

**Резонансная испытательная система передвижная  
с подстраиваемой частотой 20-300Гц для испытания  
силовых кабельных линий, КРУЭ, токопроводов  
РИСПч-28000кВА/350кВ/700кВ/1400кВ.ЦАЕИ**

Новочеркасск 2024

## 1. 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 изготавливает испытательное, измерительное и диагностическое оборудование для широкого применения в испытательных лабораториях, для научно-исследовательских целей, на производстве и на объектах в полевых условиях.

## 2. Описание:

Резонансная испытательная система с подстраиваемой частотой предназначена для испытания электрической прочности изоляции силовых кабельных линий из сшитого полиэтилена, КРУЭ, токопроводов, конденсаторных батарей класса напряжения до 500кВ и другого электрооборудования с большой электрической емкостью. Все технические характеристики соответствуют ГОСТ-55195, ГОСТ-1516, ГОСТ-Р-54828-2011, СТО ФСК ЕЭС 56947007-29.240.35.184, МЭК 60060. **В процессе испытаний выполняется измерение уровня частичных разрядов ЧР.**



Элементы высоковольтной испытательной системы и электрическая емкость силовых кабелей, КРУЭ образуют колебательный контур собственной частоты. Когда частота испытательной системы настраивается на частоту этого колебательного контура, система входит в резонанс. Это позволяет получить высокое испытательное напряжение с большим током при минимуме потребления мощности.

Система управления РИСпч в автоматическом режиме настраивается на резонансную частоту в диапазоне 20 Гц-300 Гц и высоковольтные испытания проводятся на заданной частоте. В резонансной установке используется источник питания переменной частоты с синусоидальной формой напряжения. Резонансные испытательные системы предназначены для испытания электрической прочности изоляции приложенным напряжением и измерения уровня частичных разрядов ЧР.

## 3. Область применения:

- Испытания электрической прочности изоляции силовых кабельных линий из сшитого полиэтилена, КРУЭ, кабельных вставок, токопроводов, конденсаторных батарей класса напряжения до 500кВ, в полевых условиях.
- Испытания электрической прочности изоляции выключателей.
- Испытания изоляции электрооборудования, имеющего большую емкость.
- Измерение уровня частичных разрядов ЧР.
- Измерение электрической емкости объектов (С) и коэффициента диэлектрических потерь (tgδ).

#### 4. Основные конструктивные особенности и характеристики:

- Резонансная испытательная система предназначена для испытания силовых кабельных линий из сшитого полиэтилена, КРУЭ, кабельных вставок, токопроводов, конденсаторных батарей класса напряжения до 500кВ, в полевых условиях в сухую погоду с частой транспортировкой;
- Реактор маслонаполненный с естественным воздушным охлаждением;
- Является компактной системой с прочной конструкцией. Система монтируется в 40-футовый контейнер на полуприцепе, пульт управления устанавливается в 10-футовый контейнер;
- Имеет низкий уровень собственных частичных разрядов <10 пКл;
- Диапазон частот соответствует ГОСТ-Р-55195 регулируется в пределах 20Гц-300Гц;
- Малое потребление энергии, добротность системы >60;
- Линейная характеристика индуктивности реактора, низкий уровень шума;
- Современная система управления с полной автоматизацией процессов испытания и измерения, простой интерфейс с сохранением результатов измерений и выводом протоколов испытаний на печать;
- Современная система защиты РИСпч и объекта испытаний;
- Все элементы установлены в одной конструкции, для высоковольтного вывода необходимо малое безопасное расстояние.

#### 5. Технические характеристики резонансной испытательной системы РИСпч

Модель: РИСпч -28000кВА/350кВ/700кВ/1400кВ.ЦАЕИ

| Параметр                          | Значение                      |                                       |                            |
|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Номинальное входное напряжение:   | 380V±10%                      |                                       |                            |
| Номинальный входной ток:          | 1315.78А                      |                                       |                            |
| Номинальная входная мощность:     | 500 кВА                       |                                       |                            |
| Номинальная входная частота:      | 50 Гц                         |                                       |                            |
| Номинальная выходная мощность:    | 28000кВА<br>(4 параллельно)   | 28000кВА<br>(2 последоват+<br>2парал) | 28000кВА<br>(4 последоват) |
| Номинальное выходное напряжение:  | 350кВ                         | 700кВ                                 | 1400кВ                     |
| Номинальный выходной ток:         | 80А                           | 40А                                   | 20А                        |
| Емкость нагрузки (при 50Гц):      | 0.72мкФ                       | 0.18мкФ                               | 0.045мкФ                   |
| Количество фаз на выходе:         | 1                             |                                       |                            |
| Точность регулирования напряжения | 1.0%                          |                                       |                            |
| Номинальная выходная частота:     | 20-300 Гц                     |                                       |                            |
| Шаг регулирования частоты:        | 0.02 Гц                       |                                       |                            |
| Стабильность частоты:             | ≤0.05%                        |                                       |                            |
| Мощность источника питания:       | 500 кВА                       |                                       |                            |
| Уровень шума:                     | ≤75 дБ                        |                                       |                            |
| Форма выходного напряжения:       | синусоидальная                |                                       |                            |
| Коэффициент нелинейных искажений: | <1%                           |                                       |                            |
| Испытательное напряжение:         | При Уном 1.1 в течение 1 мин. |                                       |                            |
| Добротность системы:              | □60                           |                                       |                            |
| Уровень частичных разрядов:       | ЧР≤10.0пКл при 1200кВ         |                                       |                            |
| Режим работы:                     | 60мин работа, 30мин останов   |                                       |                            |
| Условия эксплуатации              | На открытом воздухе           |                                       |                            |

## 6. Условия эксплуатации испытательной системы

| Параметр  | Значение  |
|---|---|
| Высота над уровнем моря:                        | $\leq 1000$ м   |
| Рабочая температура высоковольтных компонентов: | $-5^{\circ}\text{C} - +45^{\circ}\text{C}$                          |
| Эксплуатация оборудования:                      | Внутри/снаружи, в сухую погоду                                      |
| Сейсмостойкость:                                | $\leq 7.5$  |
| Сопротивление цепи заземления:                  | $\leq 0,5$ Ом   |
| Коэффициент нелинейных искажений:               | $\leq 3\%$  |
| Окружающая среда                                | Без токопроводящей пыли, без воздушных смесей приводящих к коррозии |
| Время подготовки к работы                       | 90 минут  |

## 7. Состав системы:

| №  | Модель                  | Наименование   | Описание  | Кол-во |
|----|-------------------------|--|---|--------|
| 1. | РРВ-7000/350            | Реактор резонансный высоковольтный   | 350 кВ, 7000кВА, 20А, 20-300 Гц, реактор в корпусе цилиндрической формы, маслonaполненный, с естественным воздушным охлаждением | 4      |
| 2. | ПЧ-500/0.4/0-0.4ЧР      | Источник питания с регулируемым напряжением/ частотой без фоновых ЧР       | 500 кВА, вход: 0.4 кВ/50 Гц/ трехфазный, выход: 0-0.4 кВ/20-300 Гц/ двухфазный, с принудительным воздушным охлаждением          | 1      |
| 3. | ТВ-500/0.4/0.3/0.35/0.4 | Трансформатор-возбудитель  | 400 кВА, 20-300 Гц, вход:380В, выход: 300В, 350В, 400В, маслonaполненный, с естественным воздушным охлаждением                  | 1      |
| 4. | ДН-1400/1 - ФПВ         | Делитель напряжения емкостный высоковольтный / Фильтр помех высоковольтный | 1400 кВ, 1нФ, 20-300 Гц, $\text{tg}\delta: 1 \times 10^{-4}$ , коэффициент деления: 10000:1                                     | 2      |
| 5  | И-40/50мГн              | Индуктивность фильтра помех ФПВ  | 40А, 20-300 Гц, 50мГн   | 2      |
| 6  | ФПН-500/0.4-2           | Фильтр помех низковольтный (на выходе ПЧ)                                  | 500 кВА, 20-300 Гц, двухфазный, 0.4 кВ, 14 кГц-1 МГц $\square$ 60 дБ;   | 1      |
| 7  | ТРИ-500/0.4/0,4         | Трансформатор разделительный изолирующий                                   | 500кВА 0.4кВ/0.4кВ  | 1      |
| 8  | АСУИ-2000РИСпч          | Автоматическая система управления и измерения                              | ПЛК Siemens, промышленный компьютер. Программное обеспечение НПП Электромаш   | 1      |
| 9  | Полуприцеп (опция)      | 40-футовый контейнер на полуприцепе  | 40 футов, 12.5*2.5*1.55 м, макс. Грузоподъемность 25 т  | 1      |

|                                      |        |  |   |   |
|--------------------------------------|--------|--|---|---|
| 10                                   | КПУ-10 | Контейнер пульта управления  | 10 футов, 2.99*2.43*2.59 м, с кондиционером, со шкафом для инструмента, двери, окна, освещение, промышленная панель управления; | 1 |
| 11                                   | ИЧРц   | Измеритель частичных разрядов цифровой   | 200 МГц-2ГГц, датчик КРУ  | 1 |
| Дополнительные устройства и элементы |        | Некоронирующий высоковольтный кабель 400 мм (25 м), силовой кабель 35 мм <sup>2</sup> (150 м), измерительный кабель с двойным экраном (30 м), кабель управления с экраном (20м), заземляющий кабель (50 м), заземлитель ручной (2 м) |   |   |

#### Требования к источнику питания:

Источник питания 1: 0.4 кВ/50 Гц/трехфазный/500 кВА

## 8. Технические характеристики компонентов резонансной испытательной системы

### 8.1. Резонансный реактор высоковольтный РРВ-7000/350 -4 шт

| Параметр                    | Значение                    |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Номинальное напряжение:     | 350 кВ                      |
| Номинальный ток:            | 20 А                        |
| Номинальная мощность:       | 7000 кВА                    |
| Индуктивность:              | 139.0Гн (±10%) при 20Гц     |
| Рабочая частота:            | 20~300 Гц                   |
| Рабочий цикл:               | 60мин работа, 30мин останов |
| Уровень изоляции:           | 1.2U <sub>н</sub> /1мин     |
| Повышение температуры:      | ≤65К                        |
| Уровень частичных разрядов: | ЧР≤10.0пКл                  |
| Размеры:                    | Φ1800мм ×2600мм(В)          |
| Масса:                      | 7000кг                      |

Сердечника с воздушным зазором. Обмотка из медного провода. Корпус из стеклоэпоксидного цилиндр, маслonaполненный с естественным воздушным охлаждением с расширителем. Верхняя и нижняя крышка и фланец из немагнитного материала (алюминиевый сплав)

### 8.2. Источник питания с регулируемым напряжением/ частотой с низким уровнем собственных ЧР . ПЧ-500/0.4/0-0.4.ЧР

| Параметр                        | Значение             |
|---------------------------------|----------------------|
| Питание:                        | 3 фазы 380В±10% 50Гц |
| Номинальная выходная мощность:  | 500 кВт              |
| Диапазон регулирования частоты: | 20-300 Гц            |

|  |  |
|--|--|
| Выходное напряжение фиксируется, при регулировании частоты в соответствии с заданным значением |  |
| Разрешение при регулировке частоты:  | 0.01 Гц  |
| Нестабильность частоты:  | $\leq 0.1\%$ (в течении 10 минут)                            |
| Номинальное выходное напряжение:   | 0~350В однофазное регулируемое                               |
| Нестабильность выходного напряжения:   | $\leq 1\%$ (при нестабильности входного напряжения $< 2\%$ ) |
| Номинальный выходной ток:  | 1428.57 А  |
| Класс изоляции:  | □3кВ/АС  |
| Уровень собственных ЧР:  | $< 10.0$ пКл   |
| Рабочий цикл:  | 60мин работа, 30мин останов                                  |
| Охлаждение:  | Воздушное принудительное                                     |
| Уровень шума:  | $< 85$ дБ  |
| Размеры:   | Д (1900 мм) ×Ш (900 мм) × В (2300 мм)                        |
| Вес:   | 2500 кг  |

Выходное напряжение  $\leq 0,5$  В, когда **ПЧ-500/0.4/0-0.4ЧР** подключен к источнику питания, но нагрузка отсутствует.

Источник питания **ПЧ-500/0.4/0-0.4ЧР** помехоустойчив к электрическим полям, но необходимо убедиться в точности измерений и проверять защиты. Напряжение питания должно быть синусоидальным без гармоник.

Защита нулевого положения.

Защита от отключения питания.

Защита от неправильной настройки.

Во время настройки резонанса, когда резонансная точка найдена, напряжение на стороне ВН может быть увеличено до 60кВ в течение 10 секунд.

### 8.3. Автоматическая система управления и измерения АСУИ-2000.РИСпч

Основные функции:

Вывод на дисплей: входное напряжение и ток, выходное напряжение, ток, частота, температура компонентов, температура воздуха; форма выходного напряжения источника питания **ПЧ-500/0.4/0-0.4ЧР**, ток высокого напряжения, выходное высокое напряжение, дата и время, время обратного отсчета испытания, коэффициент деления ДН, значение перенапряжения, сообщения о неисправности и т. д.

Задание испытательного напряжения и времени испытаний.

Задание уровня защиты от перенапряжения и сверхтока.

Функция защиты от разряда цепи.

Переключение ручная-автоматическая настройка/повышение напряжения..

Кнопка грубой и точной регулировки напряжения (можно установить скорость регулировки напряжения)

Кнопка грубой и точной регулировки частоты (можно установить скорость регулировки)  
 Автоматическая установка чередования фаз и автоматический выбор направления вращения вентилятора охлаждения.  
 Время испытания может быть установлено ступенчато, диапазон времени одной ступни составляет 0-99 минут, точность измерения времени составляет 0,1 секунды, система будет сигнализировать оператору об окончании каждой ступени; в конце последней ступени напряжение автоматически возвращается в нулевое положение.  
 Настройка: автоматическая настройка по температуре, индуктивности, емкости, потерям, сопротивлению и другим параметрам. После нахождения резонансной точки напряжение на стороне ВН может достигать 100 кВ в течение 0,5 с.  
 Когда испытание остановлено оператором или сработала защита, необходимо записать пробивное напряжение/ток.  
 Ограничение выходной реактивной мощности и аварийный сигнал.  
 Ток короткого замыкания будет разряжен при пробоях.  
 Индикация неисправностей.

#### 8.4. Трансформатор-возбудитель ТВ-500/0.4/ 0.3/0.35/0.

Трансформатор-возбудитель состоит из катушки НН и катушки ВН с ответвлениями. Между НН и ВН, НН и сердечником имеется электростатический экран. Между НН и ВН нет гальванической связи. Трансформатор однофазный, маслонаполненный, с естественным охлаждением.

| Параметр  | Значение                        |         |         |
|---|---------------------------------|---------|---------|
| Номинальная мощность:   | 500 кВА                         |         |         |
| Номинальное напряжение обмотки НН:  | 350 В                           | 400 В   | 450 В   |
| Максимальный входной ток:   | 1666.7А                         |         |         |
| Номинальное выходное напряжение:  | 6.25 кВ                         | 12.5 кВ | 25.0 кВ |
| Номинальный выходной ток:   | 80 А                            | 40 А    | 20 А    |
| Частота:  | 20~300Hz                        |         |         |
| Уровень изоляции:   | НН относительно земли 5кВ/1мин  |         |         |
|   | ВН относительно земли 10кВ/1мин |         |         |
| Импеданс  | ≤10%                            |         |         |
| Уровень шума  | ≤60дБ                           |         |         |
| Метод охлаждения:   | Масляное, естественное          |         |         |
| Рабочий цикл:   | 180мин работа, 30мин останов    |         |         |
| Через 180 минут работы температура обмотки не должна превышать 65К; температура масла верхнего уровня <55К. |                                 |         |         |



|  |  |
|--|--|
| Имеется датчик температуры масла и индикатор уровня масла. Имеется рымболт для перемещения. Трансформатор выдерживает перевозку обычным железнодорожным и автомобильным транспортом. |  |
| Размеры  | Д(1400мм)×Ш(1200мм)+ввод 600мм×В(1650мм) |
| Вес:   | 2800 кг                                  |

### 8.5. Делитель напряжения емкостный высоковольтный/Фильтр помех высоковольтный ДН-1400/1-ФПВ

| Параметр                      | Значение              |
|-------------------------------|-----------------------|
| Номинальное напряжение:       | 1400кВ                |
| Номинальный ток:              | 40 А                  |
| Номинальная емкость ВВ плеча: | 1.0нФ(± 10%)          |
| Точность измерения напряжения | < 1.0%                |
| Коэффициент деления:          | 10000: 1              |
| Уровень собственных ЧР:       | <2.0пКл при 1200кВ    |
| Затухание:                    | □40дБ                 |
| Полоса пропускания:           | 20кГц~1МГц            |
| Вносимые потери:              | < 2%                  |
| Индуктивность И-40/50:        | 40А, 50мГн            |
| Размеры Конденсатор:          | ~Ф270× 1200мм (В) 2шт |
| Высота общая                  | 4200мм                |
| Размер рамы:                  | ~ 3800мм×3800мм       |
| Вес:                          | 1400кг/шт             |

### 8.6. Трансформатор разделительный изолирующий ТРИ-500/0.4/0,4

| Параметр              | Значение                    |
|-----------------------|-----------------------------|
| Номинальная мощность: | 500 кВА                     |
| Вход:                 | 380В, 50Гц                  |
| Выход                 | 380В, 50Гц                  |
| Рабочий цикл:         | 60мин работа, 30мин останов |



|                     |                             |
|---------------------|-----------------------------|
| Затухание:          | □10дБ                       |
| Полоса пропускания: | 15кГц- 1МГц ≥10дБ           |
| Размеры:            | (Д)1250мм×(Ш)850мм×(В)130мм |
| Масса               | ~1500кг                     |

### 8.7. Фильтр помех низковольтный (на выходе источника питания) ФПН-500/0.4-2

| Параметр                | Значение                  |
|-------------------------|---------------------------|
| Номинальное напряжение: | 350В, 50Гц                |
| Номинальный ток:        | 714.2А                    |
| Затухание:              | □40дБ                     |
| Полоса пропускания:     | 20~1МГц                   |
| Вносимые потери:        | < 2%                      |
| Размеры:                | ~(Д) 1100*(Ш)480*(В)500mm |
| Высота:                 | 230 кг                    |