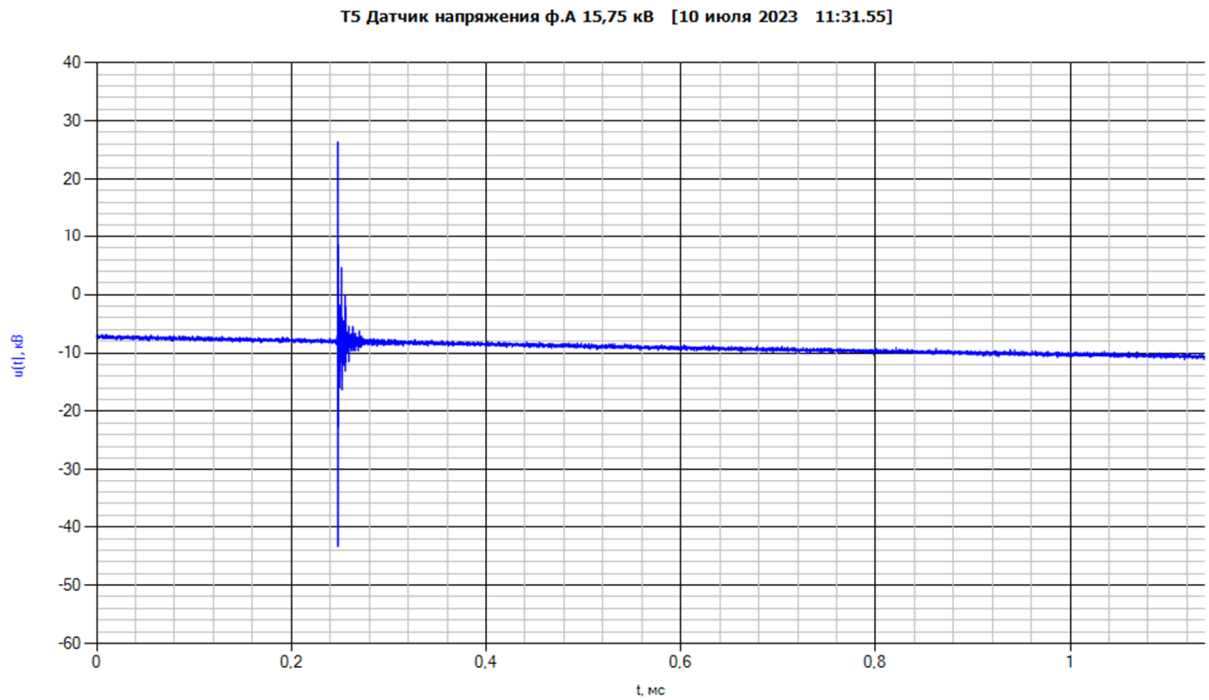


T4

T4 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [16 августа 2023 17:48.29]

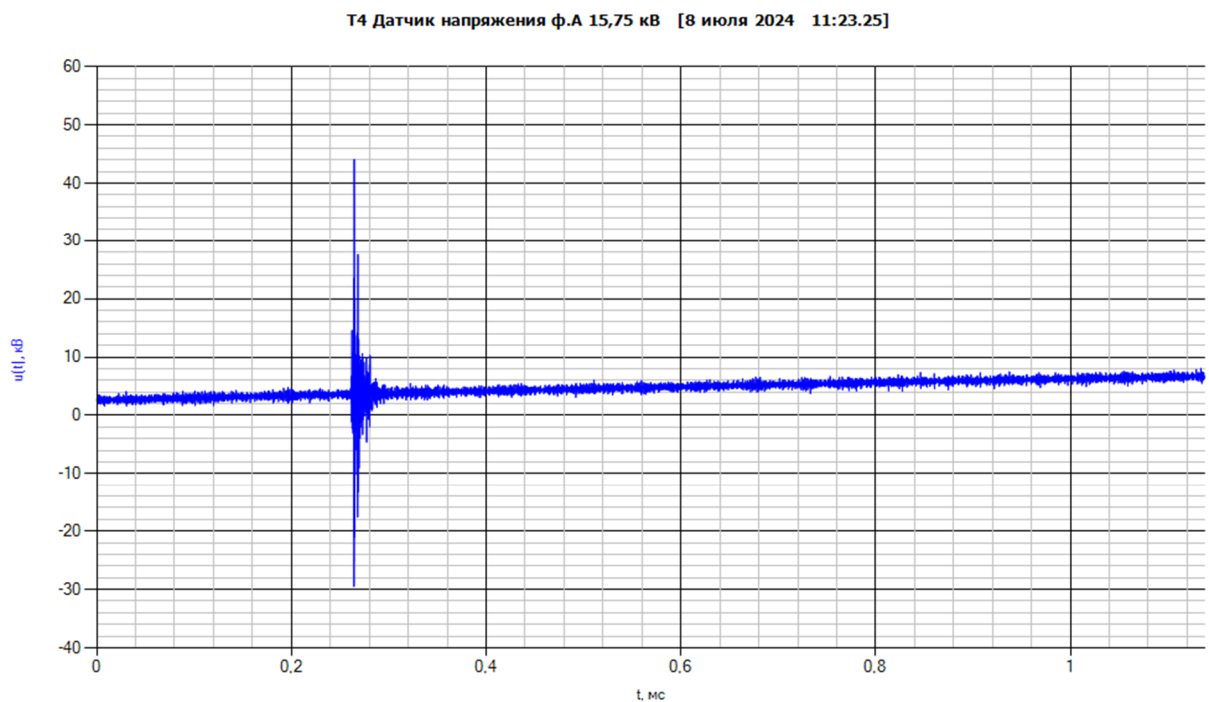


T5



После установки RC-цепочек:

T1 нет
T2 нет
T3 нет
T4

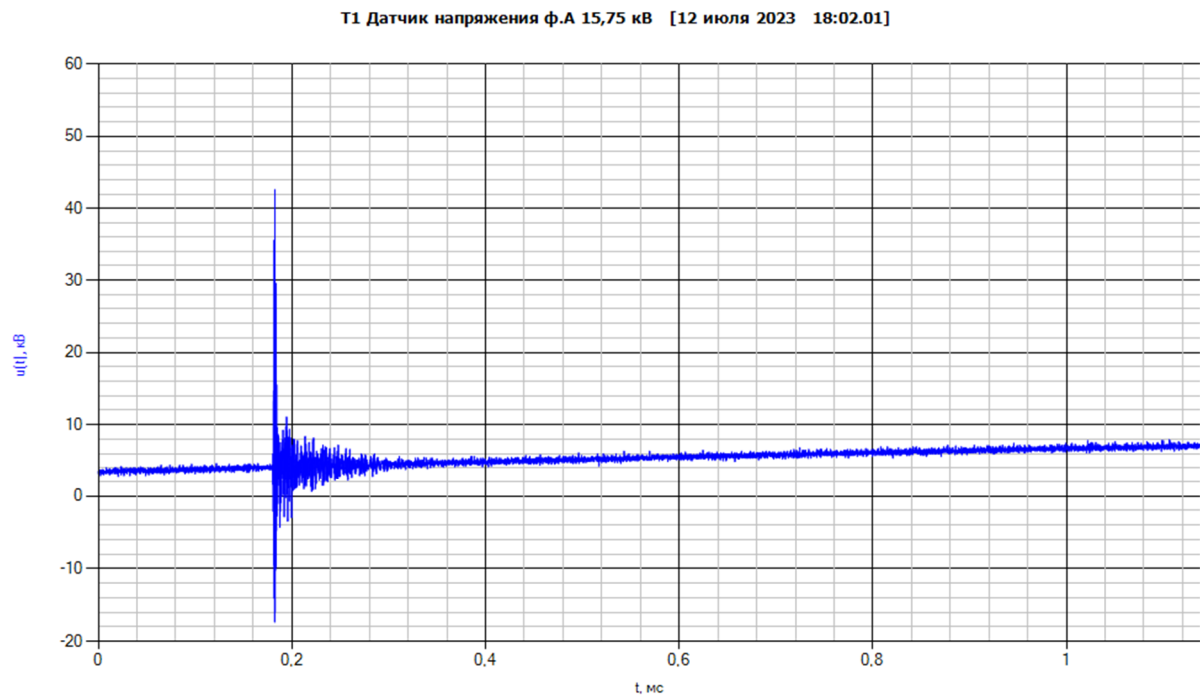


T5 нет

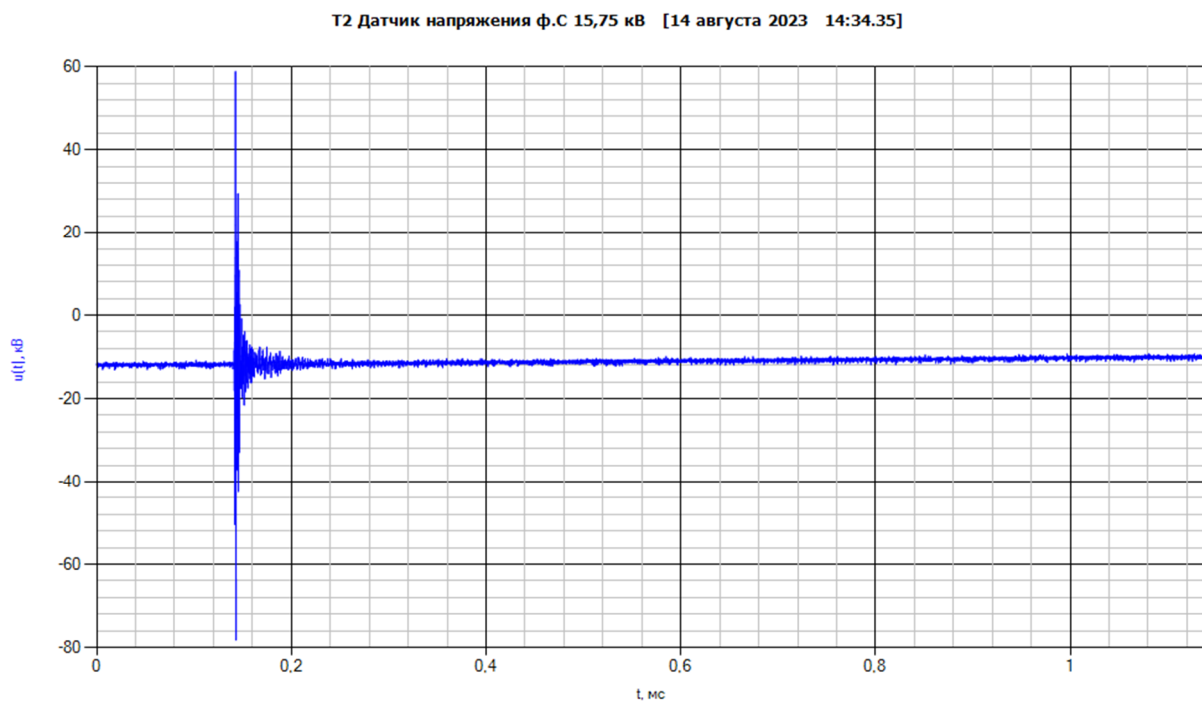
PC-C2-541

До установки RC-цепочек:

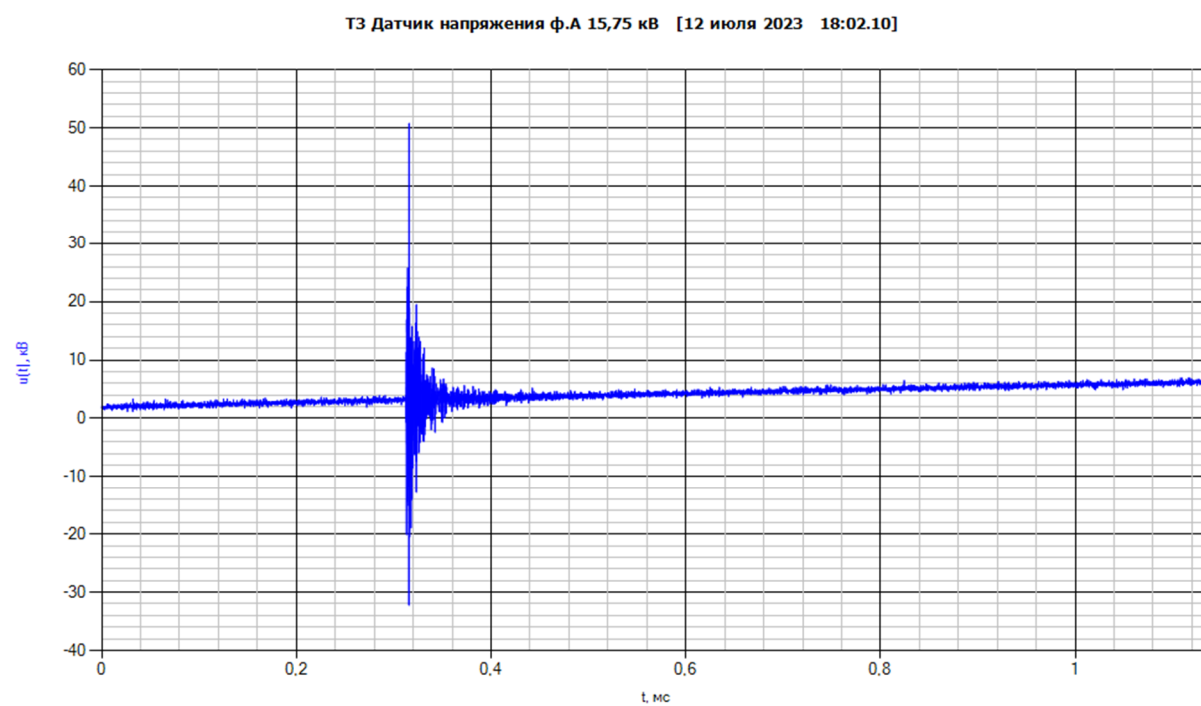
T1



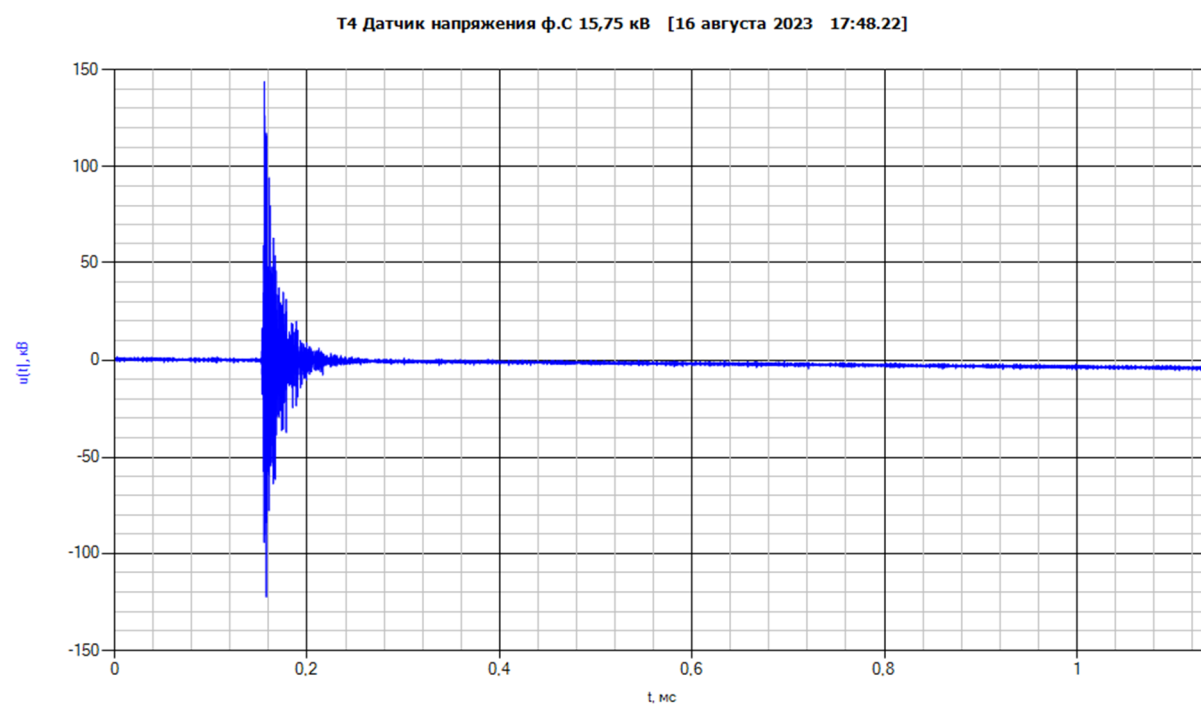
T2



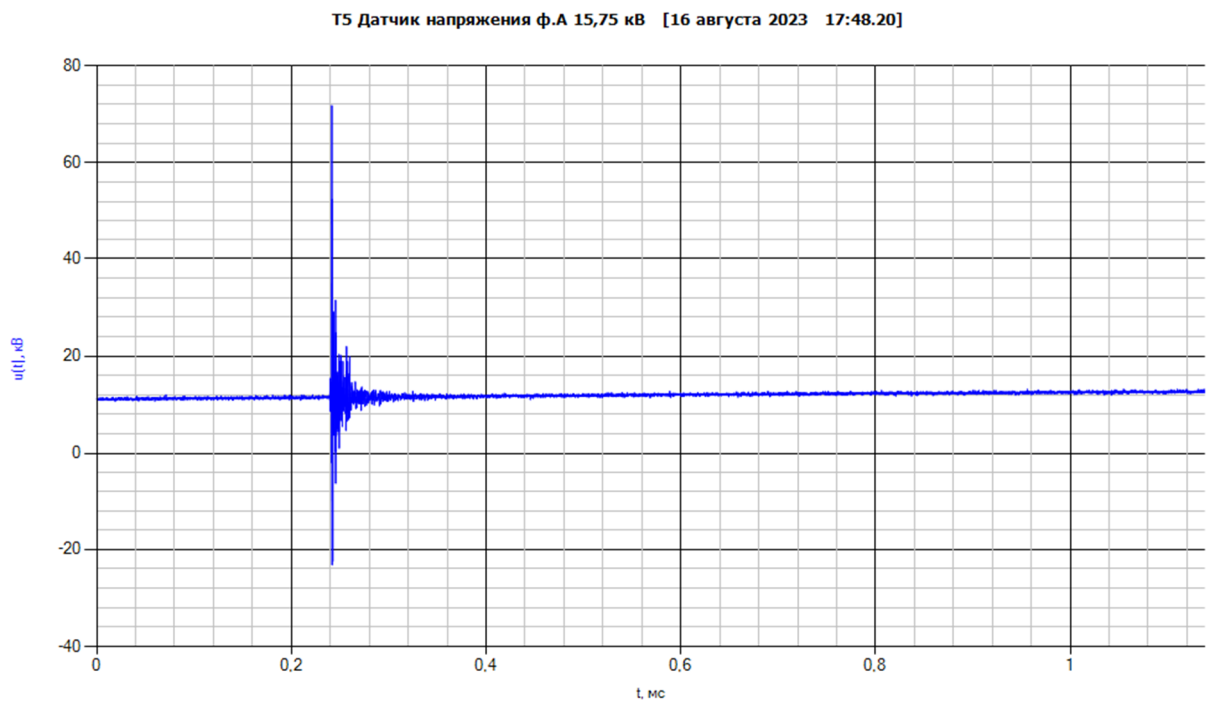
T3



T4



T5



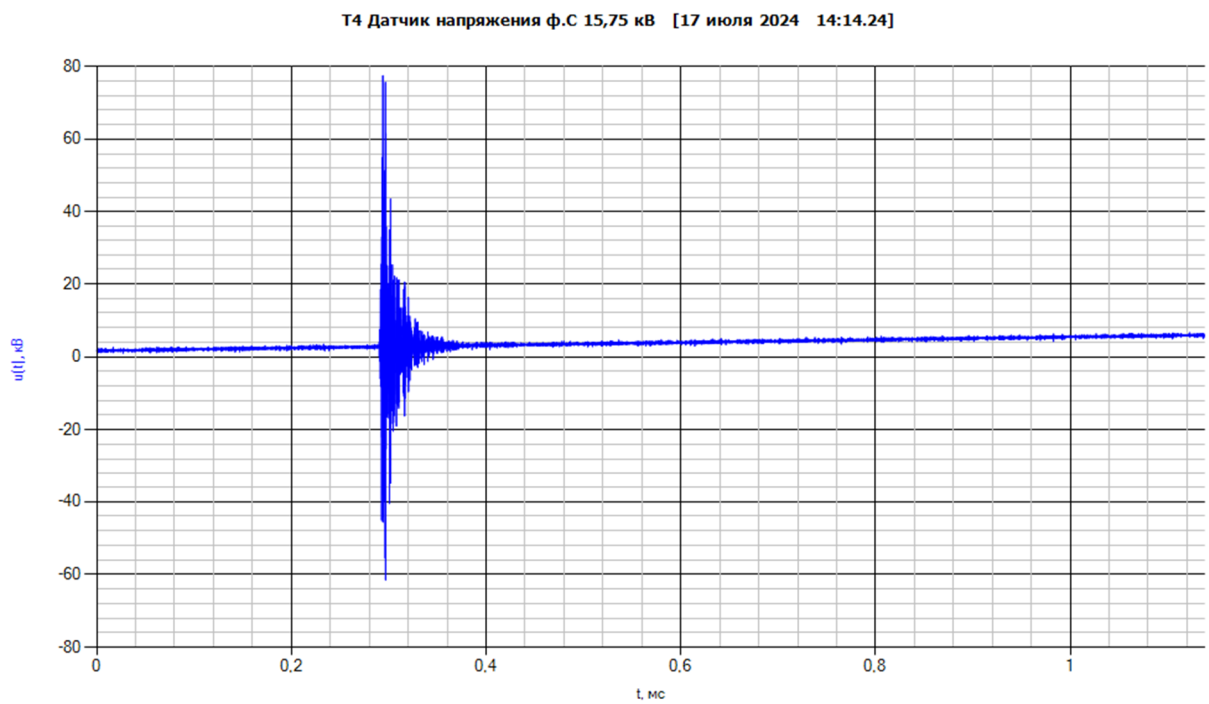
После установки RC-цепочек:

T1 нет

T2 нет

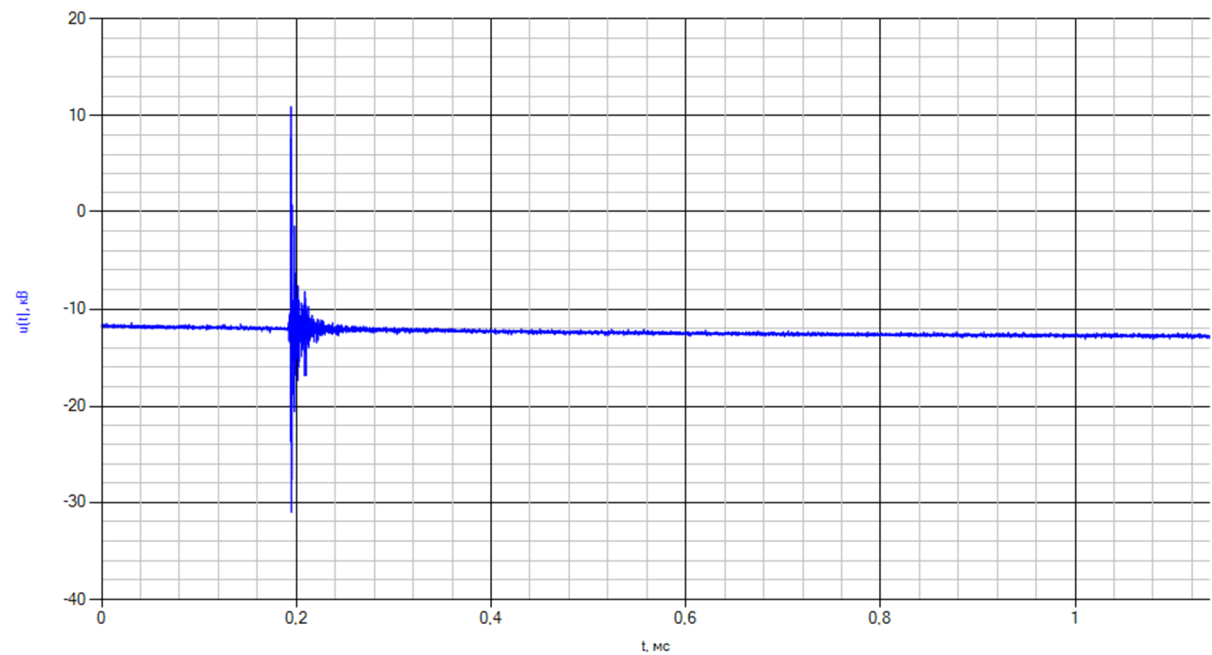
T3 нет

T4



T5

T5 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [17 июля 2024 14:14.23]

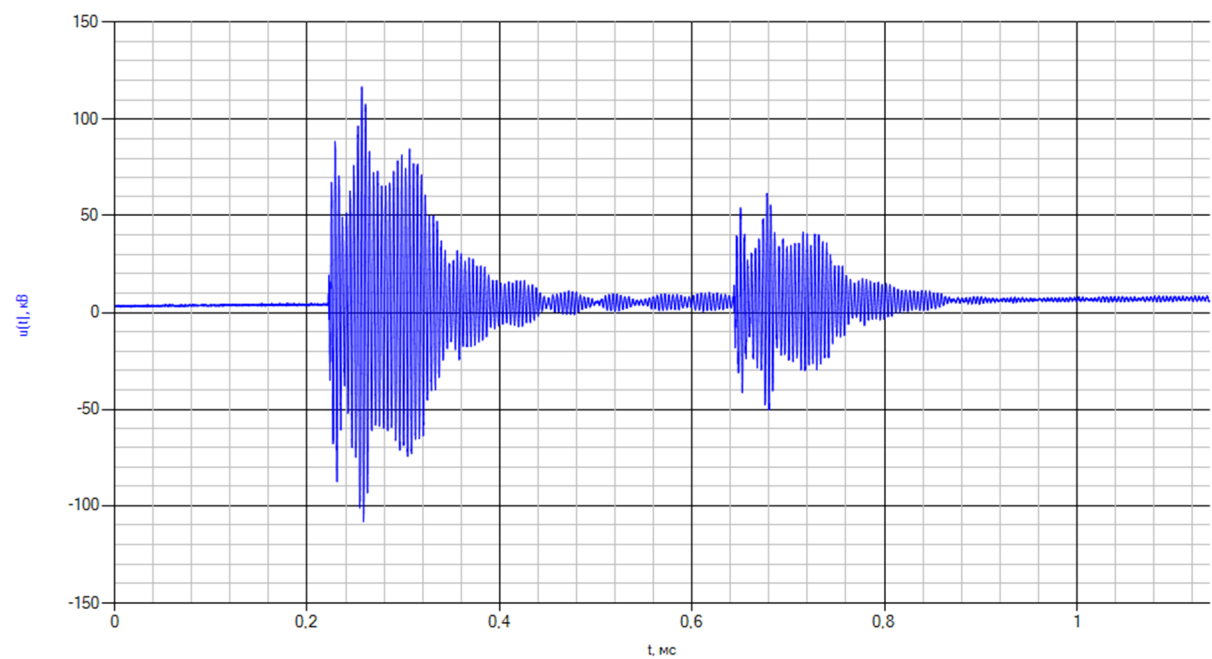


Включение/отключение реакторов РШ-541

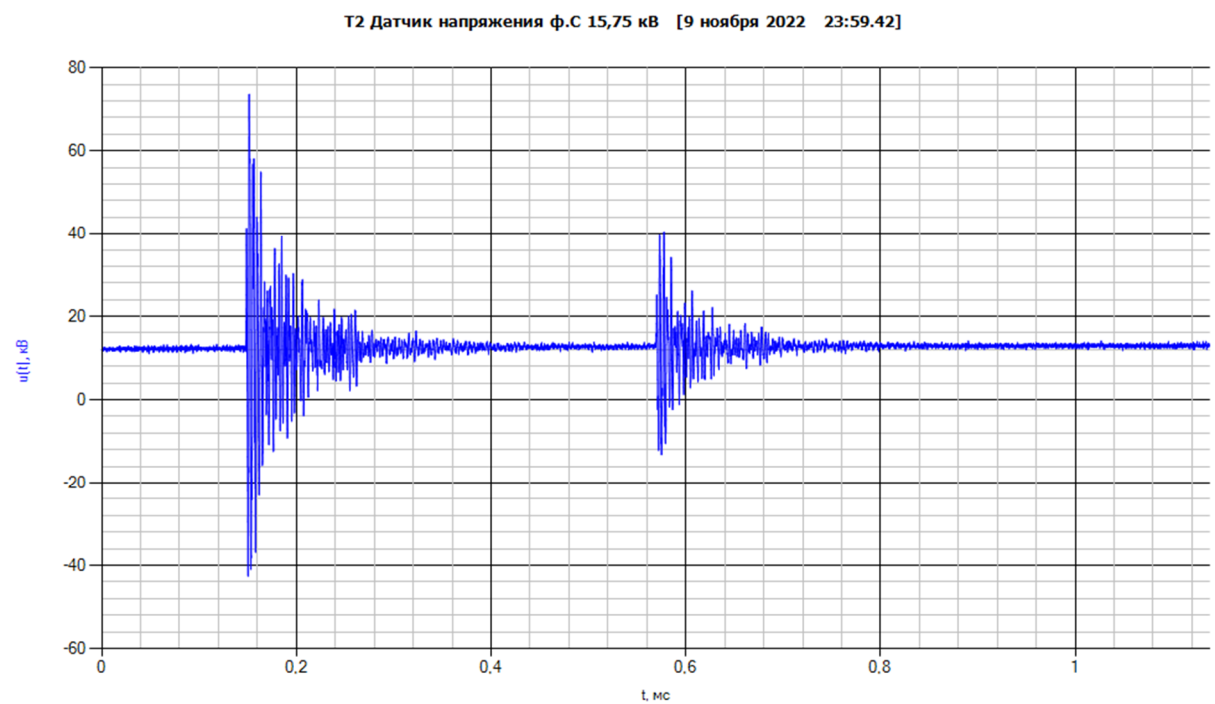
До установки RC-цепочек:

T1

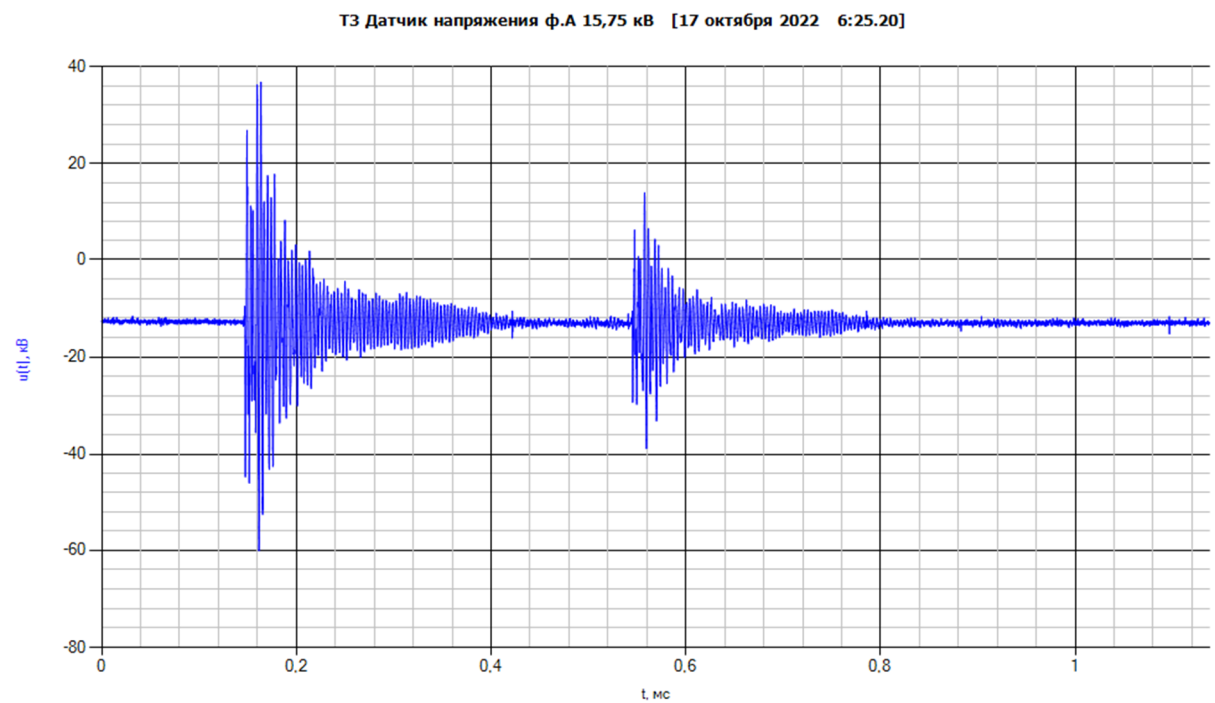
T1 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [27 октября 2022 4:35.22]



T2

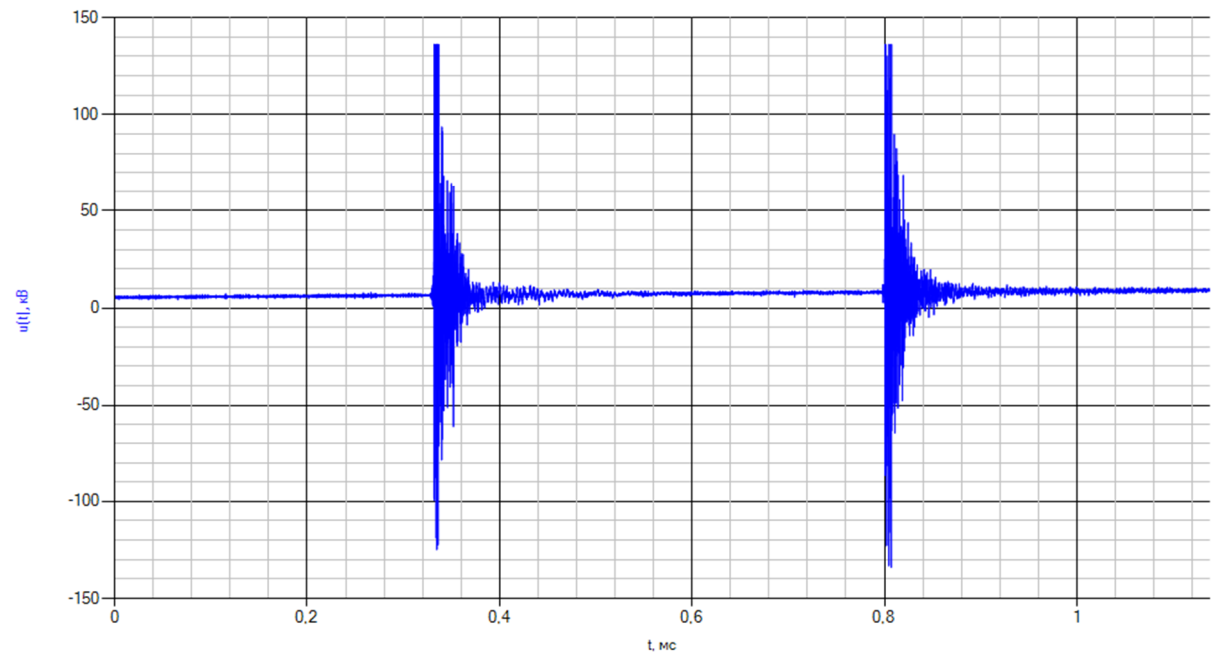


T3



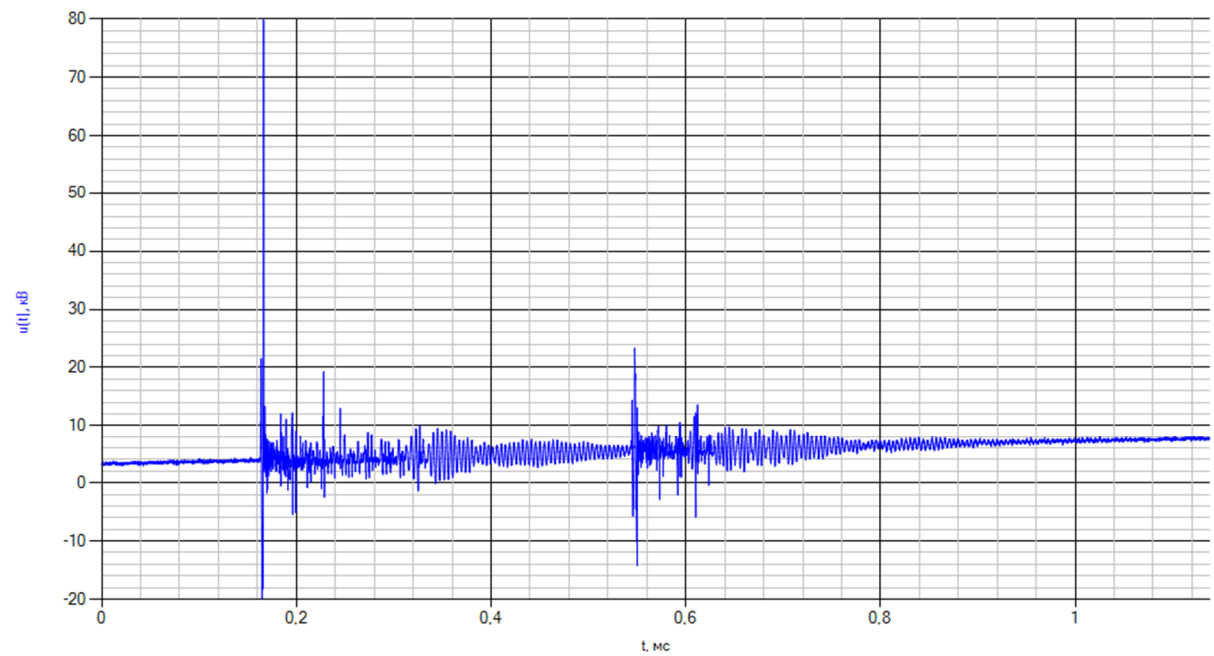
T4

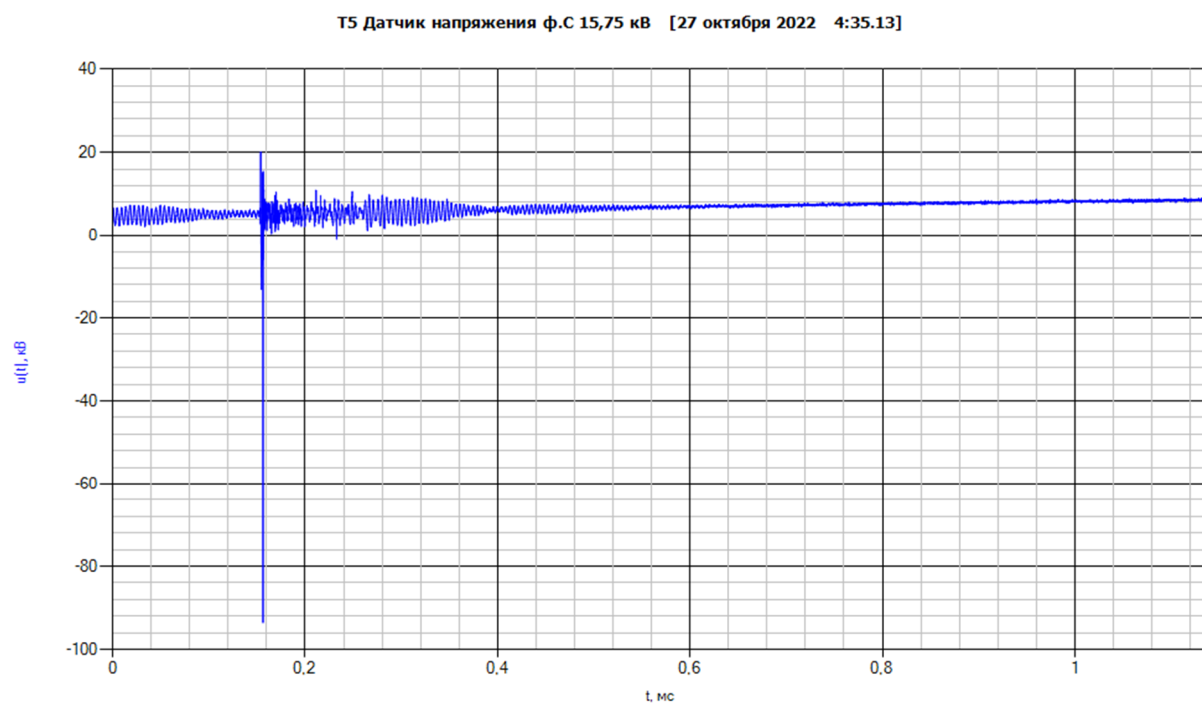
T4 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [12 апреля 2023 4:40.39]



T5

T5 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [17 октября 2022 6:25.20]





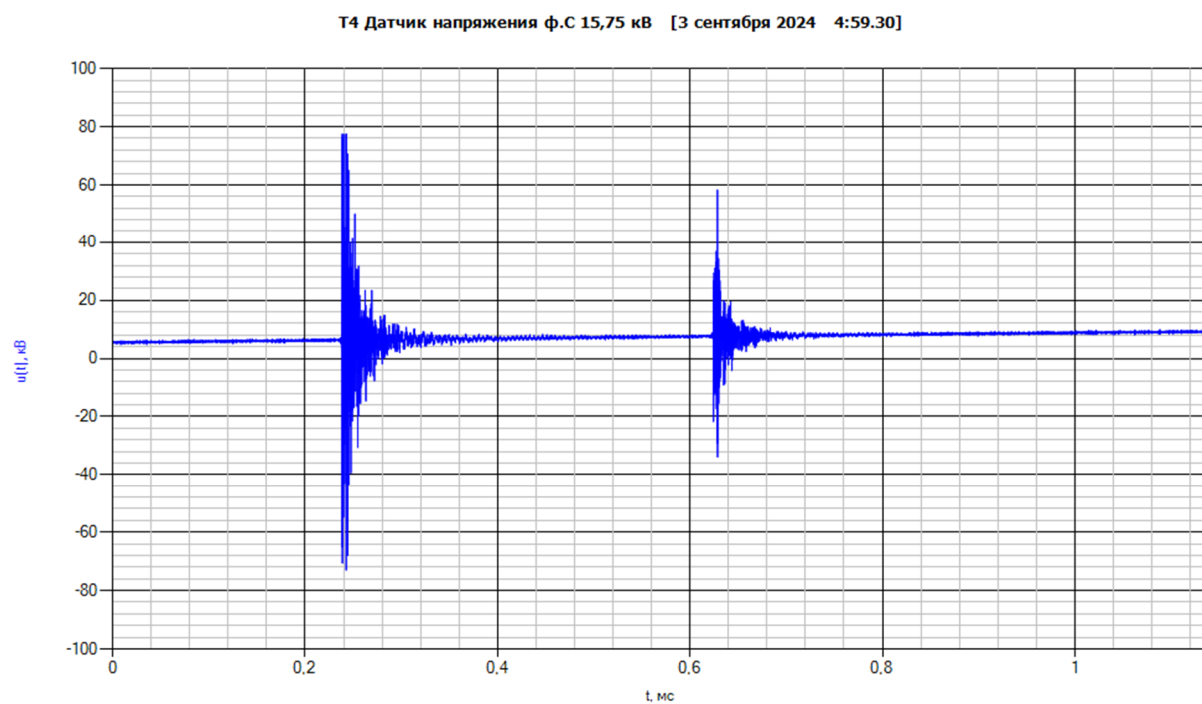
После установки RC-цепочек:

T1 нет

T2 нет

T3 нет

T4



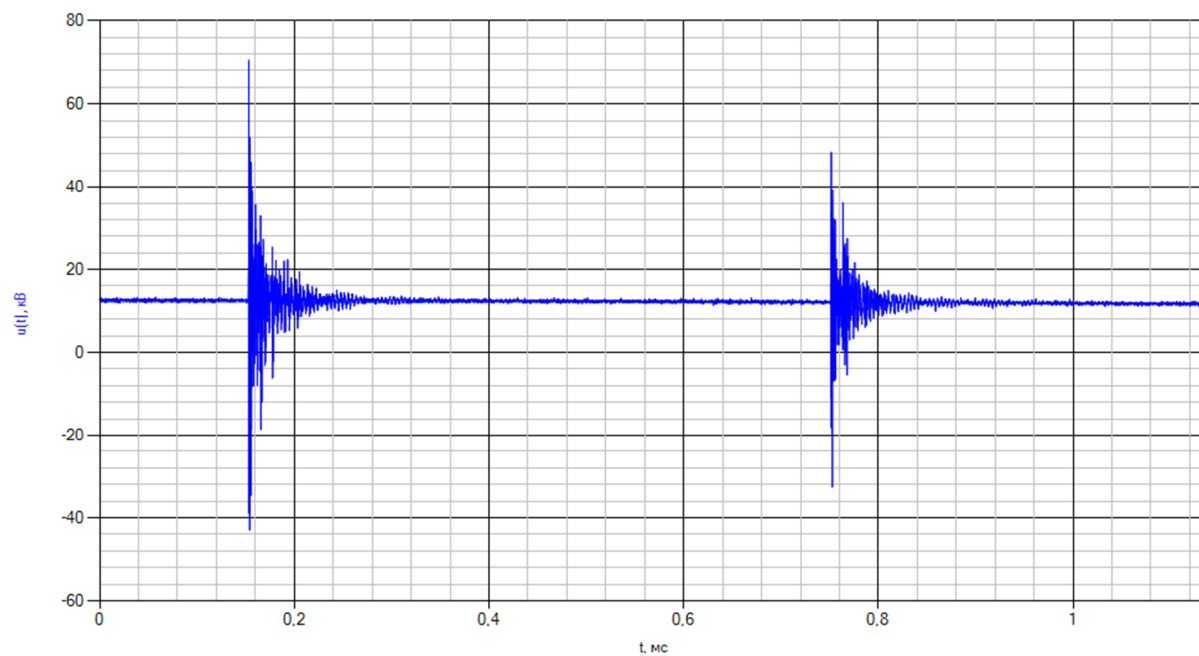
T5 нет

Вывод/ввод КВЛ 500 кВ СШГЭС-Означенное №1. В-С1-543

До установки RC-цепочек:

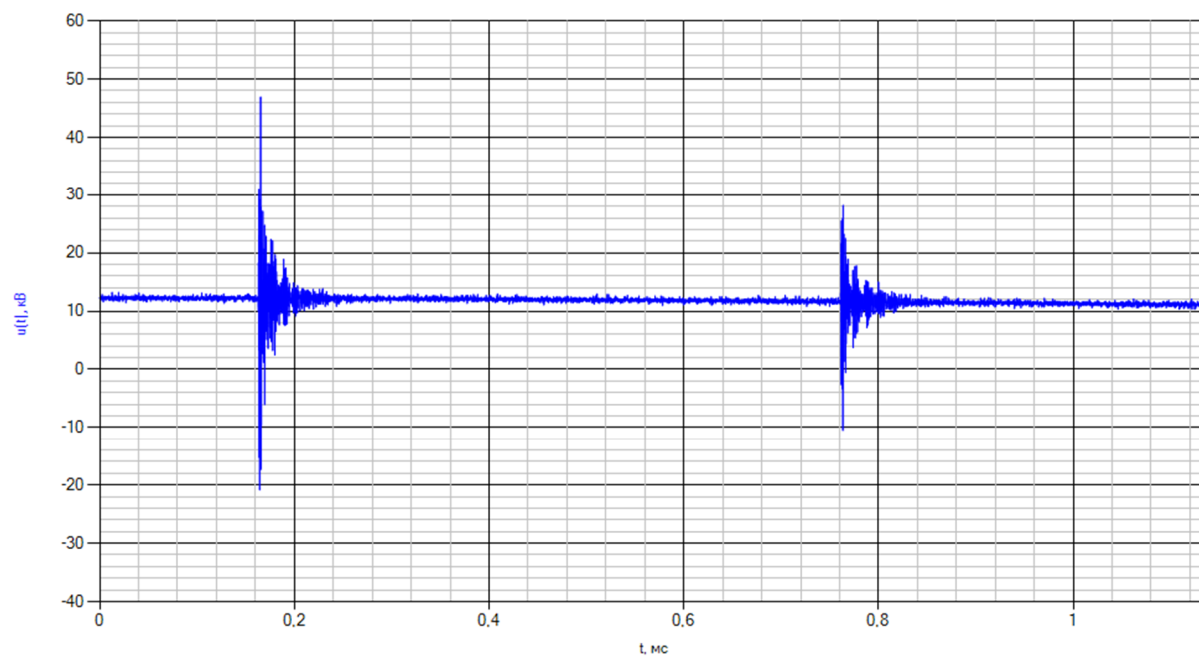
T1

T1 Датчик напряжения ф.В 15,75 кВ [13 мая 2023 0:50.14]

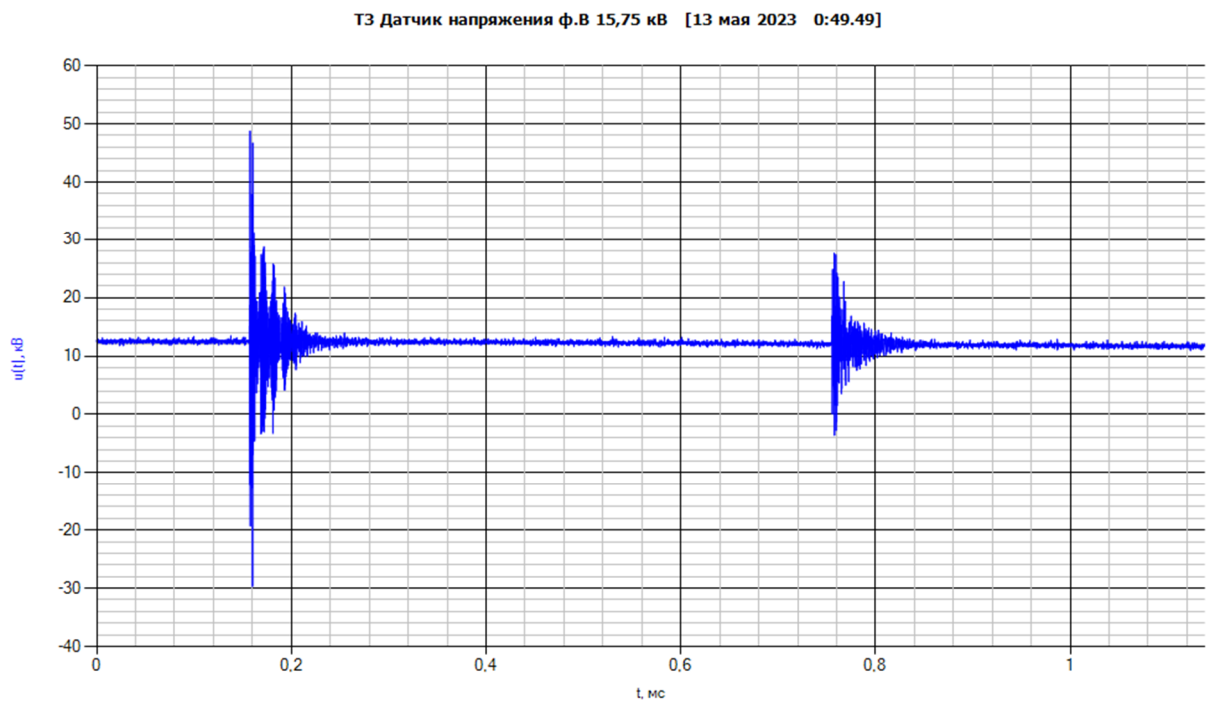


T2

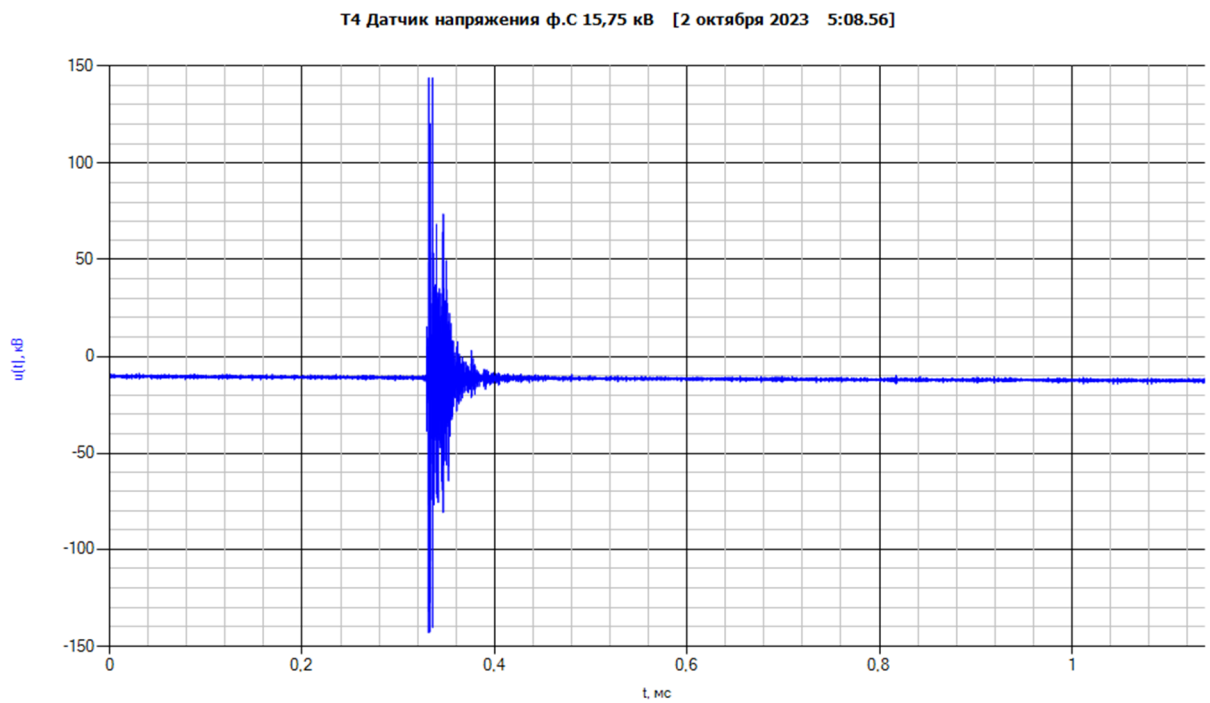
T2 Датчик напряжения ф.В 15,75 кВ [13 мая 2023 0:49.47]



T3



T4

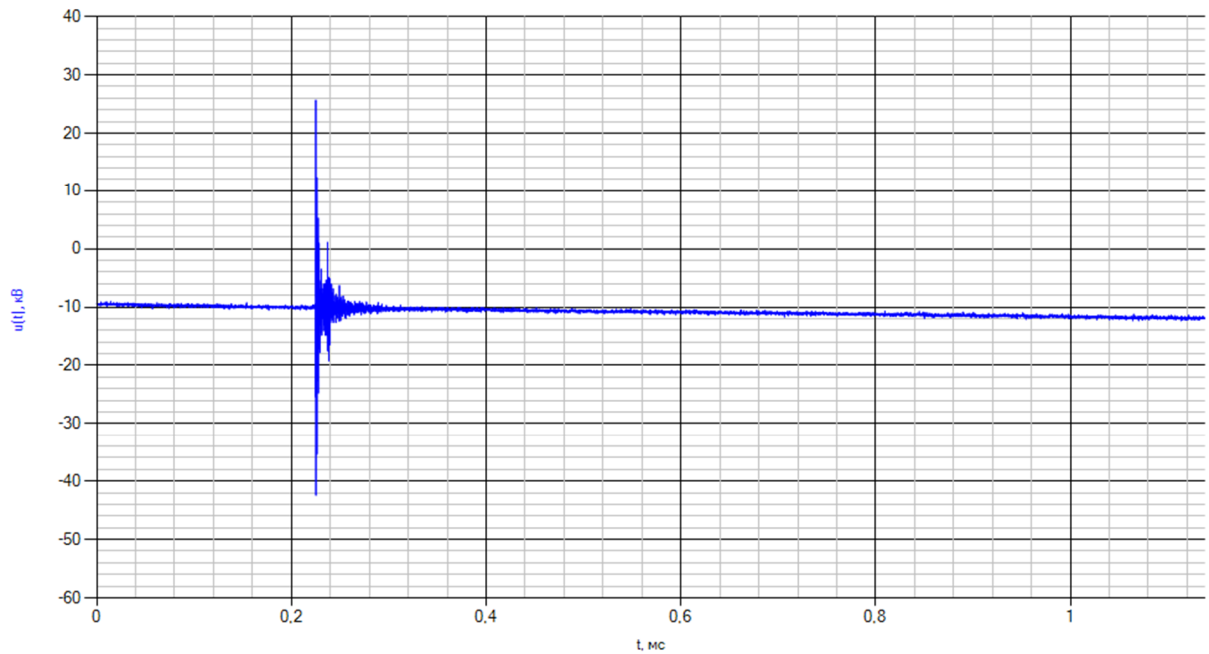


T5 нет

После установки RC-цепочек:

T1

T1 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [21 сентября 2024 2:56.09]

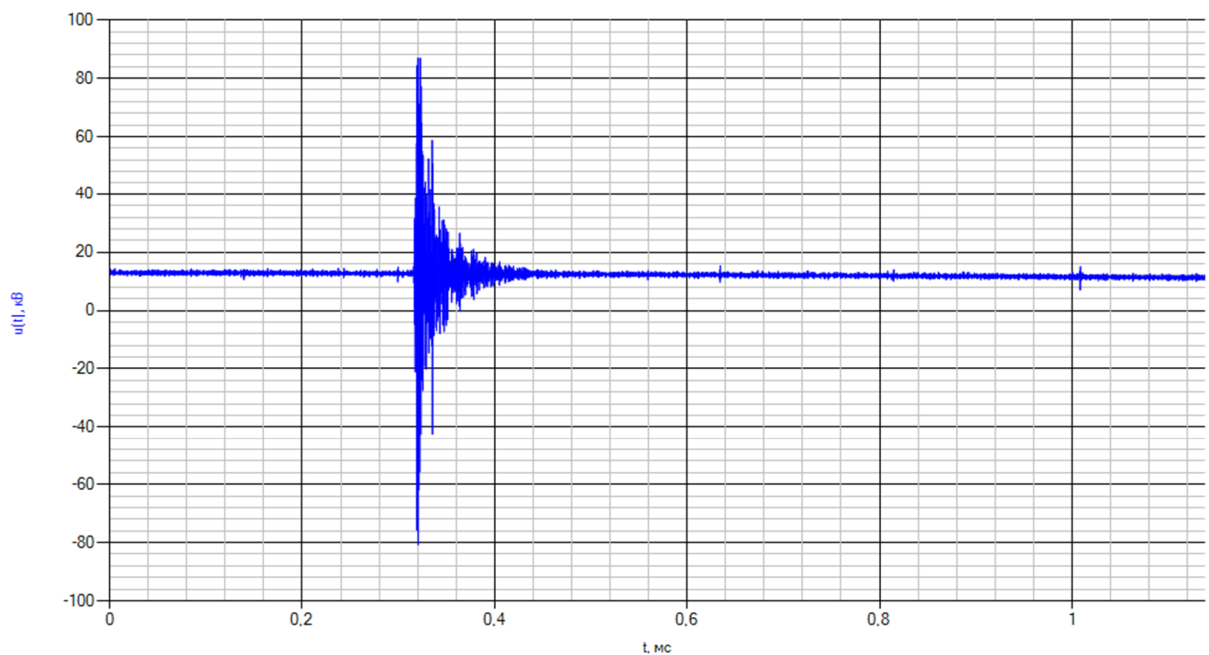


T2 нет

T3 нет

T4

T4 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [21 сентября 2024 2:56.07]

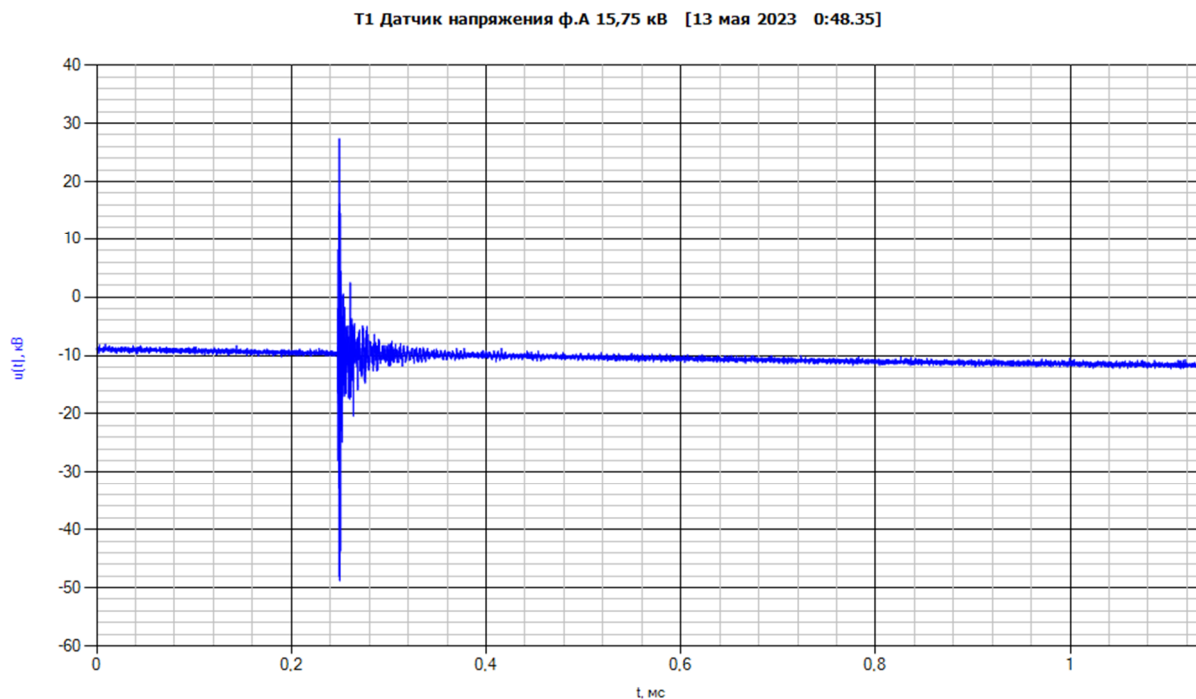


T5 нет

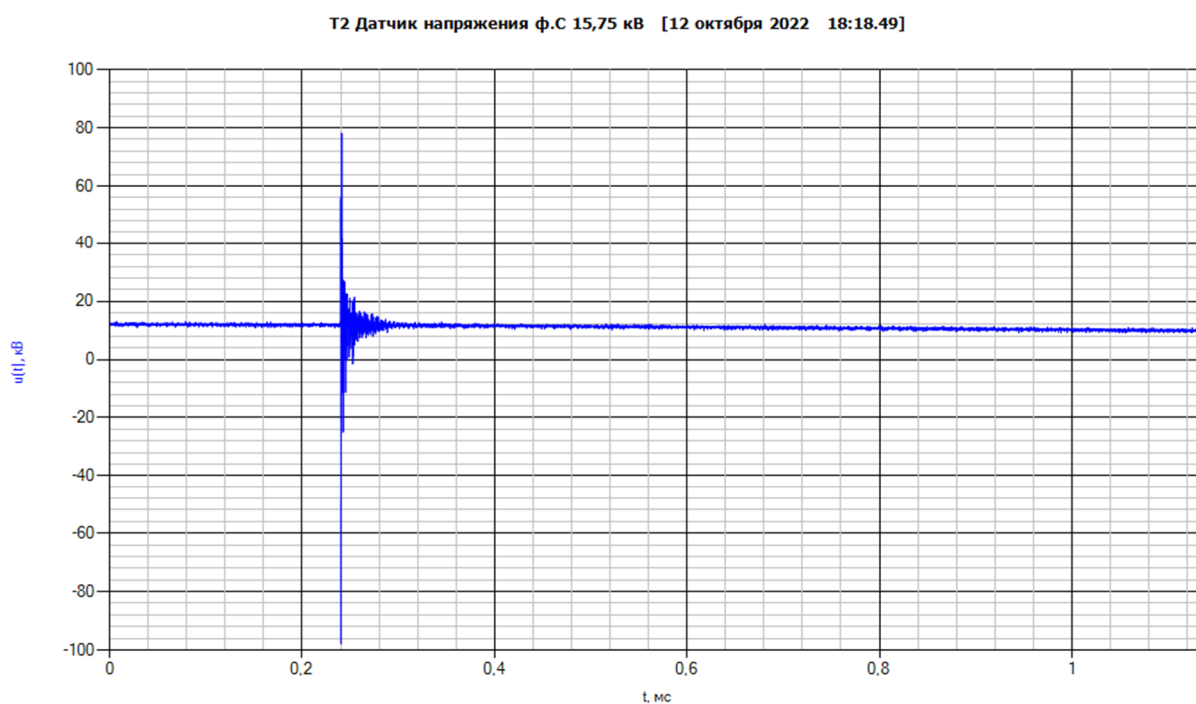
PC-C1-543

До установки RC-цепочек:

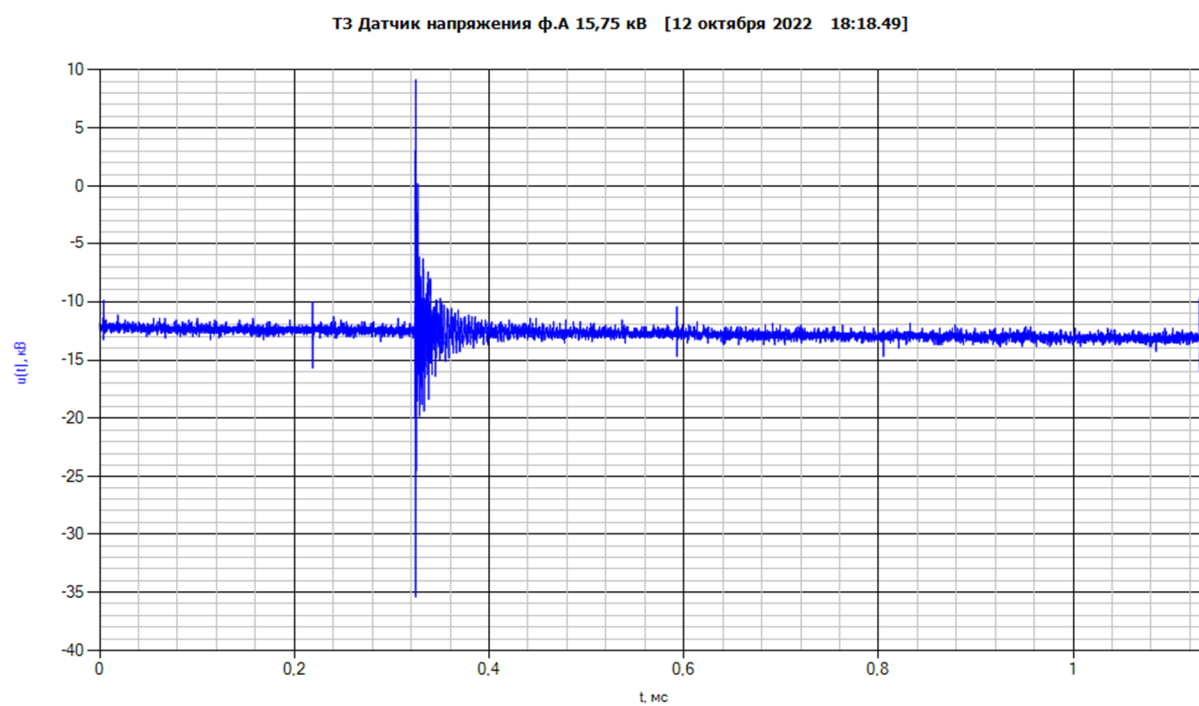
T1



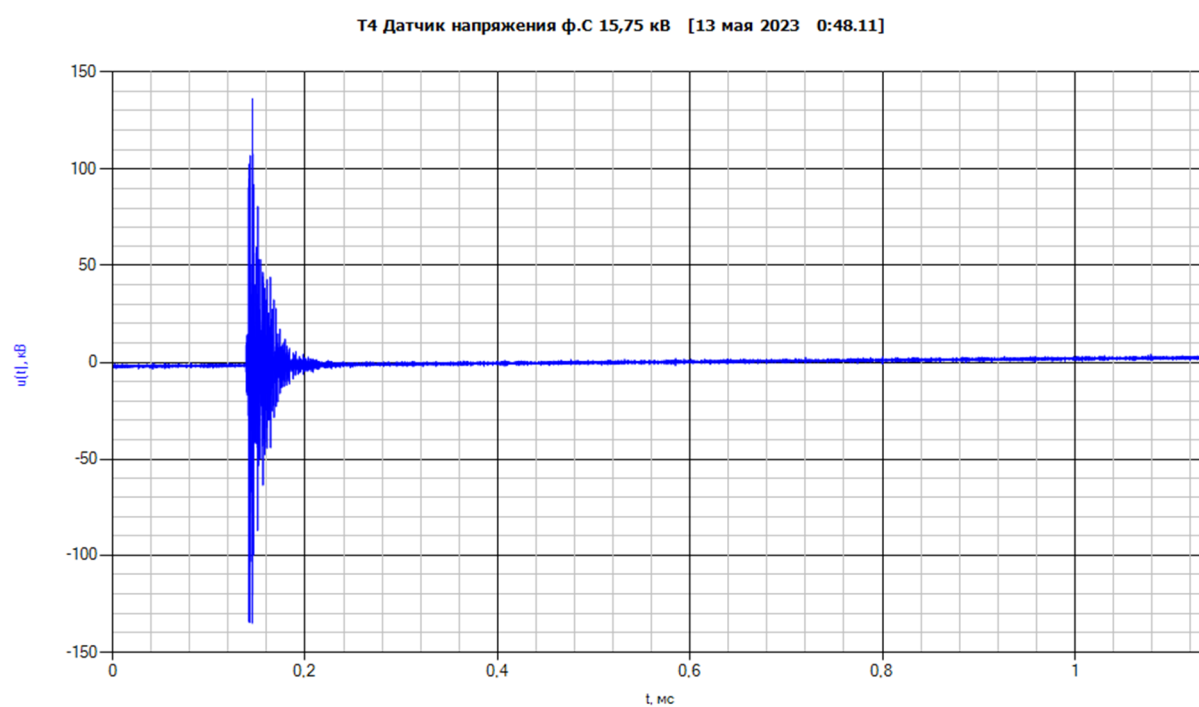
T2



T3



T4



T5 нет

После установки RC-цепочек:

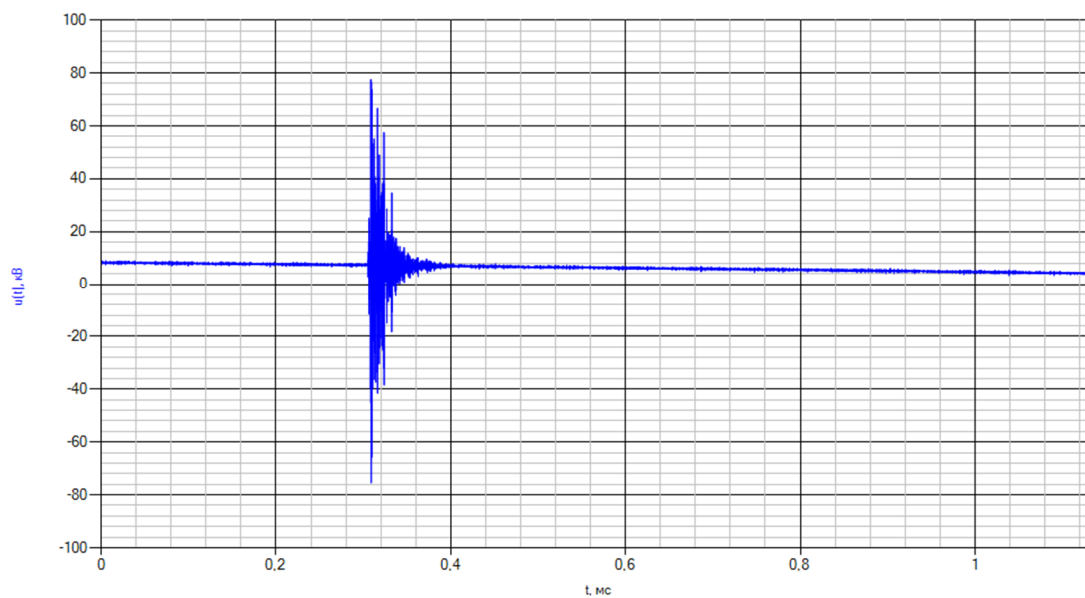
T1 нет

T2 нет

T3 нет

T4

T4 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [21 сентября 2024 2:55.51]



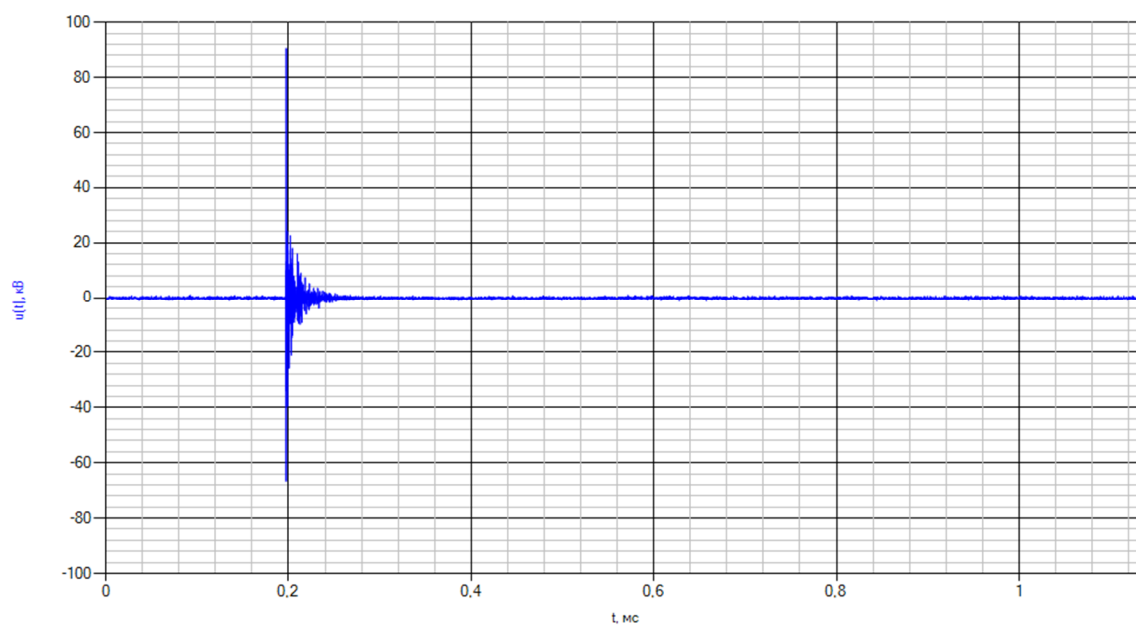
T5 нет

РЛ-С1-543

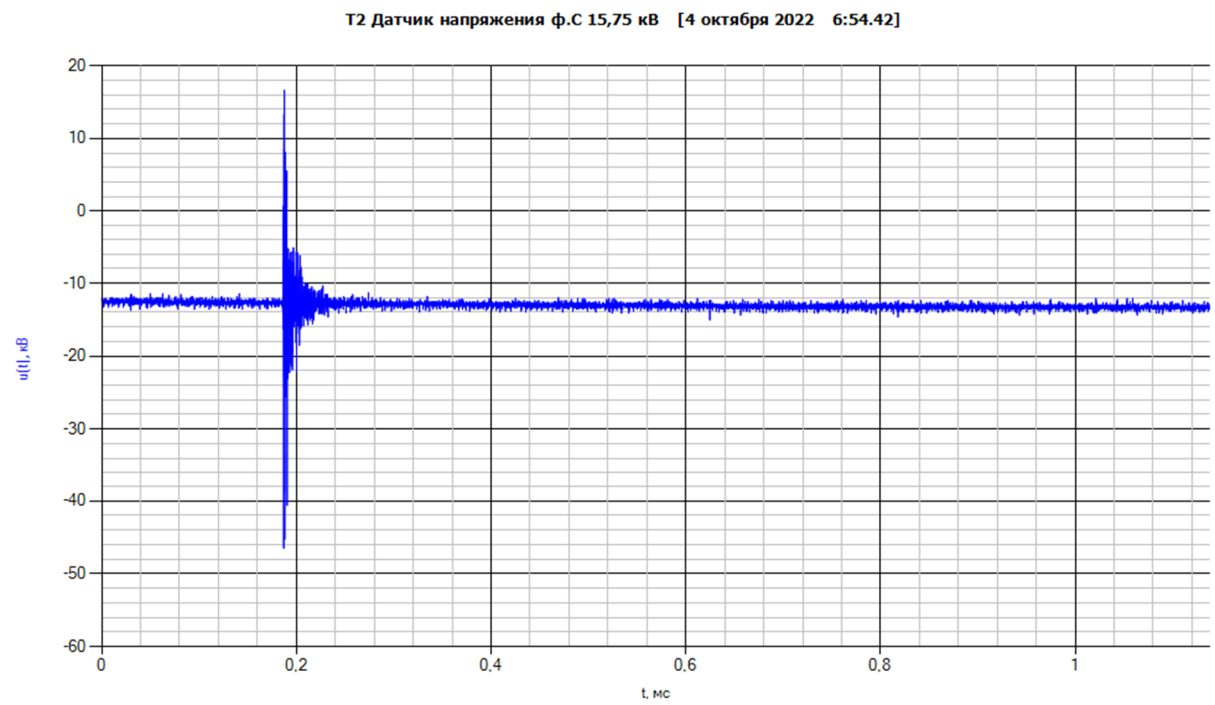
До установки RC-цепочек:

T1

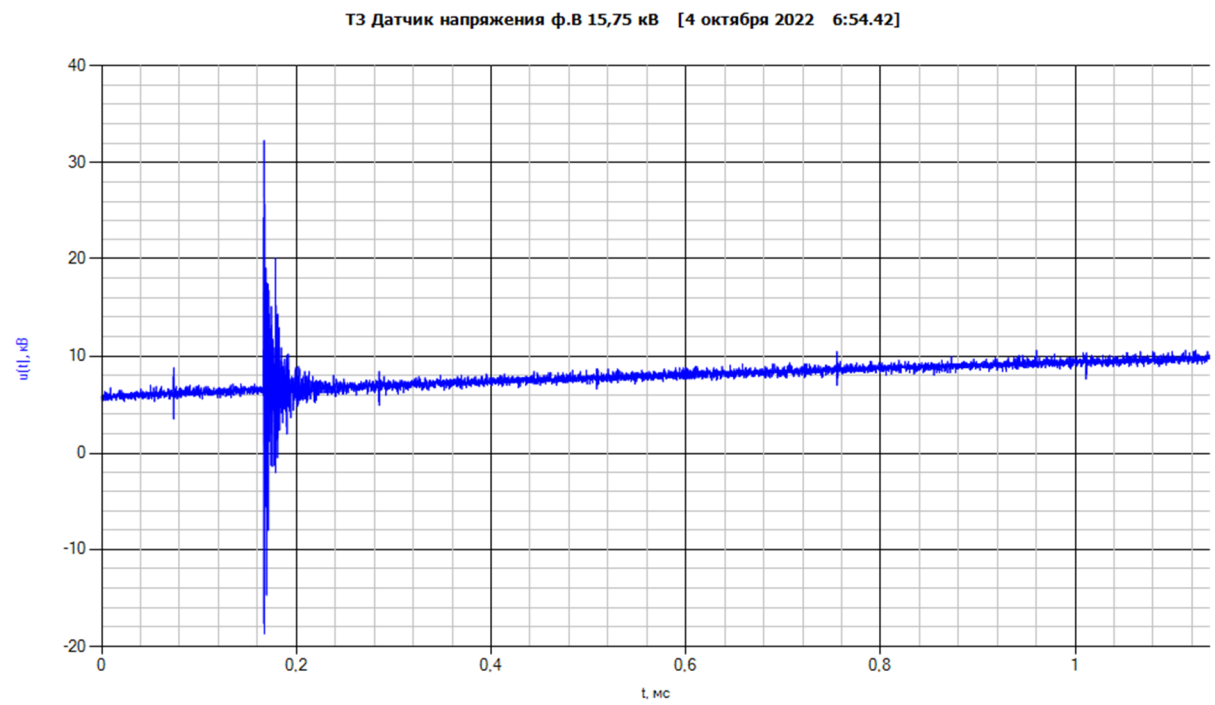
T1 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [4 октября 2022 6:54.57]



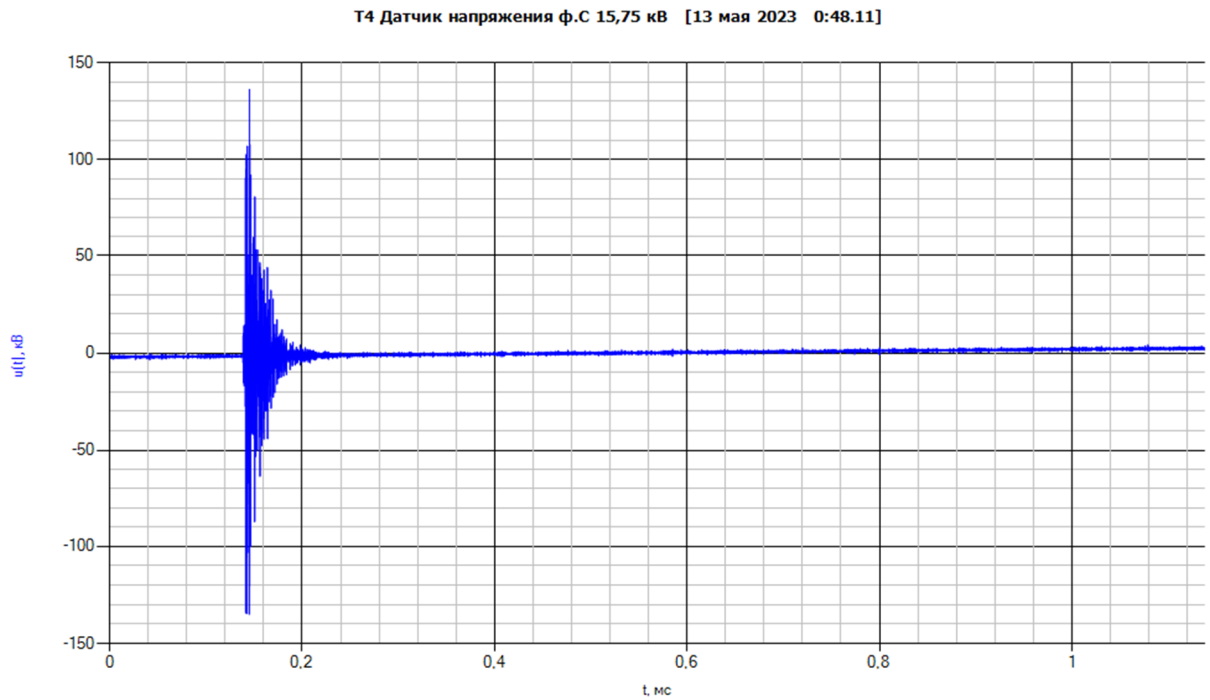
T2



T3



T4



T5 нет

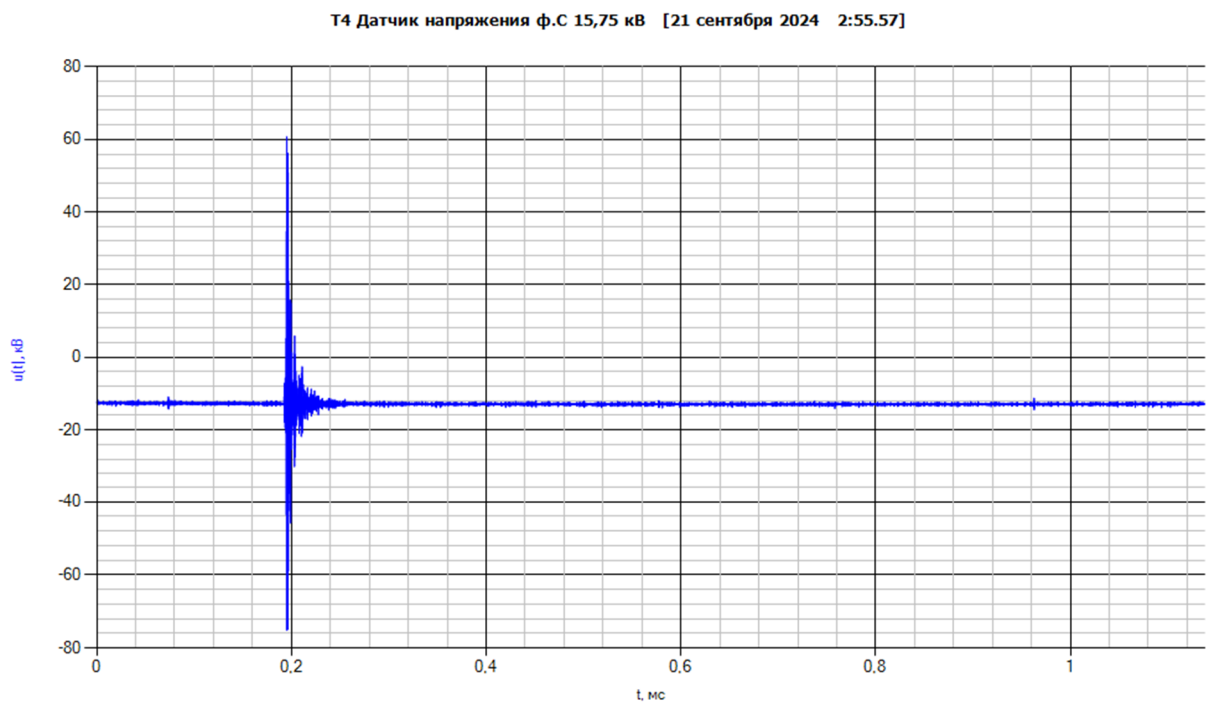
После установки RC-цепочек:

T1 нет

T2 нет

T3 нет

T4

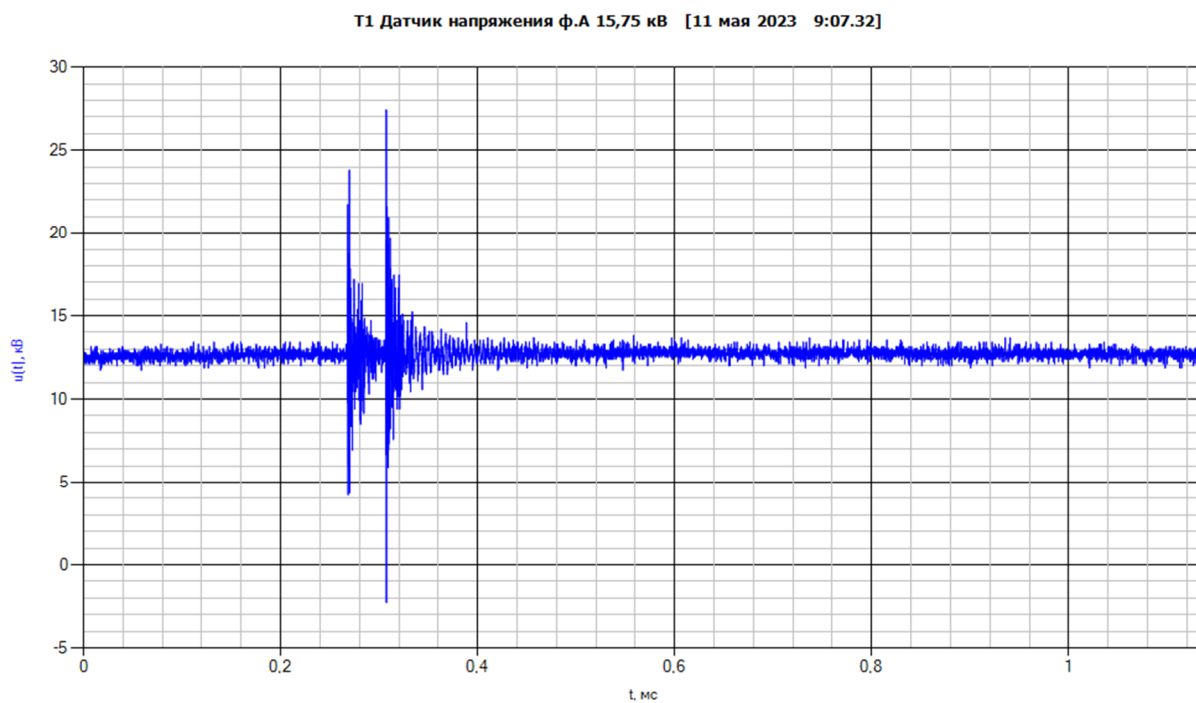


T5 нет

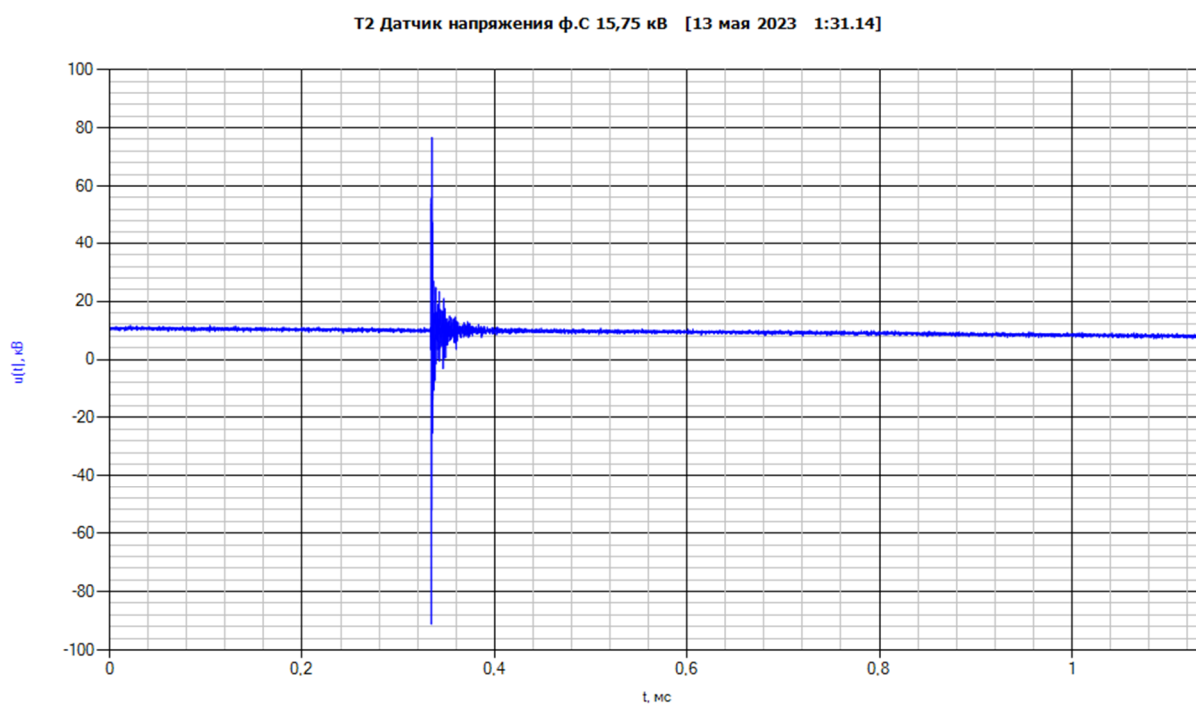
P-T2-543

До установки RC-цепочек:

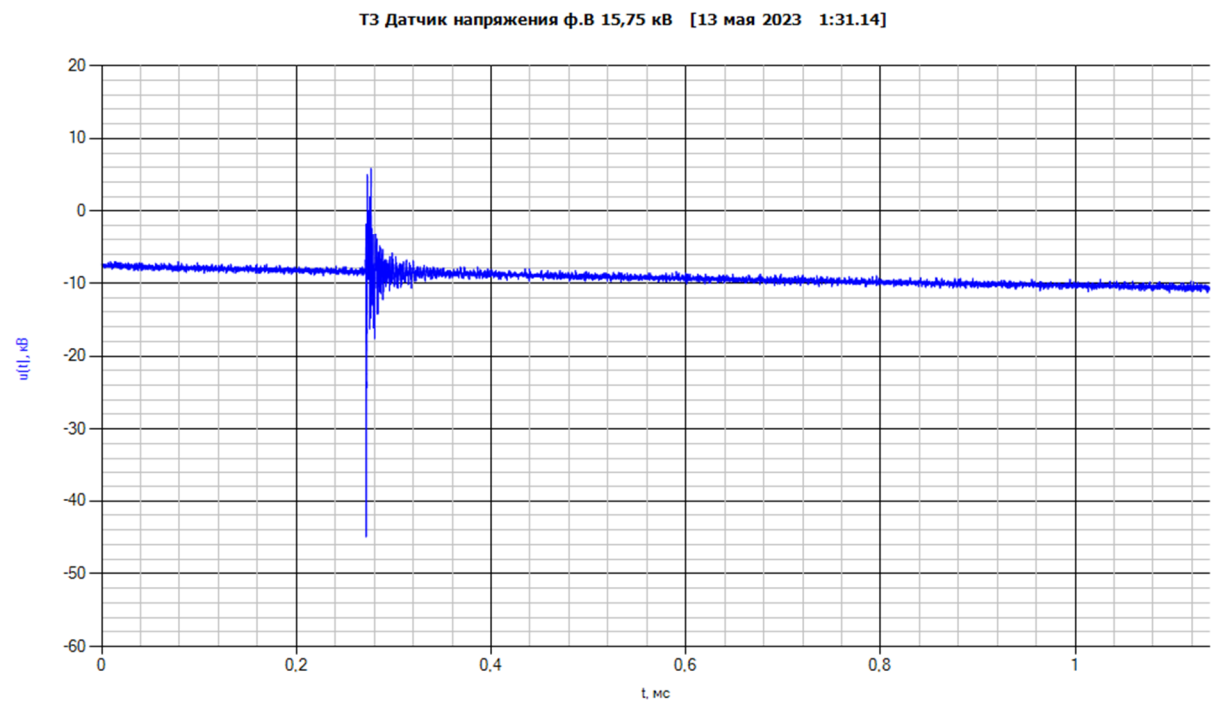
T1



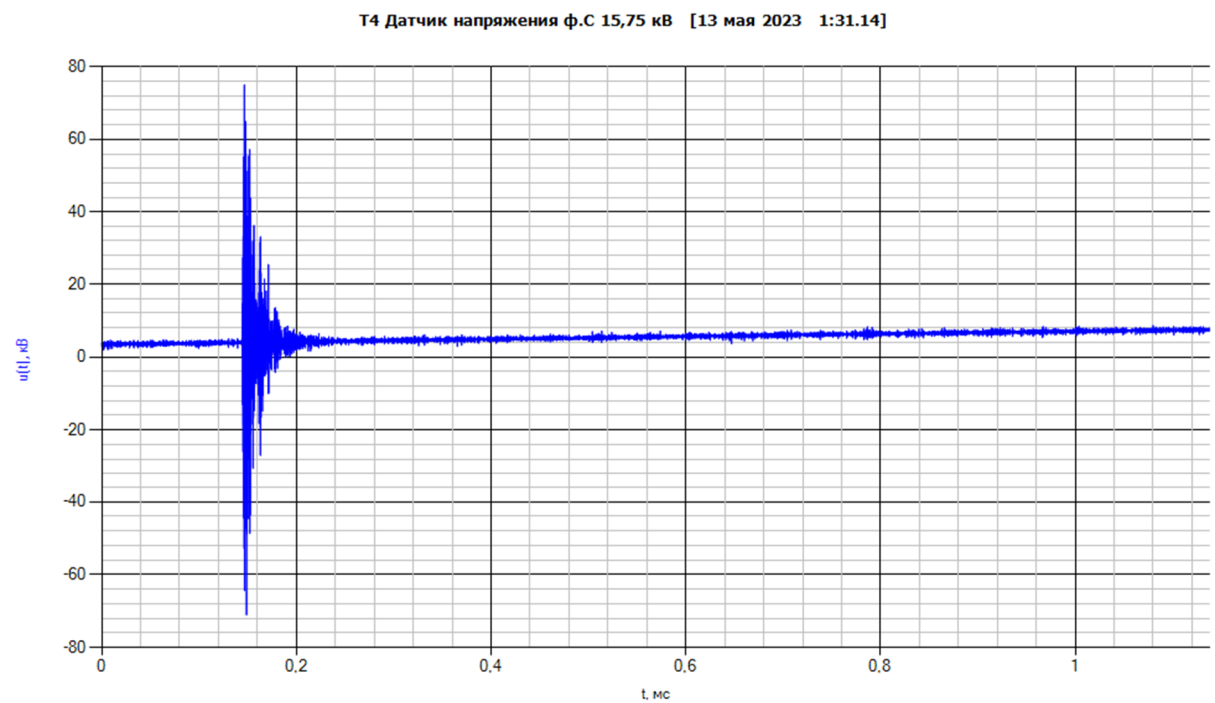
T2



T3



T4



T5 нет

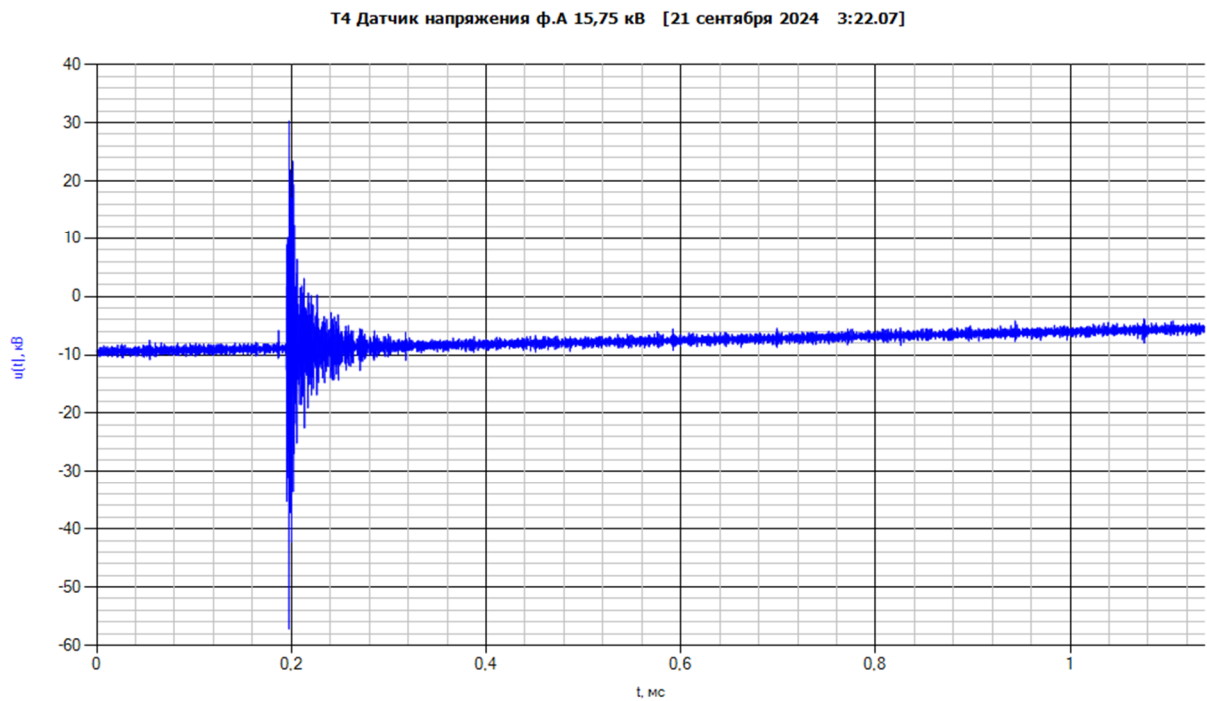
После установки RC-цепочек:

T1 нет

T2нет

T3 нет

T4



T5 нет

РЛ-Т2-543

До установки RC-цепочек:

T1 нет

T2нет

T3 нет

T4

T5

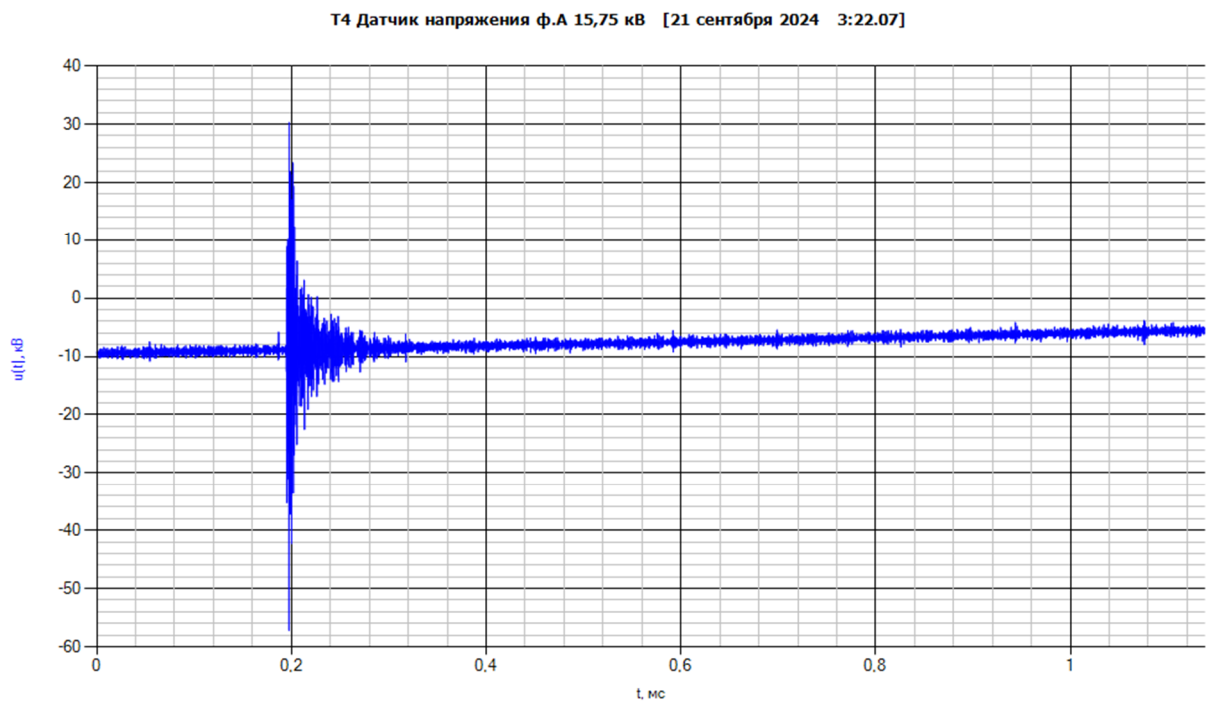
После установки RC-цепочек:

T1 нет

T2нет

T3 нет

T4

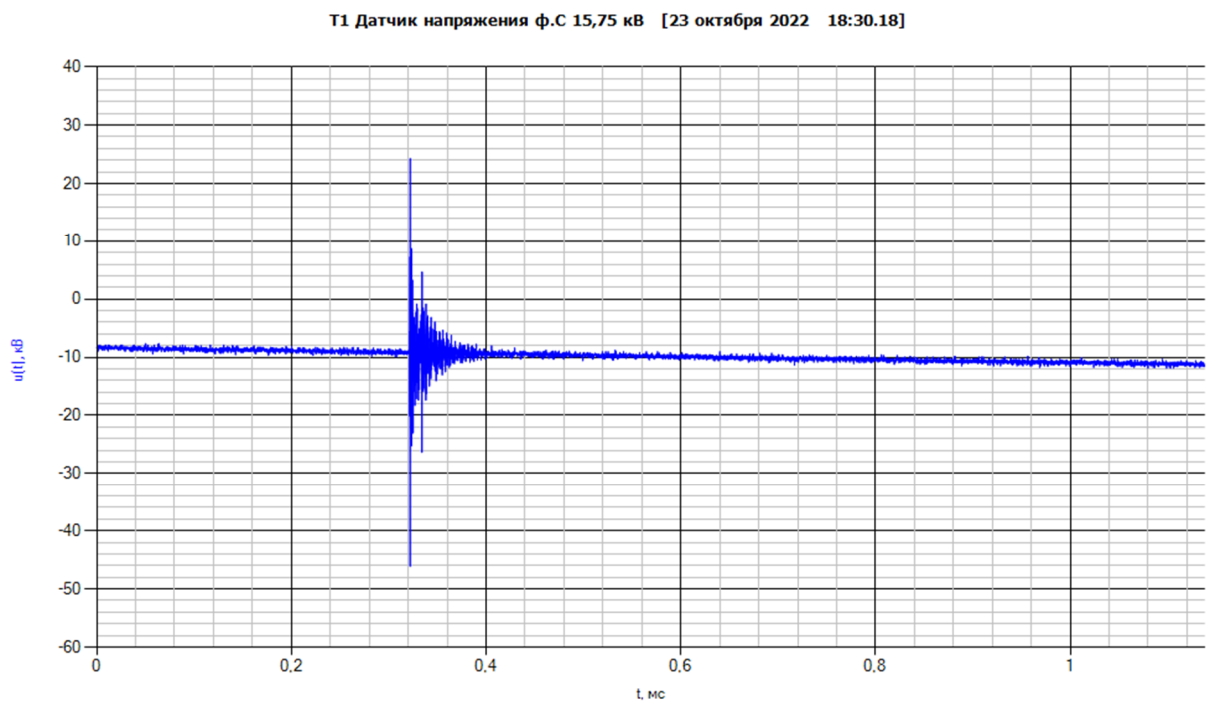


T5 нет

РЛ-С1-544

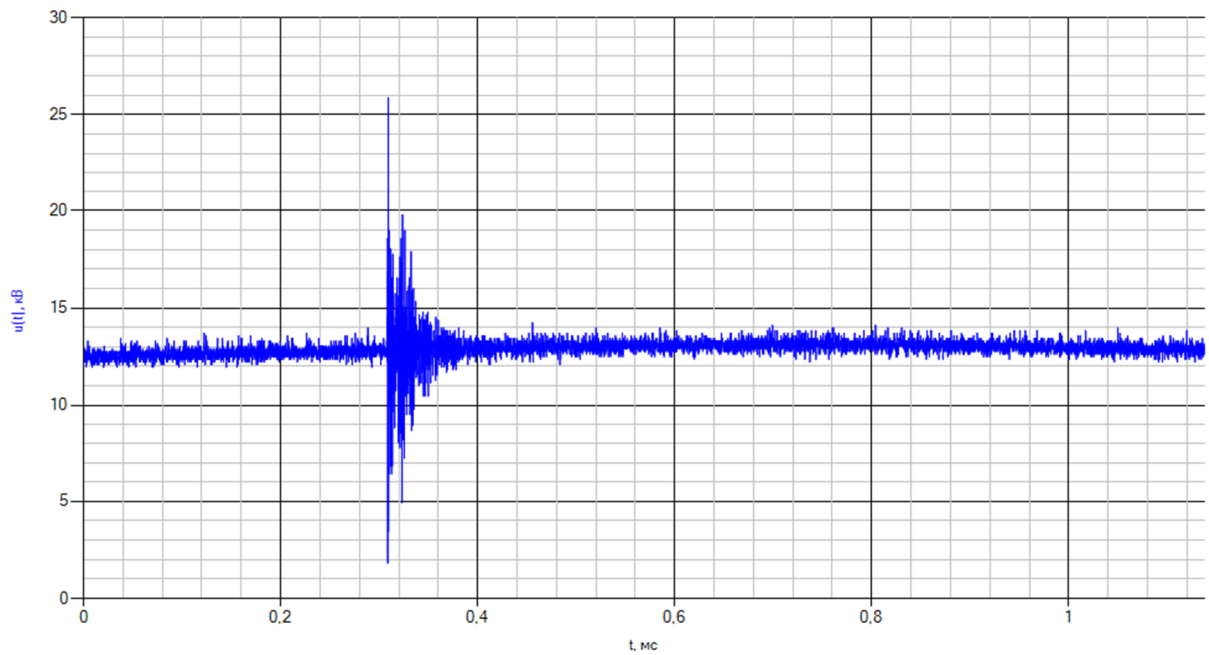
До установки RC-цепочек:

T1



T2

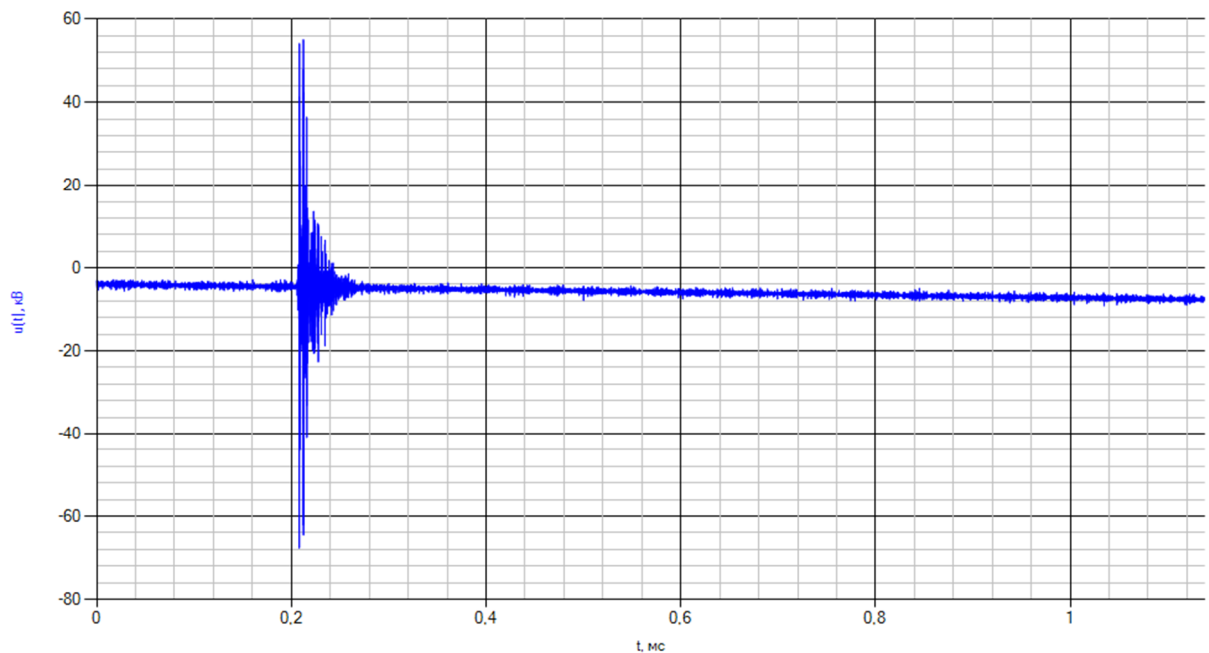
T2 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [18 октября 2022 9:05.35]



T3 нет

T4

T4 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [9 июня 2023 14:13.40]



T5 нет

После установки RC-цепочек:

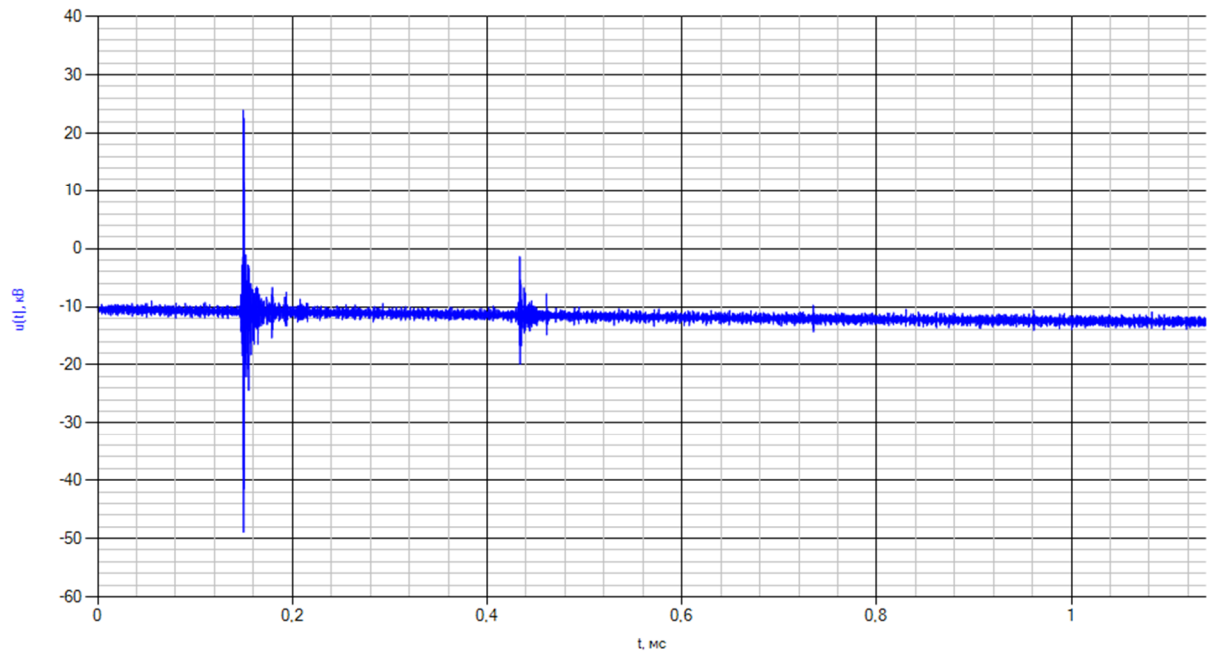
T1 нет

T2 нет

T3 нет

T4

T4 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [23 сентября 2024 5:24.48]



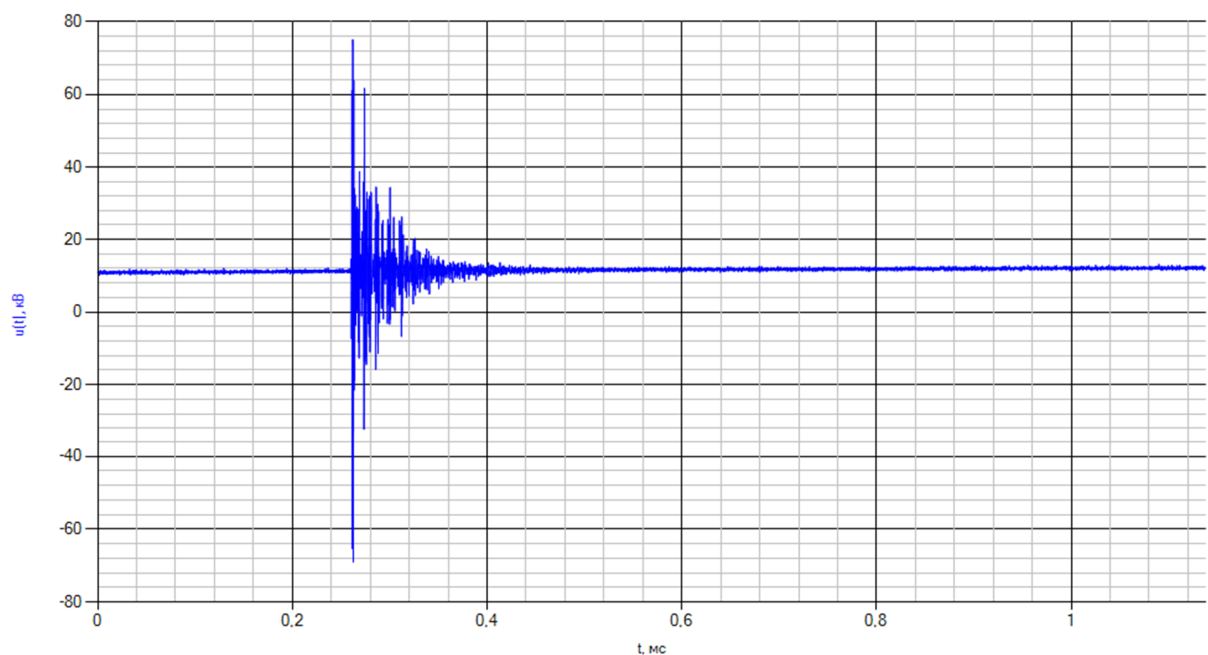
T5 нет

RC-C1-544

После установки RC-цепочек:

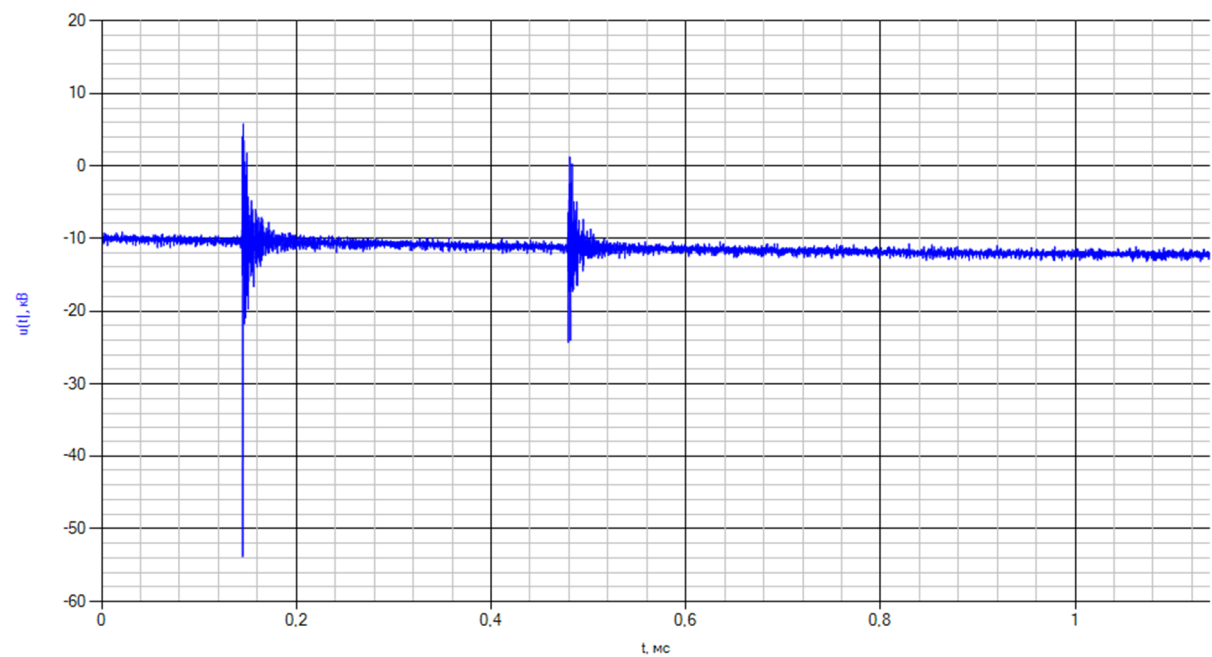
T1

T1 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [26 июня 2023 11:12.00]



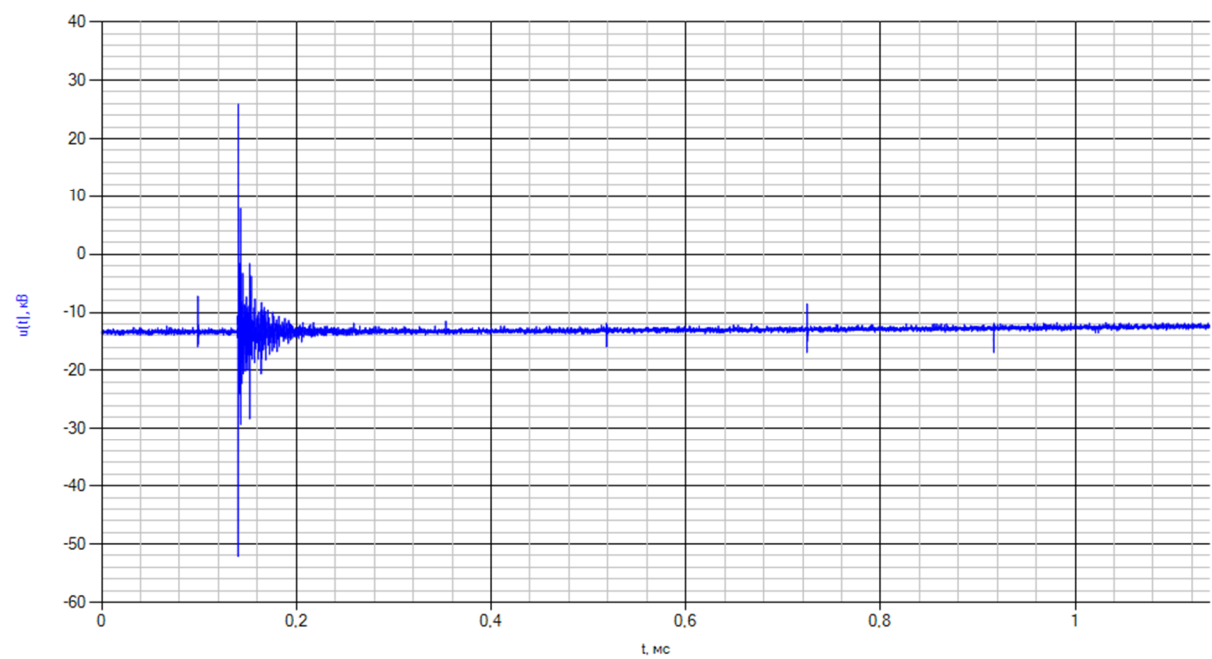
T2

T2 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [23 октября 2022 18:42.20]

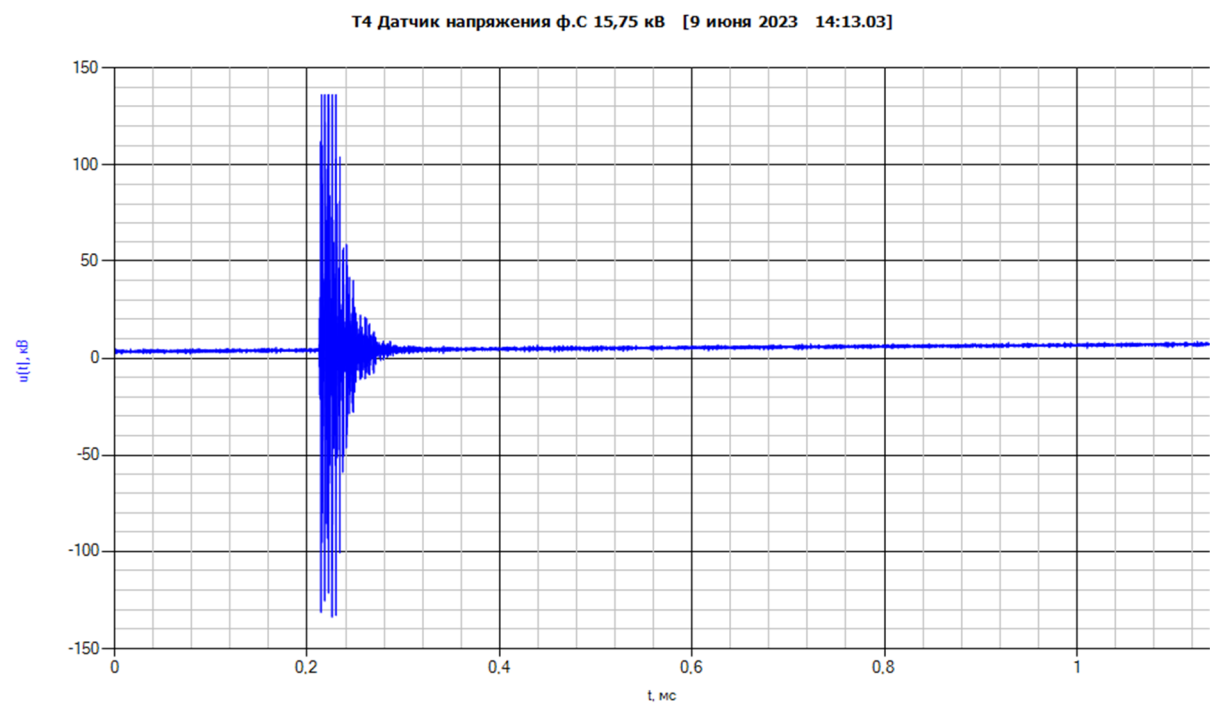


T3

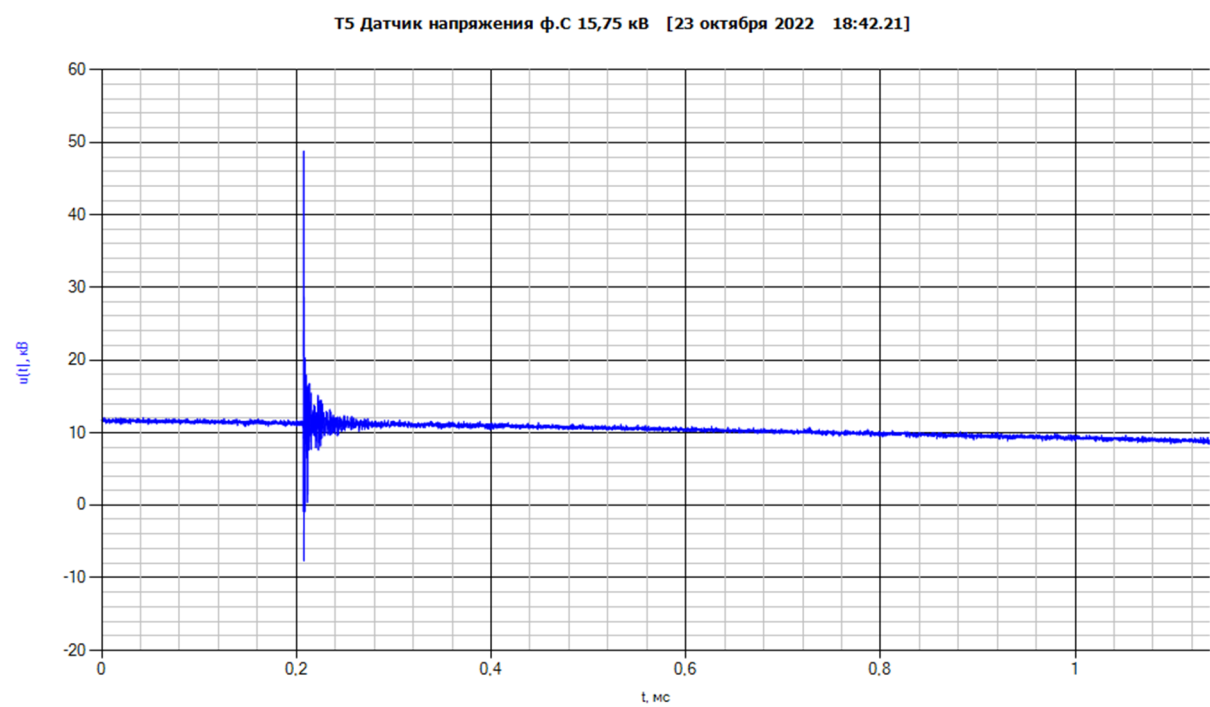
T3 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [31 октября 2022 4:31.04]



T4

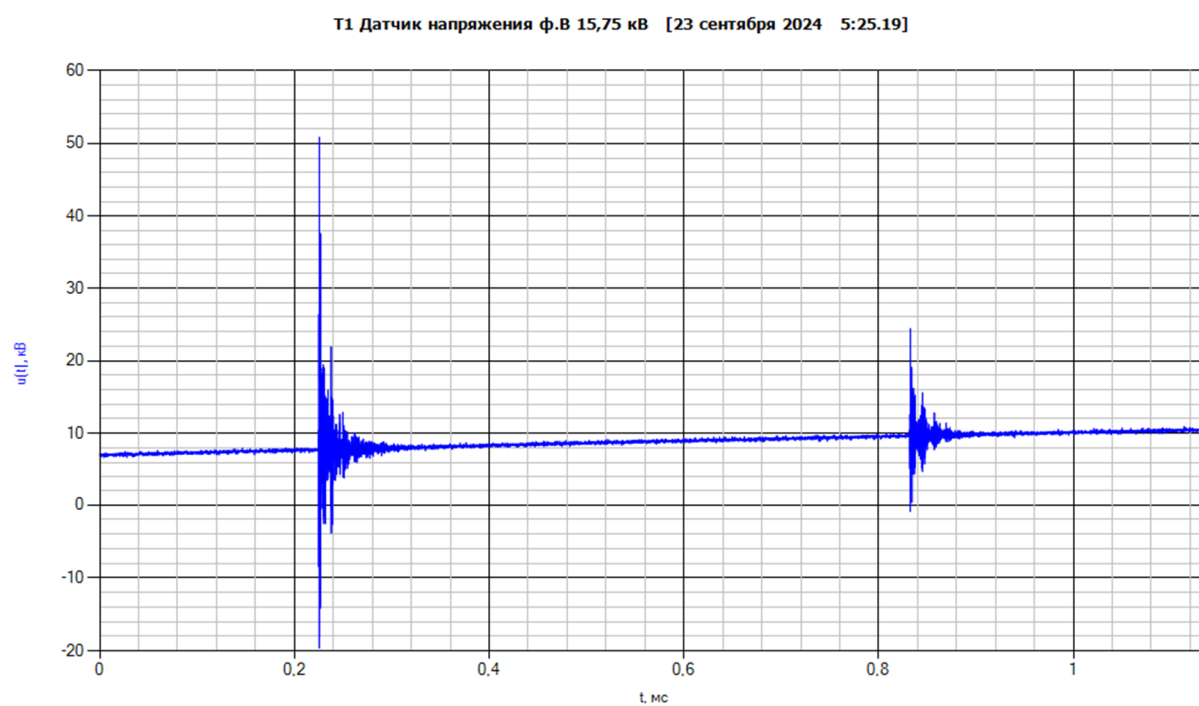


T5



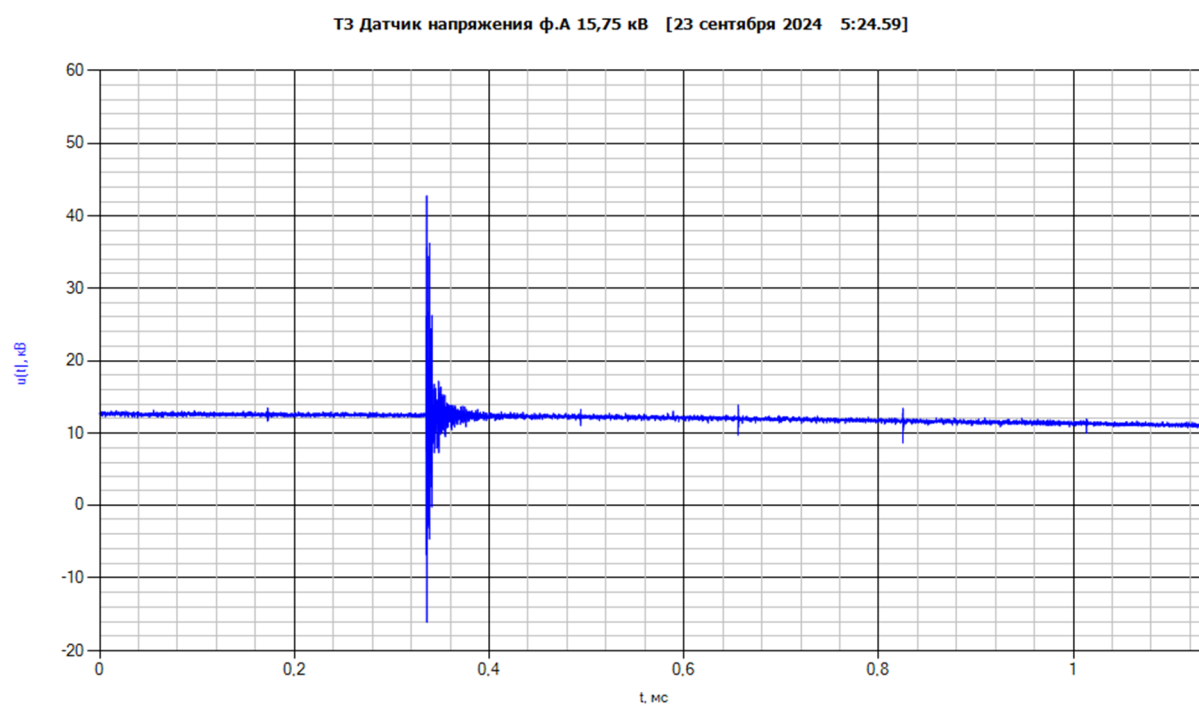
После установки RC-цепочек:

T1



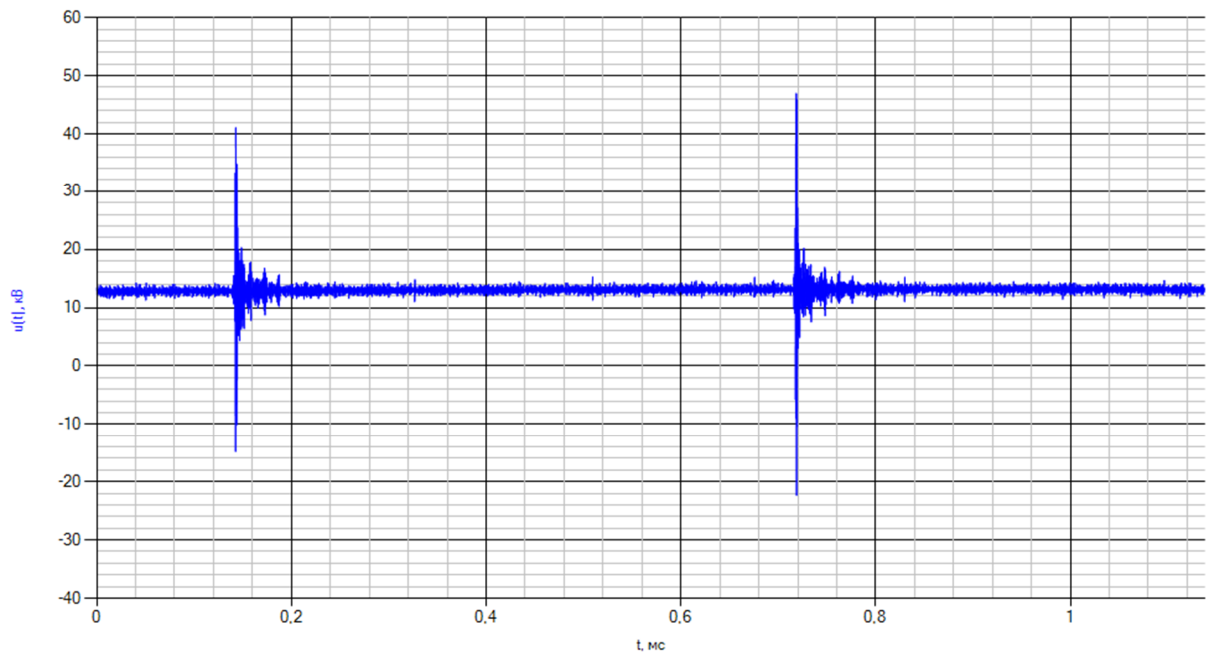
T2 нет

T3



T4

T4 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [23 сентября 2024 5:24.59]



T5 нет

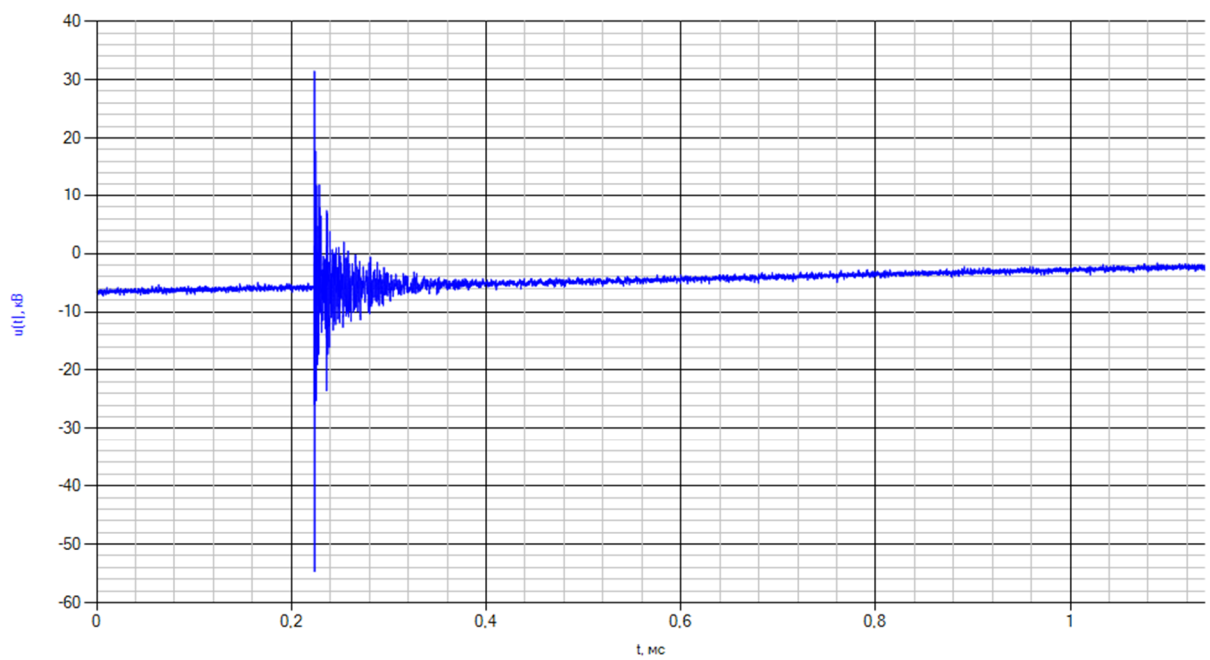
Вывод T2

До установки RC-цепочек:

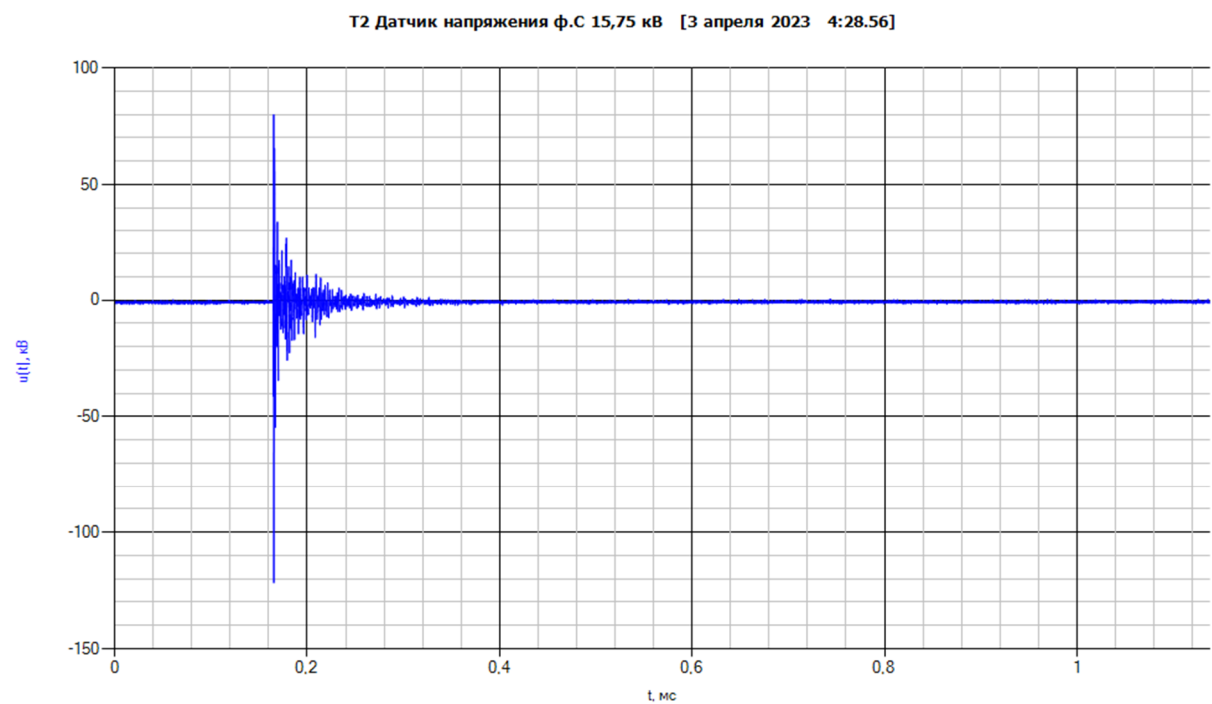
P2-T2

T1

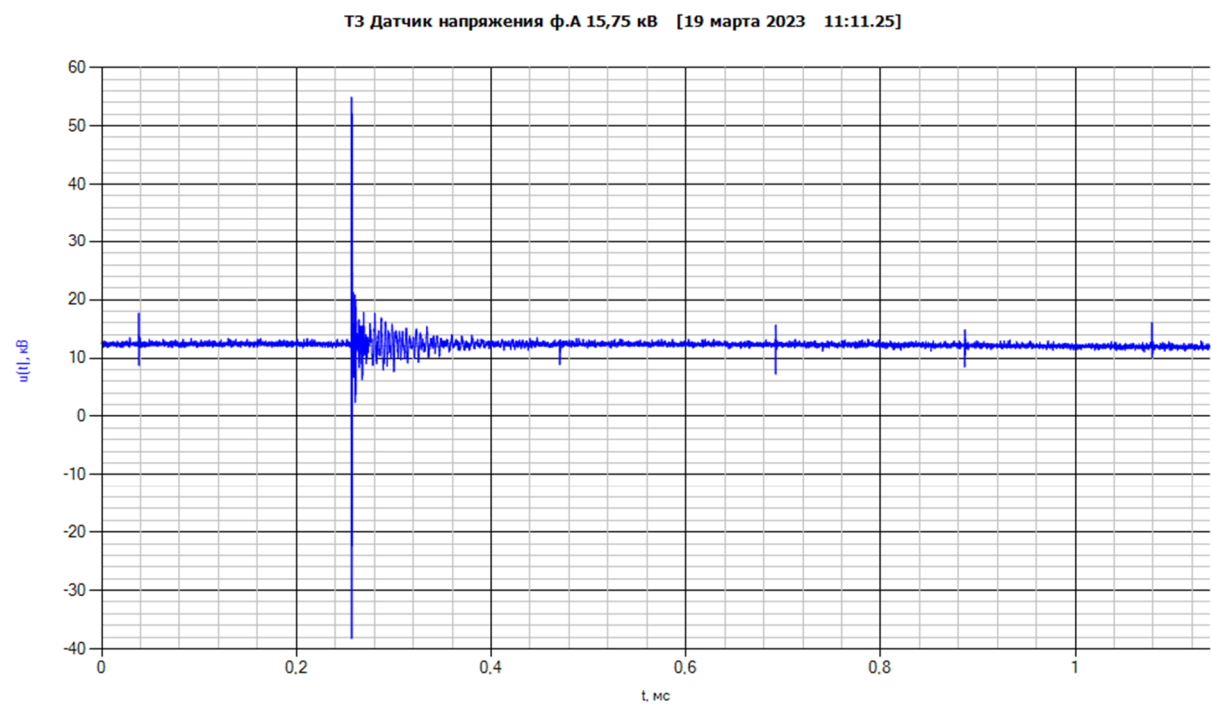
T1 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [27 июня 2022 4:27.15]



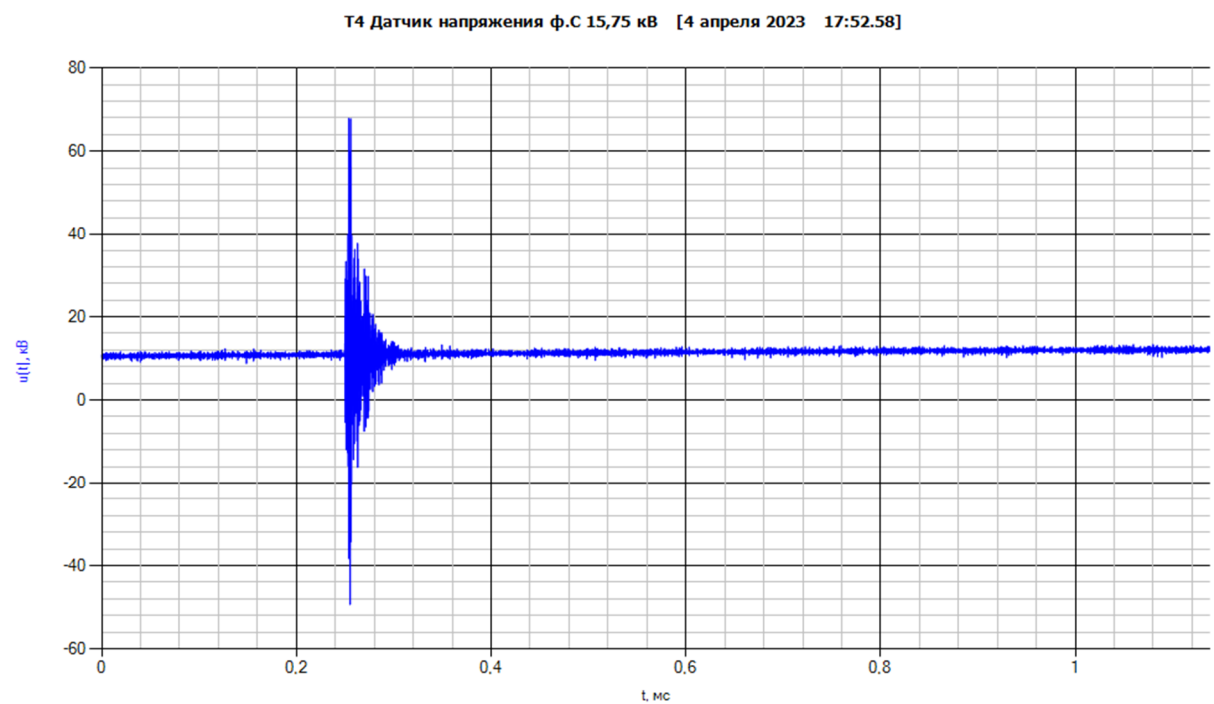
T2



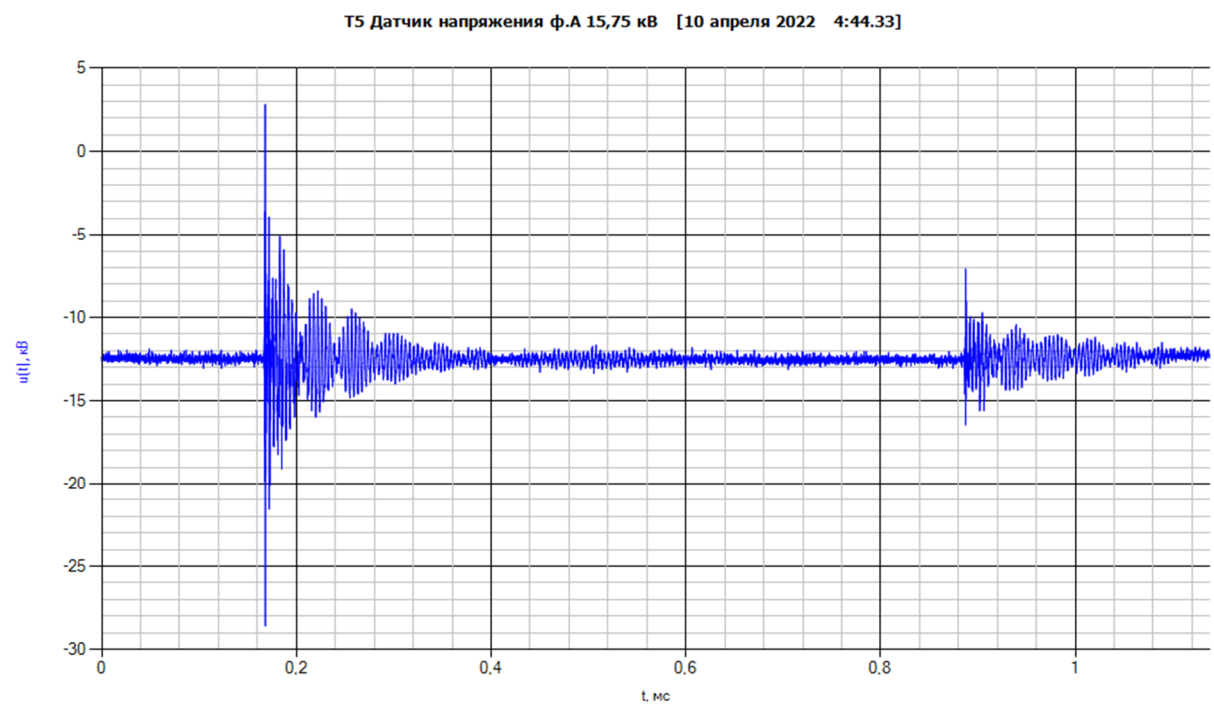
T3



T4



T5

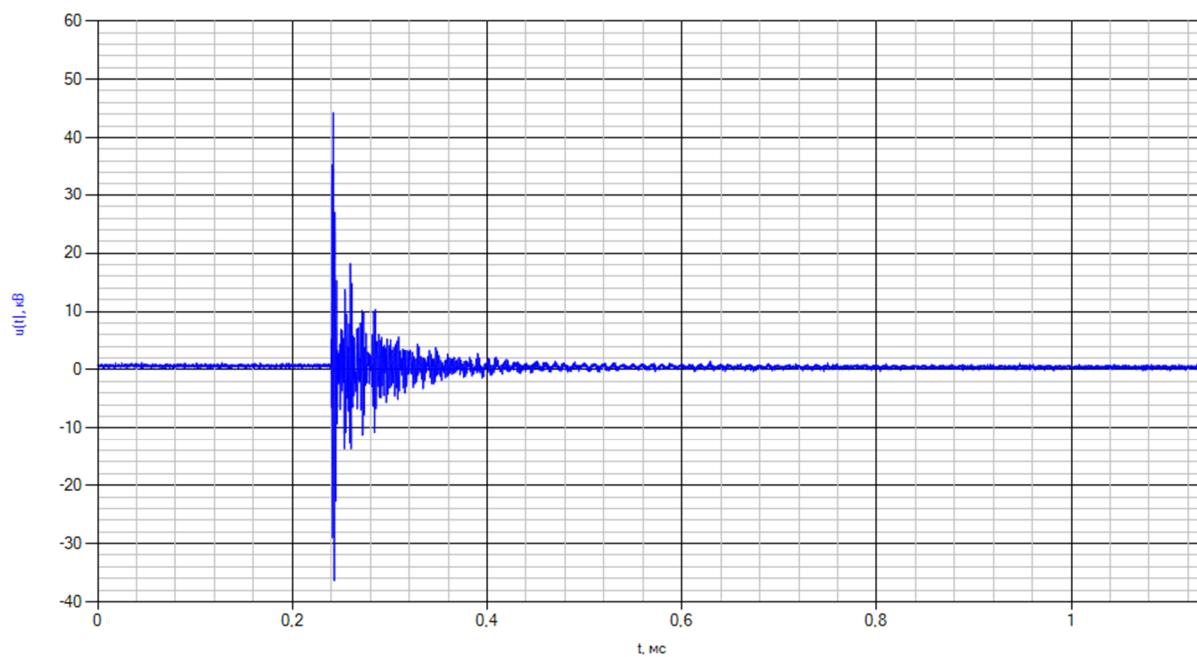


После установки RC-цепочек:

T1 нет

T2

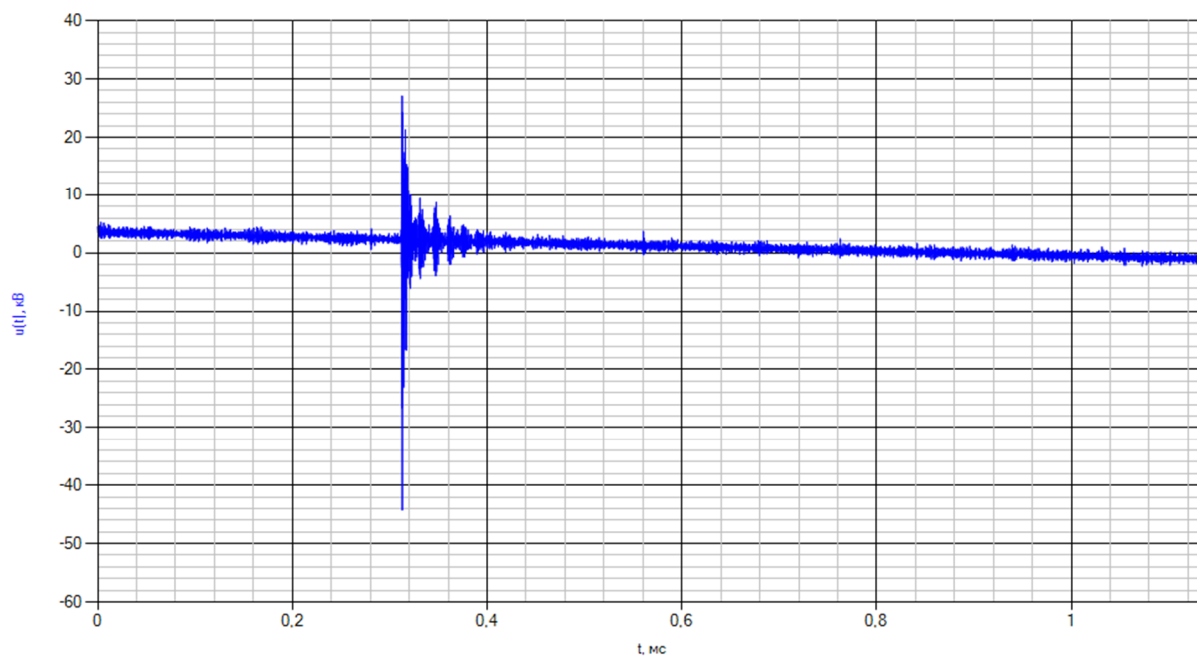
T2 Датчик напряжения ф.С 15,75 кВ [16 сентября 2024 16:13.03]



T3 нет

T4

T4 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [16 сентября 2024 16:13.04]



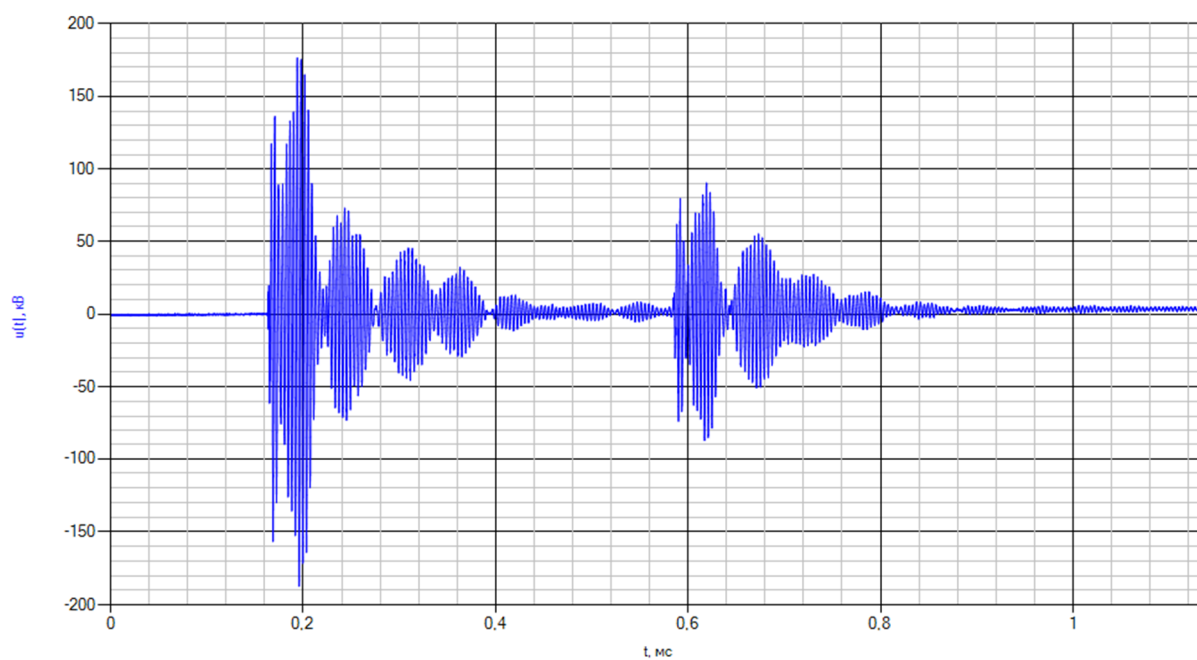
T5 нет

Включение/отключение реакторов РШ-542 - 06.07.

До установки RC-цепочек:

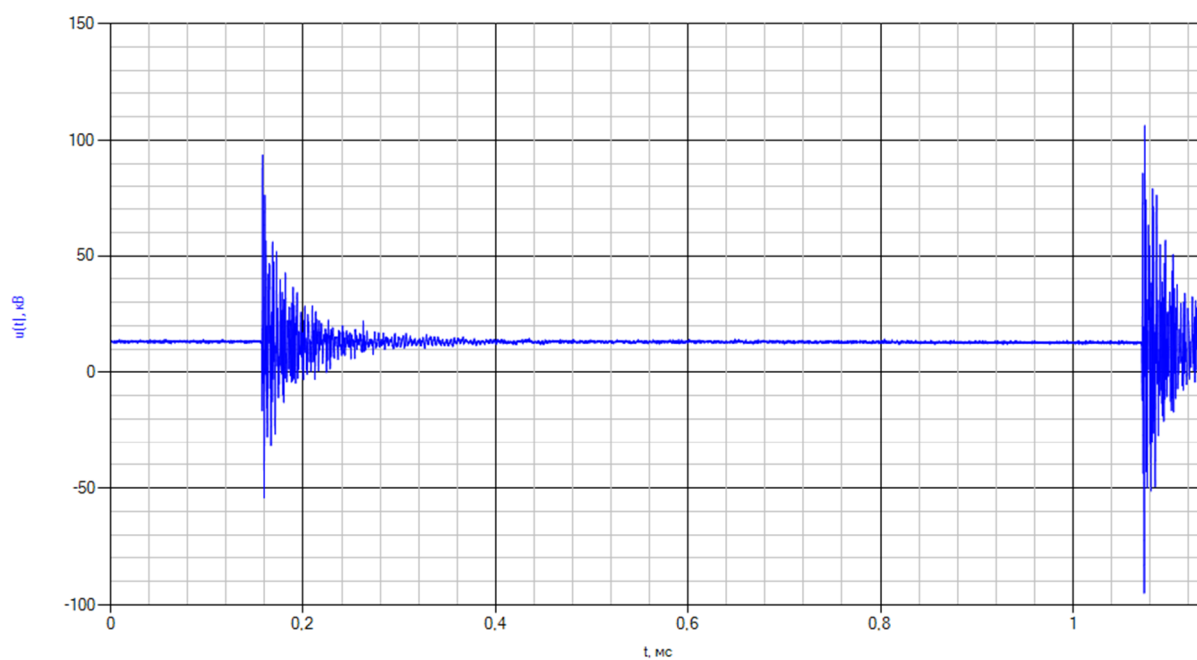
T1

T1 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [26 июня 2023 9:39.51]

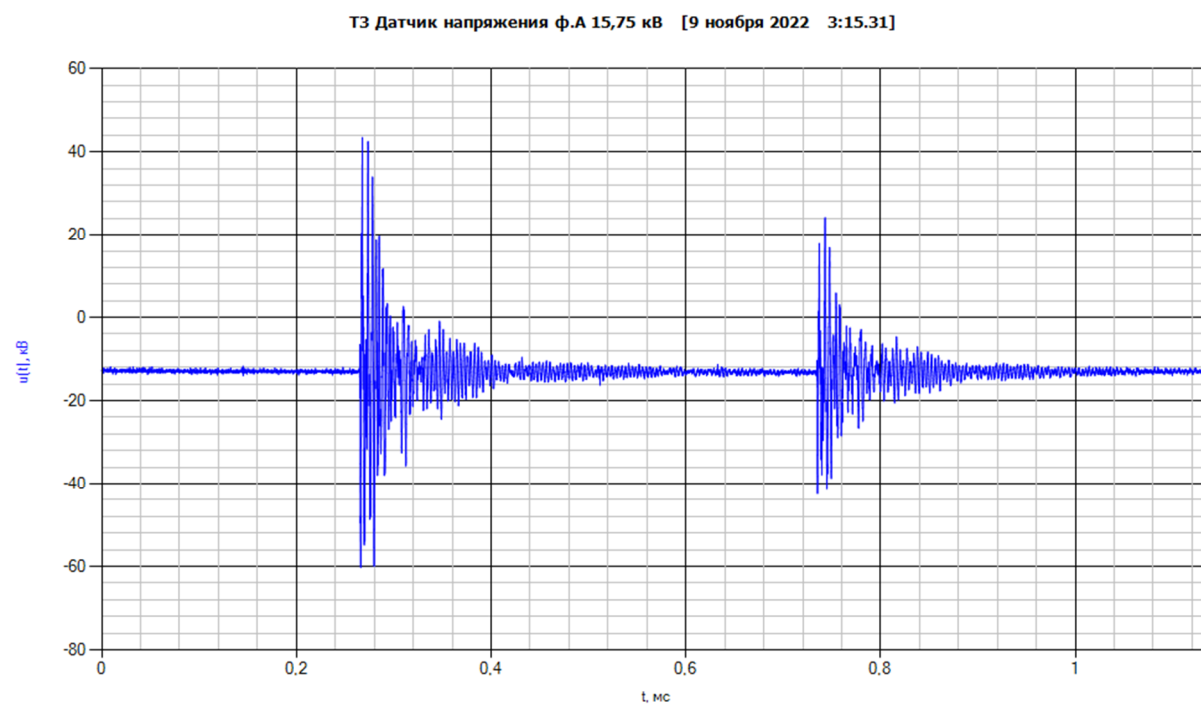


T2

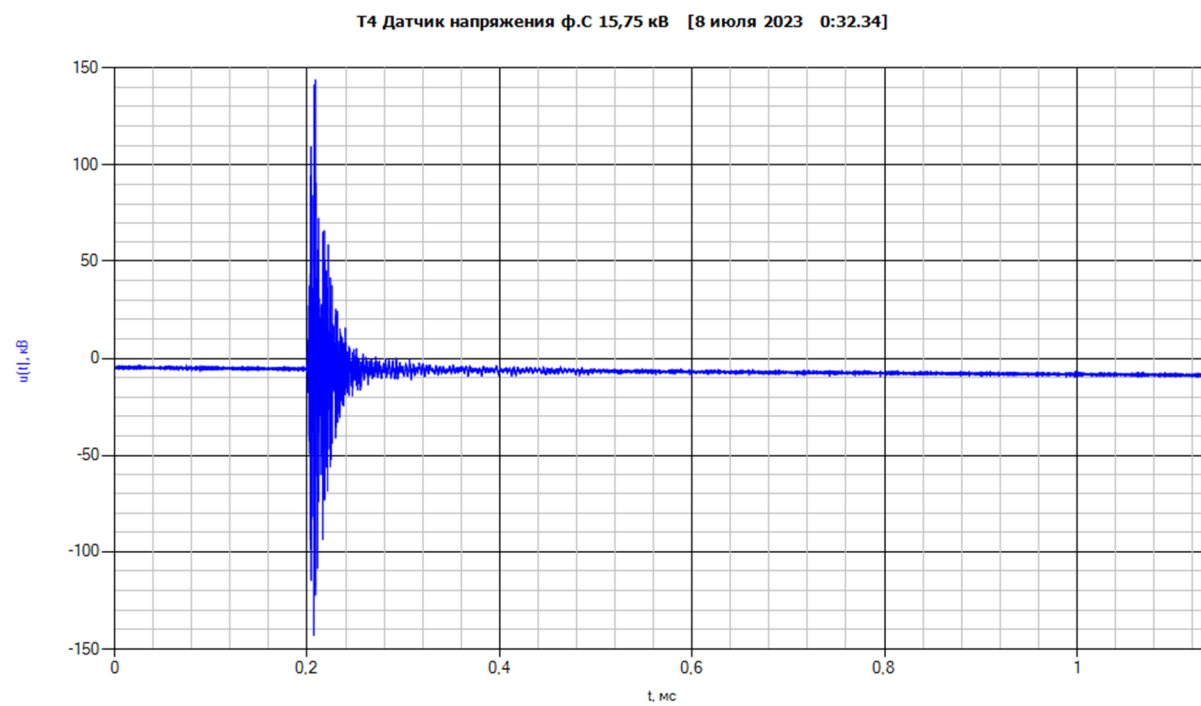
T2 Датчик напряжения ф.А 15,75 кВ [9 ноября 2022 7:16.27]



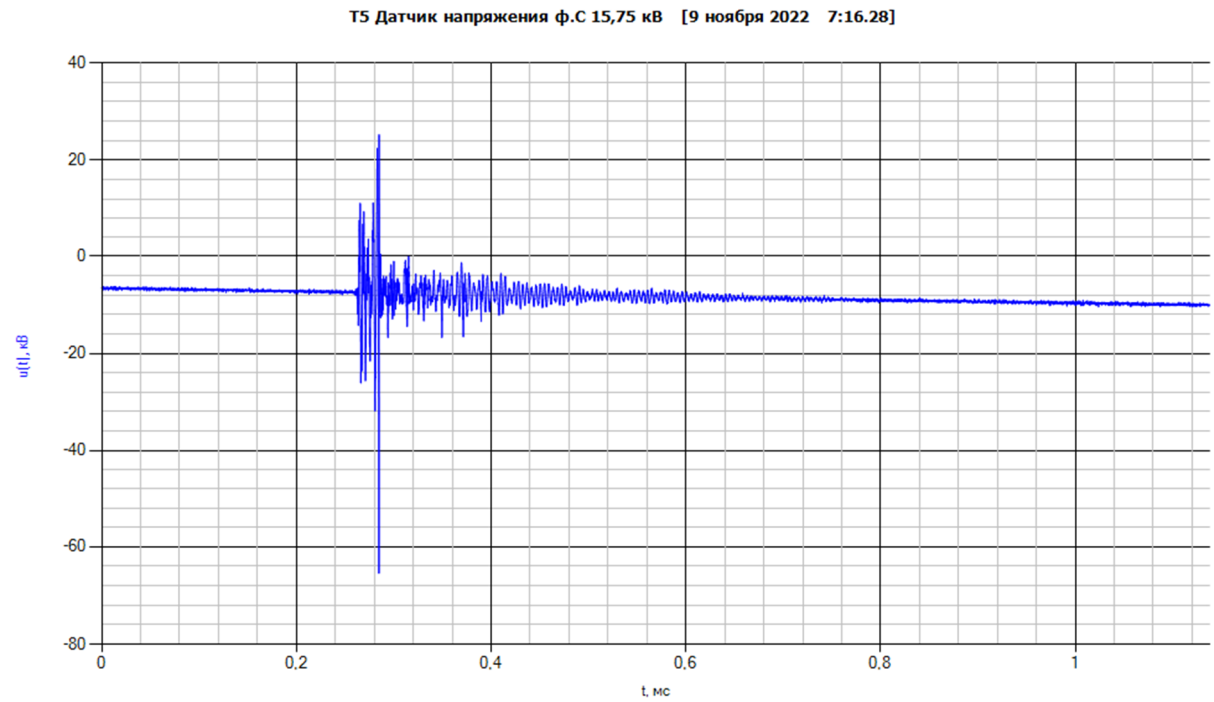
Т3



Т4



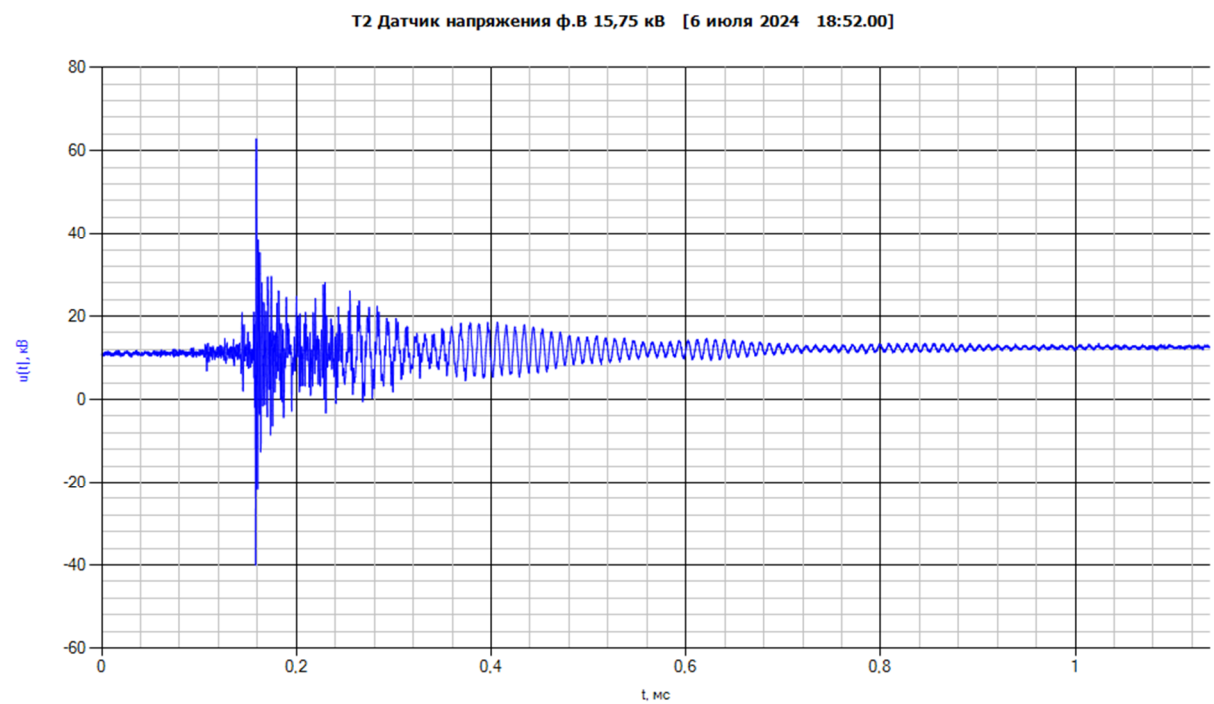
T5



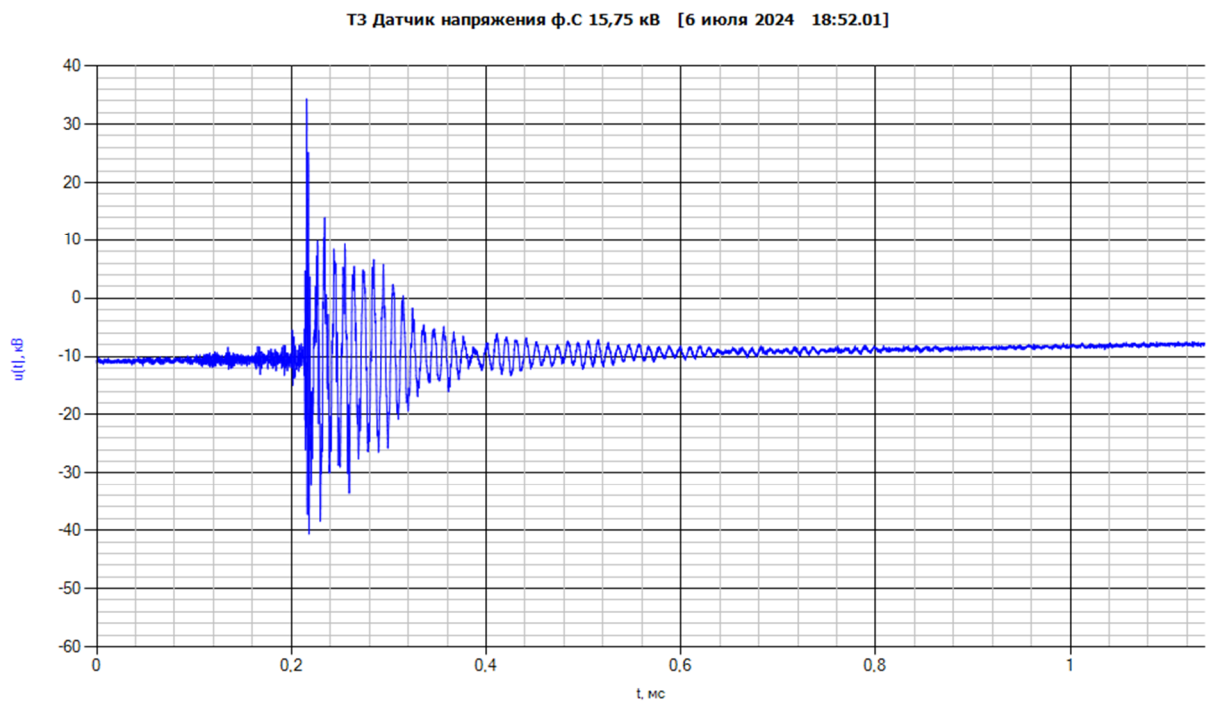
После установки RC-цепочек:

T1 нет

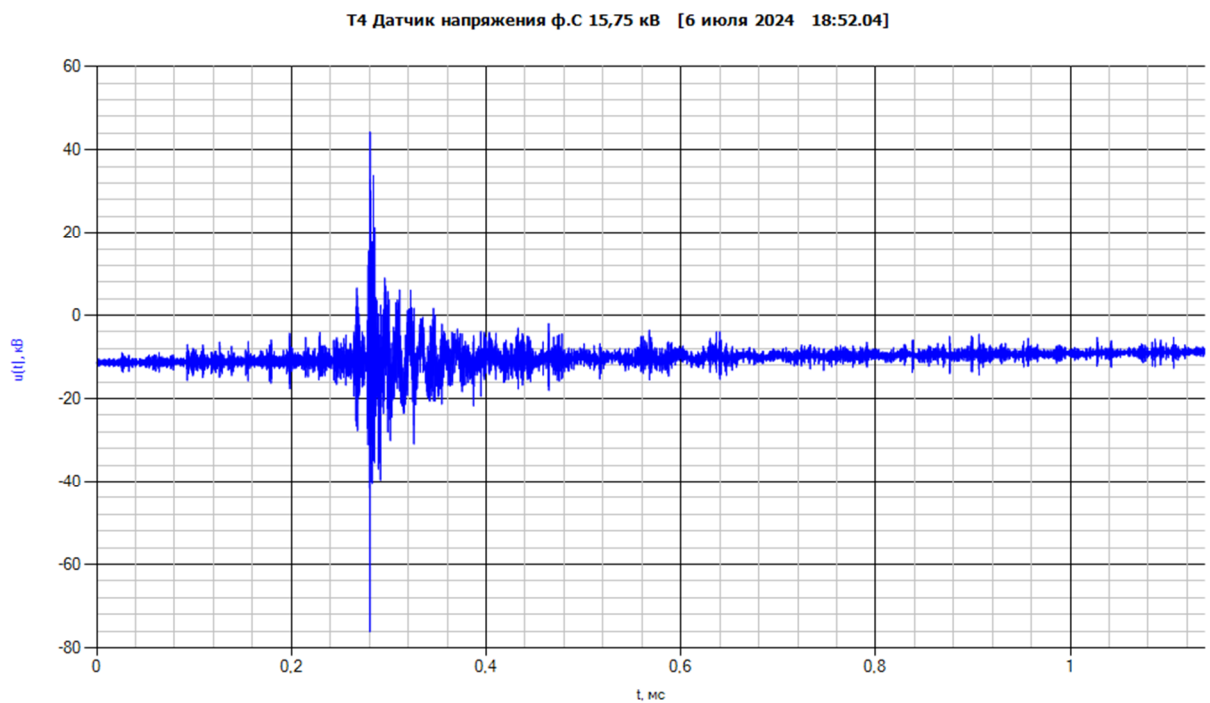
T2



T3



T4



T5 нет