

## Резонансная испытательная система переменного тока с подстраиваемой индуктивностью РИСи-2400/400

### 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 с большой емкостью, таких как силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, генераторы, изоляторы, высоковольтные вводы, измерительные трансформаторы напряжения, КРУЭ в полевых условиях после монтажа перед включением. 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-2400/400 Высоковольтный реактор цилиндрической формы с регулируемой переменной индуктивностью
2. ФПВ-400 Высоковольтный фильтр помех (также емкостный делитель напряжения)
3. ТВ-60/0.6/2\*10 Трансформатор-возбудитель
4. РН-60/0.4/0 ~ 0.65 Регулятор напряжения
5. ФПН-60/0.6 Низковольтный фильтр
6. ТИ-60/0.4/0.4 Изолирующий трансформатор
7. АСУ-2000 Цифровая автоматическая система контроля и измерения
8. Высоковольтный кабель длиной 10 м, кабель управления, измерительный и силовой кабель.

### Условия эксплуатации испытательного оборудования и объекта испытаний

Высота над уровнем моря	≤ 1000 метров
Рабочая температура высоковольтных компонентов	+5 °С ÷ +35°С
Относительная влажность воздуха в основном зале	< 90% (при 20°С, без конденсации)
Максимальные суточные колебания температуры	< 30°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-2400/400**

Номинальное входное напряжение:	400 В (режим «фаза-фаза»)
Номинальное выходное напряжение:	400 кВ
Номинальная частота:	50 Гц
Количество фаз:	Однофазная система
Номинальная входная мощность:	60 кВА
Номинальная выходная мощность:	2400 кВА
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.
Фоновые частичные разряды при $U_{ном.}=400кВ$	<2 пКл
Коэффициент нелинейных искажений:	$\leq 3\%$
Добротность системы:	>40
Диапазон регулирования индуктивности:	>1:20
Способ охлаждения:	естественное масляное/естественное воздушное охлаждение
Уровень шума:	<75 дБ (на расстоянии 4 м)
Испытательное напряжение:	1.1 $U_{ном.}$ в течение 1 мин
Эксплуатация оборудования:	Внутри помещения

---

**1. Высоковольтный реактор с переменной регулируемой индуктивностью:**

**Модель: РРВ-2400/400**

Конструкция:	Цилиндрического типа, корпус из композитного материала, маслonaполненный, естественное охлаждение, с регулируемой индуктивностью
Номинальное напряжение:	400 кВ
Номинальный ток:	6 А
Номинальная частота:	50 Гц
Количество фаз:	Однофазный
Номинальная выходная мощность:	2400 кВА
Диапазон регулирования индуктивности:	>1:20
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.
Способ охлаждения:	естественное масляное/естественное воздушное охлаждение
Испытательное напряжение:	1.1 $U_n$ в течение 1 мин
Испытательное напряжение:	1.1 $U_{ном}$ в течение 1 мин.

---

Коэффициент нелинейных искажений:	$\leq 3\%$
Уровень шума:	$<75$ дБ (на расстоянии 4 м)

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

### Модель: ФПВ-400

Номинальное напряжение:	400 кВ
Номинальная частота:	50 Гц
Номинальная емкость:	1.5 нФ (может применяться как основная нагрузка)
Погрешность измерения:	$\leq \pm 1\%$
Коэффициент диэлектрических потерь (tg $\delta$ ):	$\leq 0.2\%$
Полоса подавления помех:	10 кГц-300 кГц $\geq 10$ дБ
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. Конденсатор связи применяется как высоковольтный делитель напряжения для измерения уровня частичных разрядов. Высоковольтный конденсатор является основной нагрузкой общей испытательной цепи, что позволяет проводить испытания объекта с малой емкостью.

### Составные части высоковольтного фильтра помех ФПВ-400:

#### Высоковольтный конденсатор

##### Модель: КВ-1500/400

Количество:	2 шт.
Номинальное напряжение:	400 кВ
Номинальная емкость:	1.5 нФ
Номинальная частота:	50 Гц
Фоновый частичный разряд при $U_{ном.}=1600$ кВ:	$\leq 2$ пКл

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

#### Индуктивность изолированная

##### Модель: ИИ- 200/6

Количество:	2 шт.
Режим работы:	непрерывный
Фоновый частичный разряд:	При $U_n=800$ кВ $\leq 2$ пКл
Номинальная индуктивность:	$>200$ мГн
Номинальный ток:	6 А

## 3. Трансформатор-возбудитель

### Модель: ТВ-60/0.6/2\*10

Конструкция: стальной бак, маслonaполненный, с естественным охлаждением

Номинальная частота:	50 Гц
Номинальное входное напряжение:	0.6 кВ
Номинальное выходное напряжение:	2*10 кВ
Номинальный выходной ток:	2 x 3 А
Номинальная мощность:	60 кВА
Напряжение короткого замыкания:	<7.5%
Схема и группа соединения обмоток:	I-0
Испытательное напряжение:	1.1 U <sub>ном</sub> в течение 1 мин.
Количество фаз:	однофазный
Режим работы:	При 100% U <sub>ном</sub> , I <sub>ном</sub> . 1 час работы, 1 час остановки. 8 циклов в день. Температура перегрева обмоток не должна превышать 65°C. При 100% U <sub>ном</sub> , 67% I <sub>ном</sub> . непрерывная работа в течение 1 года.

#### 4. Регулятор напряжения

Модель: РН-60/0.4/0 ~ 0.65

Конструкция:	Маслонаполненный, естественное воздушное охлаждение
Номинальное входное напряжение:	0.4 кВ
Номинальное выходное напряжение:	0-0.65 кВ (плавное регулирование)
Номинальная частота:	50 Гц
Номинальная мощность:	60 кВА
Степень защиты:	IP 20
Импеданс по напряжению:	<7.5%
Схема и группа соединения обмоток:	I-0
Метод регулировки напряжения:	Сервоприводом
Количество фаз:	однофазный
Режим работы:	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. Внутри регулятора напряжения установлен воздушный переключатель производства Siemens.

#### 5. Низковольтный фильтр

Модель: ФПН-60/0.6

Номинальное напряжение:	0.6 кВ
Номинальный ток:	100 А
Номинальная мощность:	60 кВА
Полоса подавления помех:	10 кГц~300 кГц ≥ 30 дБ
Режим работы:	Непрерывная работа в течение 1 года

#### 6. Изолирующий трансформатор

Модель: ТИ-60/0.4/0.4

Номинальное входное напряжение:	0.4 кВ
Номинальное выходное напряжение:	0.4 кВ
Номинальная мощность:	60 кВА
Полоса подавления помех:	10 кГц-300 кГц $\geq$ 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. Ж/К 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 стеклоэпоксида, 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 возможно 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 конечных 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 конечного 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, 19" LCD, процессор P4, 160 Гб, 512Мб.

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