

## Резонансная испытательная система переменного тока с подстраиваемой индуктивностью РИСи-3600/2\*300

### Введение

Компания ЭЛЕКТРОМАШ является профессиональным производителем высоковольтного испытательного оборудования и имеет высокую репутацию качества и надежности своей продукции благодаря огромному опыту конструкторской разработки и производства. Компания ЭЛЕКТРОМАШ поставляет испытательное, измерительное и диагностическое оборудование для широкого применения. Мы выпускаем испытательные системы для применения в лабораторных условиях, для научно-исследовательских целей, в промышленных условиях и на объектах.

### Область применения:

Основой резонансной испытательной системы является высоковольтный реактор с переменной регулируемой индуктивностью и трансформатор-возбудитель малой мощности. Высоковольтный реактор с переменной индуктивностью применяется для настройки в резонанс с емкостью объекта испытаний при неизменной рабочей частоте. В этом случае образуется резонансный высоковольтный контур, позволяющий проводить испытания приложенным напряжением.

Резонансная испытательная система предназначена для проведения высоковольтных испытаний объектов мощностью до 500 кВ, таких как силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, изоляторы, КРУЭ, высоковольтные вводы, конденсаторы, трансформаторы.

В резонансной испытательной системе используется последовательное и параллельное соединения реакторов, что позволяет расширить область применения согласно ГОСТ 1516, ГОСТ Р 55295.



### Состав системы:

1. РРВ-3600/2\*300 Высоковольтный двухкаскадный реактор с регулируемой переменной индуктивностью
2. ФПВ-600 Высоковольтный фильтр помех (также емкостный делитель напряжения)

3. ТВ-90/2\*0.4/2\*7.5 Трансформатор-возбудитель
4. РН-90/0.4/0 ~ 0.42 Регулятор напряжения
5. ФПН-90/0.4 Низковольтный фильтр
6. ШРН-12-0.4 Распределительный шкаф
7. ТИ-60/0.4/0.4 Изолирующий трансформатор
8. АСУ-2000 Цифровая автоматическая система контроля и измерения
9. Высоковольтный кабель, кабель управления, измерительный и силовой кабель.

#### Условия эксплуатации испытательного оборудования и объекта испытаний

Высота над уровнем моря	≤ 1000 метров
Рабочая температура высоковольтных компонентов	-10 °С ÷ +45°С
Относительная влажность воздуха в основном зале	< 95% (при 20°С, без конденсации)
Максимальные суточные колебания температуры	< 20°С
Температура хранения и транспортировки	-10 °С ÷ +50°С
Должно быть обеспечено надежное заземление с сопротивлением цепи заземления < 0,5 Ом	
Форма переменного напряжения питания должна быть синусоидальной с коэффициентом нелинейных искажений < 3%	
Фоновый частичный разряд	<2пКл

#### Общие технические характеристики

##### Модель: РИСи-3600/2\*300

Номинальное входное напряжение:	0.4 кВ ±10%
Номинальное выходное напряжение:	600 кВ
Номинальная частота:	50 Гц
Количество фаз:	Однофазная система
Номинальная входная мощность:	90 кВА
Номинальная выходная мощность:	3600 кВА
Номинальный выходной ток:	6 А
Емкость нагрузки при последовательном соединении реакторов:	0-29.5 нФ (с учетом основной нагрузки емкости)
Емкость нагрузки при параллельном соединении реакторов:	2.7-125.1 нФ (с учетом основной нагрузки емкости)
Емкость нагрузки при использовании одного реактора:	0.7-61.3 нФ (с учетом основной нагрузки емкости)
Фоновые частичные разряды при $U_{ном.}=600кВ$	≤2 пКл
Коэффициент нелинейных искажений:	< 3%
Диапазон регулирования индуктивности:	>1:20
Способ охлаждения:	естественное масляное/естественное воздушное охлаждение
Уровень шума:	<70 дБ (на расстоянии 4 м)
Испытательное напряжение:	1.1 $U_{ном.}$ в течение 1 мин
Эксплуатация оборудования:	В помещении

Режим работы:	При 100% $U_{ном.}$ , $I_{ном.}$ 1 час работы, 1 час остановки. 8 циклов в день. При 100% $U_{ном.}$ , 67% $I_{ном.}$ непрерывная работа в течение 1 года.
---------------	--

## 1. Высоковольтный реактор с регулируемой индуктивностью:

### Модель: РРВ-1800/300 двухкаскадное соединение реакторов последовательно

Конструкция:	Цилиндрической формы, маслonaполненный, естественное охлаждение, с регулируемой индуктивностью
Номинальное напряжение:	300 кВ
Номинальный ток:	6 А
Номинальная мощность:	1800 кВА
Номинальная частота:	50 Гц
Добротность системы:	>40
Количество фаз:	Однофазный
Диапазон регулирования индуктивности:	>1:20
Способ охлаждения:	естественное масляное/естественное воздушное охлаждение
Испытательное напряжение:	1.1 $U_n$ в течение 1 мин
Коэффициент нелинейных искажений:	<1%
Уровень шума:	<70 дБ (на расстоянии 4 м)
Фоновые частичные разряды при $U_{ном.}=300кВ$	$\leq 30$ пКл
Режим работы:	При 100% $U_{ном.}$ , $I_{ном.}$ 1 час работы, 1 час остановки. 8 циклов в день. При 100% $U_{ном.}$ , 67% $I_{ном.}$ непрерывная работа в течение 1 года.

## 2. Высоковольтный фильтр помех (также емкостный делитель напряжения)

### Модель: ФПВ-600

Номинальное напряжение:	600 кВ
Номинальная частота:	50 Гц
Номинальная емкость:	0.75 нФ + 0.75 нФ (может применяться как основная нагрузка)
Погрешность измерения:	$\leq \pm 1\%$
Коэффициент диэлектрических потерь ( $tg\delta$ ):	$\leq 0.4\%$
Полоса подавления помех:	10 кГц-300 кГц $\geq 30$ дБ
Уровень частичных разрядов:	$\leq 2$ пКл
Режим работы:	При 100% $U_{ном.}$ , $I_{ном.}$ 1 час работы, 1 час остановки. 8 циклов в день. При 100% $U_{ном.}$ , 67% $I_{ном.}$ непрерывная работа в течение 1 года.

**Принцип работы:** При проведении испытаний необходим низкий уровень частичных разрядов. Для этого между высоковольтным реактором и испытуемым объектом устанавливается высоковольтный фильтр подавления помех.

Высоковольтный фильтр состоит из L-C-L-C цепочки, где L изолированная индуктивность с конденсатором С, которые образуют  $\pi$ -фильтр. Нижняя часть первого конденсатора является измерительным конденсатором, который является частью делителя напряжения и служит для

измерения выходного напряжения в резонансной цепи. Второй конденсатор представляет собой конденсатор связи и имеет вывод для измерения уровня частичных разрядов.

Два высоковольтных конденсатора являются основной нагрузкой общей испытательной цепи, что позволяет проводить испытания объекта с малой емкостью.

### **Составные части высоковольтного фильтра помех ФПВ-600:**

#### **Высоковольтный конденсатор**

**Модель: КВ-750/600**

Количество:	2 шт.
Номинальное напряжение:	600 кВ
Номинальная емкость:	0.75 нФ
Номинальная частота:	50 Гц
Фоновый частичный разряд при $U_{ном.}=600$ кВ:	$\leq 2$ пКл

Высоковольтный конденсатор связи является основной нагрузкой; емкость двух конденсаторов позволяет всей испытательной системе работать без перегрузок, при этом основная нагрузка должна быть равной или больше, чем минимальная нагрузка высоковольтного реактора.

#### **Индуктивность изолированная**

**Модель: ИИ- 500/4**

Количество:	2 шт.
Номинальный ток:	6 А
Номинальная индуктивность:	$>500$ мГн
Режим работы:	непрерывный
Фоновый частичный разряд:	При $U_n=600$ кВ $\leq 2$ пКл

### **3. Трансформатор-возбудитель**

**Модель: ТВ-90/2\*0.4/2\*7.5**

Номинальная частота:	50 Гц
Номинальное входное напряжение:	2*0.4 кВ
Номинальное выходное напряжение:	2*7.5 кВ
Номинальная мощность:	90 кВА
Напряжение короткого замыкания:	$<7.5\%$
Схема и группа соединения обмоток:	I-0
Испытательное напряжение:	1.1 $U_{ном}$ в течение 1 мин.
Количество фаз:	однофазный
Режим работы:	При 100% $U_{ном}$ , $I_{ном}$ . 1 час работы, 1 час остановки. 8 циклов в день. Температура перегрева обмоток не должна превышать 65°C. При 100% $U_{ном.}$ , 67% $I_{ном}$ . непрерывная работа в течение 1 года.

Применяется заземляющее автоматическое устройство для защиты трансформатора.

### **4. Регулятор напряжения**

**Модель: РН-90/0.4/0~0.42**

Конструкция:	Колонковый, сухой, с естественным охлаждением
--------------	---

Номинальное входное напряжение:	0.4 кВ
Номинальное выходное напряжение:	0-0.42 кВ (плавное регулирование)
Номинальная частота:	50 Гц
Номинальная мощность:	90 кВА
Степень защиты:	IP 20
Напряжение короткого замыкания:	<10%
Схема и группа соединения обмоток:	I-0
Метод регулировки напряжения:	Сервоприводом
Количество фаз:	однофазный
Режим работы:	При 100% $U_{ном}$ , $I_{ном}$ . 1 час работы, 1 час остановки. 8 циклов в день. Температура перегрева обмоток не должна превышать 65°C. При 100% $U_{ном}$ , 67% $I_{ном}$ . непрерывная работа в течение 1 года.

Скорость регулирования напряжения задается сервоприводом постоянного тока (400 В / 230 В, однофазный), диапазон времени установок параметров от 60 сек. до 300 сек.

## 5. Низковольтный фильтр

Модель: ФПН-90/0.4

Номинальное напряжение:	0.4 кВ
Номинальный ток:	225 А
Полоса подавления помех:	10 кГц~300 кГц $\geq$ 60 дБ
Режим работы:	Непрерывная работа в течение 1 года

## 6. Низковольтный распределительный шкаф

Модель: ШРН-12-0.4

Номинальная частота:	50 Гц
Номинальное напряжение:	0.4 кВ
Номинальный ток:	300 А
Степень защиты:	IP 20

Распределительный шкаф оборудован устройством повторного включения. Он представляет собой стандартный распределительный шкаф, соответствующий требованиям ГОСТ. Каркас и панели изготовлены из оцинкованной стали. В шкафу установлены вакуумный контактор, высоковольтные предохранители, трансформаторы напряжения, трансформаторы тока, выключатель с защитой от перегрузок и токов короткого замыкания, ограничитель перенапряжения производства АВВ. Вакуумный контактор производства Siemens.



## 7. Изолирующий трансформатор

Модель: ТИ-90/0.4/0.4

Номинальное входное напряжение:	0.4±10% кВ
Номинальное выходное напряжение:	0.4 кВ
Номинальная мощность:	90 кВА
Полоса подавления помех:	10 кГц-300 кГц ≥ 10 дБ
Режим работы:	Непрерывная работа в течение 1 года

## 7. Цифровая автоматическая система управления и измерения

Модель: АСУ-2000

### I. Общие положения

Система управления состоит из системы управления и системы измерения. Применяется в составе резонансной испытательной установки. В системе реализовано множество функций, таких как режим испытания, защита, измерение и т.д. Система управления и измерения имеет 8 высокоскоростных каналов (100 МГц), обеспечивающих высокую точность измерения и управления (16бит). Система включает в себя функции записи измеренных и обработанных данных, формирование отчета, печать отчетов и т.д. ЖК монитор отображает значения выходного напряжения и тока, кривые зависимости тока и напряжения от времени, изменение выходного синусоидального напряжения, выходной ток и напряжение регулятора напряжения, а также имеет различные функциональные кнопки, основное рабочее состояние, аварийную сигнализацию и состояние индикаторов. Система высокоточная, стабильна и надежна; соответствует действующим стандартам ГОСТ на измерительные системы. Изолирующие элементы выполнены из стеклокерамики, установлен делитель, изолирующий трансформатор, которые обеспечивают гальваническую развязку между измерительной и высоковольтной частью; обеспечивается электробезопасность от попадания высокого напряжения на рабочее место оператора.

### II. Функции системы управления

Система управления имеет режимы ручного и автоматического управления. После загрузки программы необходимо ввести параметры испытаний и выбрать ручной или автоматический режим. При выборе автоматического режима все операции и формирование отчета выполняются компьютером. В ручном режиме все операции выполняются оператором, затем формируется отчет. Система имеет простой интерфейс, который блокирует неиспользуемые функции во избежание сбоев в работе.

#### Основные функции системы управления:

- Управление главным выключателем
- Отображение состояния главного выключателя
- Управление регулятором напряжения: регулирование выходного напряжения согласно ГОСТ, изменение скорости в заданных пределах. Испытания на электрическую прочность можно проводить ступенчато, от начальных значений испытательного напряжения, через заданные интервалы напряжения, устанавливая значение времени испытания на каждой заданной ступени напряжения.

- Контроль состояния регулятора напряжения: контроль выходного напряжения, тока, контроль состояния концевых выключателей верхнего и нижнего пределов. Результат может быть выведен на дисплей.
- Контроль индуктивности реактора: регулирование индуктивности реактора с помощью сервопривода изменением воздушного зазора реактора. Скорость изменения зазора сердечника можно регулировать в заданных пределах.
- Контроль индуктивности реакторов: отображение и непрерывный контроль индуктивности воздушного зазора сердечника реактора и концевого выключателя.
- Автоматический заземлитель и отображение его состояния.
- Синхронное управление: в соответствии со значениями выходного напряжения и тока, регулируется воздушный зазор сердечника реактора для того, чтобы вся система находилась в состоянии резонанса; значения отображаются на экране.
- Перегрузка по току: включает два уровня защиты. Один уровень защиты обеспечивает токовая отсечка, второй уровень защиты выполняется с помощью программного обеспечения. Токовая отсечка реализуется с помощью реле максимального тока, который срабатывает при превышении тока уставки. Программное обеспечение защищает установку с помощью контроля токов и при превышении токовых значений выдает команду на отключение системы.
- Защита от перенапряжения: система управления и измерения автоматически снижает напряжение и отключает питание, когда напряжение выходит за заданные значения. Все данные отображаются на дисплее.
- Защита от короткого замыкания: система посылает сигнал на отключение питания в течение 10 секунд, при пробое объекта испытания или перекрытии.
- Кнопка аварийного отключения: для отключения питания вручную, при аварийной ситуации.

### III. Функции измерительной системы

Измерительная система выполняет анализ, отображение, сохранение данных, преобразование аналоговых данных в натуральные значения. В системе применяется дискретизация с высокоскоростным преобразованием для получения и обработки данных с высокой точностью, надежностью и скоростью обмена данными.

#### Основные функции системы измерения

Аналоговый канал данных, дискретизация и скорость обмена приведены в таблице 1.

№	Аналоговый сигнал	Разрешение	Скорость обмена данными
1	Выходное напряжение	16 бит	100 кГц
2	Выходной ток	16 бит	100 кГц
3	Выходное напряжение трансформатора	16 бит	100 кГц
4	Выходное напряжение регулятора	16 бит	100 кГц
5	Выходной ток регулятора	16 бит	100 кГц

- Запись осциллограммы: запись и отображение напряжения и тока в течение 30 секунд до пробоя и отключения.
- Сохранение осциллограммы и изображения кривой изменения напряжения в формате BMP. На картинке могут отображаться одновременно до 8 графиков, можно увеличивать, перемещать и т.д.
- Визуализация: показ точек напряжения и тока. Графики изменений  $U(t)$ ,  $I(t)$

### IV. Аппаратные средства

Компьютер: промышленный компьютер, 23" LCD, процессор P4, 500 Гб, 2Гб.

Карта ввода/вывода: 16 бит, 8 каналов, скорость обмена 100 кГц.

Принтер: по выбору Заказчика.

Пульт управления: полностью экранирован, бесперебойный источник питания.

Разделительный трансформатор: 400 ВА, уровень изоляции  $\geq 2$  кВ

Модель микроконтроллера: количество выходов: 51, полностью экранирован.

Аналоговый разделитель сигналов с развязкой: 8 каналов, 250 кГц, 2400 В