

**Система испытания импульсным током и импульсным напряжением  
 ГИТ-500-5000 ГИН-800 кВ/40 кДж**

**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 в испытательных лабораториях, для научно-исследовательских целей, на производстве и на объектах в полевых условиях.

**Область применения**

Система испытания импульсным током ГИТ и импульсным напряжением ГИН предназначена для создания напряжения грозового и коммутационного импульса в диапазоне от 100 кВ до 12000 кВ и энергией импульса от 2,5 кДж до 1720 кДж, импульсным током до 100кА наружной и внутренней установки

С дополнительным оборудованием ГИН может формировать срезанные грозовые импульсы (срезанные по переднему фронту, пику или заднему фронту), колебательные импульсы, согласно ГОСТ 1516, ГОСТР-55195, МЭК 60060-1. Базовая испытательная система может быть модифицирована для проведения специальных испытаний токоограничивающих реакторов, силовых трансформаторов, распределительных трансформаторов, измерительных трансформаторов напряжения и тока, кабелей высокого напряжения, высоковольтных вводов и кабельных муфт, ограничителей перенапряжений (испытания импульсным током), изоляторов, элегазовых распределительных устройств КРУЭ, гидрогенераторов, турбогенераторов.



**Состав системы:**

№	Модель	Наименование	Описание	Кол
1	ГИН-800/40	Генератор импульсного напряжения	800 кВ, 40 кДж, конструкция тип-L, грозовой импульс: 1.2/50 мкс согласно МЭК 60060	1
2	ЗУ-120/0.22	Зарядное устройство выпрямленного тока	5 кВА, входное напряжение: ~0.22 кВ выходное напряжение: =±120 кВ	1
3	ДН-800/400	Емкостный делитель напряжения со слабым затуханием	800 кВ, 400 пФ, коэффициент деления: 1000:1, класс точности: 0.5%, время задержки срезания: <95 нсек	1

4	ГИТ-500/5	Устройство регулирования импульсными токами	500 кВ, 5 кА, импульс тока: 8/20 мкс согласно МЭК 60099	1
4.1	РР-500/50-750	Регулируемый реактор	500 кВ, 5 кА, 8/20 мкс, 50мГн-750 мГн	1
4.2	РИТ-100/1	Фронтной резистор импульсных токов	100 кВ, 10 кА, 8/20 мкс, 1 Ом	4
4.3	РИТ-100/2	Фронтной резистор импульсных токов	100 кВ, 10 кА, 8/20 мкс, 2 Ом	4
4.4	РИТ-100/4	Фронтной резистор импульсных токов	100 кВ, 10 кА, 8/20 мкс, 4 Ом	4
4.5	РИТ-100/8	Фронтной резистор импульсных токов	100 кВ, 10 кА, 8/20 мкс, 8 Ом	4
4.6	ТТ-5/100	Катушка Роговского	5 кА:50 В, класс точности: 0.5%	1
4.7	ДН-500/7.5	Резистивный делитель напряжения	500 кВ, 7.5 кОм, коэффициент деления: 1000:1, погрешность измерения: 0.5%, время задержки срезания: <30 нсек	1
5	АСУ-2001	Автоматическая система управления	Labview, Mitsubishi ПЛК, элементы Siemens	1
6	ЦАИС-3004-12 /100	Цифровая измерительная аналитическая система	12 бит, 100изм./сек, 2-канальная, усовершенствованное программное обеспечение разработано в среде Labview	1
Комплектующие		Высоковольтный кабель некоронирующий 15 м, силовой кабель сечением бмм <sup>2</sup> 30 м, измерительный кабель с двойным экраном 30 м, кабель управления экранированный 60 м, кабель заземления (толщина 0.1мм, ширина 120мм) 50 м, заземлитель (2 м)		

### Условия эксплуатации

Высота над уровнем моря:	≤ 1000 м
Рабочая температура высоковольтных компонентов:	-5°C ÷ +45°C
Относительная влажность воздуха в основном зале:	≤90% (без конденсации при температуре 20°C)
Эксплуатация оборудования:	в помещении
Сейсмостойкость:	≤ 7.5
Должно быть обеспечено надежное заземление с сопротивлением цепи заземления < 0,5 Ом	

### Технические характеристики ГИН-800 кВ/40 кДж ГИТ-500-5000

Конструкция:	Тип-L
Номинальное входное напряжение:	0.22 кВ
Номинальный входной ток:	22.7 А
Номинальная входная частота:	50/60Гц
Номинальное напряжение импульса:	±800 кВ (1.2/50 мкс)
Номинальный ток импульса:	±5 кА (8/20 мкс)
Номинальное остаточное напряжение:	±500 кВ
Номинальное зарядное напряжение каскада:	±100кВ
Время заряда (0-100%):	< 90 сек.

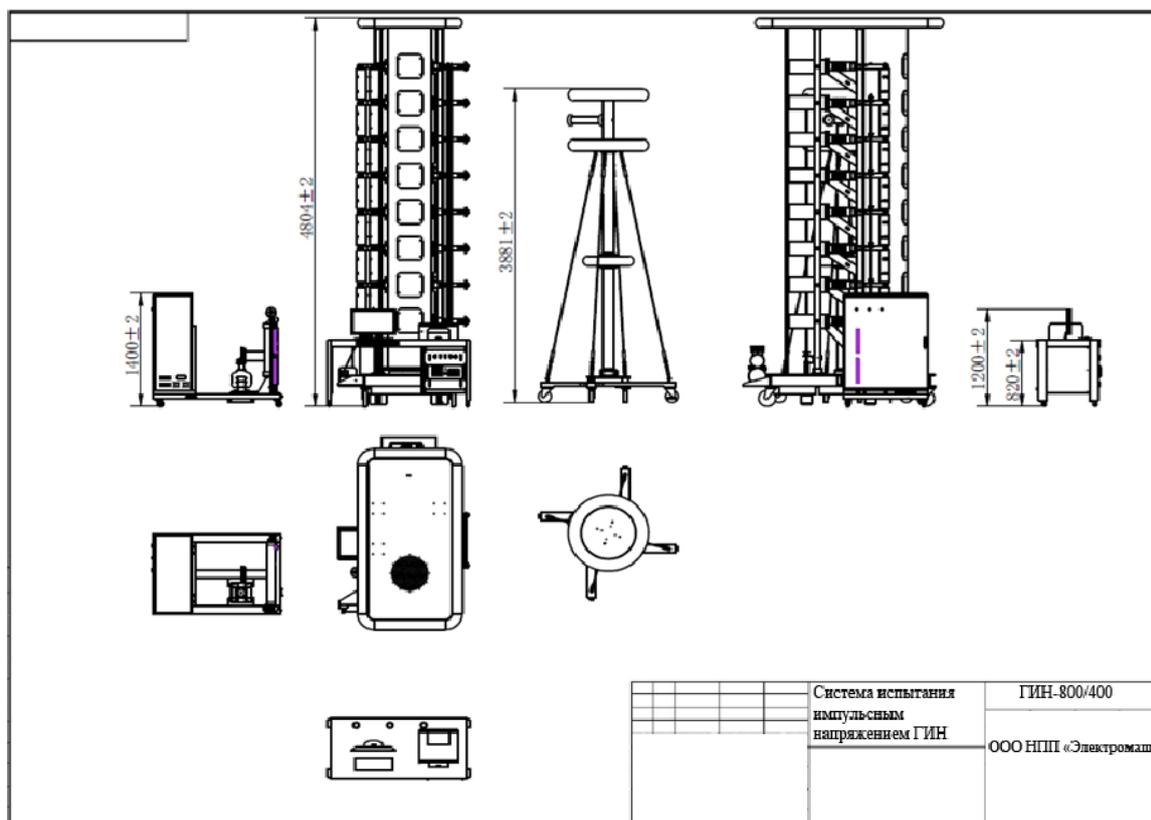
Номинальная емкость:	0.125 мкФ (каждый конденсатор 1 мкФ /100кВ)
Количество каскадов:	8
Емкость каскада:	1 мкФ
Номинальная энергия:	40 кДж
Энергия каскада:	5 кДж
Срок эксплуатации конденсатора:	100000 раз при полном разряде
Режим работы:	Свыше 75% Uном каждые 180 сек. заряд-разряд. Ниже 75% Uном непрерывная работа.

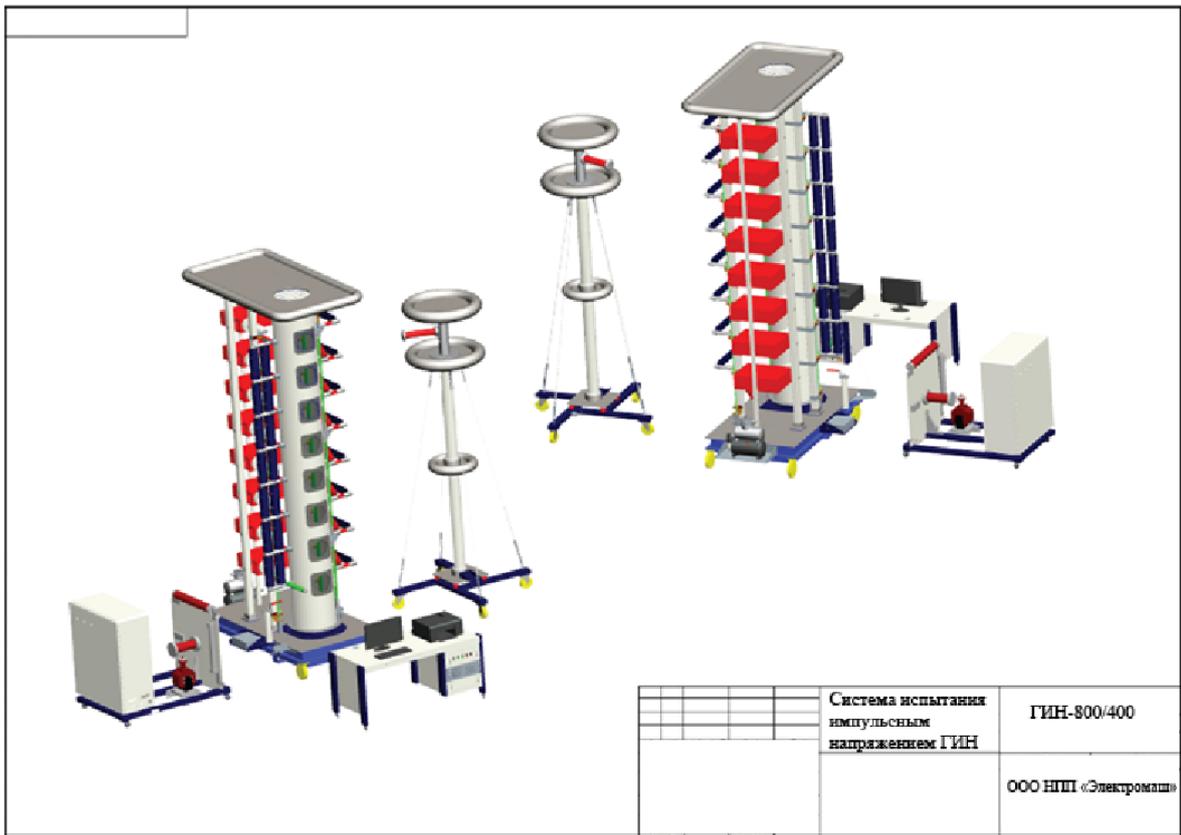
### Параметры импульса

Стандартный грозовой импульс:	1.2мкс ± 30% / 50 мкс ± 20% (согласно ГОСТР-55195, МЭК 60060-2)
Импульса тока:	7-9/18-22 мкс согласно ГОСТР-55195, МЭК 60099-1
Минимальное выходное напряжение:	<10% U <sub>ном</sub>
Нестабильность зарядного напряжения:	<±1.0 %
Диапазон синхронизации:	>20% U <sub>ном</sub>
Неконтролируемая часть синхронного разряда:	<2%
Диапазон поджига:	10% ~100% Uном
КПД:	Грозовой импульс: >85% (под нагрузкой) Грозовой импульс: > 90% (без нагрузки)

### Система импульсных напряжений

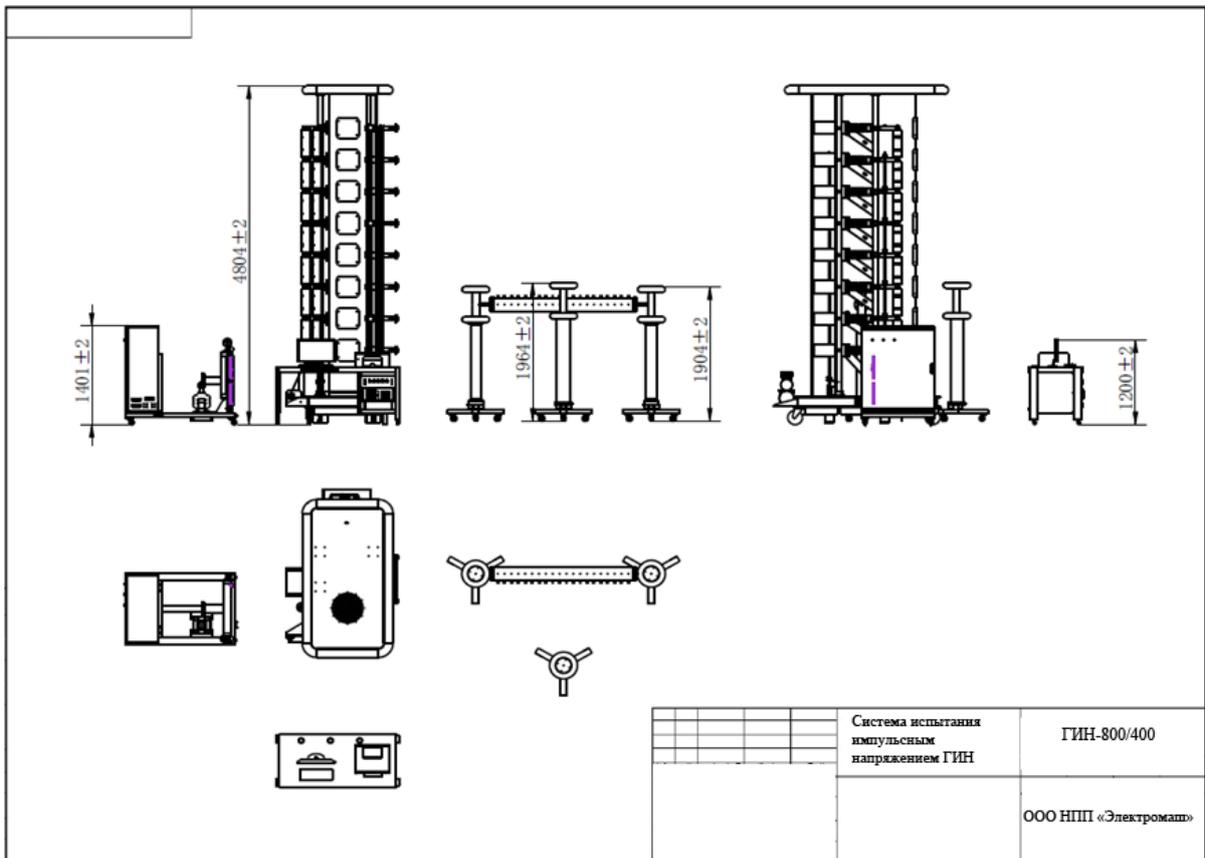
#### Габаритный чертеж

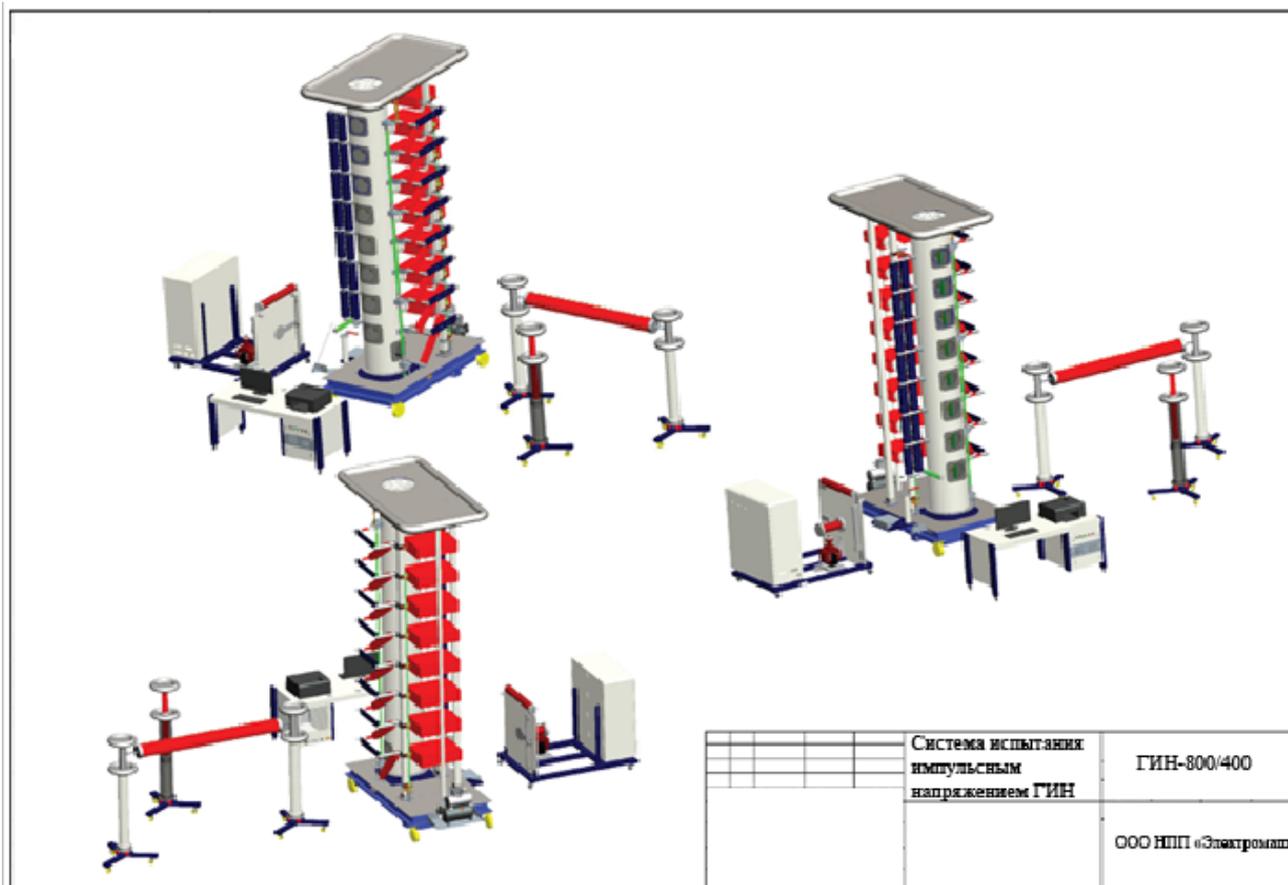




**Система импульсных напряжений**

**Габаритный чертеж**





## Технические характеристики основных элементов испытательной системы

### 1. Модель: ГИН-800/40

Конструкция:	Тип-L
Номинальное напряжение импульса:	$\pm 800$ кВ
Номинальный ток импульса:	5 кА
Номинальное зарядное напряжение каскада:	$\pm 100$ кВ
Номинальная емкость импульса:	0.125 мкФ (каждый конденсатор 1 мкФ /100кВ)
Количество каскадов:	8
Емкость каскада:	1 мкФ
Номинальная энергия:	40 кДж
Энергия каскада:	5 кДж
Импульс:	Грозовой согласно МЭК 60060
Срок эксплуатации конденсатора:	100000 раз при полном разряде
Режим работы:	Свыше 75% Уном каждые 180 сек. заряд-разряд. Ниже 75% Уном непрерывная работа.

### Конструктивные характеристики испытательной системы

**1.1** Основная конструкция высоковольтного импульсного генератора ГИН 800 кВ/40 кДж использует цилиндрическую конструкцию L, аналогичную Highvolt. Имеются четыре стеклоэпоксидные опоры. Основное оборудование имеет 8 каскадов, образующих башенную конструкцию. Все уровни имеют площадку для обслуживания и смены фронтных и концевых резисторов в зависимости от требований в каждом опыте. Конструкция в целом устойчива и удобна для разборки и технического ухода.

**1.2** Все разрядники синхронного разряда со сферическими электродами установлены в герметичный изоляционный цилиндр. Каждый разрядник оборудован обзорными окнами. Фильтрованный чистый

воздух непрерывно подается в цилиндр разрядника во время работы оборудования. Разрядный промежуток подвергается незначительному влиянию при изменении окружающей среды, пробивное напряжение остается стабильным. Все части являются целостной герметичной разрядной системой. Дополнительно используется резистор 2.5К Ом для параллельного соединения с волновым сопротивлением, для увеличения диапазона разряда.

1.3 Может быть применен другой тип разрядников, которые помещены в прозрачный герметичный корпус. Пробивное напряжение устанавливается путем изменения давления в герметичном корпусе, вместо традиционного изменения пробивного промежутка. В этом случае отсутствуют механические части, полностью устранено влияние влажности и давления воздуха, пыли, ионизации воздуха. Это дает линейность характеристики, стабильность и повторяемость испытаний;

1.4 Конструкция ГИН имеет встроенную лестницу; на каждом третьем каскаде имеется изоляционная платформа для обслуживания и проведения монтажных работ, выдерживающая нагрузку 200кг.

1.5 Все каскады имеют защиту от коронного разряда.

1.6 В основной башенной конструкции может использоваться два или несколько каскадов, соединенных параллельно. При параллельном соединении необходима отдельная розетка. Система может выдерживать сверхвысокое волновое сопротивление в соответствии с ГОСТ, ПУЭ;

1.7 Разрядный промежуток первого каскада устанавливается равным расстоянию пробивного напряжения. Разрядные промежутки остальных одиннадцати каскадов устанавливаются в три раза больше. При этом увеличивается диапазон синхронизации.

1.8 Крепления фронтных и волновых резисторов предназначены для установки четырех резисторов одновременно в параллель. Фронтные и волновые резисторы имеют одинаковую длину и могут использоваться вместе. Каждый каскад оснащен запасными резисторами; для защиты от короткого замыкания используется предохранитель, последовательно соединенный с ГИНОм.

1.9 Емкость импульсного конденсатора  $2 \pm 0.05$  мкФ, рабочее напряжение постоянного тока  $\pm 100$  кВ, индуктивность  $\leq 0.2$  Гн. Конденсатор пленочный в масляной изоляции, конденсатор эксплуатируется в нормальных рабочих условиях. Высоковольтный ввод конденсатора выдерживает перпендикулярную нагрузку 15 кг, не повреждаясь и без утечек масла

1.10 Имеется автоматическая система заземления, которая срабатывает в момент отключения питания или при нажатии кнопки аварийного останова. Конденсаторы генератора импульсного напряжения автоматически заземляются через зарядный и разрядный резисторы для защиты персонала.

1.11 Защитная система заземления: два вывода каждого конденсатора оснащены защитной системой заземления. В момент отключения питания или при нажатии кнопки аварийного останова система заземления срабатывает в секунды, заземляя все конденсаторы. Пневматическая система заземления, срок эксплуатации более 20000 раз.

1.12 Фронтные и концевые резисторы имеют форму планки, безиндуктивные бифилярные обмотки, с индуктивностью  $\leq 2.5$  мГн. При уменьшении индуктивности увеличивается нагрузочная способность при большой емкости (например,  $>7500$  пФ). Для достижения номинальной нагрузки устанавливаются дополнительные волновой резистор и конденсатор.

1.13 В комплект входит 3 фронтных резистора грозового импульса и 2 концевых резистора грозового импульса; 1 RC-цепь. 2 фронтных резистора коммутационного импульса, 2 концевых резистора коммутационного импульса, имеются запасные резисторы.

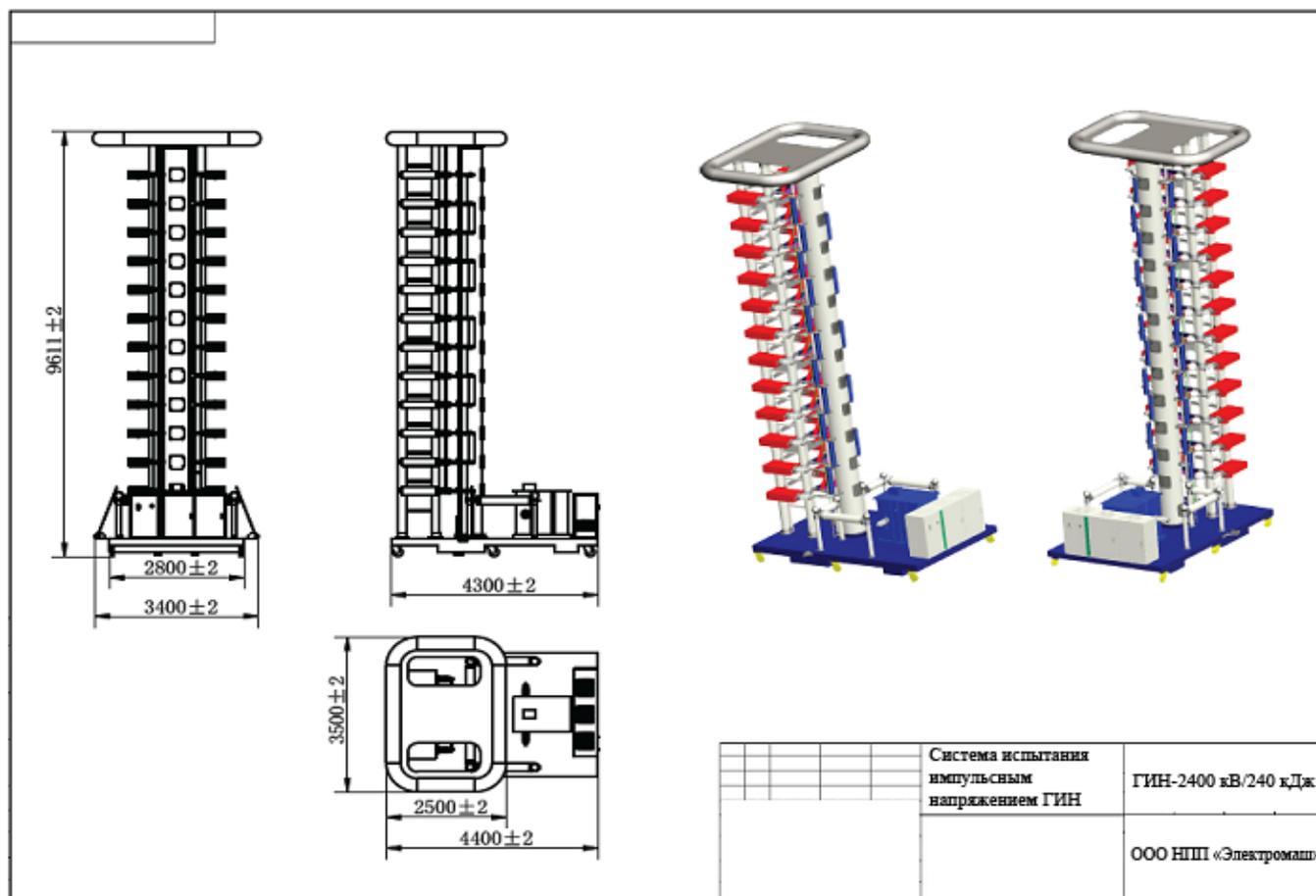
1.14 ГИН оснащен сглаживающей цепью, в состав которой входят 2 индуктивности 200 мГн, опорные резисторы 50 Ом/100 Ом/200 Ом/400 Ом для испытания низковольтной обмотки трансформаторов и другого оборудования с малой индуктивностью.

1.15 Генератор оснащен шунтами 0.02 Ом, 0.1 Ом, 0.5 Ом и компенсатором 75 Ом, номинальное напряжение шунтов 500 В.

1.16 ГИН установлен на раме с воздушной подушкой, выдерживающая нагрузку 15 т. Способ

передвижения системы- вручную. Воздушная подушка производства AVEROGO, США. Рама имеет прямоугольную форму, оснащена 4 газовыми баллонами. Рабочее давление газа <4 мПА, без учета неровностей поверхности земли; каждый газовый баллон с компенсацией давления. В штуцере пневмопривода используется быстроразъемный соединитель для удобства демонтажа.

### Габаритный чертеж



## 2. Зарядное устройство выпрямленного тока

### Модель: ЗУ-240/0.4

Конструкция:	Выпрямитель двойной
Номинальная мощность:	30 кВА
Номинальное напряжение:	Входное: 0.4 кВ (переменного тока) Выходное: ±120 кВ (постоянного тока)
Номинальный ток:	Входной: 75 А Выходной: ±60 мА
Коэффициент деления:	10000:1
Погрешность измерения:	0.5%
Режим работы:	Ниже 100% Уном непрерывная работа

## Конструктивные характеристики зарядного устройства

**2.1** Применяется масляный зарядный трансформатор; напряжение первичной обмотки 0.4 кВ, напряжение вторичной обмотки 95 кВ, номинальная мощность 30 кВА. Применяется сухой изолирующий трансформатор; напряжение первичной обмотки 0.4 кВ, напряжение вторичной обмотки 0.4 кВ, номинальная мощность 30 кВА.

**2.2** Имеется двойной выпрямитель. Компактное и надежное зарядное устройство.

**2.3** Применяется два высоковольтных диода 300 кВ/500 мА, обратное напряжение  $\geq 300$  кВ, средний ток  $\geq 0.5$  А. Высоковольтный диод устанавливается совместно с зарядным трансформатором и автоматическим переключателем полярности выходного напряжения. На пульте управления имеется переключатель полярности.

**2.4** При автоматическом управлении значения параметров зарядного напряжения находятся в диапазоне 10%~100%  $U_{ном}$ , погрешность установки напряжения не более  $\pm 1\%$ , нестабильность зарядного напряжения не выше  $\pm 1\%$ , точность регулирования зарядного напряжения 1%.

**2.5** Имеется два резистивных сухих металлопленочных делителя постоянного тока 100 кВ, 200 МОм. Резистор низковольтного плеча установлен на нижнем фланце делителя напряжения, сигнал напряжения низковольтного плеча подается через экранированный кабель на пульт управления.

**2.6** Применяются резисторы 4 Ом и 20 Ом (220 В), подсоединенные параллельно и последовательно ко входу источника питания, для регулирования входного тока, что обеспечивает защиту зарядного трансформатора и выпрямителя.

**2.7** Применяется два резистора 15 кОм (100 кВ), последовательно подсоединенные к выходу источника питания, для регулирования выходного тока, что обеспечивает защиту зарядного трансформатора и выпрямителя.

## 3. Автоматическое срезающее многоразрядное устройство

**Модель: РСУ-1800**

Номинальное напряжение:	$\pm 1800$ кВ
Номинальное напряжение каскада:	$\pm 200$ кВ
Общее количество каскадов:	9
Номинальная емкость:	400пФ
Время задержки срезания:	2~6мкс
Диапазон напряжения срезанного импульса:	20% ~ 100%
Разброс времени срезания:	$\leq 0.2$ мкс
Диаметр шарового разрядника:	200 мм

## Конструктивные характеристики автоматического срезающего многоразрядного устройства

**.1** Срезающее многоразрядное устройство состоит из высоковольтного импульсного конденсатора с последовательным соединением. Конструкция передвижная на колесах с полиуретановой оболочкой.

**3.2** Расстояние между сферическими электродами разрядников регулируется с панели управления сервоприводом 220В однофазный, погрешность при установке расстояния не более 1мм, шаг регулирования не менее 0,5 мм.

**3.3** Срезающее устройство имеет демпфирующее сопротивление; параметры- 10 Ом, 20 Ом. Каждый разрядник с 3 сопротивлениями; регулируемое сопротивление легко настроить при нулевом коэффициенте.

**3.4** При поступлении внешнего сигнала срезающее устройство срабатывает гарантировано; стабильность синхронизации более 98%.





#### 4. Емкостный делитель напряжения со слабым затуханием

Модель: ДН-2400/400

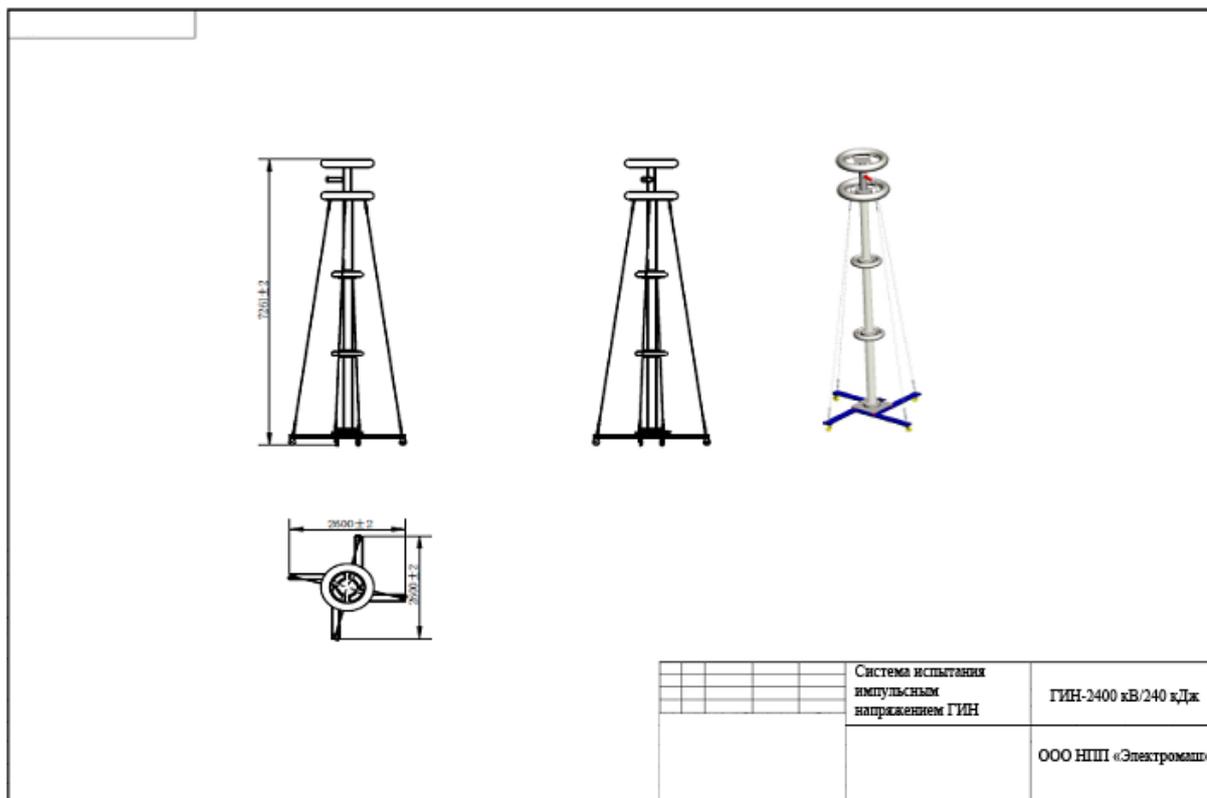
Номинальное напряжение:	$\pm 2400$ кВ
Емкость высоковольтного плеча:	400 пФ
Емкость низковольтного плеча:	0.96 мкФ
Время задержки сигнала:	$T_{\alpha} \leq 95$ нс
Выброс:	$\beta \leq 10\%$
Стабильность масштабного коэффициента:	$K_{\varepsilon} \leq 1\%$
Коэффициент деления:	2400:1
Погрешность измерений:	$<1\%$
Режим работы:	Ниже 100% $U_{ном}$ непрерывная работа

#### Конструктивные характеристики емкостного делителя напряжения

4.1 Емкостный делитель со слабым затуханием состоит из импульсного последовательно подсоединенного конденсатора MWF600 и демпфирующего распределенного сопротивления. Низковольтное плечо состоит из монолитного безиндуктивного конденсатора. Делитель имеет раму с колесами из полиуретана, с заземляющими свойствами. В верхней части делителя находится экран. Параметры времени отклика на прямоугольный импульс соответствует ГОСТ.

4.2 Низковольтное плечо состоит из слюдяного конденсатора с малой индуктивностью, номинальное напряжение 1500 В. Гарантируется точность показаний температурного коэффициента, коэффициента напряжения, минимальной собственной индуктивности.

#### Габаритный чертеж:



## 5. Автоматическая система управления

### Модель: АСУ-2001

Монитор:	промышленный TFT 23.5' с сенсорным экраном
Оперативная память:	≥4 Гб
Жесткий диск:	≥500 Гб
Операционная система:	Windows 7 или Windows 8
Плата ввода/вывода:	Mitsubishi PLC
АЦП:	Mitsubishi PLC
ЦАП:	Mitsubishi PLC
Количество измерительных каналов:	4
Погрешность АЦП:	0.5% (16 бит)
Испытательное напряжение:	5 кВ (постоянного тока)

### Введение

Автоматическая система АСУ-2001 предназначена для применения в высоковольтной испытательной лаборатории с учетом специфики импульсных испытаний и необходимости обеспечения высокой помехоустойчивости. Технические характеристики системы соответствуют требованиям стандартов ГОСТ 1516, ГОСТ 55195, МЭК 61083.

Операционная система создана в среде Labview на основе операционной системы Windows 7 с промышленным монитором 23.5' для обеспечения совместимости и универсальности системы. Имеет простой визуальный интерфейс, простота управления.



### Характеристики системы управления

- 5.1 Полная интеграция измерения и управления.
- 5.2 Система использует процессоры низкого уровня, которые соединяются оптоволоконным кабелем.
- 5.3 Промышленная интегрированная конструкция обладает высокой стабильностью, отличной электромагнитной совместимостью и не требует применения дополнительной системы экранирования.
- 5.4 Автоматически формирует протокол испытаний и графики изменения напряжения.
- 5.5 При подключении к импульсной цифровой измерительной системе серии SG программа может одновременно отображать испытательное напряжение и текущее напряжение, проводить анализ результатов.
- 5.6 Дистанционное управление и передача данных через локальную сеть; измеренные данные могут передаваться одновременно в реальном времени.
- 5.7 Пользователь может сохранять в памяти системы и передавать предустановленные параметры в соответствии с результатами испытаний, что избавляет от необходимости выполнения повторных рутинных операций.
- 5.8 Для электробезопасности операторского пульта процессоры низкого уровня используют оптоэлектронную развязку.
- 5.9 Связь между первичным процессором и процессорами низкого уровня осуществляется в дуплексном режиме с применением специального коммуникационного протокола, обеспечивающего надежную связь.
- 5.10 Режим автоматического заряда: автоматически устанавливает каждый уровень значения зарядного

напряжения и его поддержание.

- 5.11** Режим ручного управления зарядом: ручная регулировка напряжения и подстройка.
- 5.12** Синхронизация разрядного промежутка согласно заданному зарядному напряжению; автоматическая регулировка расстояния между электродами и индикация значения реального расстояния.
- 5.13** Регулируемая скорость заряда. Пользователь может задать скорость заряда, и система автоматически поддерживает зарядное напряжение на заданном уровне.
- 5.14** Автоматическое переключение полярности зарядного напряжения и индикация его на экране.
- 5.15** Автоматическое заземление для защиты от перенапряжения и токовой перегрузки.
- 5.16** Автоматический поджиг: в соответствии с установленными параметрами, включая установку значения напряжения и установку значения времени, система автоматически выполняет изменение напряжения, а также процессы защиты и поджига.
- 5.17** Аварийное отключение: система имеет множество защитных устройств (в том числе кнопку аварийного отключения). Кроме того, программа автоматически останавливает систему согласно контрольным данным.

## 6. Цифровая измерительная аналитическая система

### Модель: ЦАИС-3004-14/100

Количество каналов:	2 независимых канала
Принтер:	Цветной лазерный (опционально)
Монитор:	Desktop TFT 23.5" с сенсорным экраном
Память:	≥ 4Гб
Жесткий диск	≥ 500 Гб
Операционная система:	Windows 7 или Windows 8
Защита от перенапряжения:	2 кВ
Испытательное напряжение:	5 кВ постоянного тока
Вход:	LEMO 75 Ом
Импульс:	Грозовой, грозовой срезанный, коммутационный, IC PK, RECT, AC, DC
Входное напряжение:	1.5 В- 1500 В
Диапазон выбора входных каналов:	автоматически
Защита от перенапряжения:	2 кВ
Входное сопротивление:	2 МОм/20 пФ
Частота дискретизаций аналогового сигнала:	50 МГц на каждый канал
Синхронизация:	канал1, канал2 либо дополнительный
Разрешение:	12 бит
Частота дискретизации:	100 изм./сек. (макс.)
Дискретность измерений:	1-9999 мсек.
Погрешность:	±2% T1, T2, Tc / ±1% T1, T2, Tc (14 бит)

### Цифровая измерительная аналитическая система

Цифровая система измерений применяется для проверки изоляции любого высоковольтного оборудования. На испытательный объект подается высокое импульсное напряжение с определенной формой; система применяется для определения состояния электрической прочности изоляции и / или ее дефектов. Система широко применяется при типовых испытаниях трансформаторов,

высоковольтных вводов или другого высоковольтного оборудования.

ЦАИС-3004-12(14) является современным и надежным устройством, предназначенным для сверхточных измерений всех форм сигналов. Система соответствует всем требованиям ГИН. С техническими возможностями ГИН и возможностью измерения импульсов это современное техническое решение, соответствующее испытательным нормам.

ЦАИС-3004-12(14) имеет разрешение 12 бит или 14 бит, 100изм./сек., плату АЦП. Система оснащена дружественным интерфейсом, программой анализа формы сигнала, имеет функцию формирования протоколов испытаний.

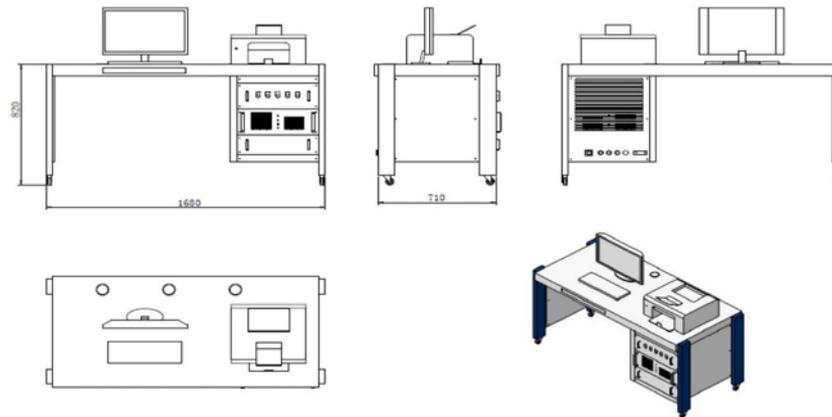
Измерительная часть системы и функция анализа формы импульсных напряжений и токов соответствуют ГОСТ 1516, ГОСТ Р 55195, МЭК 61083, МЭК 60060, МЭК 60076. В данных нормативных документах представлены нормы к автоматическому определению формы импульса.

ЦАИС-3004-12(14) управляется с центральной ЭВМ, используется кабель USB или Ethernet-интерфейс. Система измерений ЦАИС-3004-12(14) разработана специально для работы с ГИН.

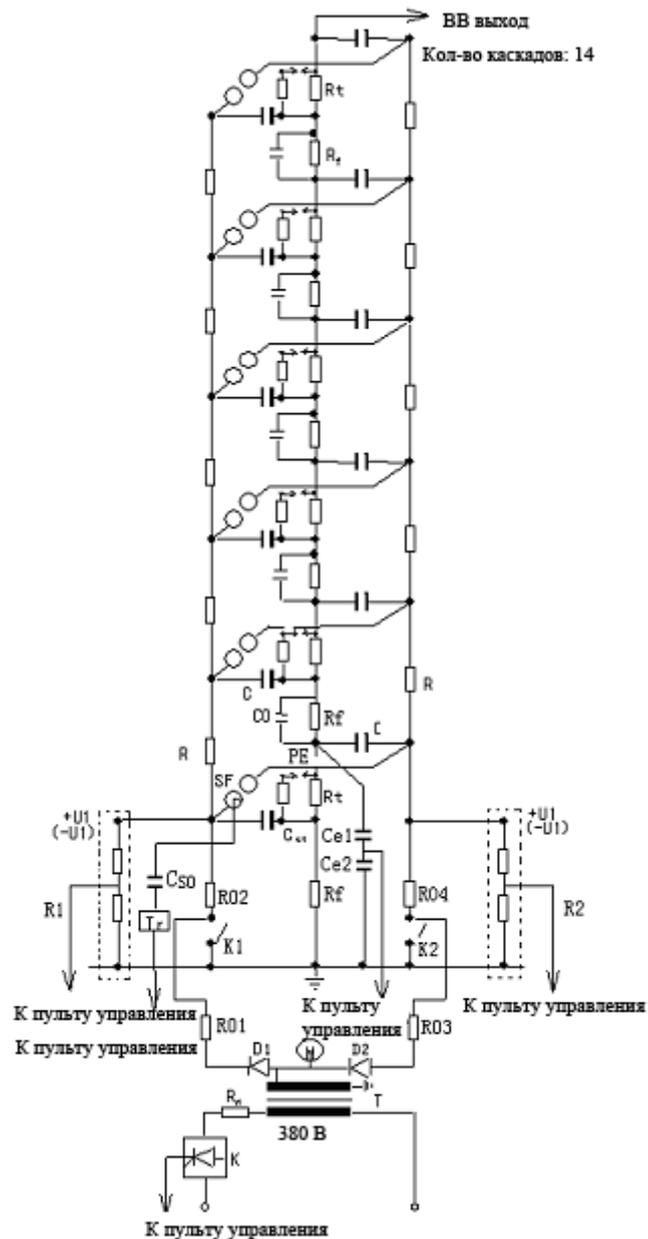
### **Характеристики измерительной аналитической системы**

- Разрешение 12 бит или 14 бит при 100 изм./сек.
- Автоматическая/ручная обработка всех основных параметров импульса.
- Формирование протоколов испытаний и оформление в соответствии с требованиями Заказчика.
- Простой и удобный графический интерфейс пользователя
- Функциональные возможности программного обеспечения, такие как БПФ, сравнение, сглаживание и т.д.
- Соответствие стандартам ГОСТ 1516, ГОСТР 55195, МЭК61083, МЭК60060, МЭК60076.
- 2 отдельных канала, выбор канала 1 или канала 2, дополнительный канал
- Пользователь может сохранять испытательные параметры разных испытательных объектов в автоматически создаваемых файлах.
- Можно установить частоту дискретизации, макс. 100 изм./сек.
- Максимальное входное напряжение 1.5 кВ или 2 кВ.
- Защита от перенапряжения 5 кВ (1.2/50 мкс.).
- Оптоволоконная развязка
- Имеется поверочная система CNAS, которая подходит для эталонных измерительных систем при полном и срезанном импульсе

### **Габаритный чертеж:**



Электрическая схема:

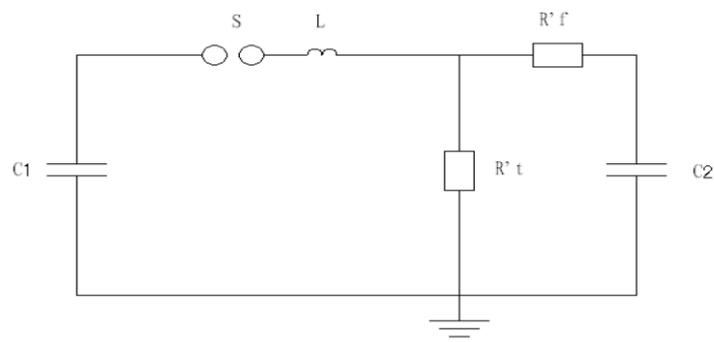


Где,	
D1, D2	Высоковольтный выпрямитель 500 мА/300 кВ
T	Зарядный трансформатор 30 кВА/95 кВ
01 03	Зарядный защитный резистор 15 кОм/100 кВ
02 04	Зарядный защитный резистор 200 кВ/25 кОм
R1, R2	Резистивный делитель постоянного тока 100 кВ/200 мОм
K1, K2	Заземлитель
CE1, CE2	Прибор
CP	Конденсатор связи 1200 пФ/200 кВ
SF	Поджигающий разрядник
R	Зарядный резистор 25 кОм/200 кВ
C0	Конденсатор (подсоединенный параллельно с фронтовым резистором) 600 пФ/200 кВ
C	Конденсатор импульсный 2 мкФ/100 кВ
Rt	Концевой резистор
Rt	Фронтовой резистор

### Расчет параметров системы:

#### Эквивалентная цепь грозового импульса

- C<sub>1</sub>- Конденсатор импульсный
- C<sub>2</sub>- Конденсатор нагрузки
- R<sub>f</sub>- Фронтовой резистор
- R<sub>t</sub>- Концевой резистор
- L-Индуктивность



Для ГИНа 2400 кВ используется импульсный конденсатор C<sub>1</sub> с емкостью 0.0833 мкФ, C<sub>2</sub>-конденсатор нагрузки, включая емкость делителя напряжения со слабым затуханием, паразитную емкость и основной генератор. Согласно измерительным расчетам, паразитная емкость основного генератора находится в пределах 400 пФ, полная емкость без нагрузки около 800 пФ. Индуктивность L, согласно расчетам, равна 1.4 мГн/каскад, сопротивление цепи 0.2 мГн/м, полная индуктивность в пределах 20 мГн.

#### Расчет параметров резисторов грозового импульса

##### Фронтовой/концевой резисторы

Согласно дифференциальному уравнению эквивалентной схемы замещения RCL, параметры резисторов рассчитываются по формуле:

$$T_f = 2.3 \ln R_f (C_1 * C_2) / (C_1 + C_2) \dots \dots \dots (a)$$

$$T_t = 0.7 \ln R_t (C_1 + C_2) \dots \dots \dots (b)$$

Где,

T<sub>f</sub>- фронтовой резистор

T<sub>t</sub>- концевой резистор

C<sub>1</sub>- емкость импульса

$C_2$ - емкость нагрузки  
 $R_f$ - каскад фронтного резистора  
 $R_t$ - каскад концевго резистора  
 $n$ - количество каскадов

### Расчет параметров демпфирующего резистора

Согласно формуле расчетов в соответствии с МЭК 60060-2010:

$$R_d \geq 1.38 \left[ \frac{L(C_1 + C_2)}{C_1 \times C_2} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(C)$$

Где L-паразитная емкость 20 мГн

Если ГИН имеет 12 последовательно соединенных каскада, основная емкость  $C_1 = 0.0833$  мкФ, емкость каскада 1 мкФ.

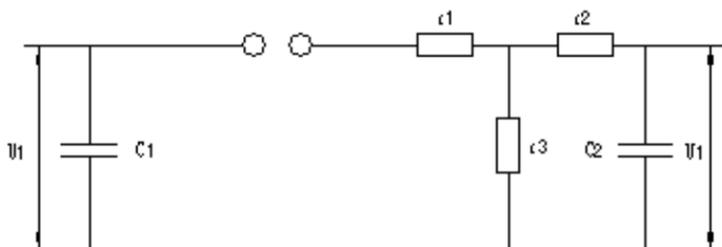
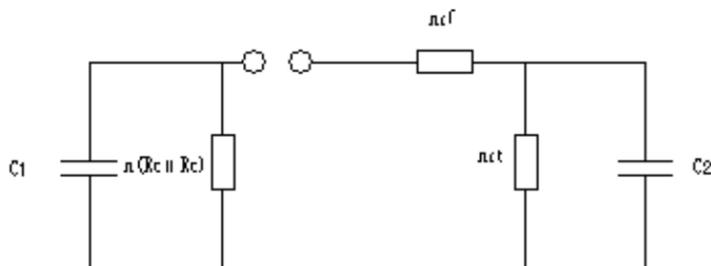
Расчет параметров сопротивления грозового импульса:

Емкость нагрузки $C_2$	Импульсный конденсатор $C_2$	Каскад $n$	Индуктивность цепи $L$	Грозовой импульс фронтного резистора $R_f$	Грозовой импульс концевго резистора $R_t$
4.00E-10	8.33E-08	12	2.00E-05	109.2	70.1
8.00E-10	8.33E	12	2.00E-05	54.9	69.8
1.00E-09	8.33E	12	2.00E-05	44.0	69.6
2.00E-09	8.33E	12	2.00E-05	22.3	68.8
3.00E-09	8.33E	12	2.00E-05	15.0	68.0
4.00E-09	8.33E	12	2.00E-05	11.4	67.2
5.00E-09	8.33E	12	2.00E-05	9.2	66.5
6.00E-09	8.33E	12	2.00E-05	7.8	65.7
7.00E-09	8.33E	12	2.00E-05	6.7	65.0

По результатам расчетов сопротивление грозового импульса фронтного резистора равно 75 Ом/25 Ом/6 Ом, концевго резистора- 60 Ом/90 Ом.

### Эквивалентная цепь коммутационного импульса

При формировании коммутационного импульса фронтные и концевые резисторы коммутационного импульса имеют те же параметры, что и зарядный резистор. Таким образом, необходимо учитывать параметры зарядного резистора, при этом эквивалентная цепь коммутационного импульса рассчитывается следующим образом:



$$r_1 = \frac{nr_f * nr_t}{n(r_f * r_t * R_c)}$$

$$r_2 = \frac{nr_f * nR_t}{n(r_f * r_t * R_c)}$$

Для расчетов параметров эквивалентной цепи используем дифференциальное уравнение:

$$\alpha \frac{d^2 u_2}{dt^2} + b \frac{du_2}{dt} + u_2 = 0$$

$$\alpha = c_1 c_2 (r_1 r_3 + r_1 r_2 + r_2 r_3 \dots \dots) (1)$$

$$b = c_1 (r_1 + r_2) + c_2 (r_2 + r_3) \dots \dots (2)$$

Для расчета применяем характеристическое уравнение:  $\alpha p^2 + bp + 1 = 0, p_1 p_2$

$$\frac{1}{p_1 * p_2} = \alpha = c_1 c_2 (r_1 r_3 + r_1 r_2 + r_2 r_3)$$

$$\frac{p_1 + p_2}{p_1 * p_2} = -b = -[c_1 (r_1 + r_2) + c_2 (r_2 + r_3)]$$

$$\tau_m = \frac{Inp_2}{p_1} * \frac{1}{p_1 (1 - p_2/p_1)} \dots \dots (3)$$

$$p_1 = \frac{Inp_2/p_1}{\tau_m (1 - p_2/p_1)} \dots \dots (3)$$

$$\text{Эффективность } \eta = \frac{1}{c_2 * nR_f} * \frac{1}{\left(\frac{p_1}{p_2}\right)} * \varepsilon_0 \dots \dots (4)$$

Согласно  $T_r/T_m=2500/250$  мкс. Проверяем  $p_2/p_1=50, \varepsilon_0=0.9$

Исходя из этого:  $P_1=-320, P_2=-16000$

### Расчет параметров фронтного/концевого резисторов коммутационного импульса

ГИН-2400 кВ имеет 16 последовательно соединенных каскадов, емкость  $C_1=0.0833$  мкФ, сопротивление зарядного резистора  $R_c=25$  кОм.

$C_2$ , пФ	$R_{FS}$ , кОм	$R_{TS}$ , кОм
800	10.1	3.5
1000	8.1	3.5
2000	4.1	3.5
3000	2.8	3.4
4000	2.1	3.4
5000	1.7	3.3
6000	1.4	3.3
7000	1.2	3.3

Таким образом, сопротивление фронтного резистора коммутационного импульса 10 кОм, 1.5 кОм, концевого резистора 2.5 кОм, 5 кОм. Для увеличения диапазона синхронизации необходимо параллельно подсоединить фронтной резистор к конденсатору связи (200 кВ, 600 пФ). КПД ГИНа >75%.

### Комплектность испытательной системы

#### ГИН 2400/240 и зарядное устройство

Наименование	Кол-во	Примечания
Рама	1	
Изоляционная опора и соединитель	48	4 шт. на каскад
Стеклоэпоксидная труба	4	Для установки шарового разрядника
Смотровое окно	12	
Медный электрод разрядника	28	250 мм
Воздушный компрессор	1	600 Вт
Воздушный фильтр	1	Устанавливается в основной изоляционной трубе разрядной системы, удаляет пыль, грязь, ионизированный воздух во время работы оборудования
Импульсный конденсатор	24	2 шт. на каскад 2 мкФ/100 кВ
Крепеж к импульсному резистору	24	2 шт. на каскад
Фронтной резистор	12	1 шт. на каскад
Концевой резистор	12	1 шт. на каскад (включая параллельно подсоединенный разрядник с искровым промежутком)
Разрядники со сферическими электродами	1	
Разрядник со сферическими электродами и с поджигающим электродом	11	
Высоковольтный экран	1	

Пусковое устройство	1	20 кВ
Поджигающий конденсатор	1	200 кВ 1200 пФ
Конденсатор связи для запуска срезающего устройства	1	200 кВ 1200 пФ
Пусковой резистор	1	50 кВ 800 Ом
Зарядный резистор	26	200 кВ 25 кОм
Зарядный резистор	2	100 кВ 15 кОм
Разрядный резистор	2	100 кВ 10 кОм
Фронтной резистор грозового импульса	13	200 кВ 75 Ом
Фронтной резистор грозового импульса	13	200 кВ 25 Ом
Фронтной резистор грозового импульса	13	200 кВ 6 Ом
Концевой резистор грозового импульса	13	200 кВ 60 Ом
Концевой резистор грозового импульса	13	200 кВ 90 Ом
Фронтной резистор коммутационного импульса	13	200 кВ 10 кОм
Фронтной резистор коммутационного импульса	13	200 кВ 1.5 кОм
Концевой резистор коммутационного импульса	13	200 кВ 2.5 кОм
Концевой резистор коммутационного импульса	13	200 кВ 5 кОм
Главный мотор-редуктор для регулирования разрядного промежутка	1	
Вторичный редуктор и соединительный вал для регулирования разрядного промежутка	12	По 1 шт. на каждый каскад
Импульсный конденсатор и соединитель	12	По 1 шт. на каждый каскад
Резистивный делитель	2	200 кВ 200 м
Короткозамыкатель	12	Для перекоммутации цепей
Вывод компенсирующего устройства	1	Устанавливается в верхней части испытательной системы
Система заземления	1	Все конденсаторы заземлены, если система отключена
Зарядный трансформатор	1	30 кВА 0.4 кВ/95 кВ
Изолирующий трансформатор	1	30 кВА 0.4 кВ/0.4 кВ
Зарядный токоограничивающий резистор	2	0.4 кВ 4 Ом
Зарядный токоограничивающий резистор	2	0.4 кВ 20 Ом
Автоматический заземляющий стержень	2	
Автоматический переключатель полярности	1	
Воздушная подушка (опционально)	1	AeroGo 15 т
Система очистки воздуха (опционально)	1	Вакуумный насос/воздушный насос высокого давления/фильтр/воздушный баллон
Разрядник искровой воздушного давления (опционально)	12	250 мм / -0.8-4 бар

**Емкостный делитель напряжения со слабым затуханием ДН-2400/400**

Наименование	Количество	Примечания
Высоковольтный слабо демпфирующий конденсатор	1	600 кВ, каждый 1600 пФ
Шасси на колесах	1	
Низковольтное плечо с разъемом LEMO	2	1 кВ, 0.96 мкФ/0.4 мкФ
Высоковольтный экран	1	
Промежуточный экран, выравнивающий распределение напряжения	3	
Изоляционная опора	4	7 кВ
Изоляционная тяга	4	

**Автоматическое срезающее многоразрядное устройство РСУ-1800**

Наименование	Количество	Примечания
Рама	1	
Изоляционная опора и соединитель	3	1 шт. на 3 каскада
Стеклоэпоксидная труба с фланцем	3	
Разделительный конденсатор напряжения	3	600 кВ 1200 пФ
Разделительный резистор	8	
Медный электрод разрядника	18	200 мм
Высоковольтный экран	1	
Промежуточный экран, выравнивающий распределение напряжения	2	
Электронное пусковое устройство	1	2-9 мкс
Разрядник искровой воздушного давления (опционально)	9	250 мм / -0.8-4 бар

**Автоматическая система управления АСУ-2001 с цифровой измерительной аналитической системой ЦАИС-3004-12/100**

Измерительный кабель	2	20 м каждый
Промышленный монитор	2	DELL
ПК: Core 2.0 и выше; память 4 Гб; жесткий диск 500Гб; LCD дисплей 23.5"	2	
Панель управления	1	
Компьютер низкого уровня	1	
Осциллограф 12 бит	1	14 бит 100 изм./сек 2 канала
Устройство поджига	1	
Оптоэлектронный преобразователь	2	
Оптоэлектронный кабель	1	30 м
Изолирующий трансформатор	2	600 Вт
ПЛК Mitsubishi	1	FX-3N-32MR

Коаксиальный кабель управления	1	
Устройство поджига	1	
Зарядный модуль IGBT	1	220 В
Лампа аварийной сигнализации Siemens	1	220 В

#### Сглаживающая цепь

Индуктивность	2	200 кВ 100 мГн
Опорный резистор	1	300 кВ 50 Ом
Опорный резистор	1	300 кВ 100 Ом
Опорный резистор	1	300 кВ 200 Ом
Опорный резистор	1	300 кВ 400 Ом

#### Шунт

Шунт	1	500 В 0.5 Ом
Шунт	1	500 В 0.1 Ом
Шунт	1	500 В 0.02 Ом

### Упаковка и транспортировка

#### 1. Упаковка

К процессу упаковки привлекаются компании, специализирующиеся на данном виде деятельности. Обеспечиваются различные виды упаковочного материала, такие как коробки, мешки, деревянные коробки, оптоволоконная водонепроницаемая пленка, упаковочный материал; профессиональная упаковка, необходимая для того или иного типа оборудования.

Все оборудование упаковано в соответствии с требованиями при транспортировке железными путями или автомобильным транспортом. Имеется полный пакет документации, руководство по монтажу, сертификат качества оборудования, габаритные чертежи, перечень запчастей, необходимых при демонтаже, упаковочный лист. Блок-схемы или планка с заводской маркировкой и перечень запасных частей должны быть упакованы вместе для защиты от влажности.

На ящиках должны быть маркировки: "Монтажная петля", "Хрупкие предметы", "Не переворачивать" или "Избегать повреждений". Кроме того, ящики должны быть промаркированы: "Спец. оборудование" или "Спец. инструмент".

До момента поставки поставщиком товара все оборудование должно быть в хорошем состоянии. Поставщик несет ответственность за все дефекты, возникшие в результате некачественной упаковки.

#### 2. Транспортировка

Транспортировка организовывается в соответствии с требованиями Заказчика. После отгрузки оборудования поставщиком предоставляется счет, упаковочный лист и прочие документы, необходимые для таможенного оформления.

#### 3. Монтажные и пуско-наладочные работы

Имеется большой опыт монтажа оборудования и пуско-наладочных работ по всему миру. Требования к монтажу и вводу в эксплуатацию установлены для каждой единицы оборудования.

Квалифицированный персонал выполняет монтаж и ввод в эксплуатацию оборудования в течение 7 дней. В зависимости от требований Заказчика предлагается комплексное решение под ключ.

#### 4. Окончательная приемка

Окончательная приемка подтверждает, что поставщик выполнил все обязательства в соответствии с договором. Обе стороны подписывают акт об окончательной приемке оборудования.

## **5. Обучение персонала**

После окончательной приемки в течение 2 дней Заказчик проходит обучение по эксплуатации оборудования.