**Специальные проекты преобразовательных систем**

**Проект ИТЭР**  
**(ITER – аббр.  от англ. International Thermonuclear Experimental Reactor) – международный экспериментальный термоядерный реактор**

С 2008 года по настоящее время ООО «НПП ЛМ Инвертор» является поставщиком специальных преобразователей для проекта ИТЕР. Заказчиком является АО «НИИЭФА им. Ефремова».

*Реализованные проекты:*

**Высоковольтный импульсный коммутатор ВИК-45кИ-12к (Thyristor Circuit Breaker TCB-45kI-12k)**

ВИК построен по схеме двухступенчатого тиристорного коммутатора. Каждая ступень в своём составе имеет: [](http://lm-inverter.ru/files/299/p1020303_03.jpg)

* высоковольтный тиристорный вентиль (столб) с последовательным соединением быстродействующих тиристоров;
* высоковольтный импульсный конденсатор.

Импульсный коммутатор является составной частью размыкающего устройства многократного действия (РУМД) постоянного тока, используемого в системе электропитания обмоток полоидального поля и обмоток центрального соленоида ИТЭР и предназначенного для вывода энергии из индуктивных накопителей, в частности сверхпроводящих обмоток магнитной системы ИТЭР, в резистивную нагрузку.

В составе РУМД высоковольтный импульсный коммутатор обеспечивает:

* перехват постоянного тока значением до 45кА;
* длительность протекания тока через собственные вентили до 6,5 мс (время, требуемое для размыкания внешнего быстродействующего разъединителя);
* прерывание протекания тока через ВИК для вывода энергии во внешние резистивные цепи.

​Высоковольтный импульсный коммутатор [[открыть](http://lm-inverter.ru/files/299/mik-vik_2016_informlist.pdf)]

**Устройство питания привода УПП-0,07-2к (Pulsed Power Supply PPS-0.07-2k)**

Устройство питания привода предназначено для импульсного электропитания электродинамических приводов коммутирующих аппаратов, являющихся составной частью быстродействующих устройств коммутации постоянного тока. Разряд предварительно заряженного конденсатора через мощный тиристорный ключ с малоиндуктивным монтажом обеспечивает необходимое силовое воздействие на якорь коммутирующего аппарата.

УПП состоит из :

* высоковольтного импульсного конденсатора;
* сильноточного тиристорного блока;
* устройства заряда/разряда импульсного конденсатора, расположенного на высоком потенциале.

Устройство питания привода [[открыть](http://lm-inverter.ru/files/299/upp-2016_informlist.pdf)]​

**Зарядное устройство с изолированным выходом ЗУИ-1-5к-УХЛ4**

            Зарядное устройство с изолированным выходом предназначено для заряда и стабилизации напряжения на конденсаторах батарей противотока системы коммутации ИТЭР, размещённых на высоком потенциале (класс напряжения 17,5 кВ).  
         Батареи противотока предназначены для использования в системах защиты сверхпроводящих обмоток.

|  |  |
| --- | --- |
| Ёмкость конденсаторной батареи одной ячейки, мФ | 2,8 |
| Количество ячеек | 4 |
| Номинальный зарядный ток, А | 1 |
| Диапазон уставки конечного напряжения заряда конденсаторов, кВ | 0,2÷5,5 |
| Точность установки и стабильность поддержания напряжения конденсаторов, % не более | 1 |
| Максимальное обратное напряжение на конденсаторах, кВ ​(ЗУИ выдерживает изменение полярности напряжения на конденсаторах ячеек после генерации импульса противотока). | – 5 |

       Возможна поставка устройств заряда конденсаторных накопителей с изолированным выходом с согласованными с заказчиком параметрами, отличными от указанных.

**Проект NICA**

**(Nuclotron-based Ion Collider fAcility — коллайдер протонов и тяжёлых ионов) для Объединённого института ядерных исследований (г. Дубна Московской области)**

**Прецизионный источник тока ПИТ-11К-260Д**

Прецизионный источник тока ПИТ-11к-260д (далее по тексту ПИТ-11к) предназначен для питания сверхпроводящих структурных магнитов Бустера NICA, используемых для формирования магнитных полей требуемой величины с заданной скоростью роста и заданной точностью.

ПИТ-11к-260д состоит из двенадцати прецизионных источников тока ПИТ-1000-260д на ток 1000А, напряжение 260В, каждый, работающих параллельно на общую нагрузку.

В состав каждого ПИТ-1000 входят накопитель электроэнергии (НЭП) и широтно-модулированный высокочастотный конвертер тока (ПТ). В предусмотренном циклическом режиме работы:

 на этапе роста поля в сверхпроводящих магнитах конвертер тока формирует на выходных шинах ток требуемой формы с заданной точностью за счет отбора энергии из НЭП;

при выводе энергии из индуктивностей сверхпроводящих магнитов конвертер тока возвращает энергию обратно в НЭП.

**Основные технические параметры ПИТ-11к-260**д

| № | **Параметр** | **Значение** |
| --- | --- | --- |
| 1. | Входное питающее напряжение Uн +10%, -15% | 0,4 кВ |
| 2. | Максимальная мощность источника | 2,86 МВт |
| 3. | Максимальная мощность, потребляемая от сети | 500 кВт |
| 4. | Энергия НЭП | 6·106 Дж |
| 5. | Максимальное выходное напряжение источника, не менее | +/- 260 ВDC |
| 6. | Выходной ток, не менее (Iмакс.) | 11000 АDC |
| 7. | Индуктивность нагрузки | 31 мГн -  режим 1  1...40  мГн -  режим 2 |
| 8. | Относительная стабильность тока на участках его нарастания и спада | 2·10-4 |
| 9. | Относительная стабильность тока на «столе» поля | 5·10-5 |
| 10. | Пульсация выходного напряжения на «столе» поля, пик-пик | При максимальном токе:  не более 215 мВ.  На поле инжекции: не более 10 мВ |
| 11. | Диапазон уставки выходного тока | 2…100%  от Iмакс |
| 12. | Режимы работы | - статический  - динамический  (dI/dt=0…±7 кA/с) |
| 13. | Охлаждение | воздушное принудительное, жидкостное |
| 14. | Габариты | 12 шкафов 1500х1000х2000,   ШУ 600Х800х1800 |

**Прецизионные источники тока серии ИП мощностью от 135 до 600 кВт для изменения градиента поля в фокусирующих и дефокусирующих квадрупольных магнитах коллайдера NICA**

**Особенности исполнения ИП**

****

- Высокочастотное преобразование электрической энергии с помощью IGBT;

- Система управления источником – на основе быстродействующих сигнальных процессоров DSP и ПЛИС;

- Местная панель управления с ЖК-дисплеем и клавиатурой для индикации состояния ИП и рабочих параметров;

- Управление ИП осуществляется как с местной панели, расположенной на передней двери стойки, так и с удаленного пульта управления, по общепринятым интерфейсам RS485, 4..20мА, Ethernet;

- В состав ИП входит блок регистрации параметров (БРП), осуществляющий осциллографирование ряда внутренних и внешних параметров с хранением информации в энергонезависимой памяти с возможностью её считывания на USB-Flash носитель.

**Топология ИП**

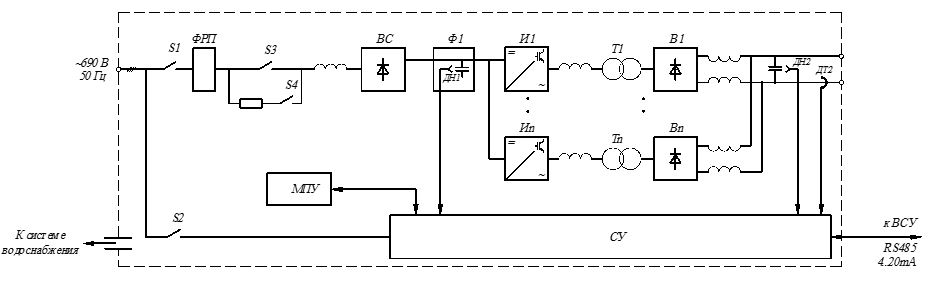


Рис. 1 - Топология ИП с промежуточным высокочастотным звеном

В состав ИП входят следующие элементы:

- S1 – автоматический выключатель силовой схемы ИП

- S2 – автоматический выключатель схемы питания собственных нужд ИП

- S3 – контактор основной

- S4 – контактор предзаряда промежуточного фильтра Ф1

- ФРП – фильтр радиопомех

- ВС – сетевой неуправляемый выпрямитель

- Ф1 – фильтр звена постоянного тока

- И1..ИN – DC/AC-конверторы с рабочей частотой ~10 кГц

- Т1..ТN – силовые согласующие трансформаторы

- В1..ВN – выходные неуправляемые выпрямители

- ДН2, ДТ2 – прецизионные датчики выходного тока и напряжения

- СУ – система управления

- МПУ – местная панель управления

   Питание ИП осуществляется от сети напряжением 0,69 кВ. Сетевое напряжение выпрямляется с помощью неуправляемого выпрямителя ВС и поступает на инверторы напряжения И1 … ИN, преобразующие постоянное напряжение в напряжение высокой частоты, которое с помощью силовых согласующих трансформаторов и выпрямителей преобразуется в напряжение, необходимое для питаниямагнитных элементов канала транспортировки пучка заряженных частиц.

   Использование трансформации электроэнергии на промежуточной высокой частоте позволяет получить следующие достоинства такого схемотехнического решения:

- высокие удельные массо-габаритные показатели;

- высокий уровень унификации оборудования: все элементы сетевой части ИП, а также DC/AC-конверторы являются унифицированными блоками для всей линейки источников питания от 100 до 600 кВт, что в сочетании с блочно-модульной конструкцией облегчает эксплуатацию и резервирование;

- значительно сниженный по сравнению с традиционными источниками питания уровень негативного влияния на питающую сеть, что позволяет отказаться от применения дополнительных фильтро-компенсирующих устройств;

- шкафная компоновка ИП, не требующая дополнительного внешнего оборудования (защитный АВ входит в состав ИП).

**Модельный ряд ИП**

В таблице 1 приведены основные параметрыисточников питания серии ИП для элементов магнитной оптики в каналах транспортировки пучков.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 1 - Параметры источников питания серии ИП | | | | | |
| **№** | **Наименование ИП**  **(ток-напряжение –климат. исп)** | **Номинальная мощность ИП, кВт** | **Показатели назначения ИП**  **(ток, А /напряжение, В)** | **Размеры (мм), ШхГхВ** | **Масса ИП,**  **не более, кг** |
| 1 | ИП-3500-160-УХЛ4 | 560 | 3500 / 160 | 1400х800х2000 | 800 |
| 2 | ИП-700-250-УХЛ4 | 175 | 700 / 250 | 1400х800х2000 | 800 |
| 3 | ИП-1300-250-УХЛ4 | 325 | 1300 / 250 | 1400х800х2000 | 800 |
| 4 | ИП-1700-250-УХЛ4 | 425 | 1700 / 250 | 1400х800х2000 | 800 |
| 5 | ИП-3500-90-УХЛ4 | 315 | 3500/90 | 1400х800х2000 | 800 |
| 6 | ИП-3500-140-УХЛ4 | 490 | 3500/140 | 1400х800х2000 | 800 |
| 7 | ИП-4000-100-УХЛ4 | 400 | 4000/100 | 1400х800х2000 | 800 |
| 8 | ИП-4000-150-УХЛ4 | 600 | 4000/150 | 1400х800х2000 | 800 |
| 9 | ИП-635-212-УХЛ4 | 135 | 635/212 | 1400х800х2000 | 800 |

**Технические характеристики ИП**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Параметр** | **Значение** |
| **Входные характеристики** | | |
| 1 | Напряжение питания  на входных клеммах источника. | 3х690 В +10%, -15%, 50 Гц |
| 2 | Коэффициент мощности, не хуже | 0,92 |
| Параметры потребителя | | |
| 3 | Индуктивность | 0,01..2,3 Гн |
| 4 | Активное сопротивление | 10…100 мОм |
| **Выходные характеристики** | | |
| 5 | Режим работы | статический |
| 6 | Относительная стабильность тока в статическом режиме, не хуже | 1·10-4 |
| 7 | Точность изменения выходного тока, не хуже | 1·10-4 |
| 8 | Устойчивость к короткому замыканию | Да |
| 9 | Пульсации выходного напряжения, не более (мВ) | 40 |
| **Конструкция** | | |
| 10 | Степень защиты по  ГОСТ 14254-96, не хуже | IP21 |
| 11 | Охлаждение | жидкостное, принудительное воздушное |
| **Управление, защиты** | | |
| 12 | Управление | местное / дистанционное |
| 13 | Встроенная диагностика неисправностей | да |