



Russian
Engineering
Technologies

Испытания высоковольтного оборудования 110-500 кВ на объекте перед вводом в эксплуатацию



ООО «Русские Инженерные Технологии» 2013

ИСПЫТАНИЯ НЕОБХОДИМЫ

Высоковольтное оборудование испытывается на заводе, однако существуют следующие причины для «полевых» испытаний:



- Повреждения оборудования при перевозке
- Недостатки монтажа/ремонта
- Требование отраслевых стандартов
- Требование производителей



ИСПЫТАНИЯ СЛОЖНЫ

В интересах заказчика произвести максимально возможный объем испытаний оборудования перед вводом в эксплуатацию, однако имеются следующие ограничения:



- Необходим независимый источник напряжения с заданными параметрами
- Громоздкость испытательного оборудования
- Проблема подключения к объектам испытаний
- Условия проведения испытаний
- Стоимость и сложность испытаний
- Изменяющиеся и противоречивые стандарты
- Требования производителей оборудования



ОБЪЕКТЫ ИСПЫТАНИЙ

ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



Кабельные
линии



Трансформаторы



КРУЭ



Прочее
оборудование



СУЩЕСТВУЮЩАЯ ПРАКТИКА

Производители КРУЭ (Siemens, ABB, Alstom) обладают собственной методикой испытаний на основе IEC 60694, 62271-203, и 60060-3, например для КРУЭ 220 кВ:

- 15 минут 170 кВ
- 3 минуты 250 кВ
- 1 минута 360 кВ



Для этого используются передвижные испытательные установки переменной частоты и специальные переходники для подключения к КРУЭ



СУЩЕСТВУЮЩАЯ ПРАКТИКА

- Испытания на объекте в соответствии со сложившейся практикой производятся рабочим напряжением 72 часа для трансформаторов и 24 часа для кабельных линий, после чего объект считается принятым в эксплуатацию
- Нередко для ремонта оборудование отправляется на завод, чтобы затем повторить цикл заводских испытаний
- В РД, ГОСТ, экс описываются возможные способы испытаний трансформаторов на объекте, в том числе после ремонта. Основная проблема – наличие источника повышенного напряжения требуемой частоты.



ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Проведение испытаний на объекте позволяет:

- Безопасно вводить новое оборудование в эксплуатацию
- Выявлять скрытые дефекты
- Вводить оборудование в строй после ремонта на объекте

Для этого используются следующие основные тесты:

- Испытание приложенным напряжением
- Испытание индуктированным напряжением / измерение потерь холостого хода / Измерение ЧР
- Измерение сопротивления КЗ
- Измерение тангенса угла диэлектрических потерь
- Испытание РПН под нагрузкой/без нагрузки



ЗАВОДСКИЕ ТЕСТЫ СОГЛАСНО IEC 60076

Испытания трансформаторов

В режиме малой мощности

Сопротивление КЗ

Коэффициент трансформации

Сопротивление изоляции

Диэлектрические измерения

Испытание приложенным напряжением

Импульсные испытания

Испытание индуктированным напряжением

Измерения параметров качества

Потери при холостом ходе

Потери под нагрузкой

Измерение частичных разрядов (ЧР)

Испытание на нагрев



ЗАВОДСКИЕ ТЕСТЫ СОГЛАСНО IEC 60076

Тест	IEC
Тестирование приложенным напряжением	60076-3, ст. 11
Тестирование напряжением грозового импульса	60076-3, ст. 13-15
Испытание индуктированным напряжением	60076-3, ст. 12
Испытание на нагрев (температурный тест)	60076-2, ст. 5
Измерение сопротивления обмоток	60076-1, ст. 10.2
Измерение коэффициента трансформации и смещения фаз	60076-1, ст. 10.3
Измерение сопротивления, тока и потерь при коротком замыкании и под нагрузкой	60076-1, ст. 10.4
Измерение тока, сопротивления и потерь холостого хода	60076-1, ст. 10.5
Измерение гармоник тока холостого хода	60076-1, ст. 10.6
Измерение импеданса нулевой последовательности	60076-1, ст. 10.7
Испытание РПН под нагрузкой	60076-1, ст. 10.8
Измерение ЧР	60076-11

Прочие стандарты: ГОСТ 52719-2007 / ГОСТ 1516 / ГОСТ 3484.1-88 / ГОСТ 30830



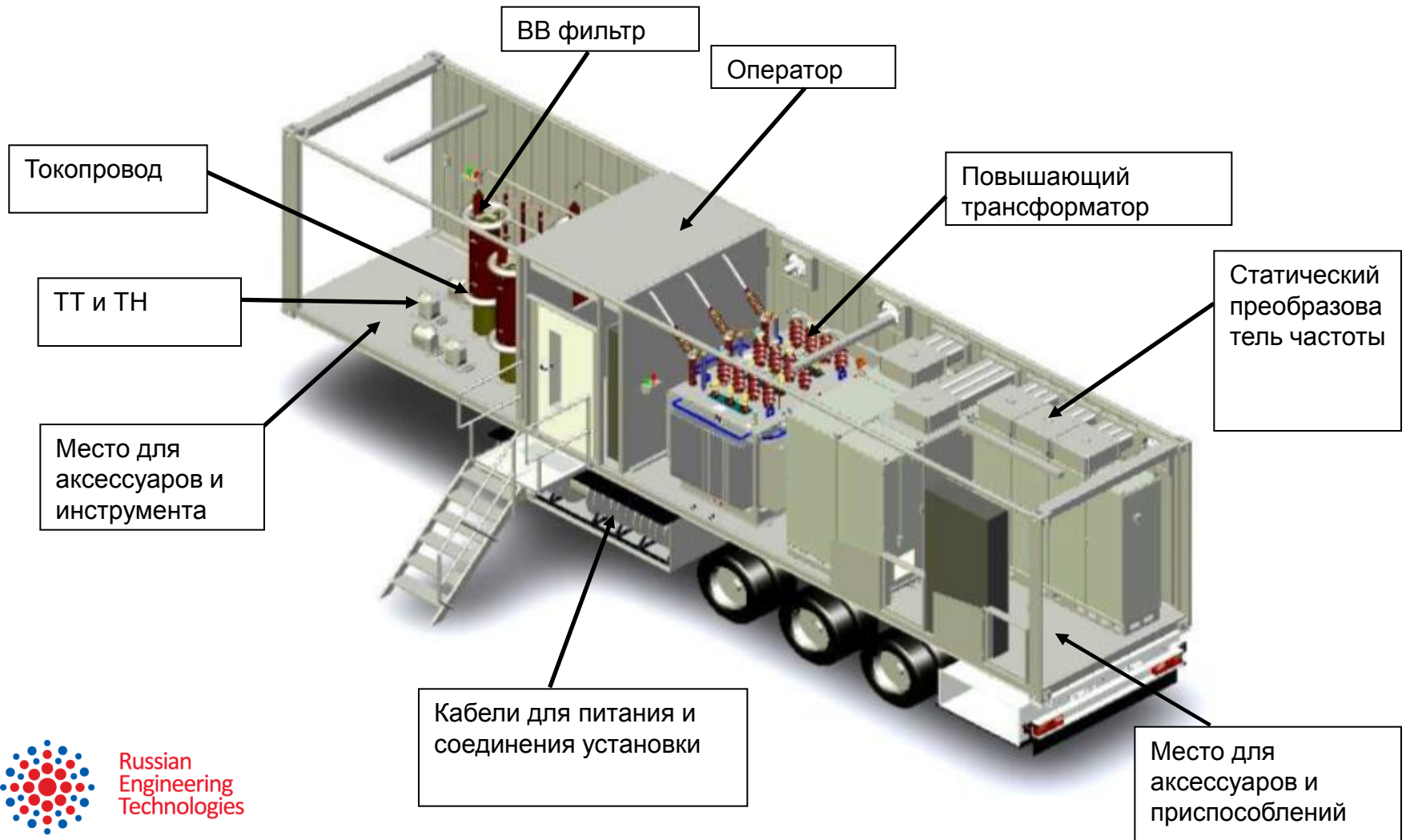
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОБЪЕКТЕ



1. Универсальность: испытываются трансформаторы 110 кВ-500 кВ
2. Время подготовки установки - менее 6 часов
3. Время, требуемое для проведения диагностики ~ 24 часа
4. В качестве источника питания переменного тока используются статические преобразователи (CFI) с регулируемым выходным напряжением и частотой.



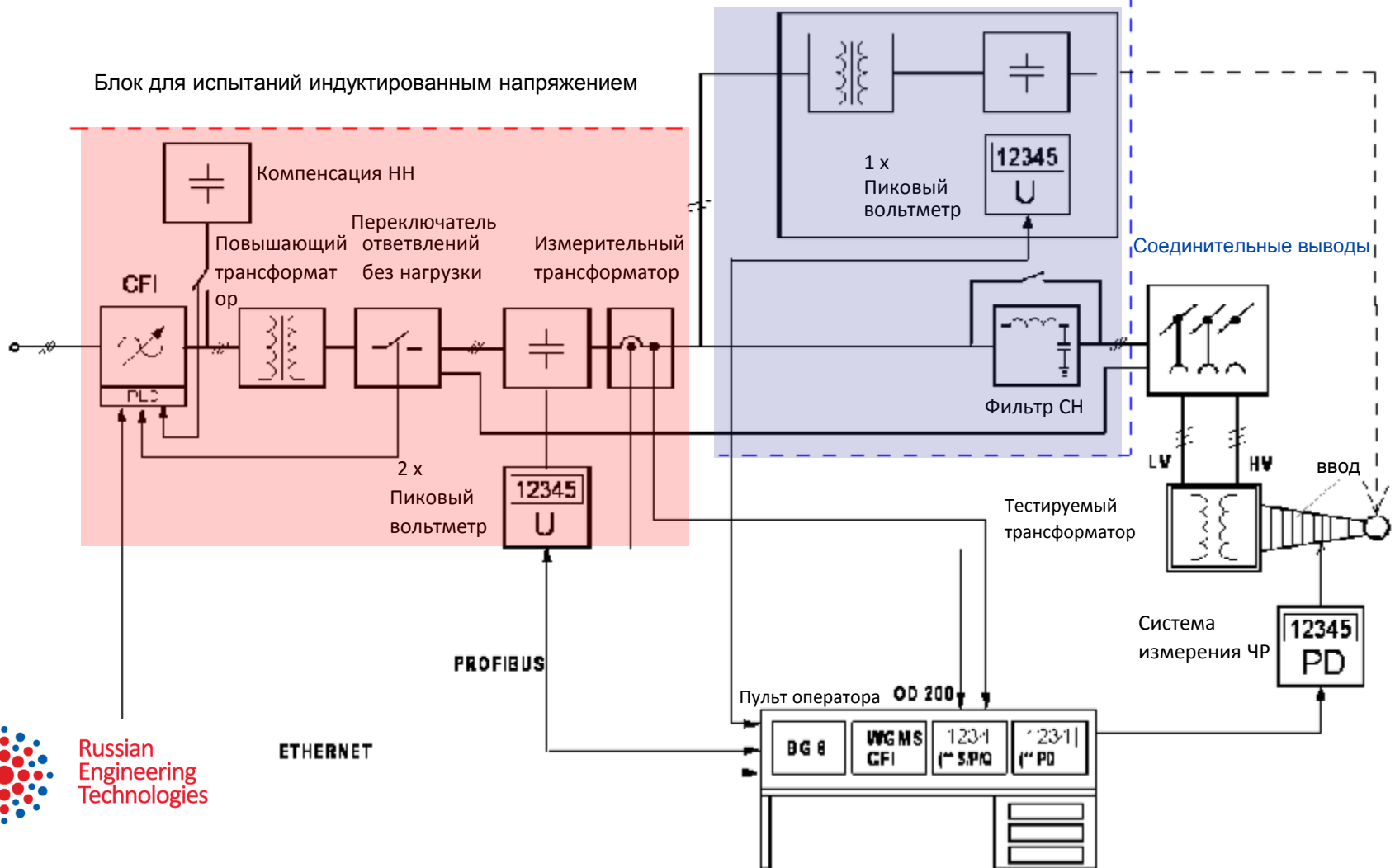
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОБЪЕКТЕ



КОМПЛЕКС ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Блок для испытаний приложенным напряжением

Блок для испытаний индуктированным напряжением



ПРИМЕР ИСПЫТАНИЙ



- Испытание мощных трансформаторов требует параллельного подключения испытательных установок
- Возможно одновременное использование до 3-х систем

▪ Компании SMIT + RWE испытывают 1.1 ГВА трансформатор на атомной станции в Гундреммингене (Бавария, Германия) : Испытание индуктированным напряжением, включая измерение потерь холостого хода и измерение ЧР



РАЗЛИЧНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ

- Испытательные установки для трансформаторов (тип WV, max 80 kV, 40-200 Гц)
- Испытательные установки с различной частотой (тип WRV M, 40-200 Гц)

Испытание	Объект испытаний при 2 x WV 620-1000/80	Объект испытаний при 3 x WV 620-1000/80
Индуктиров. Напряжением	До 1000 МВА	До 1500 МВА
Потери холостого хода	до 700 МВА (до 1000 МВА при гармонич. искажениями > 5%)	до 1100 МВА (до 1500 МВА при гармонич. искажениями > 5%)
Потери под нагрузкой* / сопротивление КЗ*	до 60 МВА	до 90 МВА
Температурный тест*	до 14 MVA	до 21 МВА
Испытание РПН		
Под нагрузкой*	до 14 MVA	до 21 МВА
Без нагрузки	до 700 MVA	до 1100 МВА
Испытание приложенным напряжением	до 46 кВ	до 46 кВ

* Без блока компенсации реактивной мощности (до 12 Мвар)



ПРИМЕР ОБЪЕКТА ИСПЫТАНИЙ



Трансформатор атомной станции мощностью 1.1 ГВА с экранированными вводами



Подключение к трансформатору с низкой стороны



ИСПЫТАНИЯ НА ОБЪЕКТЕ



ПРИМЕР ИСПЫТАНИЙ



- Компенсация реактивной мощности с использованием стационарной конденсаторной батареи
- Возможно мобильное исполнение батареи на трейлере или в 20 фт. контейнерах

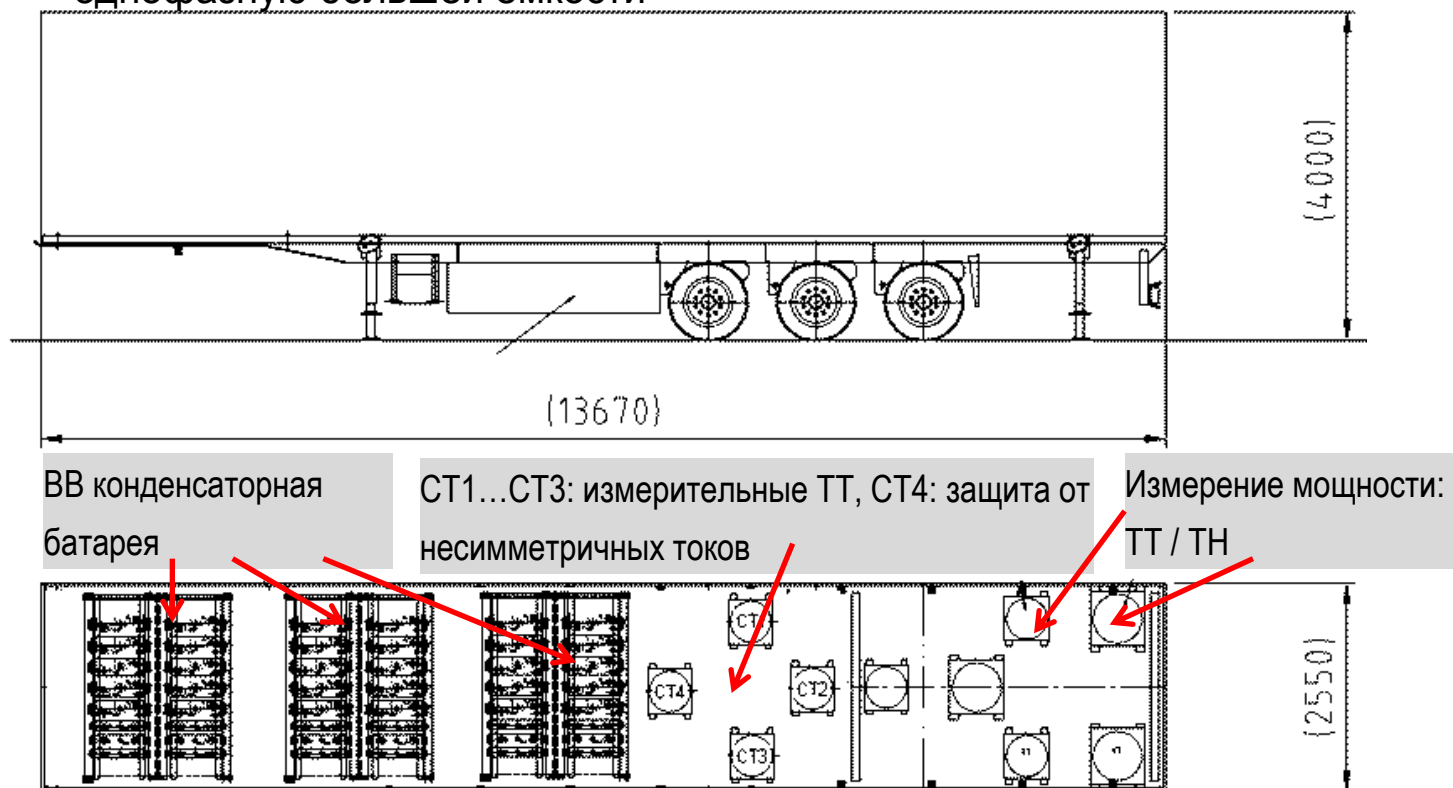
Компенсация реактивной мощности необходима при следующих испытаниях:

- Сопротивление КЗ
- Измерение потерь холостого хода
- Испытание РПН под нагрузкой



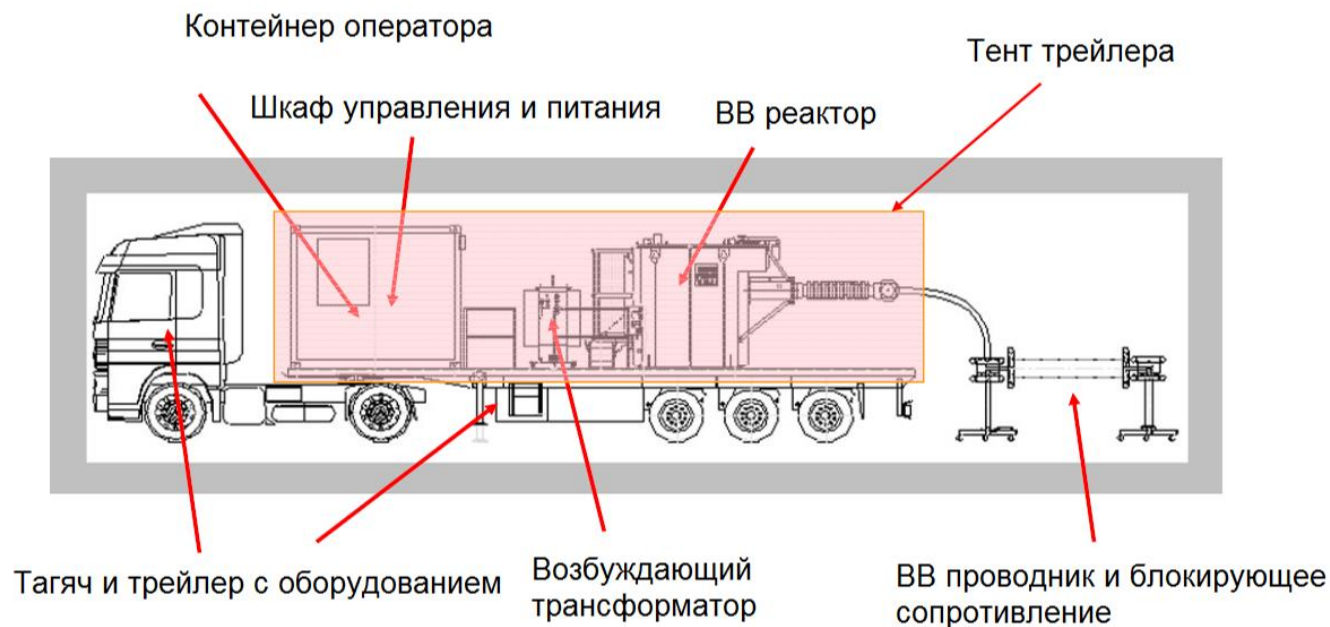
СХЕМА ПЕРЕДВИЖНОЙ КОНДЕНСАТОРНОЙ БАТАРЕИ

Трехфазная конденсаторная батарея может быть переконфигурирована в однофазную большей емкости



УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ КАБЕЛЯ

Передвижные испытательные системы HIGHVOLT монтируются на шасси по выбору заказчика и изначально сконструированы для непростых дорожных условий.



ИСПЫТАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

- С 1 июля 2012 введен в действие национальный стандарт ГОСТ Р МЭК 62067-2011
- Однако стандарт также позволяет испытывать кабель под рабочим напряжением в течение 24 часов

U_{ном} кВ	U_о кВ	U_{исп} кВ
220	127	180
330	190	250
500	290	320



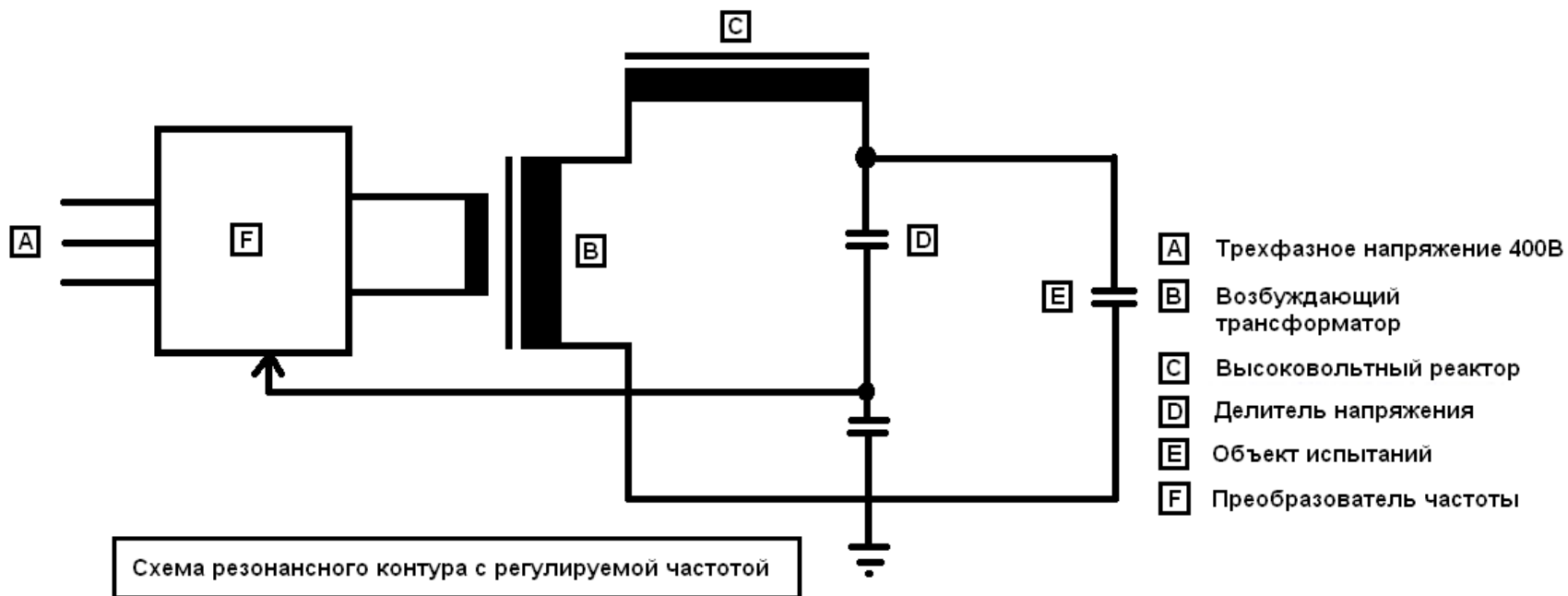
ИСПЫТАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

НЕДОСТАТКИ ИСПЫТАНИЯ КАБЕЛЯ РАБОЧИМ НАПРЯЖЕНИЕМ:

- Подключение неизвестного объекта в сеть – большой риск.
- Дефектные элементы разрушаются и повреждают соседние участки
- Скачки нагрузки нередко приводят к повреждению других элементов энергосистемы
- Процедура включения сложна в согласовании, зависит от текущей нагрузки и требует физического подключения к системе.
- Испытание под рабочим напряжением не позволяет оценить запас электрической прочности



ПРИНЦИП РАБОТЫ



Система автоматически подбирает резонансную частоту в соответствии с емкостью объекта и испытательным напряжением



КОНСТРУКЦИЯ



ОПЫТ

- Лыково – ПП: 3 км, 220 кВ
- Очаково – Лыково: 10,4 км, 220 кВ
- Нововнуково – ПП: 3 км, 220 кВ
- Очаково – Нововнуково: 10,4 км , 220 кВ
- Подушкино – ПП: 3 км , 220 кВ
- Западная - ПП: 3 км, 500 кВ
- Очаково – Западная: 10,4 км, 500 кВ
- Дорохово – Слобода 1и2: 3,5 км, 220 кВ, через 75 км воздушной линии



ПРИМЕР ИСПЫТАНИЙ ЛИНИИ 500 КВ



Очаково – Западная: 10,4 км, 500 кВ, исп. Напряжение 320 кВ



ИСПЫТАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ

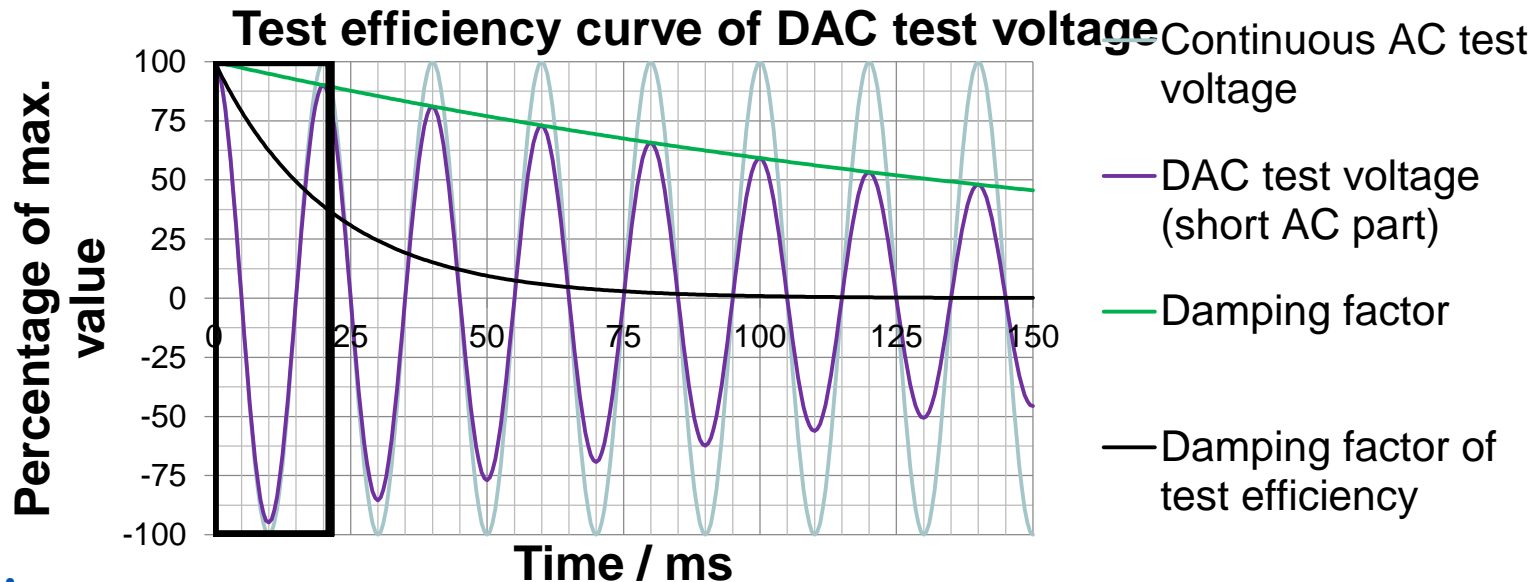
- Испытание КЛ напряжением переменной частоты – часть МЭК и ГОСТ, 20-300 Гц
- Более 100 передвижных систем работает по всему миру с 1998г
- Более 20,000 испытаний произведено за это время
- Опыт эксплуатации систем в России – 2 года



АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ КАБЕЛЯ (DAC)

ПРОБЛЕМЫ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА

- Каждый цикл эквивалентен примерно 20 мс напряжению переменной частоты, 50 циклов эквивалентны 1с испытаний
- 180 000 циклов необходимы, чтобы достичь 1ч испытаний AC
- Итоговое время испытаний – от 20 дней до нескольких месяцев
- Для кабеля от 110 кВ не принят стандартом IEC



ВАШИ ВОПРОСЫ И КОММЕНТАРИИ

ВОПРОСЫ, РАССМОТРЕННЫЕ НА ДОКЛАДЕ

- Необходимость «полевых» испытаний оборудования
- Типы испытаний, проводимых на объекте
- Существующая практика высоковольтных испытаний
- Особенности проведения различных типов испытаний

