

## Системы испытаний постоянным напряжением



Высоковольтная система постоянного напряжения 1600 кВ / 2 А (испытания с загрязнением)  
China Power Electric Research Institute

### Применение

Высоковольтные системы испытаний постоянного напряжения применяются для испытаний электрической прочности силовых кабелей, генераторов и выключателей, а также для испытаний электрической прочности с переключением полярности сверхвысоковольтного силового оборудования, для испытаний характеристик всех видов изоляционных материалов при воздействии высокого постоянного напряжения, для определения характеристик разряда в воздушном искровом промежутке при постоянном напряжении, для измерений токов утечки и испытаний гирляндных изоляторов с разрядом, для определения начального напряжения возникновения коронного разряда у проводов, металлов и изоляторов.

### Особенности

- Модульная конструкция
- Стабильный выходной ток, небольшое падение напряжения, низкий коэффициент пульсаций
- Автоматическое слежение и подстройка с помощью тиристорov; стабилизация напряжения на объекте испытаний
- Автоматическое переключение полярности
- Патентованная автоматическая система заземления, высоконадёжный уровень защиты персонала
- Система управления с режимами ручного управления и автоматического управления; высокая помехоустойчивость.
- Конструктивное исполнение систем для работы в помещениях или на открытом воздухе

## Описание системы

В высоковольтных системах испытаний постоянным напряжением используется принцип выпрямления и умножения переменного напряжения. Характеристики генератора постоянного напряжения определяются выбором конденсаторов и количества каскадов.

Для переключения полярности высоковольтного кремниевого выпрямительного моста используется гидравлический привод. Этот процесс реализован с помощью дистанционного управления.

Безопасность систем обеспечивается автоматическими устройствами разряда и заземления.

Функция автоматического слежения и подстройки с помощью тиристоров поддерживает стабильное напряжение на объекте испытаний.



## Компоненты системы

### Основные компоненты

- Коммутационный шкаф
- Регулятор напряжения
- Зарядный трансформатор
- Генератор постоянного напряжения
- Делитель напряжения
- Защитный резистор
- Контрольно-измерительная система

### Дополнительные компоненты

- Делитель переменного напряжения
- Фильтр
- Мощный резистор для разряда нагрузки
- Переключатель разряда нагрузки
- Другие компоненты

## Компоненты, необходимые для испытаний с загрязнением

- Коммутационный шкаф источника питания
- Регулятор напряжения
- Зарядный трансформатор
- Генератор постоянного напряжения
- Делитель напряжения
- Защитный резистор
- Контрольно-измерительная система
- Тиристорный блок автоматического слежения
- Цифровая широкодиапазонная система обнаружения и регистрации токов утечки
- Заземляющий переключатель

### Описание компонентов

#### Генератор постоянного напряжения

#### Умножитель-выпрямитель переменного напряжения

В генераторе могут применяться конденсаторы в двух вариантах конструктивного исполнения – в изоляционном корпусе и в металлическом корпусе. Конденсаторы в изоляционном корпусе пригодны для каскадирования с целью достижения напряжения 200 ÷ 2000 кВ и тока 5 ÷ 100 мА. Для конденсаторов в металлическом корпусе требуется изолирующая опора для каскадирования с целью достижения напряжения 300 ÷ 1600 кВ и тока 100 ÷ 2000 мА. Такие конденсаторы можно применять на открытом воздухе.

#### Высоковольтный кремниевый выпрямительный мост

Полярность выпрямительного моста можно переключать вручную или автоматически. Время переключения полярности только выпрямительного моста составляет около 10 секунд. Время переключения полярности испытательного напряжения не превышает 120 секунд.

### Описание

Высоковольтная система для испытаний с загрязнением имеет специальную конструкцию.

Основная цепь подачи постоянного напряжения содержит испытательный трансформатор, умножитель-выпрямитель переменного напряжения и другие компоненты. Источник питания первичной обмотки испытательного трансформатора управляется регулятором напряжения через тиристорный блок автоматического слежения. Система управления контролирует напряжение на высоковольтных выводах и ток утечки у объекта испытаний, отслеживая при этом изменения напряжения и тока. Далее применяется алгоритм регулирования для реализации динамического регулирования напряжения с двойной обратной связью. Этот алгоритм обеспечивает высокую точность регулирования и быструю реакцию, благодаря чему всегда поддерживается в допустимых пределах динамический выброс и падение напряжения на высоковольтном выходе.

Основные параметры соответствуют требованиям стандарта IEC 61245 "Испытания с искусственным загрязнением", т.е. падение напряжения во время испытания не превышает 10% (ток утечки может превышать 1 А при сильном загрязнении), выброс напряжения не превышает 10%, падение напряжения на объекте испытаний менее 5%, выброс напряжения менее 8% при длительности тока резистивной нагрузки 0,5 с и выходном токе 500 мА.

Это оборудование применяется в основном для испытаний при постоянном напряжении с загрязнением и обледенением гирляндных изоляторов и опорных изоляторов, применяемых в линиях передачи постоянного напряжения на различных высотах.

## Технические характеристики

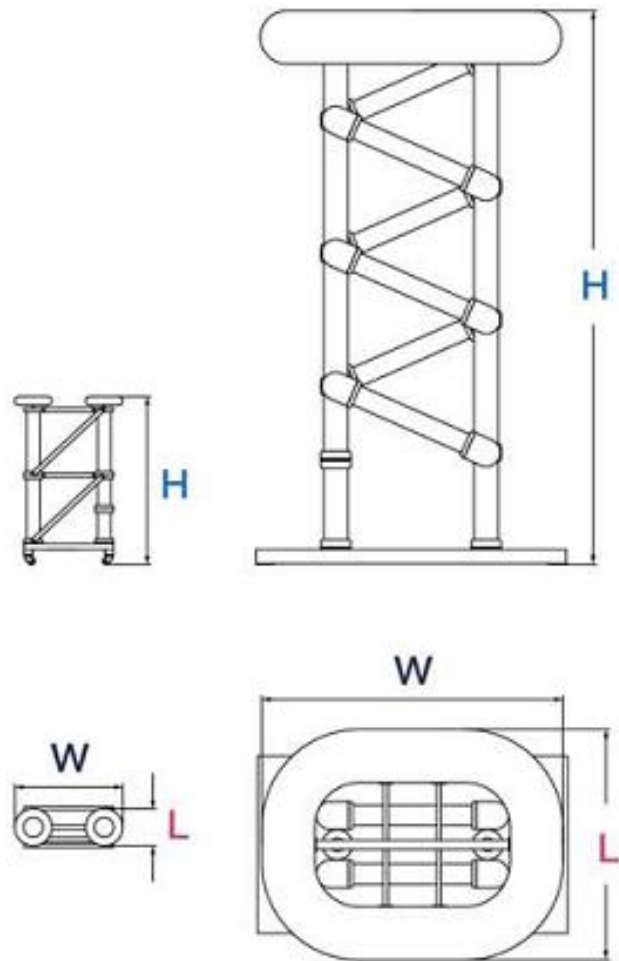
### Системы испытаний постоянным напряжением

Тип	Ном. U	Нагрузка	L	W	H	Вес
	кВ	мА	мм	мм	мм	кг
ZL-400	± 400	5	1300	600	2000	540
	± 400	10	1300	600	2000	650
ZL-600	± 600	5	2050	1500	4760	1450
	± 600	10	2250	1500	4760	1850
ZL-800	± 800	10	3500	2000	5800	2850
	± 800	20	3500	2000	5800	3100
	± 800	30	3500	2000	6000	3500
ZL-1000	± 1000	10	3500	2000	6400	3100
	± 1000	20	3500	2000	6600	3500
ZL-1200	± 1200	10	4000	2500	7500	3500
	± 1200	20	4000	2500	7700	4100
	± 1200	30	4000	2500	7700	4900
ZL-1600	± 1600	30	5000	3000	10500	4100
	± 1600	50	5000	3000	11000	5010
ZL-2000	± 2000	30	6000	4000	14500	6100
	± 2000	50	6000	4000	15000	7100
	± 2000	100	6000	4000	15000	91000

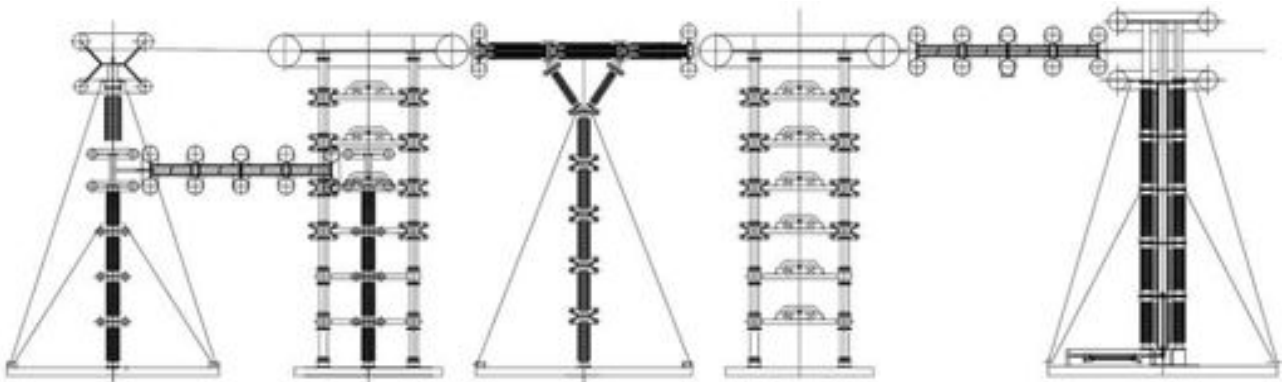
### Системы испытаний постоянным напряжением

Тип	Ном. U	Нагрузка	L	W	H	Вес
	кВ	мА	мм	мм	мм	кг
ZL-300	± 300	1500	156400	4520	4690	5700
ZL-1000	± 1000	2000	28000	15530	11300	21000
ZL-1600	± 1600	2000	33000	8000	19215	27500

### Высоковольтная система для испытаний постоянным напряжением



### Высоковольтная система для испытаний постоянным напряжением (с загрязнением)



## Коммутационный шкаф

- Коммутационный шкаф I обеспечивает подачу электропитания на систему. Коммутационный шкаф II управляет цепью включения-выключения между регулятором и трансформатором.
- Каркас и панели стандартного высоковольтного шкафа XGN-12 изготовлены из листового металла, оцинкованного горячим способом. В шкафу установлены размыкатель, вакуумный контактор, высоковольтные предохранители, трансформатор напряжения, трансформатор тока и разрядник защиты от бросков напряжения.
- Размеры высоковольтного шкафа: 1100 × 1200 × 2650 мм.
- Каркас и панели стандартного низковольтного коммутационного шкафа GGD-12 изготовлены из листового металла, оцинкованного горячим способом. В шкафу установлены размыкатель, вакуумный контактор, высоковольтные предохранители, трансформатор напряжения и трансформатор тока. Здесь индицируется напряжение и ток. Этот шкаф допускает возможность дистанционного управления.
- Размеры низковольтного шкафа: 600 × 800 × 2200 мм.
- **Примечание:** Выключатель трансформатора мощностью менее 50 кВА установлен внутри коммутационного шкафа регулятора напряжения.

## Регуляторы напряжения

Регулятор напряжения автотрансформаторного типа представляет собой автотрансформатор с возможностью плавной регулировки выходного напряжения. Выходное напряжение этого регулятора имеет правильную синусоидальную форму. Нижний предел изменения напряжения здесь может быть равен нулю. Этот регулятор имеет плавную, непрерывную линейную характеристику регулирования. Здесь возможна регулировка напряжения короткого замыкания автотрансформатора в небольших пределах. Данный регулятор характеризуется низким уровнем шума, отсутствием фазового сдвига между входным и выходным напряжением и является идеальным регулятором напряжения для высоковольтных испытаний.

Регулятор напряжения индуцированного типа по своей конструкции и принципу действия аналогичен заторможенному асинхронному электродвигателю с роторной обмоткой, однако преобразование энергии осуществляется аналогично трансформатору. Регулятор корректирует угловой сдвиг для изменения фазы и амплитуды индуцированного напряжения статорной или роторной обмотки. Таким способом осуществляется регулировка напряжения.

## Резистивно-емкостной делитель напряжения и заземляющий переключатель

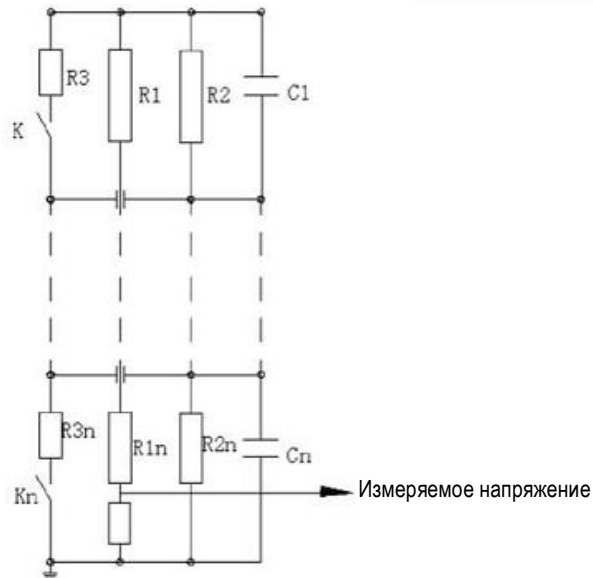
### Делитель напряжения

- Резистивно-емкостной делитель напряжения имеет высокий входной импеданс и хорошую линейность. В делителе применена специальная технология экранирования для снижения влияния высокого напряжения на измеренное значение. С помощью делителя выполняются измерения постоянного напряжения, коэффициента пульсаций и частотных характеристик.
- Высоковольтный резистор имеет двухслойную структуру. Внешний слой служит для экранирования, а внутренний слой – для измерений. Время реакции измерительной системы и время реакции сигнала изменения напряжения от объекта испытаний не превышает 0,1 мс. При измерении постоянного напряжения через резистор протекает ток  $0,5 \div 2$  мА. Если влияние тока утечки или коронного разряда невелико, то можно установить меньшее значение тока через резистор. Нестабильность коэффициента деления не превышает 1%.

### Заземляющий переключатель (патент ZL 2009 2 0236198.8)

- Этот переключатель служит для сброса остаточного заряда конденсатора за одну секунду, чтобы обеспечить безопасность персонала и оборудования.
- Пневматический привод улучшает управление.

Новая система заземления просто и надежно сбрасывает накопленный в конденсаторах заряд через защитное устройство после завершения высоковольтного испытания.

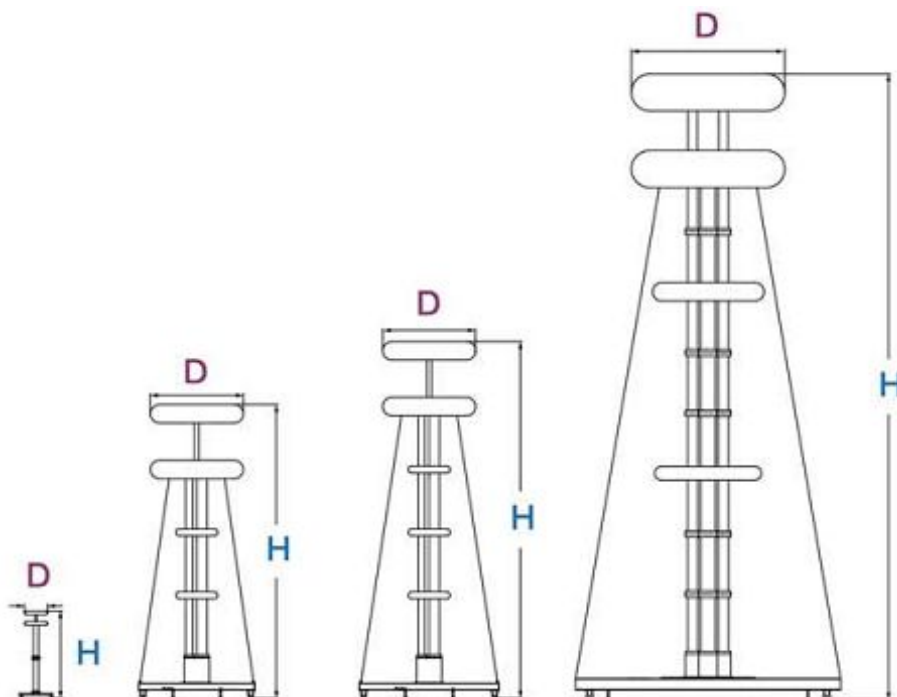


Резистивно-емкостные делители напряжения

Тип	Ном. U	C1	R1	R2	D	H	Вес	
	кВ							пФ
ZR-400	400	400	400	200	450	1850	75	
ZR-600	600		600	300	800	4500	150	
ZR-800	800		800	400	1800	6300	350	
ZR-1000	1000		1000	500	2000	7500	600	
ZR-1200								
ZR-1600	1600		1600	800	2900	13500	1200	
ZR-2000	2000		2000	1000	3300	14000	1500	

Резистивно-емкостные делители напряжения  
испытание с загрязнением

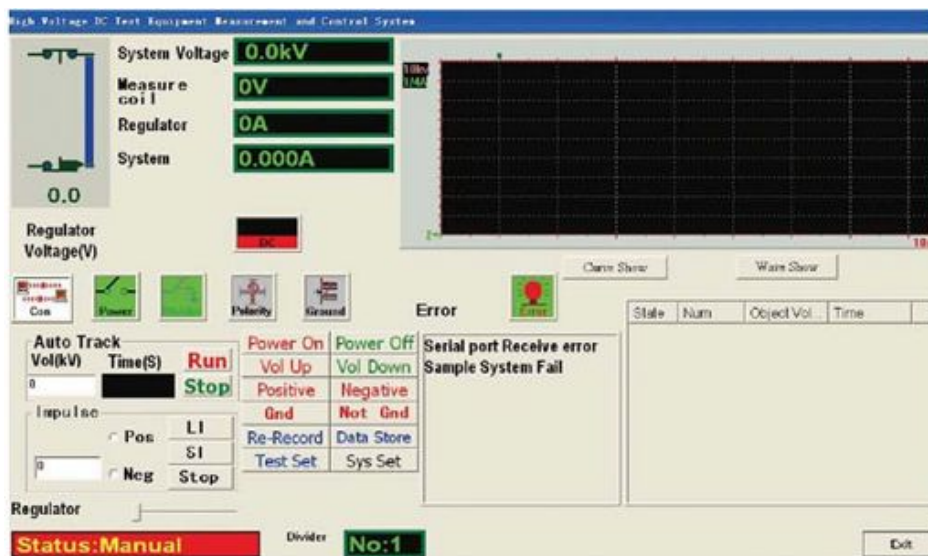
Тип	Ном. U	C1	R1	R2	D	H	Вес
	кВ						
ZR-400	400	400	400	200	450	1850	75
ZR-1000	1000		1000	500	2000	7500	900
ZR-1600	1600		1600	800	2900	13500	1350



## Контрольно-измерительная система

### Введение

- Центральными частями системы управления генератором постоянного напряжения являются промышленный компьютер, контроллер нижнего уровня и привод. С помощью компьютера осуществляется автоматическое управление испытательной системой, быстрый анализ сигналов и обработка данных. Применение системы с компьютерным управлением позволяет реализовать возможности дальнейшей модернизации и расширения контрольно-измерительной системы для высоковольтной испытательной системы. Это является также аппаратной основой для построения испытательного информационного центра. Все компоненты изготовлены в соответствии с промышленными технологическими стандартами, что обеспечивает надежность, стабильность, точность и быстродействие системы.
- При построении контрольно-измерительной системы была учтена специфика высоковольтных испытаний при постоянном напряжении и приняты эффективные меры защиты от электромагнитных помех, существующих в высоковольтной испытательной лаборатории.
- Рабочее программное обеспечение создано в среде программирования C++ на основе операционной системы Windows, которая обеспечивает совместимость и универсальность системы. Здесь применяется простой и интуитивно понятный графический пользовательский интерфейс.



### Особенности контрольно-измерительной системы

- Три режима управления: ручное управление, полуавтоматическое управление и полностью автоматическое управление. Гибкое и простое управление, дружелюбный интерфейс.
- Гальваническая развязка контроллеров верхнего и нижнего уровня с помощью волоконно-оптической линии связи. Сигналы управления гальванически развязаны оптронами. Гарантируется безопасность и стабильность пульта управления.
- Двойная защита программного обеспечения и оборудования обеспечивает надежность функционирования системы.
- Сообщения о неполадках выводятся на дисплей простым текстом, доступным для понимания.
- Система оборудована устройством мониторинга поверхностного пробоя для выключения испытательной системы при возникновении пробоя.
- Отображение в реальном времени характеристики электрической прочности U-T и I-T.
- Высокая скорость и высокая точность сбора данных, 100 кГц в каждом канале и 16-битовое разрешение.
- Возможность применения в комбинированных испытаниях с генератором импульсного напряжения, сбор данных и регистрация импульсных сигналов.

## Технические данные

Блок управления с процессором нижнего уровня	Главный блок управления на основе процессора 5.1 MCU
Электрическая прочность развязывающего устройства	> 2500 Вэфф, 1 мин.
Разрядность измерений постоянного напряжения и тока, напряжения и тока регулятора	16 бит
Частота дискретизации при измерении постоянного напряжения и тока, напряжения и тока регулятора	100 Квыб/с
Частота дискретизации импульсных измерений	100 Мвыб/с
Глубина памяти импульсных измерений (комбинированные испытания)	1М
Разрядность при импульсных измерениях	12 бит
Цифровой канал процессора нижнего уровня	8 входов, 8 выходов

## Конфигурация системы

Промышленный компьютер (1 шт.): Процессор P4 2.0 или более совершенный; ОЗУ 1 Гбайт; жесткий диск 320 Гбайт; ЖК дисплей 19"

Модуль процессора нижнего уровня: 1 комплект

Волоконно-оптический преобразователь: 2 комплекта

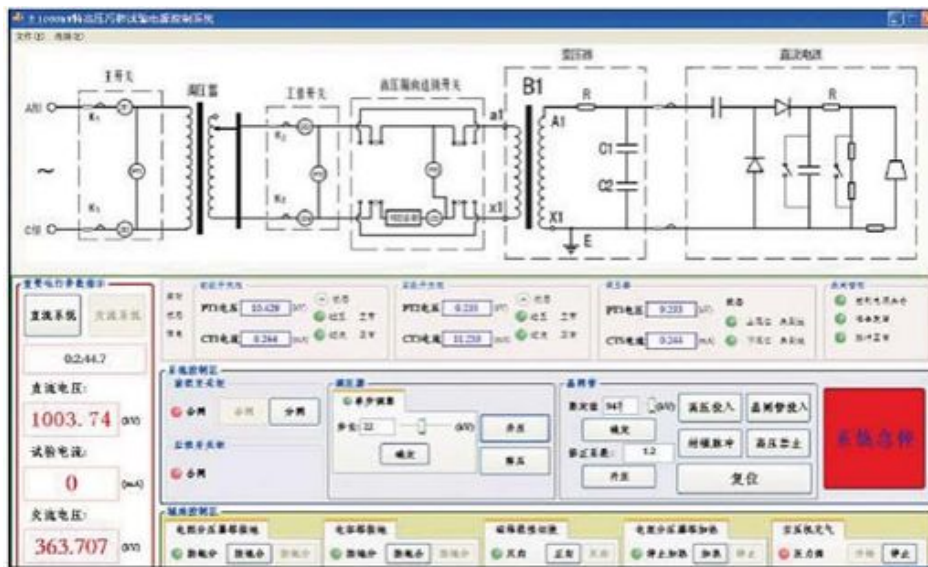
Многомодовый волоконно-оптический кабель

Разделительный трансформатор: 500 Вт (1 шт.)

Клеммная колодка контура управления

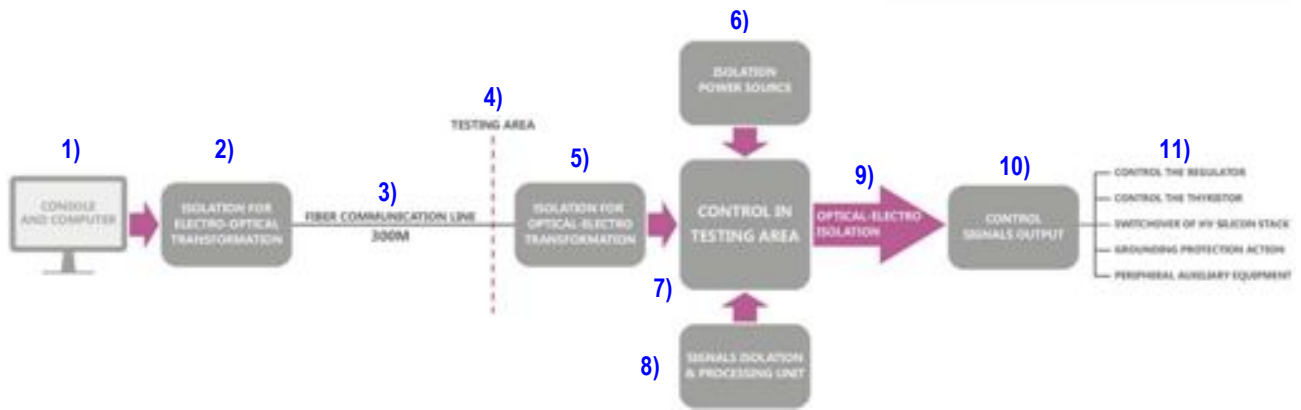
## Контрольно-измерительная система для испытаний с загрязнением

### А. Система управления с двойной обратной связью



Интерфейс управления





- 1) Пульт управления и компьютер
- 2) Электронно-оптический развязывающий преобразователь
- 3) Волоконно-оптическая линия связи
- 4) Испытательная площадка
- 5) Оптико-электронный развязывающий преобразователь
- 6) Изолированный источник питания
- 7) Управление на испытательной площадке

- 8) Блок обработки и развязки сигналов
- 9) Оптоэлектронная развязка
- 10) Выход сигналов управления
- 11) Управление регулятором напряжения  
Управление тиристорами  
Переключение высоковольтного выпрямительного моста  
Включение защитного заземления  
Периферийное вспомогательное оборудование

## 1. Связь на основе волоконно-оптической локальной сети (LAN)

Главная система управления на месте эксплуатации взаимодействует с управляющим компьютером через оптоэлектронный интерфейс, обеспечивающий гальваническую развязку. Она контролирует 9 каналов сигналов напряжения и тока от РТ и СТ, 11 каналов сигналов коммутации и 3 канала сигналов температуры. Одновременно согласно командам с компьютера система управляет регулятором, тиристорами, высоковольтным выпрямительным мостом, заземляющей защитой и другими компонентами. Все сигналы контроля и управления эффективно развязаны от главной системы управления для предотвращения помех со стороны высокого напряжения.

## 2. Система стабилизации напряжения в реальном времени с двойной обратной связью

Система управления контролирует в реальном времени выходное напряжение и ток утечки у объекта испытаний, отслеживает характеристику изменения напряжения и тока и управляет испытанием после вычислений с обратными связями. Система управления корректирует момент включения тиристорov и выходное напряжения регулятора в соответствии с матрицей управления и в итоге корректирует зарядное напряжение высоковольтных конденсаторов для поддержания стабильного выходного напряжения. Вычисления в процессе управления выполняются просто, быстро и точно. Система не только регулирует напряжение на основе обратных связей, но и прогнозирует развитие процесса. Постоянно контролируется выброс и падение напряжения в ограниченном диапазоне.

## 3. Устройство для подавления повышения земляного потенциала

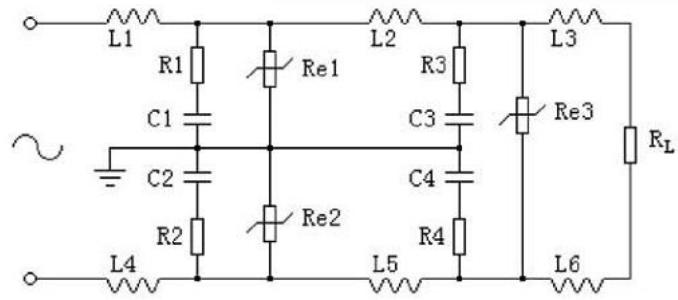
Устройство для подавления повышения земляного потенциала защищает от помех источник питания измерительной системы и предотвращает повреждения, которые могут быть вызваны обратным воздействием поверхностного пробоя и повышения потенциала.

Это устройство содержит схему подавления бросков напряжения и схему фильтра. Схема подавления бросков напряжения выполнена на основе окисно-цинковых варисторов и служит для подавления бросков напряжения и тока. Фильтр представляет собой LC-фильтр нижних частот, предназначенный для подавления высокочастотных составляющих сигналов напряжения и тока. Принципиальная схема устройства показана на следующем рисунке.

Окисно-цинковые варисторы Re1 и Re2 включены между фазовым проводом и заземлением, и между нулевым проводом и заземлением. Варистор Re3 включен между фазовым проводом и нулевым проводом источника питания. Варисторы подавляют броски напряжения и тока в нагрузке R<sub>L</sub>.

Конденсаторы C1 ÷ C4 включены между цепью заземления и цепью питания и служат для защиты цепи питания от скачков земляного потенциала. LC-цепь подавляет пульсации питающего напряжения и ослабляет высокочастотные помехи. Включенные последовательно с конденсаторами резисторы R1 ÷ R4 служат для предотвращения колебательных процессов в LC-цепи.

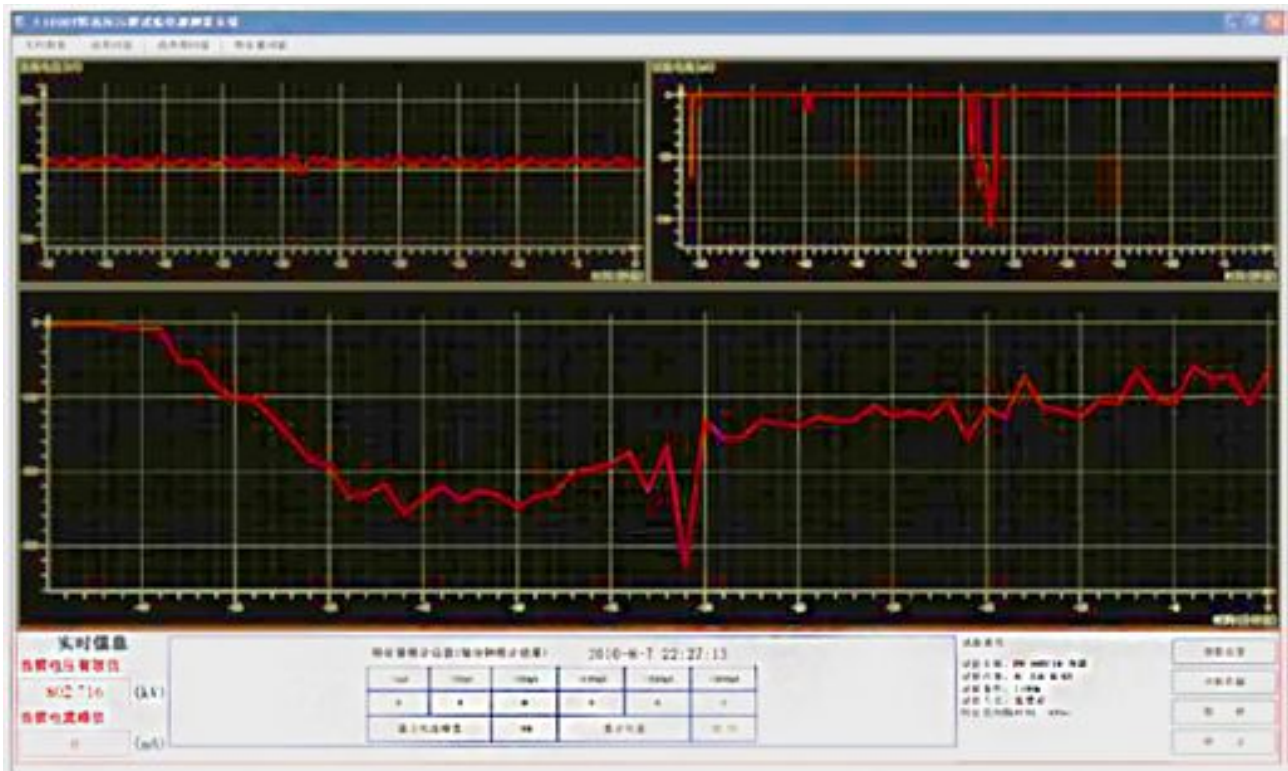
Окисно-цинковые варисторы вместе с LC-фильтром защищают источник питания системы, что обеспечивает достоверность результатов измерений. Длительный опыт испытаний доказал эффективность этого устройства для подавления повышения земляного потенциала.



#### 4. Комбинированная система защиты в реальном времени

Комбинированная система защиты разработана специально для защиты от перенапряжения, токовой перегрузки и всех видов аварийных ситуаций. Она обеспечивает защиту всей испытательной системы в реальном времени. Система защиты включает в себя программную защиту, аппаратную защиту и защиту испытательного оборудования. Программная защита контролирует в реальном времени операционную логику и операции блокировки. Аппаратная защита ориентирована на неполадки связи и программного управления в критичных ситуациях. Она блокирует основное оборудование при возникновении неполадок. Защита оборудования блокирует оборудование, чтобы защитить его в случае превышения предельно допустимых значений.

#### В. Система измерения тока утечки и мгновенного тока поверхностного пробоя



Измерительный интерфейс

## 1. Измерение токов утечки в широком диапазоне с высокой точностью

Прецизионные измерения мгновенного значения тока утечки возможны на пяти пределах измерения в диапазоне от 1 мА до 90 А. Частота дискретизации может достигать 500 кГц. Здесь возможны точные измерения только импульсов длительностью 10 мкс. Возможно автоматическое переключение пределов измерений в наносекундную область. Гарантируется точность измерений в диапазонах 1 мА ÷ 50 мА, 50 мА ÷ 300 мА, 300 мА ÷ 1,5 А, 1,5 А ÷ 10 А и 10 А ÷ 90 А.

## 2. Надежная измерительная система с волоконно-оптической развязкой

Перед измерительной системой установлен быстродействующий блок сбора данных ARM11, цепь регулирования воздействия, блок питания и блок волоконно-оптической связи. Главная система управления и вход системы измерения высокого напряжения надежно изолированы друг от друга, чтобы обеспечить надежную и безопасную эксплуатацию при наличии сверхвысокого напряжения.

## 3. Защитное устройство для импульсных измерений

Вход измерительной системы защищен быстродействующей защитной схемой. Время реакции этой схемы находится в наносекундном диапазоне. Это значительно превосходит по быстродействию обычные системы защиты. Это устройство обеспечивает защиту не только от импульсного напряжения, но и от импульсного тока до 120 А, который может возникать в определенных ситуациях.



Испытательная система постоянного напряжения 800kV / 20mA  
HVTS company, France