

Экспериментальное исследование и моделирование подавления высокочастотных перенапряжений с помощью частотно- зависимого устройства

Ломан Валентин Алексеевич

К.т.н., с.н.с. НОЦ «ФМОЭБуТЭ»

Коробейников Сергей Миронович

Д.ф.-м.н., профессор, зав. каф. БТ

Ридель Александр Викторович

К.т.н., с.н.с. НОЦ «ФМОЭБуТЭ»

Лоскутов Виктор Александрович

М.н.с. НОЦ «ФМОЭБуТЭ»

Новосибирский
государственный
технический
Университет НЭТИ

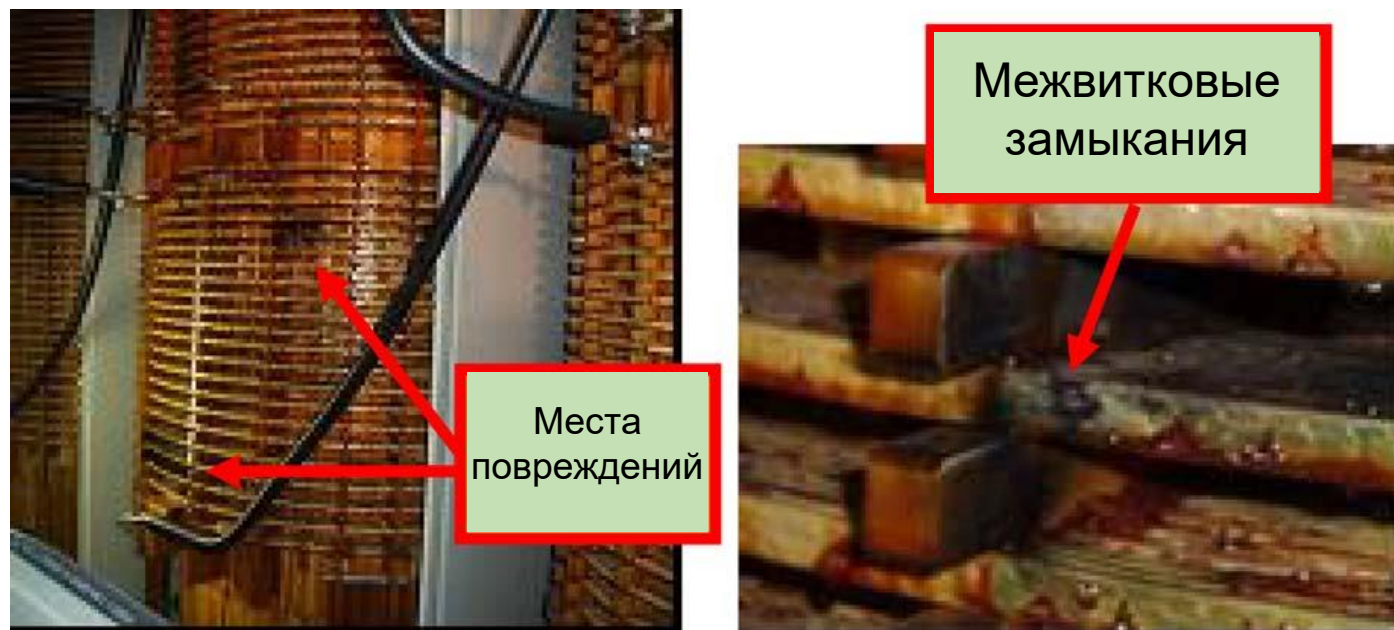
nstu.ru

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 23-79-01168

Актуальность работы

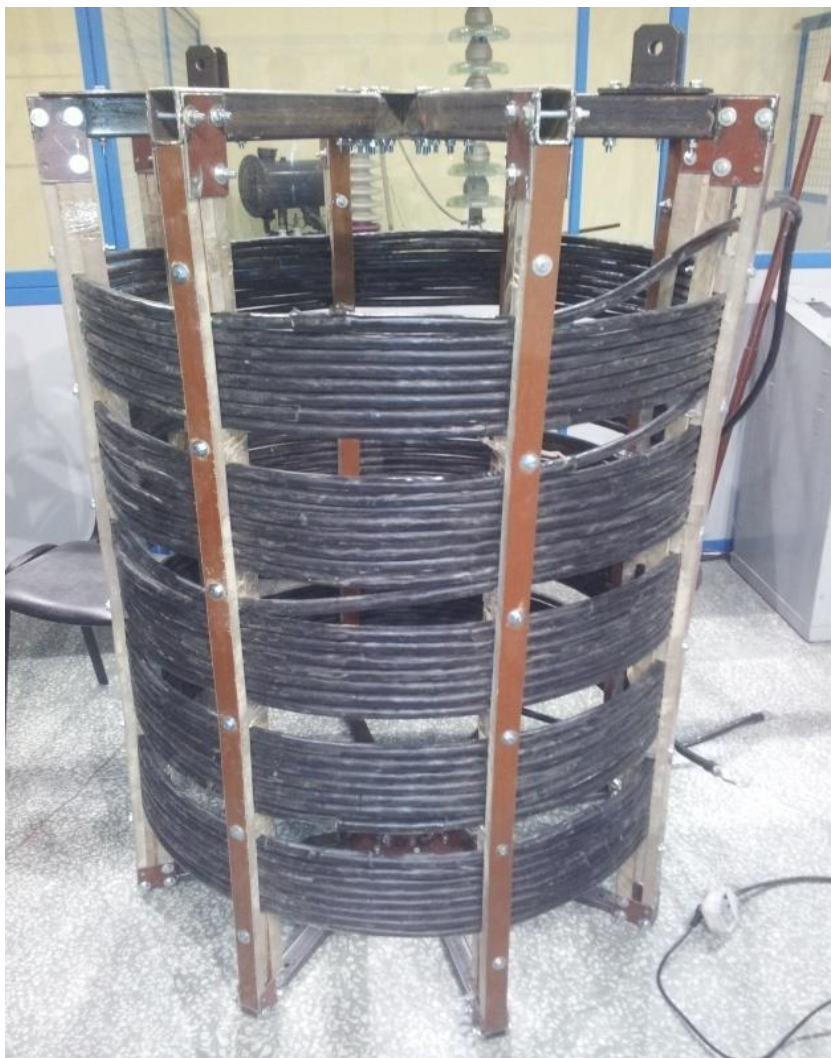
Существует проблема защиты трансформаторного и иного виткового оборудования от воздействия высокочастотных перенапряжений.

Опасность этих перенапряжений заключается в высокой крутизне возникающих импульсов, которые могут приводить к ускоренному старению обмоток трансформатора, межвитковым пробоям и выходу его из строя.



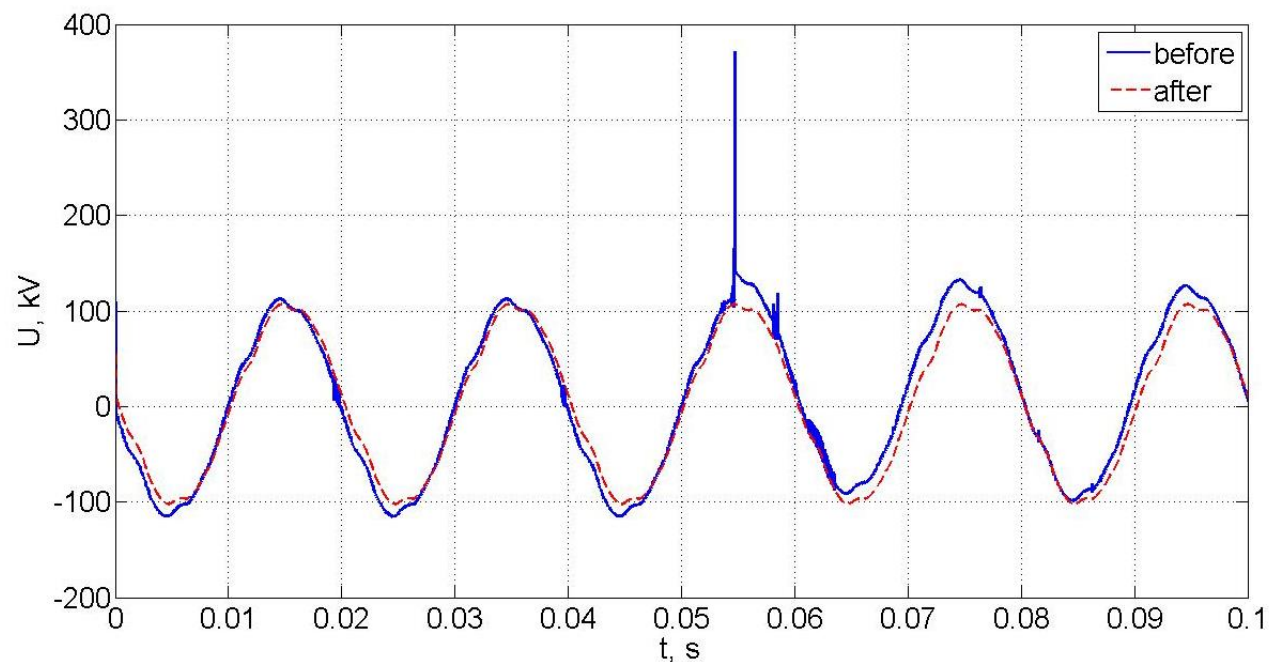
Выход трансформатора из строя*

Актуальность работы



Опытный образец ЧЗУ

Результаты работы опытных образцов ЧЗУ на подстанции «Сугмутская» 110 кВ 2017 г.



Синий график – сигнал на входе ЧЗУ
Красный график – на выходе

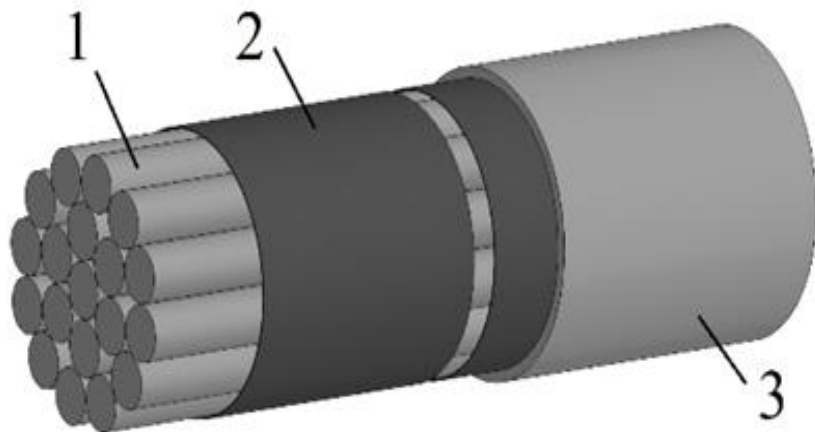
Цель работы

Разработка устройства защиты оборудования подстанций, воздушных линий и ветрогенераторов от высокочастотных перенапряжений

Задачи

- Сборка ЧЗУ с учётом опыта изготовления и эксплуатации прототипов ЧЗУ
- Проведение высоковольтных экспериментов с ЧЗУ для отработки схемы измерения
- Проведение высоковольтных экспериментов с разной формой набегающих импульсов
- Сборка макетов высокочастотных заградителей
- Проведение сравнения ЧЗУ с макетом ВЧЗ
- Сравнение полученных результатов с моделированием

Экспериментальные образцы



Строение проводника ЧЗУ
1 – токопроводящий материал
(алюминиевый проводник);
2 – ферромагнитная лента;
3 – диэлектрический материал (слой
термоусадочной трубки).



ЧЗУ



Катушка без
ферромагнитной ленты 5

Схема эксперимента с коротким импульсом

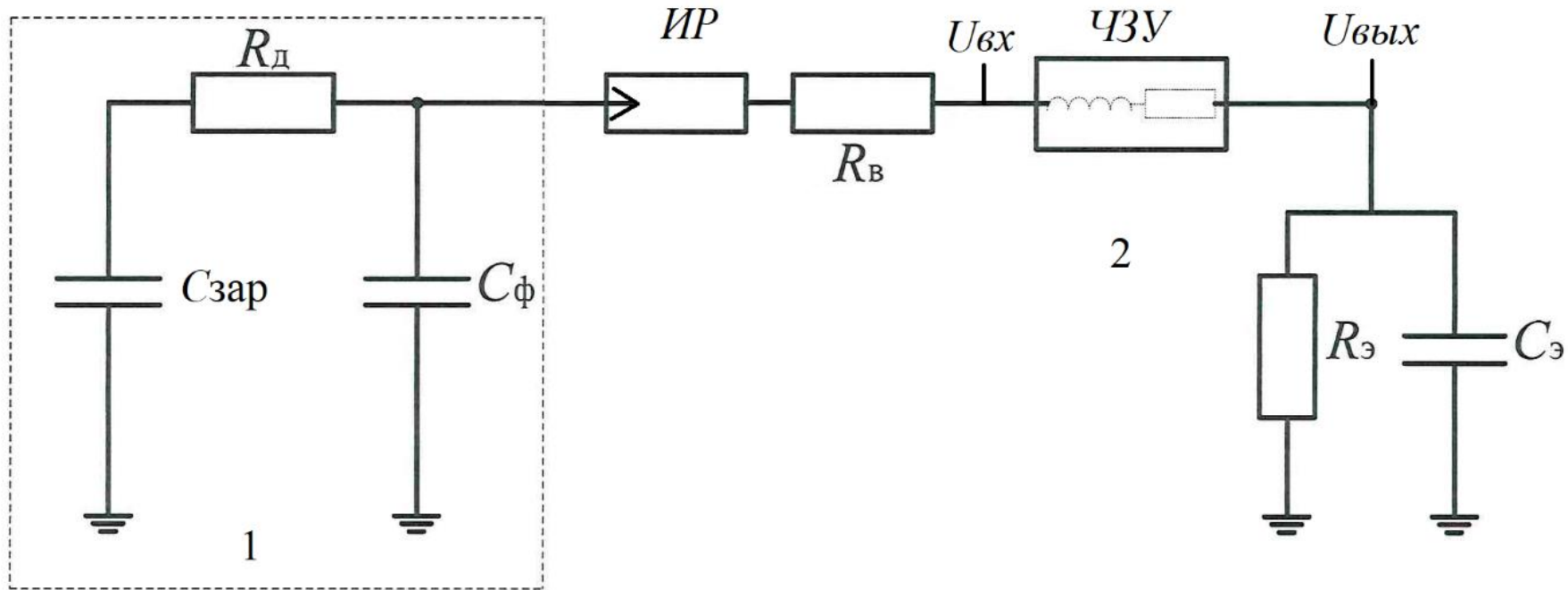


Схема формирования импульса

Измерительная схема

$C_{зар} = 1 \text{ мкФ}$ – заряжаемая ёмкость

R_d – демпферное сопротивление

$R_v = 530 \text{ Ом}$ – волновое сопротивление ВЛ

$R_{э} = 530 \text{ Ом}$ – эквивалентное волновое сопротивление отходящей ВЛ

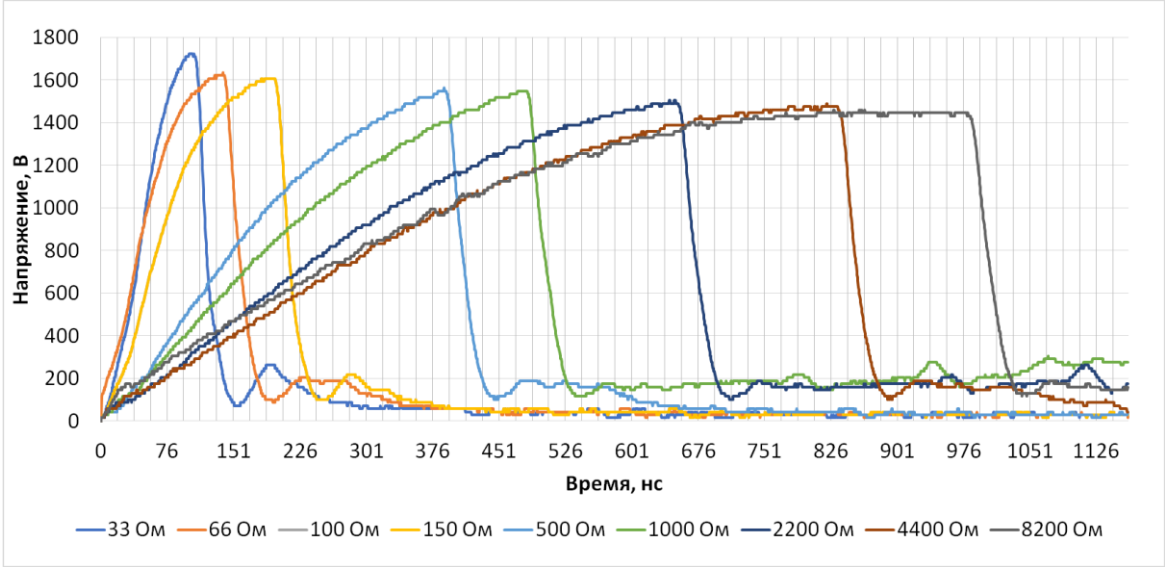
ЧЗУ – частотно-зависимое устройство

$C_{\phi} = 470 \text{ пФ}$ – демпферная ёмкость

ИР – искровой разрядник

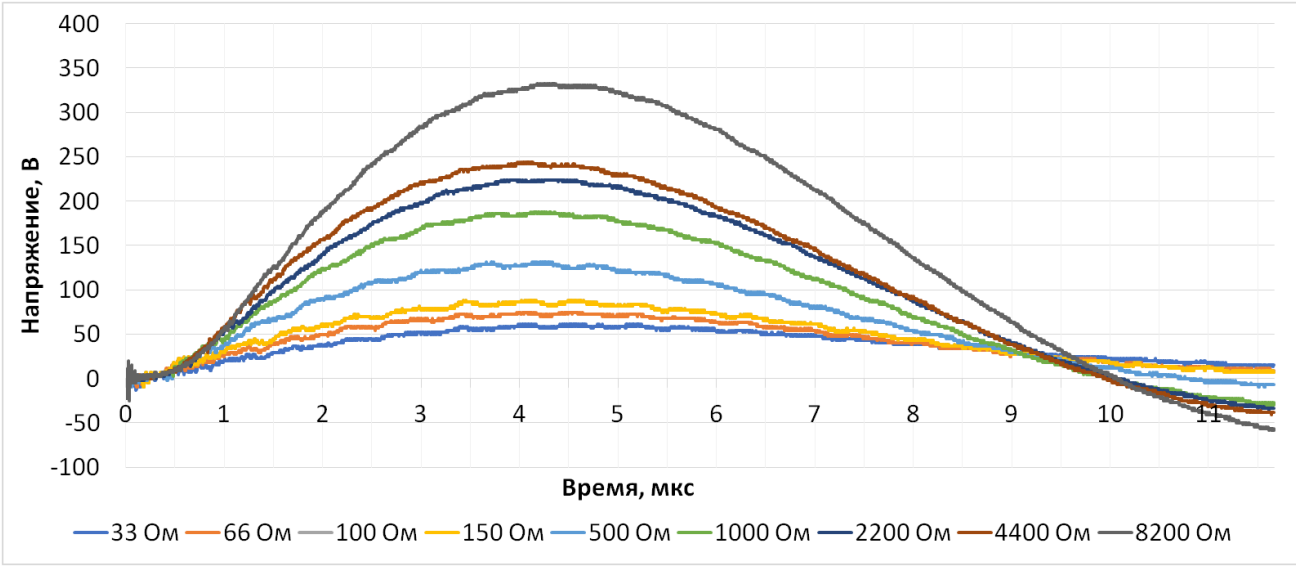
$C_{э} = 6,8 \text{ нФ}$ – эквивалентная входная ёмкость подстанции

Результаты с коротким импульсом



Импульс на входе в ЧЗУ

R _д , Ом	33	66	150	500	1000	2200	4400	8200
t _{фронт} , мкс	80	100	150	300	375	500	580	620
f, кГц	3125	2500	1667	833	667	500	431	403



Импульс на выходе в ЧЗУ

Схема эксперимента с изменением длительности заднего фронта

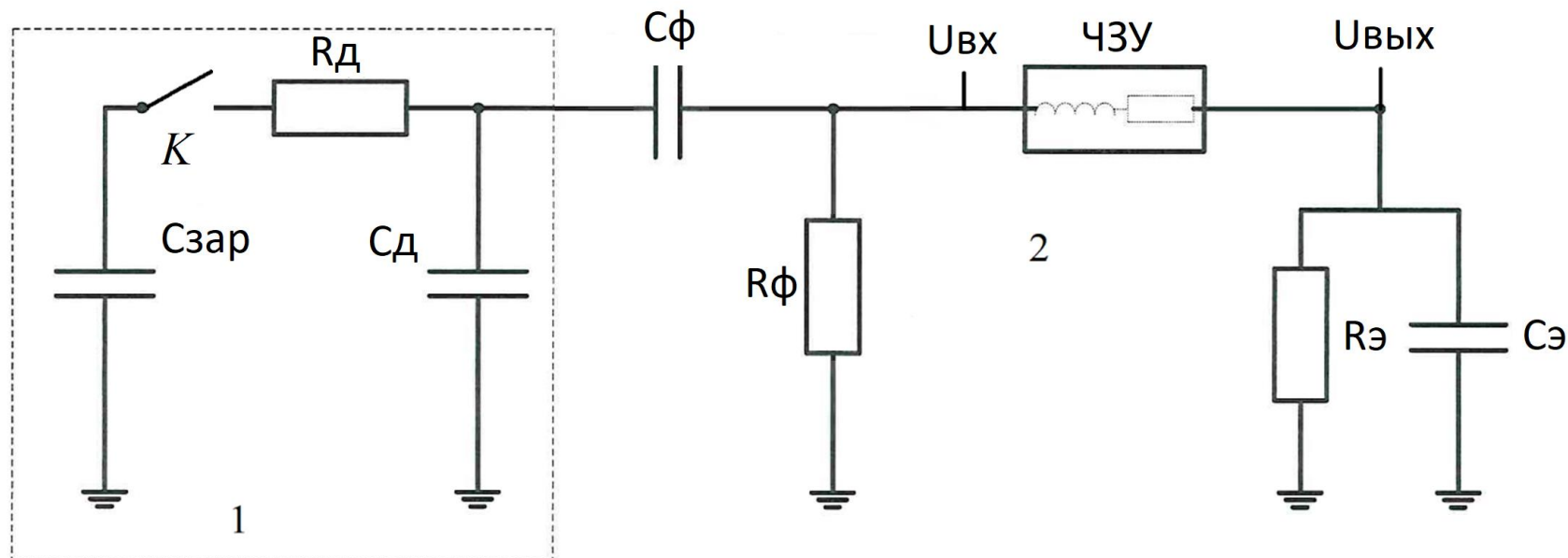


Схема формирования импульса

Измерительная схема

$C_{зар} = 1 \text{ мкФ}$ – заряжаемая ёмкость

$R_d = 10 \text{ Ом}$ демпферное сопротивление

C_d – демпферная ёмкость

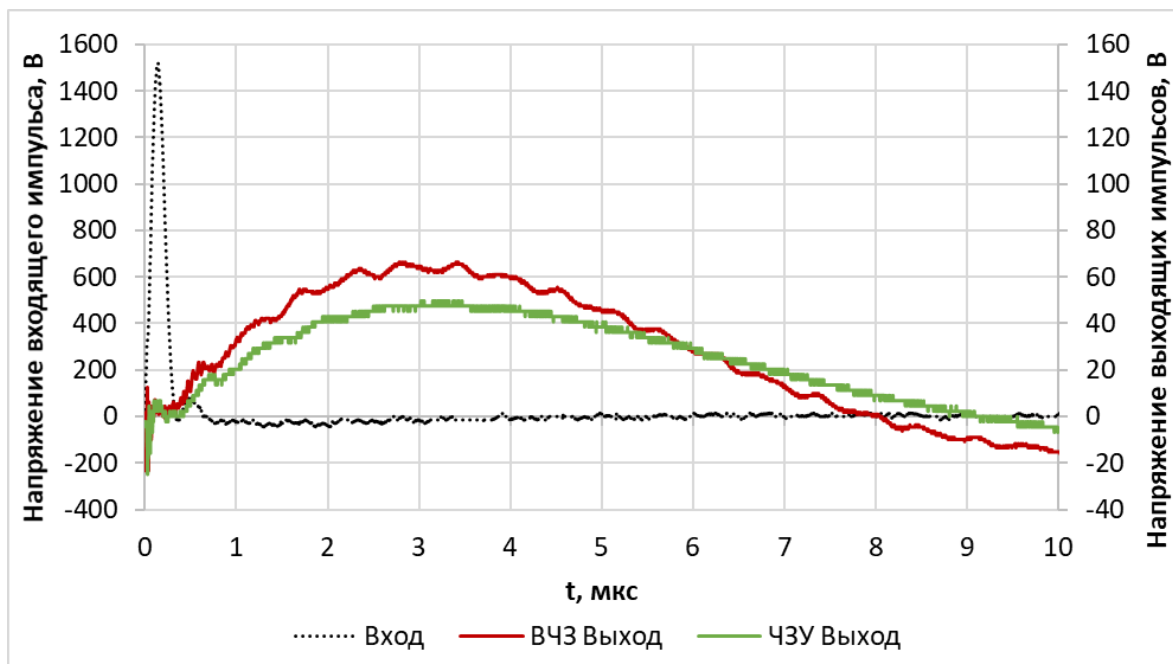
$R_{\text{э}} = 530 \text{ Ом}$ – эквивалентное волновое сопротивление отходящей ВЛ

ЧЗУ – частотно-зависимое устройство

C_f, R_f – элементы фильтра высоких частот

$C_{\text{э}} = 6,8 \text{ нФ}$ – эквивалентная входная ёмкость подстанции

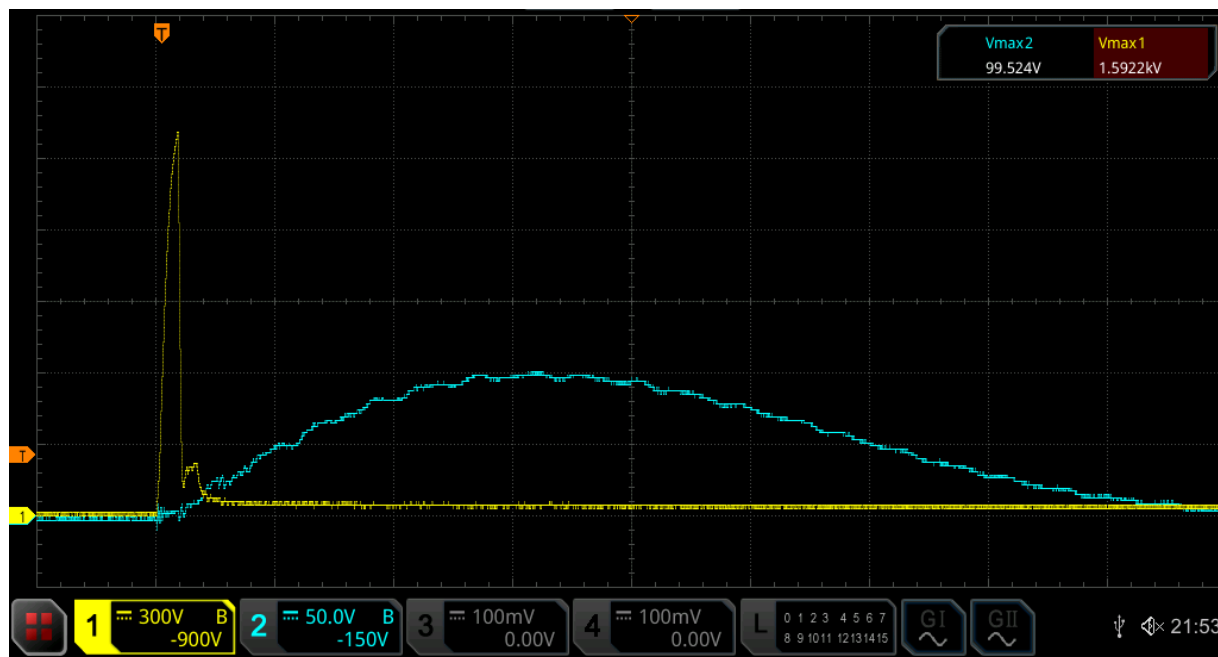
Полученные результаты



Входной импульс и выходные импульсы из ЧЗУ и макета ВЧЗ

	ЧЗУ	ВЧЗ	ЧЗУ	ВЧЗ
Сопротивление демпферное, Ом	10			
Емкость демпферная, нФ	4,7		10	
Частота падающего импульса, МГц	1,8		1,2	
Амплитуда входного импульса, В	1520			
Амплитуда выходного импульса, В	47	70	75	100
Отношение аплитуды Вх/Вых	32	22	20	15
Длительность фронта входного импульса, мкс	0,15		0,20	
Длительность фронта выходного импульса, мкс	2,60	2,75	2,70	2,70
Отношение длительности Вых/Вх	17	18	14	14
Крутизна импульса на входе, В/мкс	10133		7600	
Крутизна импульса на выходе, В/мкс	18	25	28	37
Отношение крутизны импульса Вх/Вых	560	400	270	200

Моделирование с помощью программы «IdealCircuit»



Входной и выходной импульс на ЧЗУ

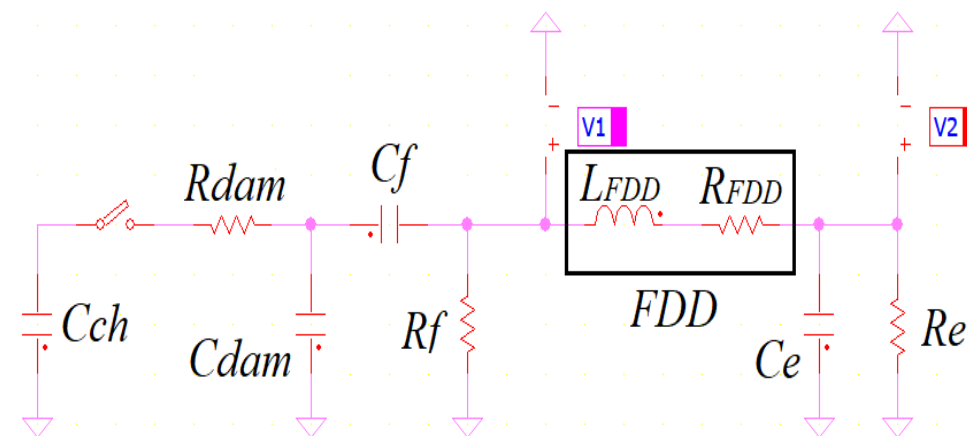
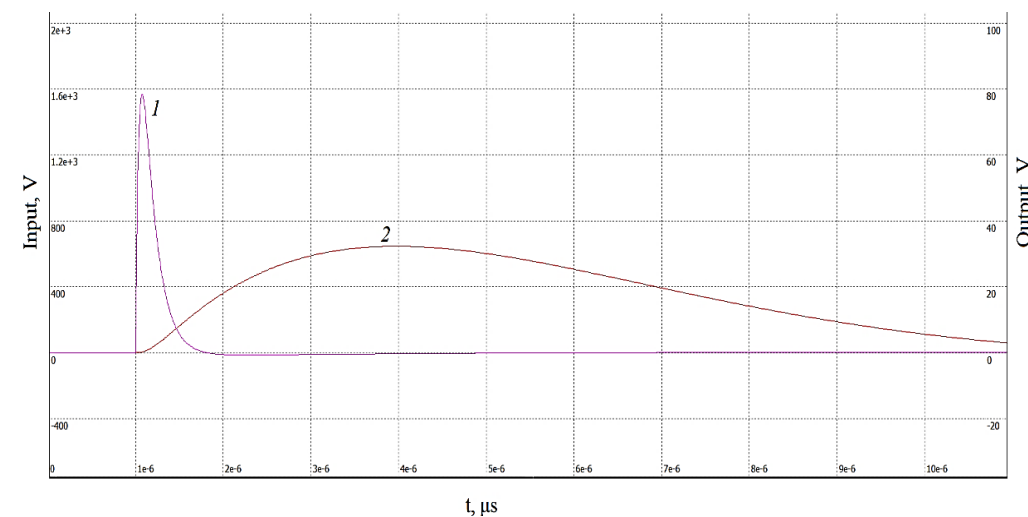


Схема моделирования



Входной и выходной импульс с имитацией ЧЗУ

Обсуждение и выводы

- Проведенные физические эксперименты показали, что предложенная схема измерения позволяет генерировать высокочастотные импульсы в диапазоне **до 2 МГц**. Применяв фильтр верхних частот, удалось получить импульс с крутыми передним и задним фронтами
- Использование **ЧЗУ снижает амплитуду на 25-30 % сильнее**, чем ВЧЗ. И снижает крутизну набегающего импульса на **30 %** больше чем ВЧЗ
- Полученные результаты подтверждаются моделированием (для частот 1,2 и 1,8 МГц)
- Моделирование позволило оценить **активное сопротивление ЧЗУ в 450-500 Ом** для частот около 1,2-1,8 МГц
- Проводятся эксперименты в более широком диапазоне набегающих сигналов от 10 кГц до 2 МГц
- Планируется оценка эффективности применения ЧЗУ совместно с другими средствами защиты от высокочастотных перенапряжений

Экспериментальное исследование и моделирование подавления высокочастотных перенапряжений с помощью частотно- зависимого устройства

Ломан Валентин Алексеевич

К.т.н., с.н.с. НОЦ «ФМОЭБуТЭ»

Коробейников Сергей Миронович

Д.ф.-м.н., профессор, зав. каф. БТ

Ридель Александр Викторович

К.т.н., с.н.с. НОЦ «ФМОЭБуТЭ»

Лоскутов Виктор Александрович

М.н.с. НОЦ «ФМОЭБуТЭ»

Новосибирский
государственный
технический
Университет НЭТИ

nstu.ru

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 23-79-01168