

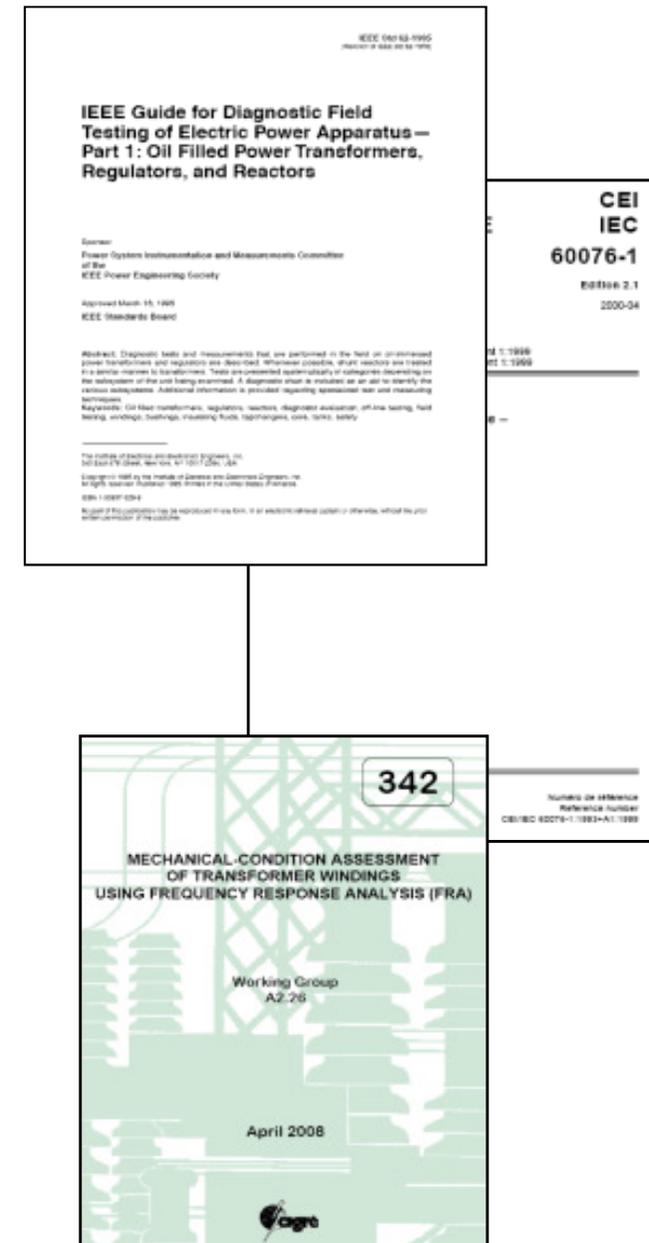
# Электротехническая лаборатория для оценки состояния силовых трансформаторов





# Регламентирующие документы

- CIGRE
  - CIGRE Brochure 342 (SFRA-FRAX)
  - CIGRE Brochure 414 (DFR-IDAX)
  - CIGRE Brochure 445 (Guide for Transformer Maintenance)
- IEC, TC 14
  - IEC 60076-1, Power Transformers
  - IEC 60076-2, Temperature rise
  - IEC 60076-3, Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
  - IEC 60076-18, Measurement of frequency response (SFRA)
- ANSI, IEEE Transformer Committee
  - IEEE C57.152 (former IEEE 62-1995)
  - IEEE C57.12.00-2006 (under revision)
  - IEEE C57.12.90-2006 (under revision)
  - IEEE PC57.149 (SFRA)
- GOST
  - GOST 11677-85, Power Transformers



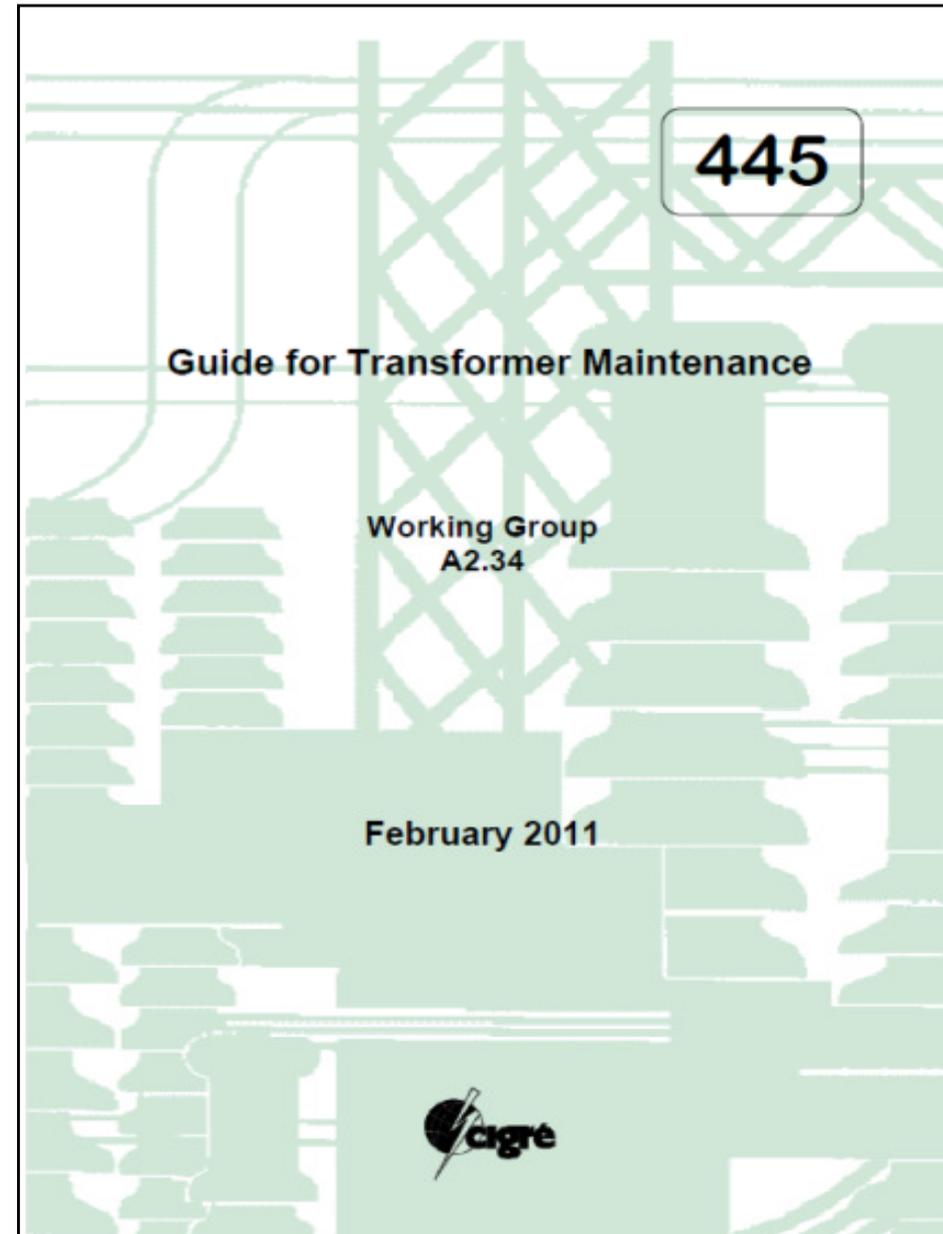
## Регламентирующие документы

- Большинство стандартов (IEC и ANSI/IEEE) фокусируются на новых трансформаторах и заводских испытаниях
- Рабочие группы, например, в Cigré за прошлые годы опубликовали большое количество технических брошюр (ТВ) по таким темам, как, например, анализ частотных характеристик (ТВ342), частичным разрядам (ТВ366), измерениям диэлектрического отклика (ТВ414) и пр.
- Стандарт IEEE 62-1995 “Diagnostic Field Testing of Fluid-Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors” является, вероятно, самым известным нормативным документом по диагностике в полевых условиях маслянных силовых трансформатором. Сейчас стандарт относится к серии IEEE C57 и последней опубликованной версией является C57.152-2013

## Регламентирующие документы

**Cigré Техническая  
брошюра 445, 2011**

**Руководство по  
обслуживанию  
СИЛОВЫХ  
трансформаторов**



# Регламентирующие документы

## Выдержка из CIGRE TB445 (2011)

### Chapter 1 Introduction

#### *1.1 Guide for Transformer Maintenance*

Maintenance, availability and reliability are closely related and the transformer user has to specify a level of maintenance that will ensure an acceptable level of transformer reliability in the particular context. This guide has been prepared to help transformer users to define and apply best practice for transformer maintenance. Although the document was prepared with specific consideration of liquid immersed transformers rated 69 kV and above and larger than 25 MVA, its principles may be applied to a wider range of transformers. Subjects including best practice, checking and testing in order to evaluate transformer condition, time intervals for the various actions, advanced maintenance activities, and human and material aspects of transformer maintenance are covered.

This guide is not intended in any way to set the level of maintenance that a user must perform on a transformer in order to maintain a manufacturer's warranty. The required maintenance should be set out clearly in the documentation supplied with the transformer.

# ”Диагностическая” матрица от CIGRE TB445

		<b>Type of Problem</b>					
		Magnetic Circuit Integrity	Magnetic Circuit Insulation	Winding Geometry	Winding/Bushing/OLTC Continuity	Winding/Bushing Insulation	Winding Turn to Turn Insulation
		<b>Diagnostic Technique</b>					
Basic Electrical	Winding Ratio	•					
	Winding Resistance			•			
	Magnetisation current	•					•
	Capacitance and DF/PF		•		•	•	•
	Leakage Reactance				•		
	Insulation Resistance		•			•	
	Core Ground Test					•	
Advanced Electrical	Frequency Response of Stray Losses			•	•		
	Frequency Response Analysis	•			•	•	•
	Polarisation/Depolarisation		•				
	Frequency Domain Spectroscopy		•				
	Recovery Voltage Method		•				
	Electrical Detection of PD	•	•				
	Acoustical Detection of PD	•	•				
	UHF Detection of PD	•	•				
	Dissolved Gas Analysis	•	•	•		•	•

Table 29: Electrical Tests and DGA Diagnostic Matrix

# Испытания трансформаторов приборами компании Megger

Нормированные испытания		Измерительные приборы MEGGER												
Компонент	Тест	Delta	IDAX	MIT	FRAX	MLR	TTR	MTO	LTC 135	MoM	TRAX	OTS	KF	
Обмотки	Сопротивление							X	X		X			
	Коэфф.трансформац/полярность						X				X			
	Ток возбуждения	X	X				X				X			
	Сопротивление КЗ				X	X					X			
	Анализ частотных характеристик				X									
	Сопротивление изоляции			X										
	Емкость	X	X									X		
	Коэф.мощности/tan delta	X	X									X		
Вводы	Диэлектрич. частотный отклик		X											
	Емкость	X	X								X			
	Коэф.мощности/tan delta	X	X								X			
Изоляционное масло	Диэлектрич. частотный отклик		X											
	Содержание влаги												X	
	Диэлектрическая прочность											X		
Бумажная изоляция	Коэф.мощности/tan delta	X	X								X			
	Содержание влаги		X											
РПН	Под нагрузкой	Сопротивление						X	X		X			
		Коэффициент трансформации					X				X			
		Непрерывность токовой цепи						X	X		X			
	Без нагрузки	Динамич. сопротивление (DRM)								X		X		
		Сопротивление							X	X		X		
		Коэффициент трансформации						X				X		
Магнитопровод / Бак	Сопротивление изоляции		X	X										
	Анализ частотных характеристик				X									
	Тест заземления									X	X			

# Так много измерений нужно выполнить?



# Условия окружающей среды?



**Или  
спутанные  
кабели?**



# Количество подъемов и спусков?





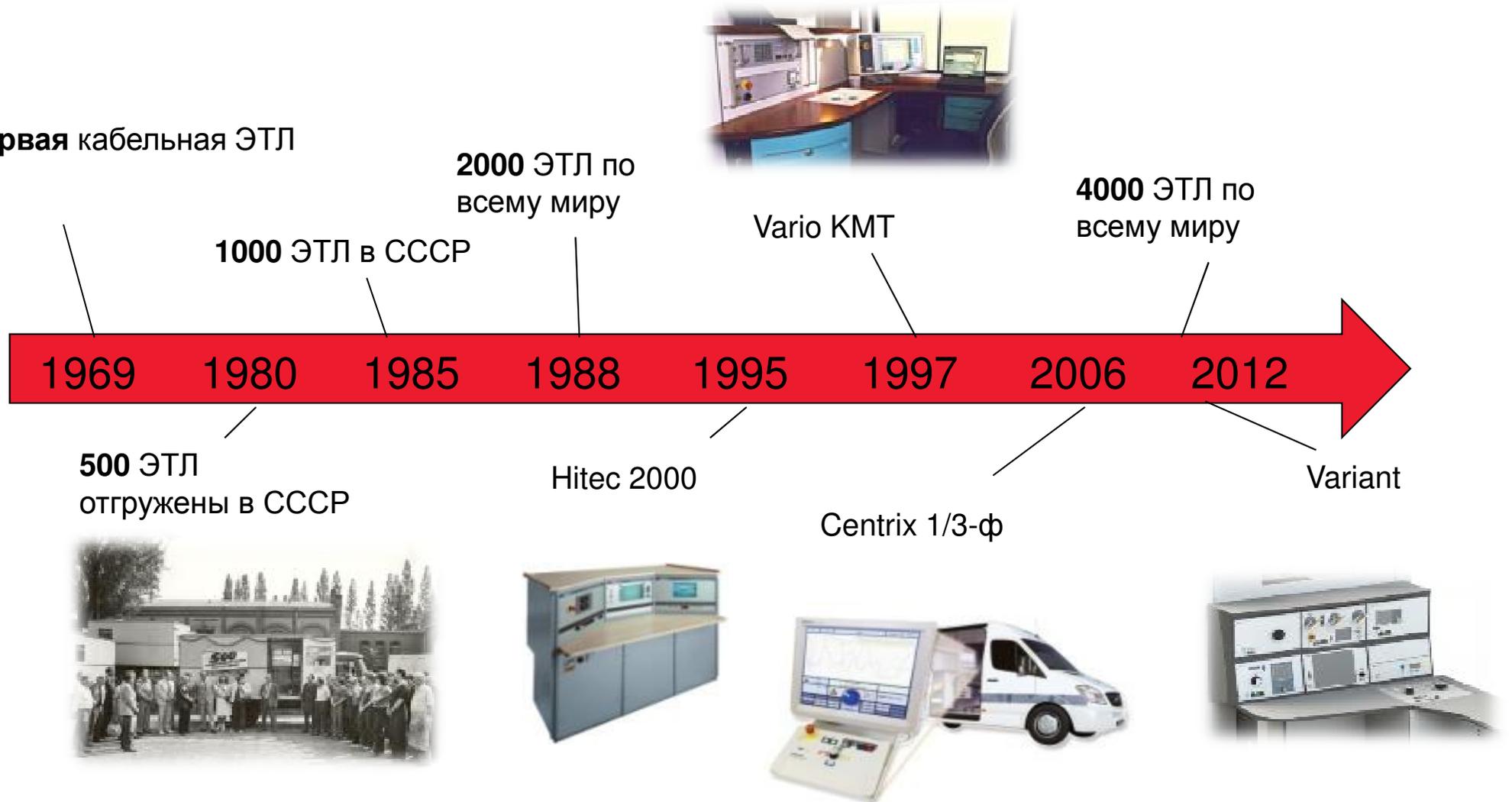
# Кабельная электротехническая лаборатория

**ЭТЛ Variant: локализация кабельных повреждений, испытания и диагностика в модульной системе**



# История кабельных электротехнических лабораторий

Первая кабельная ЭТЛ



## История трансформаторных лабораторий

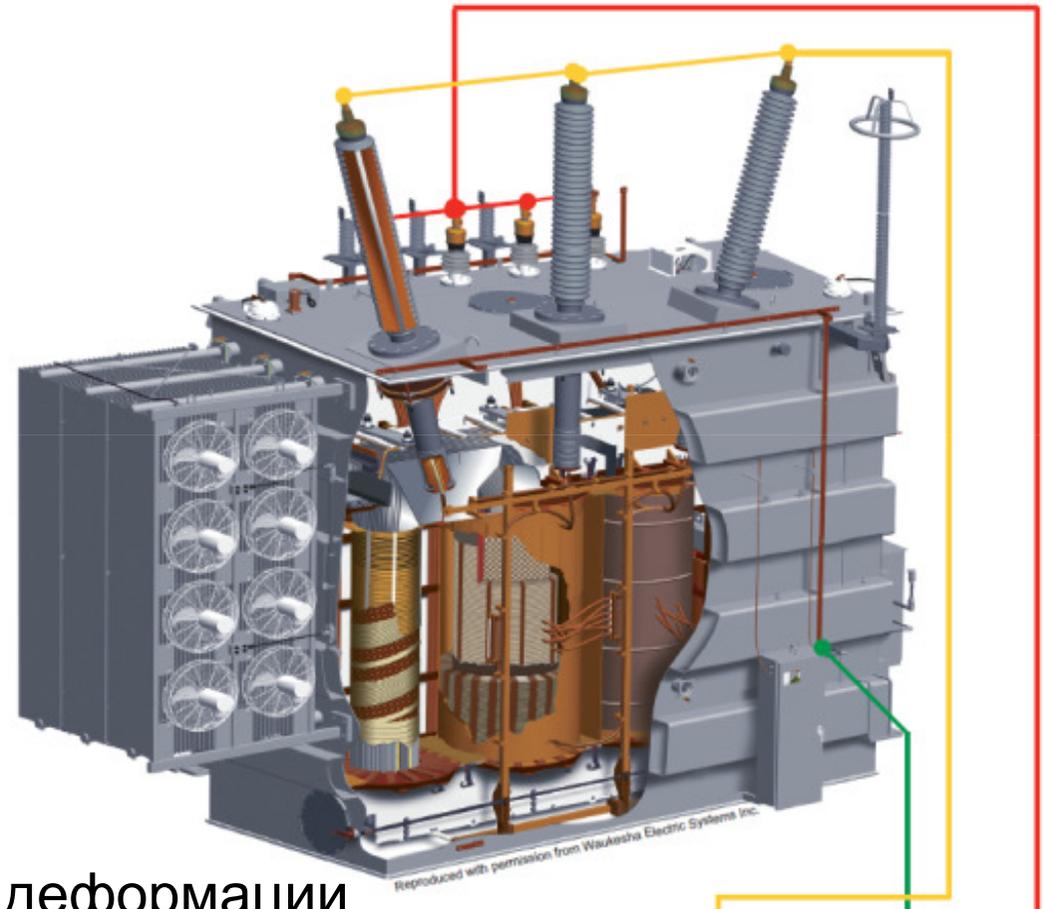


## Предназначение

- Ввод в эксплуатацию
- Профилактические работы
- Поиск неисправностей
- Тест после ремонта

Какая информация нас интересует:

- ухудшение электрической изоляции
- механические повреждения, сдвиги, деформации
- состояние обмоток, выводов, РПН, сердечника, масла
- проверка коэфф. трансформации, векторной группы, потери ХХ и КЗ



## Уникальные функции

- Стандартные и расширенные диагностические тесты
- Централизованное управление и протоколирование
- Два комплекта кабелей (ВВ & НВ), используемых для всех приборов
- Автоматизированный процесс коммутации и переключений
- Безопасная работа и навигация пользователя во время теста
- Дистанционное управление переключениями РПН

## Стандартные и диагностические тесты:

- Сопротивление изоляции
- Сопротивление обмоток постоянному току / Проверка РПН
- Емкость и коэффициент диэлектрических потерь для обмоток и вводов
- Проверка коэффициента трансформации и векторной группы
- Оценка влажности целлюлозы с помощью технологии DFR (опционально)
- Сопротивление короткого замыкания (опционально)
- Потери при опытах ХХ и КЗ (опционально)
- Анализ частотных характеристик SFRA (опционально)
- Высоковольтные испытания напряжением до 100 кВ AC 50 Гц и 70 кВ DC (опционально)
- Испытание трансформаторного масла на пробой (опционально)

## Отсек оператора (изнутри)



Центральный ПК: с ПО PowerDB

Беспроводная клавиатура и мышка

Блок сетевого питания, управления и безопасности

19" отсеки с приборами внутри

## Вид сзади (“двери открыты”)

Кабельные барабаны 30 м для ВВ тестов (IR, tanD /емкость)

НВ-кабельные барабаны 30 м для сопротивл. обмоток/коэф. трансф. (3ф + нейтраль, ВН и НН стороны)

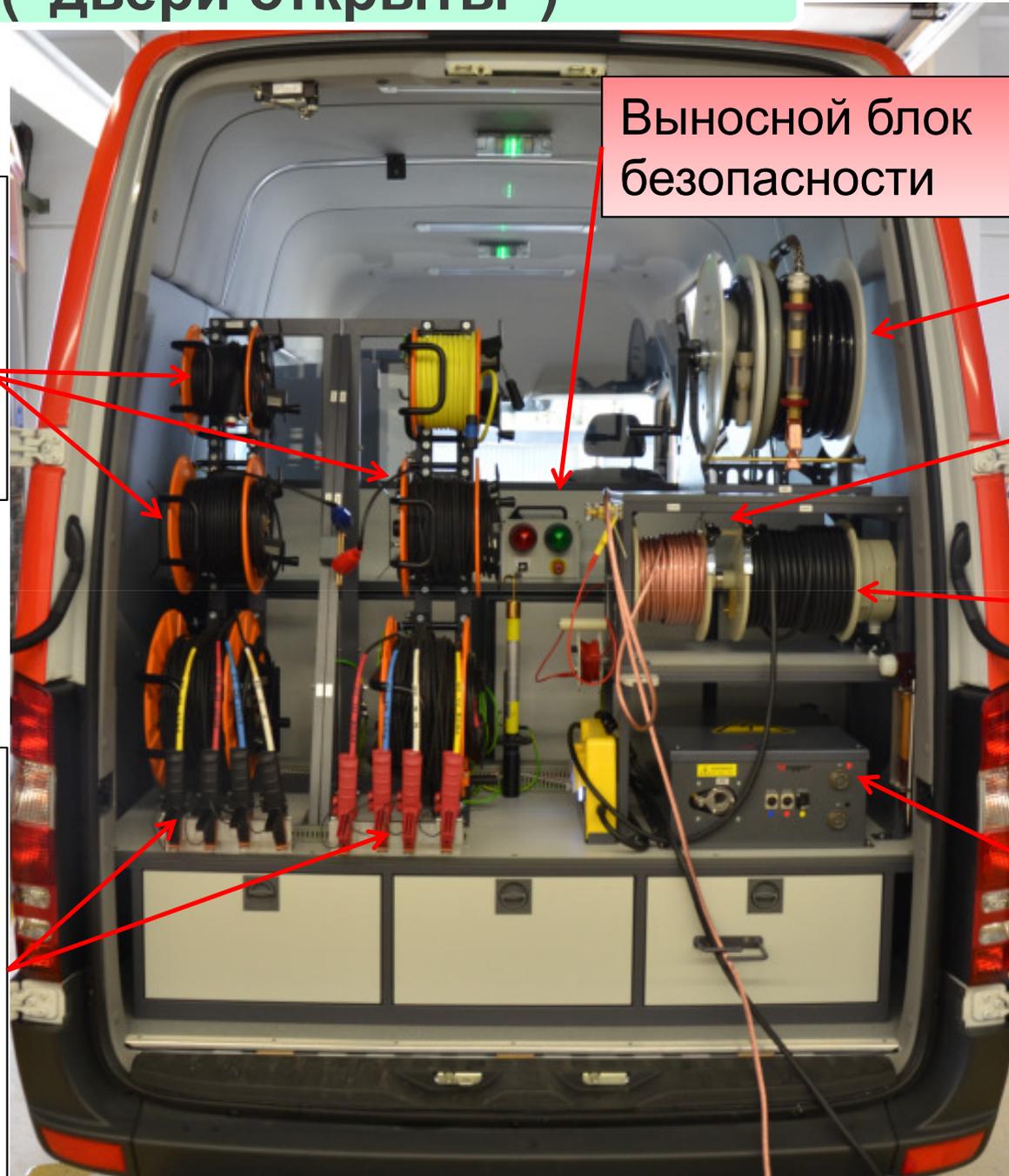
Выносной блок безопасности

ВВ-кабель

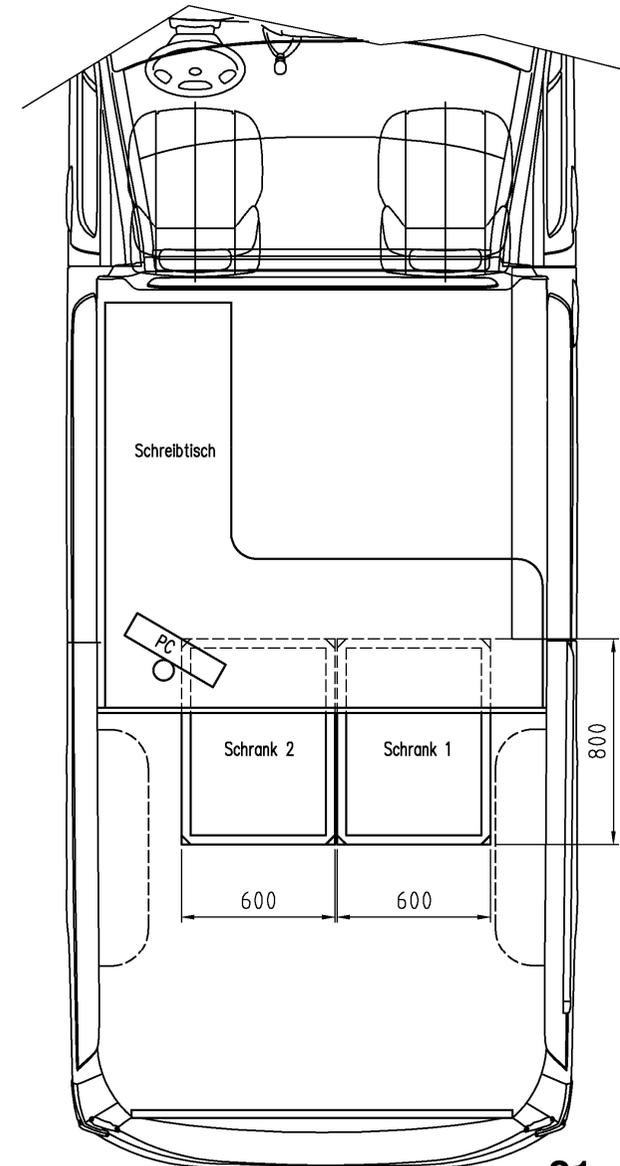
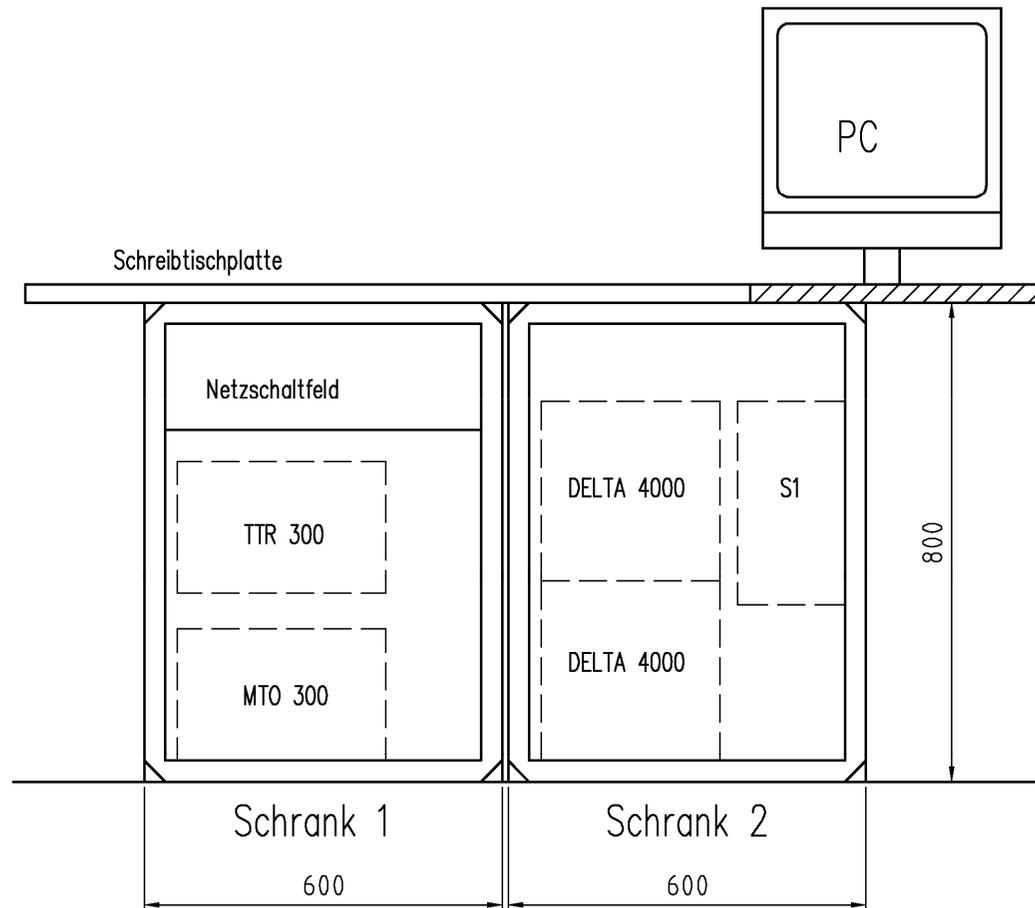
Кабель защитн. заземления

Кабель питания + блок предохран.

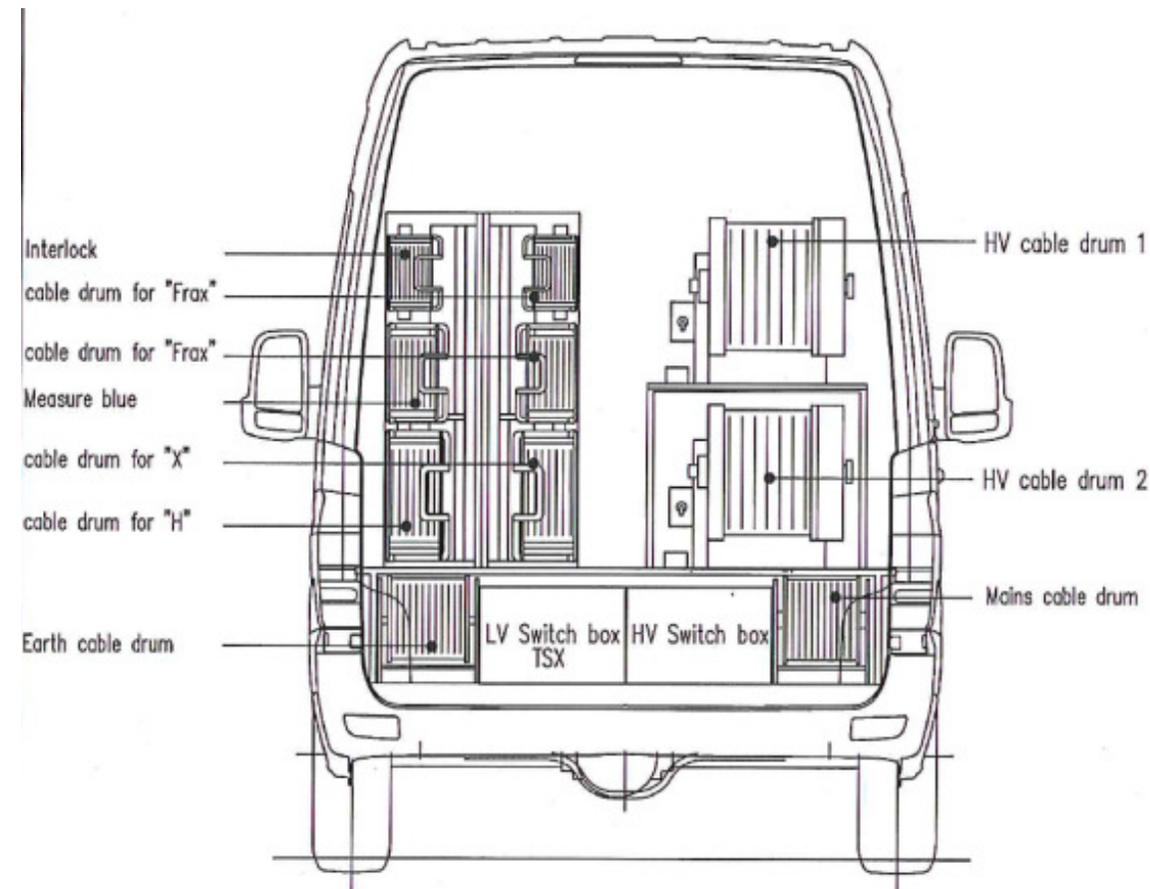
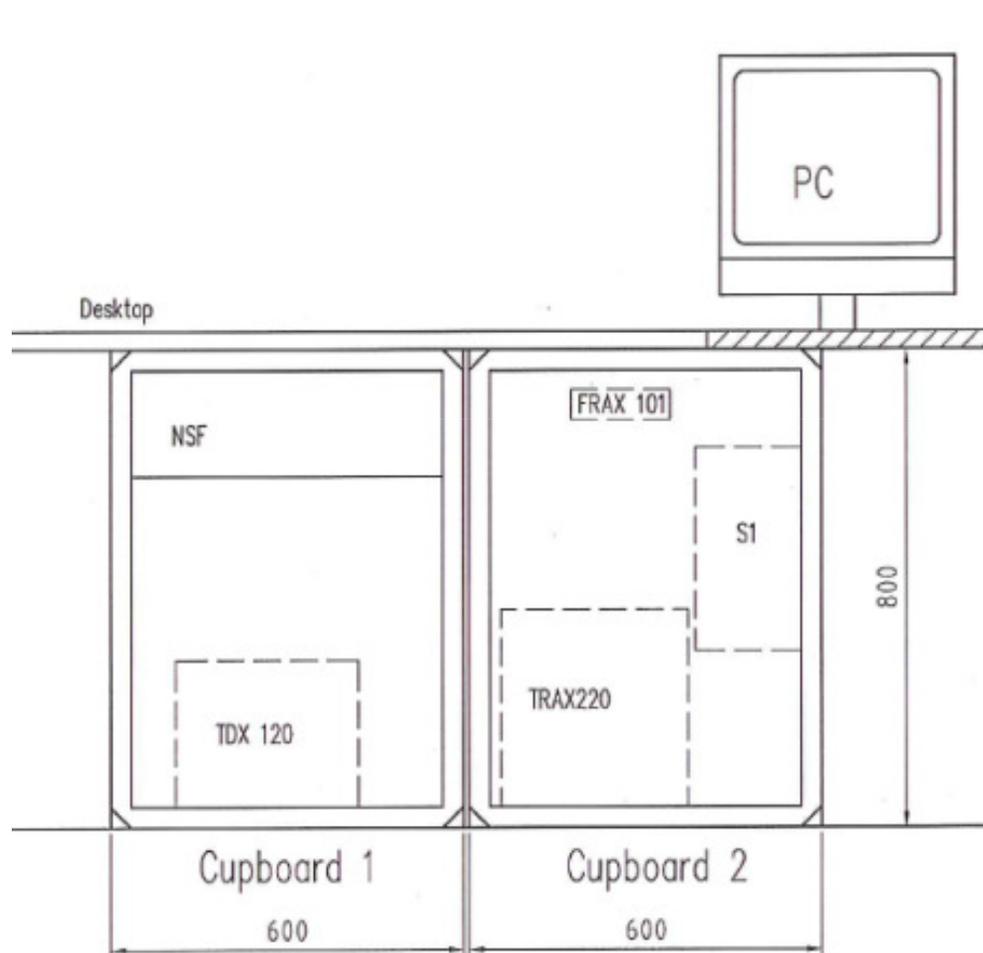
Переключатель между кабелями для ВВ и НВ измерений



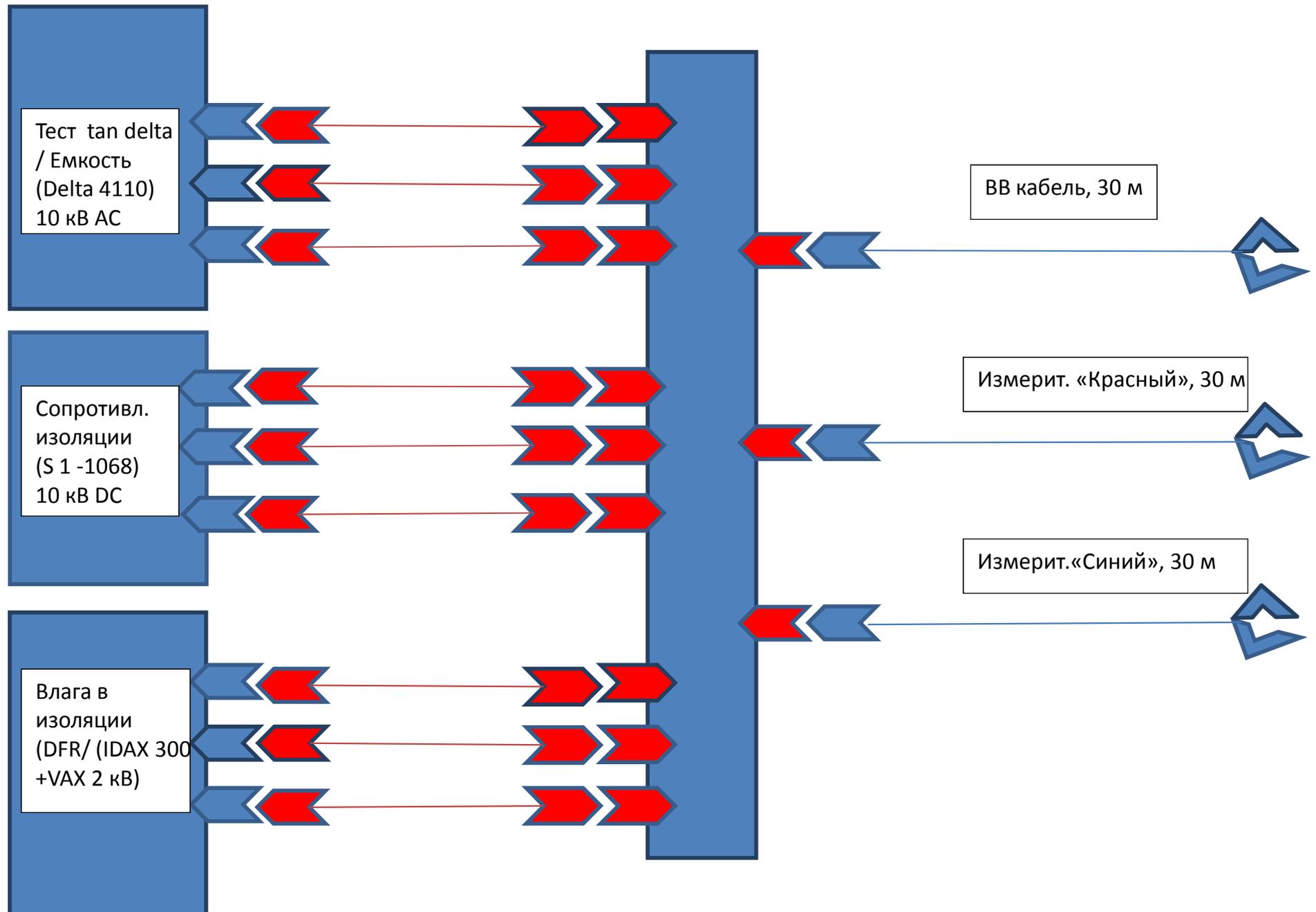
## Концепция для небольших автомобилей:



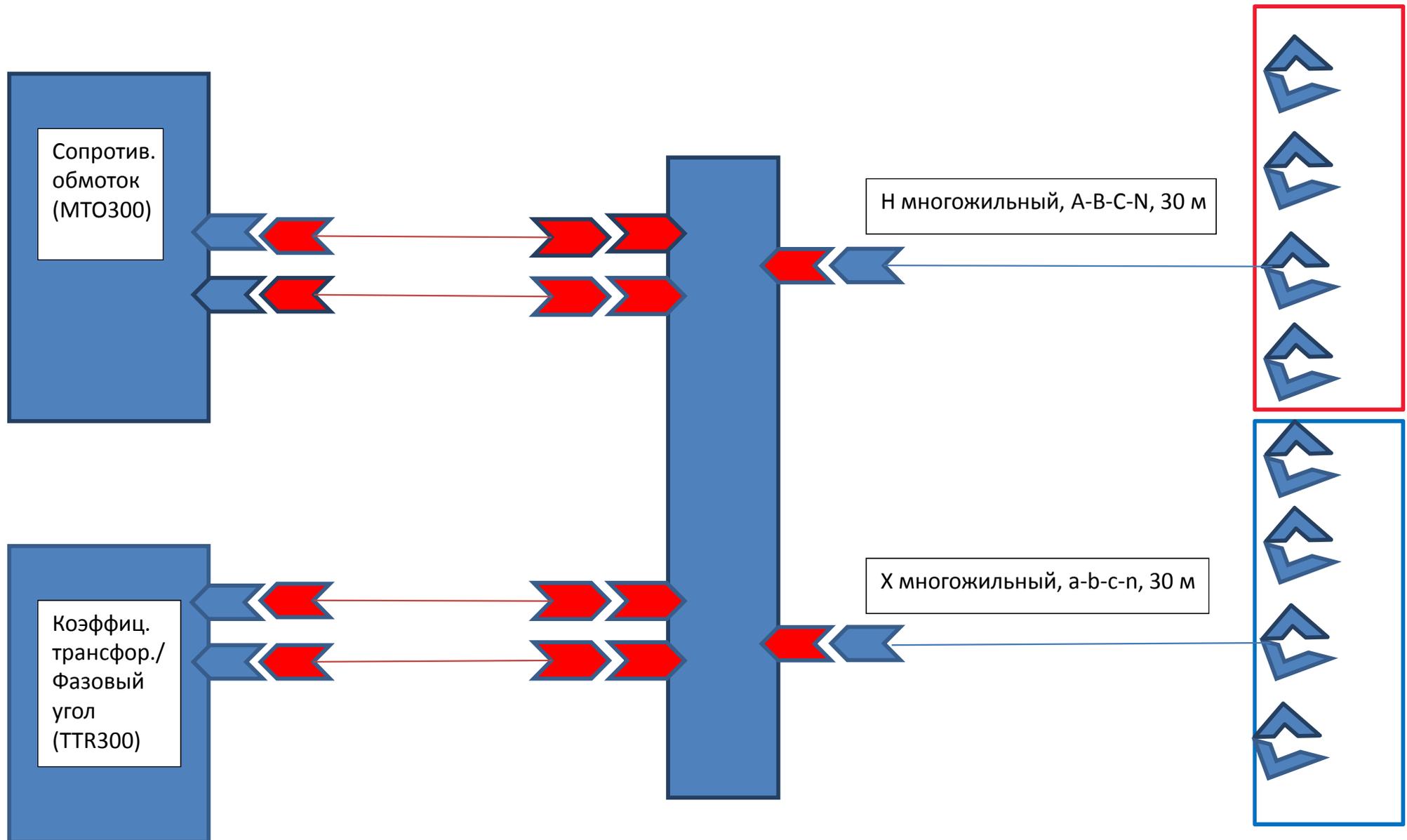
## Решение на базе семейства TRAX:



# Высоковольтный коммутатор



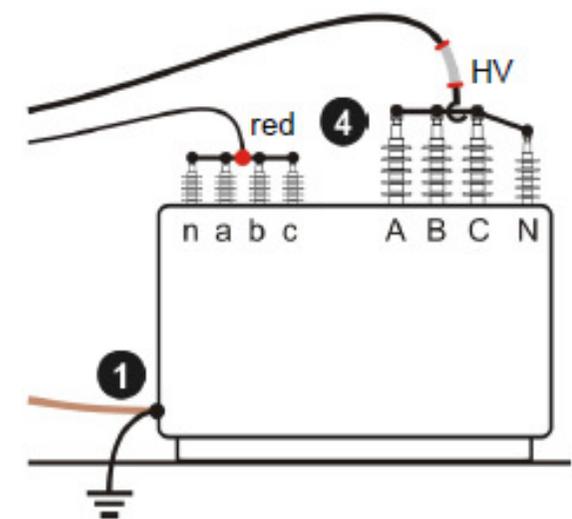
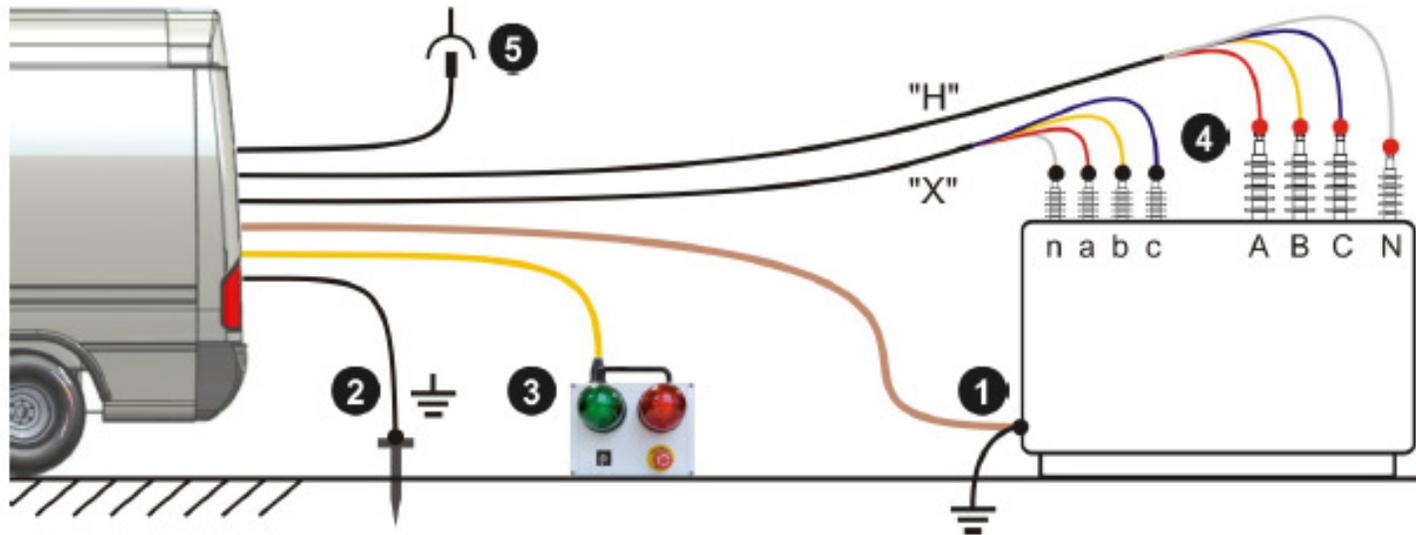
# Низковольтный коммутатор



# Схема электрических подключений

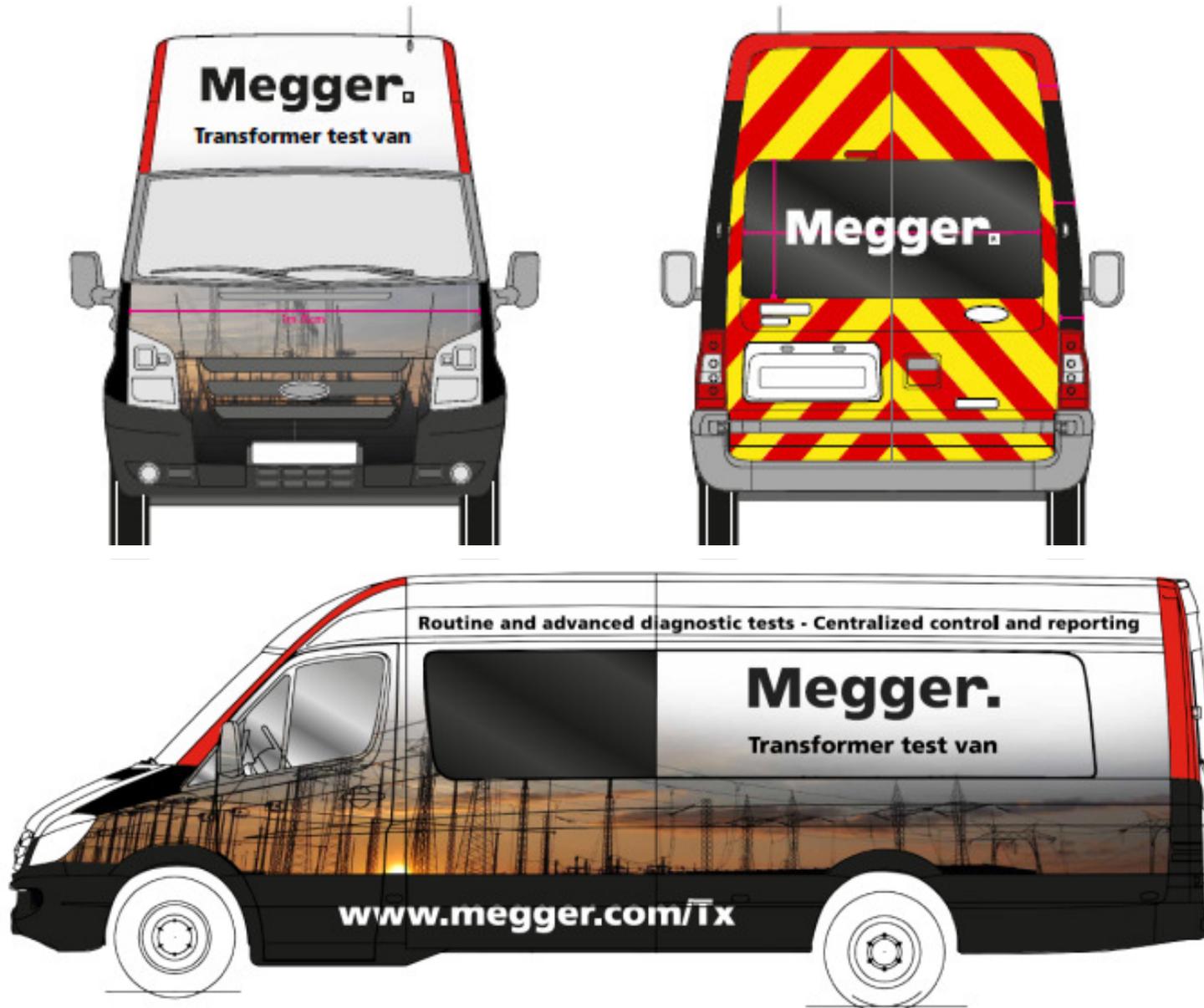
LV Test Connection for MTO / TTR

HV Test Connection for DELTA / S1



Mandatory connection sequence:	Notes:
<b>1</b> Protective earth	 The test van should never be operated without the earth cable being connected! This applies in respect of mains operation as well as generator operation.
<b>2</b> FU cable (earth spike)	The earth spike should be driven into the ground as close as possible to the vehicle.
<b>3</b> External safety device	Norm-compliant signalling and Emergency Stop according to DIN EN 50191 / VDE 0104.
<b>4</b> HV connection	 Observe the five safety rules!
<b>5</b> Power supply	 Connect the power cord to a mains outlet or a busbar in compliance with the requirements of the test van and of the specific country.
	 If the conditions at the site make it impossible to establish the electrical connection in the way described above, it is the responsibility of the operator to ensure the safety of the connection to the test van by taking appropriate measures.

## Внешний вид. Автомобиль до 3.5 тонн



## Опционально: Высоковольтная испытательная установка

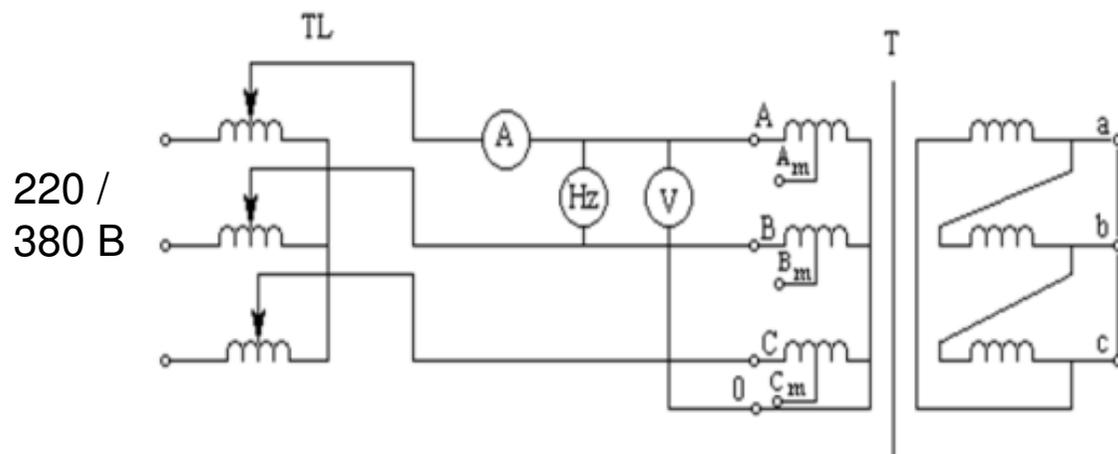


- Однофазная  
испытательная установка
- 100 кВ AC 50 Гц
  - 70 кВ DC

## Опционально: измерение потерь мощности на пониженном напряжении

Измерение потерь мощности на пониженном напряжении 380 / 230 В является хорошим компромиссом для полевых условий (вследствие ограниченной мощности и напряжения)

- На холостом ходу
- При коротком замыкании



Важно располагать заводскими данными о потерях мощности на пониженном напряжении для сравнения!

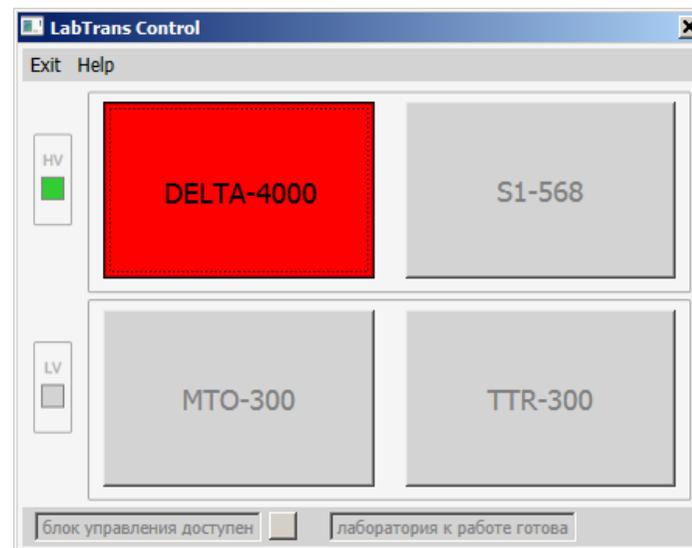
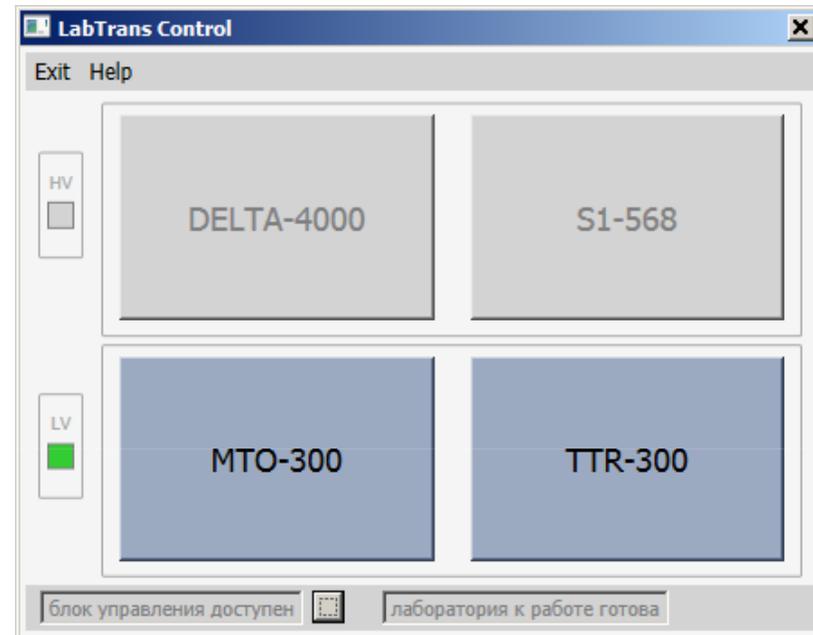
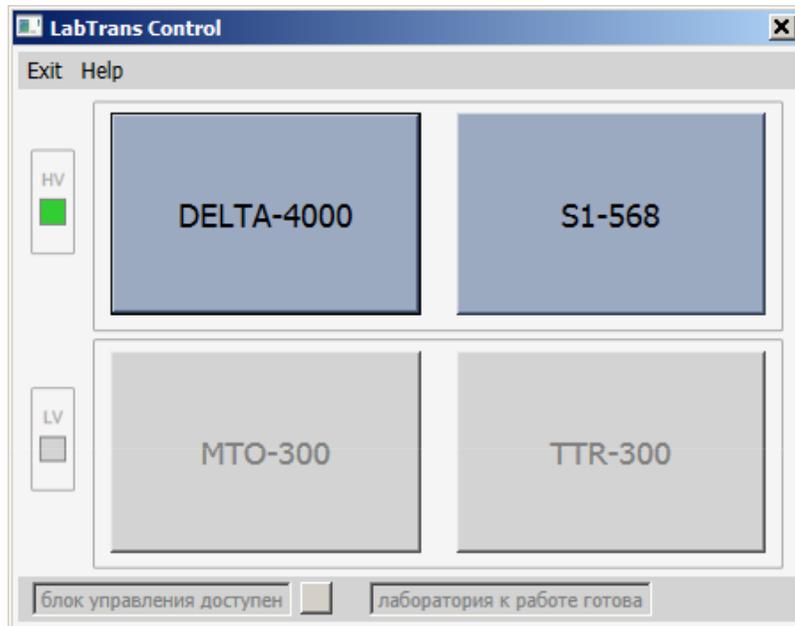
Хорошо известные компоненты:



# Спецификация

Параметр	Значение
Электроснабжение	1- или 3-фазная сеть, 230-400 В, 50-60 Гц
Длина измерительного провода	30 м
<b>Испытание изоляции (IR, DAR, PI, DD, SV)</b>	
Испытательное напряжение	до 10кВ
Диапазон измерений	100 кОМ...15 ТОМ
Зарядный ток	2 мА, 6 мА (короткое замыкание)
Помехоустойчивость	8 мА
<b>Измерение тангенса угла диэлектрических потерь (tan δ)</b>	
Испытательное напряжение	0-12 кВ
Испытательный ток	(12 кВ) 300 мА (4 минуты), 100 мА (непрерывно)
Частота измерений	45-70 Гц (12 кВ), 15-400 Гц (4 кВ), 1-500 Гц (250В)
Диапазон измерения tan δ и емкости	0-100 (0-10,000%), (макс. разрешение 0.001%) 0 -100 мкФ, (макс. разрешение 0.01 пФ)
Индивидуальная температурная коррекция	от 5 ° С до 50 ° С по отнош. к 20 °С
Помехоустойчивость	электростатическая 15мА, электромагнитная 500 мкТл, при 50 Гц
<b>Измерение сопротивления обмоток и РПН</b>	
Демagnetизация сердечника	автоматически
Испытательный ток	до 10 А
Диапазон измерений	1 мкОм - 2 кОм
Погрешность	+/- 0,25%
<b>Коэффициент трансформации и группа соединений обмоток</b>	
Напряжение возбуждения	до 80 В
Ток возбуждения	до 500 мА
Диапазон измерения	0,8 - 45000
Смещение фазы	+ / -90 °
Погрешность	+ / -0,1% ... + / - 0,3%
<b>Измерение потерь холостого хода и короткого замыкания (опция)</b>	
Диапазон измеряемого напряжения АС	0-650 В
Диапазон измеряемого тока	0-100 А
Диапазон измеряемой мощности	0 - 100 кВт
Частота	10-1000 Гц
<b>Измерение электрической прочности (опция)</b>	
Испытательное напряжение АС 50 Гц	0 ... 100 кВ
Испытательное напряжение DC	0 ... 130 кВ
Испытательная емкость	0,01-1,9 нФ
Измерение тока утечки	до 100 мА
Макс. потребляемая мощность	20 кВА
<b>Анализ частотной характеристики (опция)</b>	
<b>Оценка влажности целлюлозы (опция)</b>	
Сбор данных и обработка, управление	PowerDB, LabTransControl
Операционная система	WIN 7
Интерфейс	RS 232, USB

# Меню: Выбор приборов



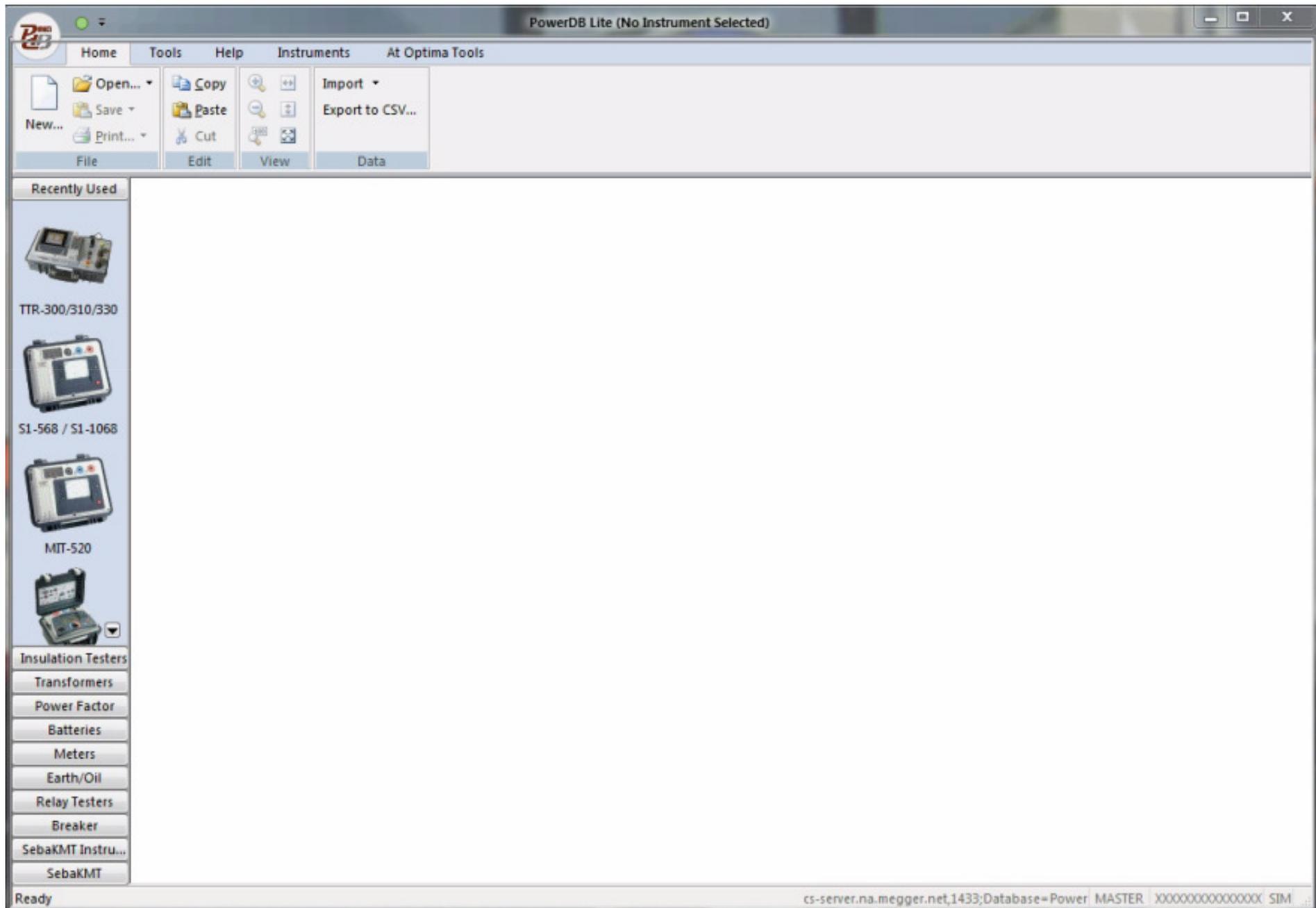
## Опционально: с расширенными функциональными возможностями

The image displays two windows from the LabTrans Control software interface.

The left window, titled "LabTrans Control", features a menu bar with "Выход", "Настройки", and "Помощь". Below it are buttons for "PowerDB" and "Настройки". A row of status indicators includes: "безопасность" (green), "кабели-1" (green), "кабели-2" (green), "HV-режим" (red), "LV\_a-режим" (red), "LV\_b-режим" (green), "UIV-режим" (red), and "прибор" (green). The main area contains several equipment panels: "DELTA-4000", "S1-568", "IDAX-300", "MTO-300", "TTR-300", "PMM-1" (highlighted in green), and "УИВ-100". A vertical selector on the left shows "HV" selected and "LV\_b" highlighted. At the bottom, there are checkboxes for "блок управления доступен" and "лаборатория к работе готова".

The right window, titled "Определение потерь", shows a diagram of a transformer with measurement cables. Labels include "Серый LV измерительный кабель" pointing to a cable and "Закоротки" pointing to a terminal on the transformer.

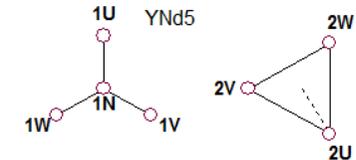
# Программное обеспечение: PowerDB



# Полный отчет с помощью PowerDB

ПРОИЗВОДИТ.	Siemens	ВЕС	кг	ОБЪЕМ МАСЛА	кг
СЕР. №	N00742401	ПОГОДА	СОЛНЕЧНО	ТЕМПЕРАТУРА МАСЛА	23 °C
ГОД	2012	ИЗОЛ. ПРОЧН.	кВ	ТЕМП. ОБМОТКИ	23 °C
ТИП	ОТКРЫТЫЙ	ИМПЕДАНС	%	ПРИВЕСТИ К	75 °C
КЛАСС	ONAN/ONAF	ПРИЧИНА	Рутина	ОХЛАДИТЕЛЬ	Масло
ФАЗЫ		Макс. дифф. обмотки (%)	2		

ТРАНСФОРМАТОР РАЗМАГНИЧЕН Третич. Обм.



Диагр. № 47 (IEC)

	НАПРЯЖ. (кВ)	Ква	НОМ.ТОК	RECOMMENDED TEST I	# ОТВОДОВ	НОМИНАЛ.	ПЕРЕКЛЮЧ.	НАСТРОЙКИ ОТВОДОВ	Материал обмотки
ПЕРВИЧ.:	115 / 66,395	31.500	158,14	10.0A	19	10	РПН		Медь
ВТОРИЧ.:	21	31.500	866,03	10.0A	1				Медь

Форма/Ответвления  
Настройки

Размагнич.

Инструмент  
Настройки

Мастер испыт.  
(F2)

ть напряжения отводов до:

Разрешить ручные тесты:

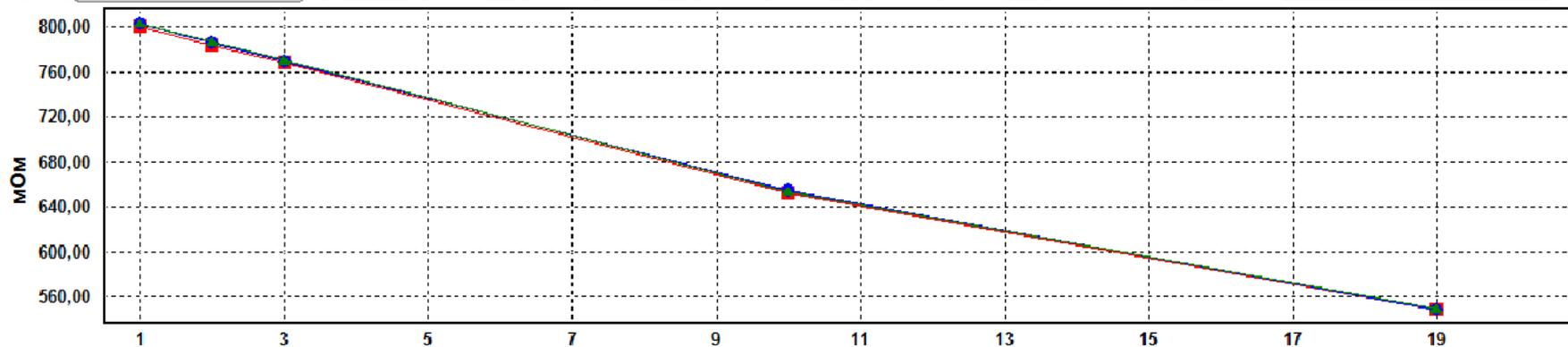
Первый Отвод: 1 Напряжение: 132.595  
Последний Отвод: 9 Напряжение: 97.405

## СОПРОТИВЛЕНИЕ ОБМОТКИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Показать График

Отключить запись перехода прерывателя  Единицы: мОм

№	ОТВОДЫ	Ток (А)	Штмпель Напряжение	Изм. сопротивление			Устойчивость показаний %	Обмотка Разница %	
				1U-1N	1V-1N	1W-1N			
1	1	10,07	132.595	800,3	802,8	802,9	99,99	0,324	
2	2	10,04	130.640	783,7	786,3	786,6	99,99	0,367	
3	3	8.904	128.685	767.5	769.6	770.2	99.99	0.359	





- Концепция трансформаторной лаборатории:
  - Сочетает в себе обычные электрические испытания и передовые методы диагностики
  - Позволяет провести полную проверку трансформатора в полевых условиях
- Опыт полевых измерений:
  - Значительная экономия времени >70%
  - Предотвращение несчастных случаев
- Удобная обработка данных:
  - Генерирование отчета, банк данных для измеренных результатов, сравнение с предыдущими тестами и возможность определения тенденции состояния трансформатора



**Благодарю за внимание!**