



## RF SYSTEM OF THE BOOSTER OF NICA FACILITY

G.A.Fatkin on behalf of

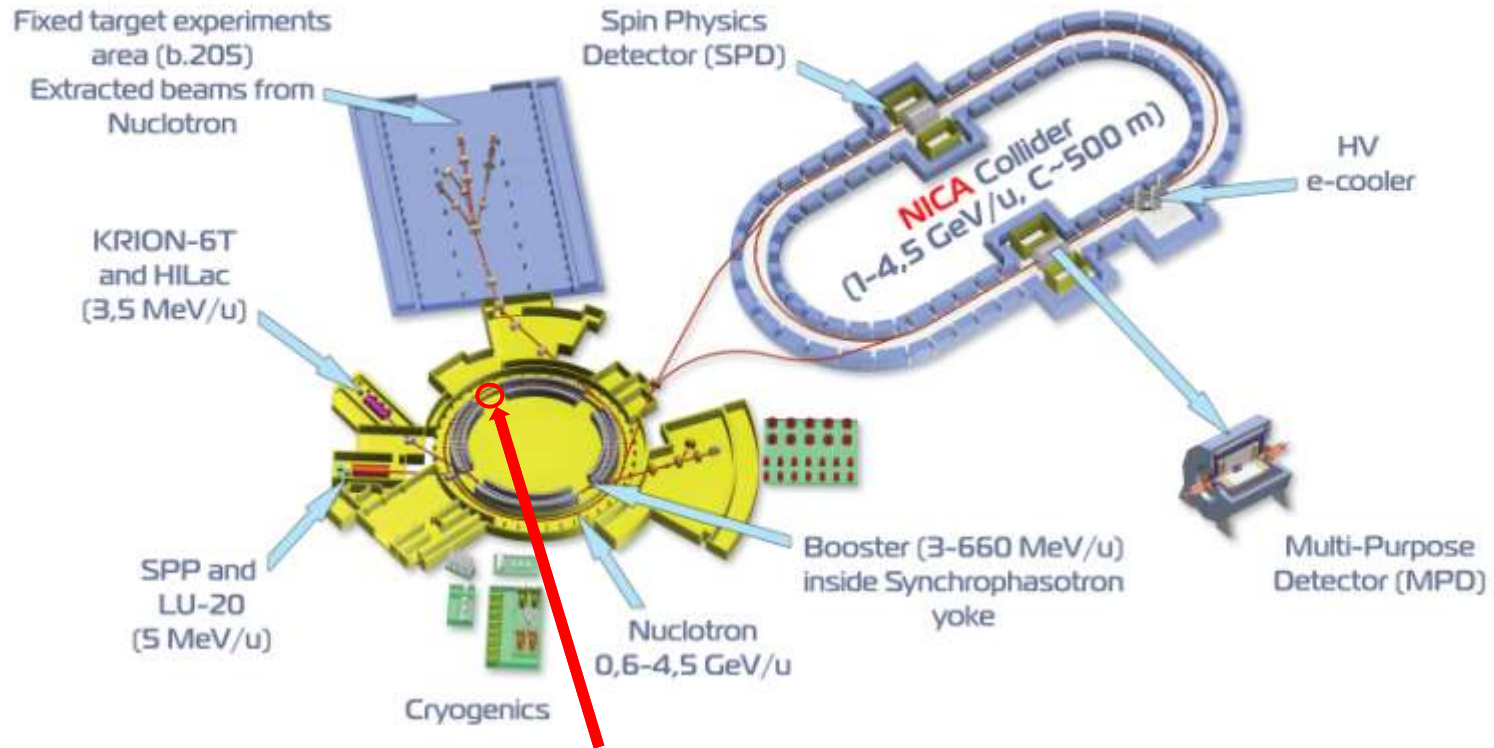
G.Ya.Kurkin, A.M.Batrakov, S.A.Krutikhin, Ya.G.Kruchkov, S.V.Motygin, A.M.Pilan  
Budker Institute of Nuclear Physics, SB RAS.



**Институт  
Ядерной  
Физики  
имени Г.И.Будкера**



# Superconducting accelerator complex NICA (Nuclotron based Ion Collider Facility)



## RF SYSTEM

Two RF stations are to provide 10 kV of acceleration voltage. Frequency range of operation of the stations in the injector chain is from 634 kHz to 2400 kHz

## Технические требования к ВЧ станциям:

Ускорение частиц в Бустере - в два этапа.

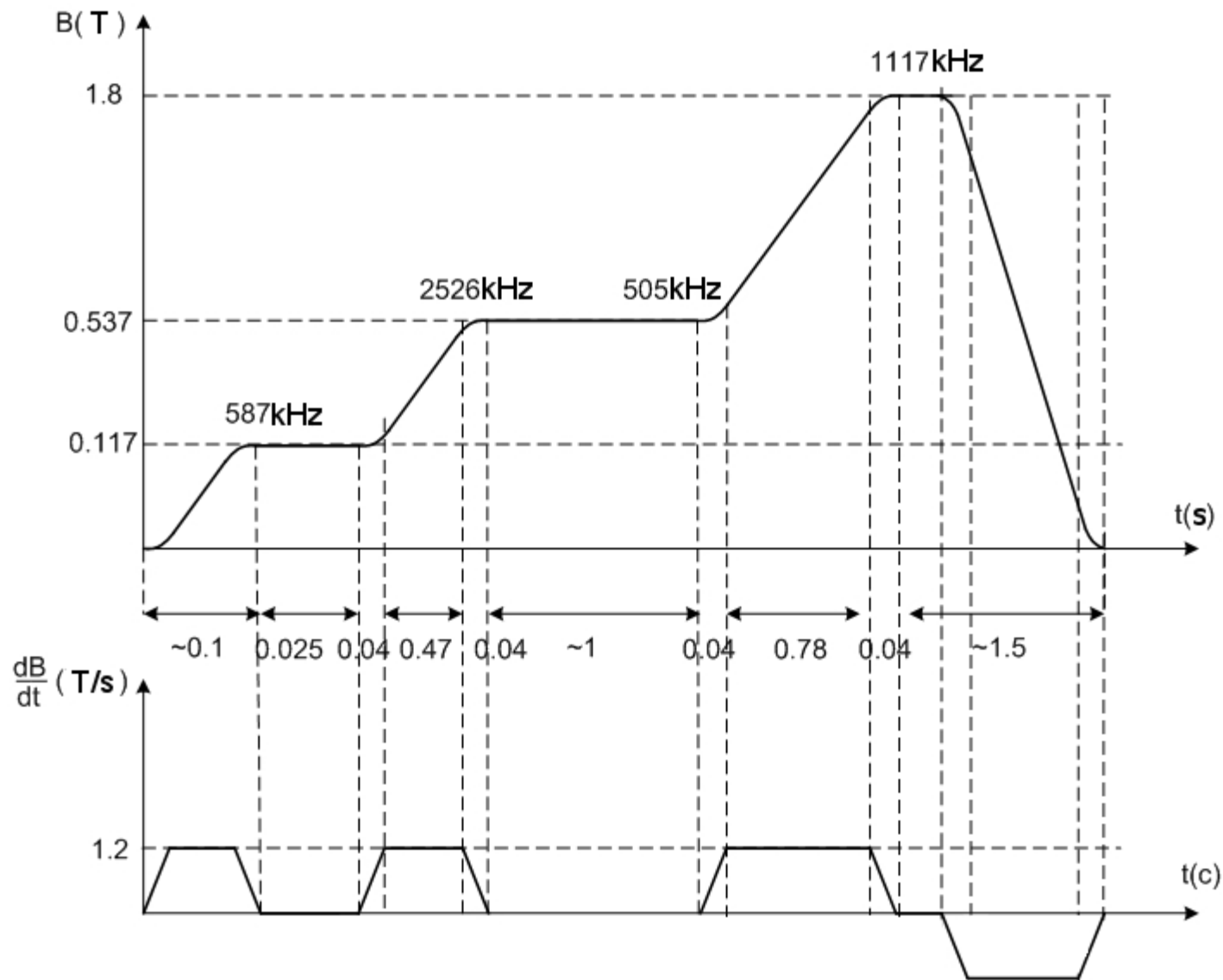
- Адиабатический захват и ускорение на четвертой гармонике частоты обращения до энергии электронного охлаждения, равной 100 МэВ/нукл.
- Ускорение частиц на первой гармонике до энергии 600 МэВ на нуклон.

В промежутке между этапами ускорения при выключенном ВЧ напряжении производится электронное охлаждение частиц в течении ~1сек.

В течение обоих этапов частотный диапазон работы станций лежит в пределах 0.5 – 2.5 МГц.

Также предусмотрен автономный режим. В этом режиме при суммарном напряжении станций 10 кВ частота перестраивается в пределах 0.5 – 5.5 МГц. Цикл ускорения в этом режиме длится 1.5 сек, период повторения цикла – 6 сек. Предполагается, что после ускорения ионов будет осуществляться их медленный вывод из Бустера в каналы для физических экспериментов.

# Ускорительный цикл:



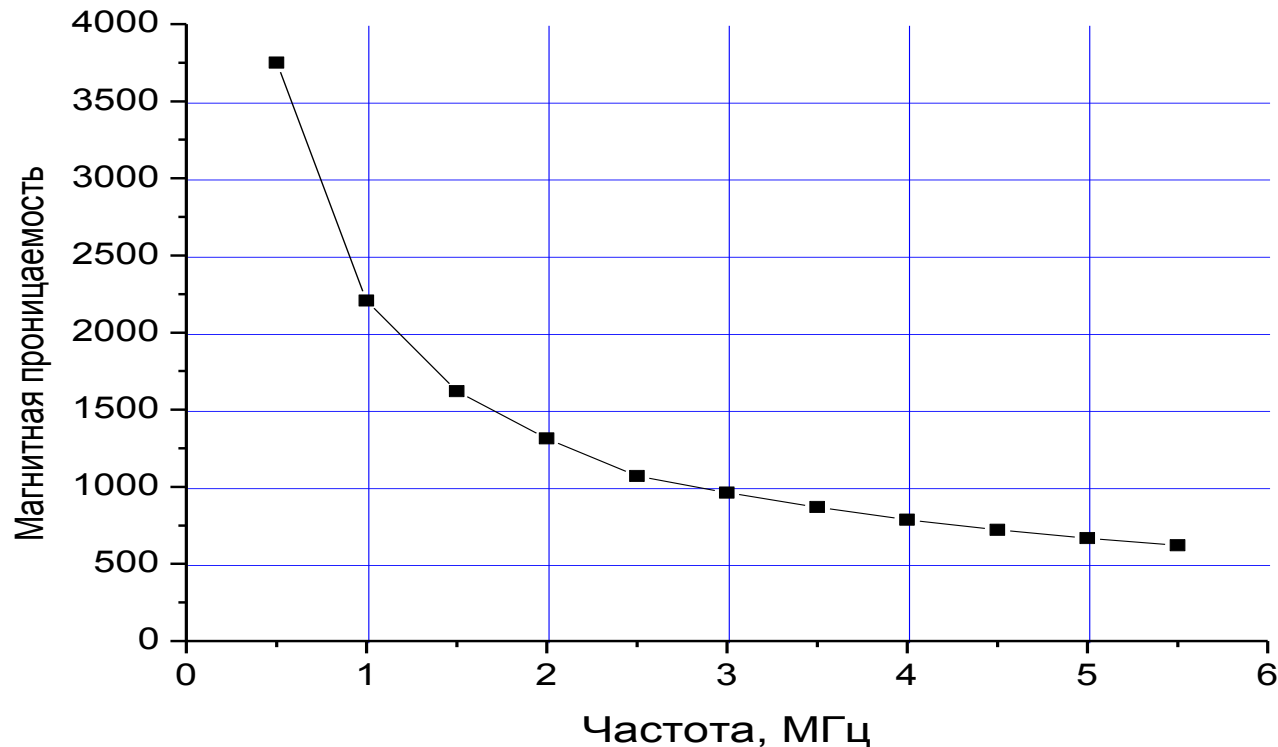
# Основные параметры ускоряющей ВЧ станции

<b>Частотный диапазон, МГц</b>	<b>0.5 - 5.5</b>
<b>Напряжение на зазоре станции, кВ</b>	<b>5 кВ</b>
<b>Диаметр вакуумной камеры, мм</b>	<b>160</b>
<b>Вакуум не хуже, Торр</b>	<b><math>5 \cdot 10^{-11}</math></b>
<b>Активная часть проводимости, приведенная к зазору резонатора</b>	<b>1 кОм</b>
<b>Установочная длина, м</b>	<b>1.4 м</b>
<b>Высота, м</b>	<b>1.8 м</b>
<b>Ширина с боксом вентилятора охлаждения, м</b>	<b>3.2 м</b>

Для повышения шунтового сопротивления резонаторов на частотах от сотен килогерц до 10 МГц пространство между проводниками коаксиала резонатора заполняют материалом с большой магнитной проницаемостью. В нашем случае используются кольца из аморфного магнитного материала. Кольца произведены в России на Ашинском металлургическом заводе.

Размеры колец  $D \times d \times h = 500 \times 250 \times 15$  мм.

- В качестве опорного параметра заводу было выставлено требование получить для колец из ленты аморфного железа модуль относительной магнитной проницаемости ( $\mu_r$ ) на частоте 1 МГц не ниже 2000. Это требование было выполнено. Заводом поставлено в ИЯФ 90 таких колец.
- На графике показана зависимость модуля  $\mu_r$  таких колец от частоты. Эта зависимость хорошо аппроксимируется формулой:  $\mu = \dots$

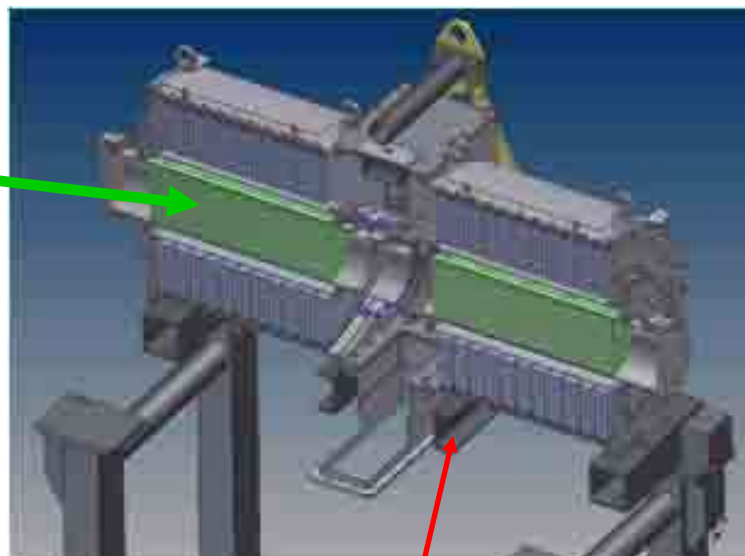


Фазовый угол между намагничивающим током и напряжением с измерительного витка на кольце находится в пределах 10 – 20 градусов, так что можно считать, что нагрузка для намагничивающего тока почти активная.

**Ускоряющий резонатор образован двумя отрезками короткозамкнутых коаксиальных линий, разделенных ускоряющим зазором. В зазоре установлен вакуумно-плотный керамический изолятор. Вакуумная камера и изолятор находятся под вакуумом, в остальной части резонатора - атмосфера**

Зелёным обозначена прогревная до 300° часть вакуумной камеры, со стационарным нагревателем и тепловым экраном

Отверстия для выхода нагретого воздуха от колец



Выдвижной экран электрического соединения с ВЧ генератором направляет поток воздуха в резонатор



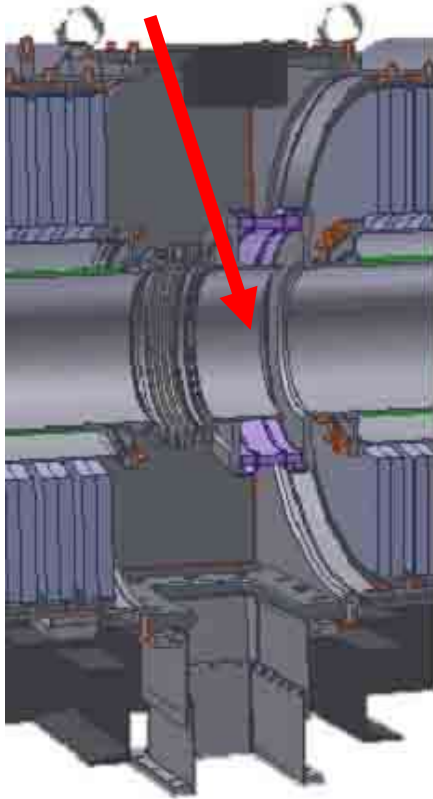
Защитные оболочки прикрывают отверстия сборок колец от попадания посторонних предметов



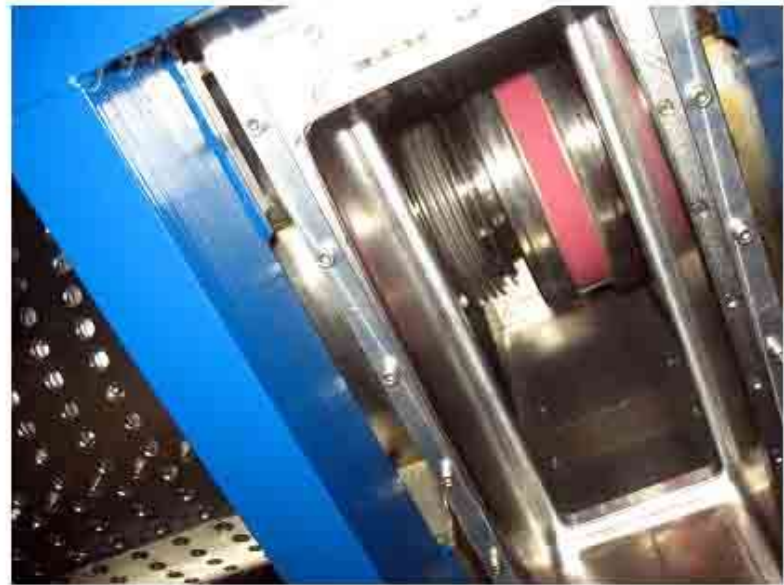
Попарная сборка колец аморфного железа с радиальными зазорами для прохода охлаждающего воздуха

# Конструкция ускоряющего зазора

Середина вакуумной камеры с ускоряющим зазором в разрезе



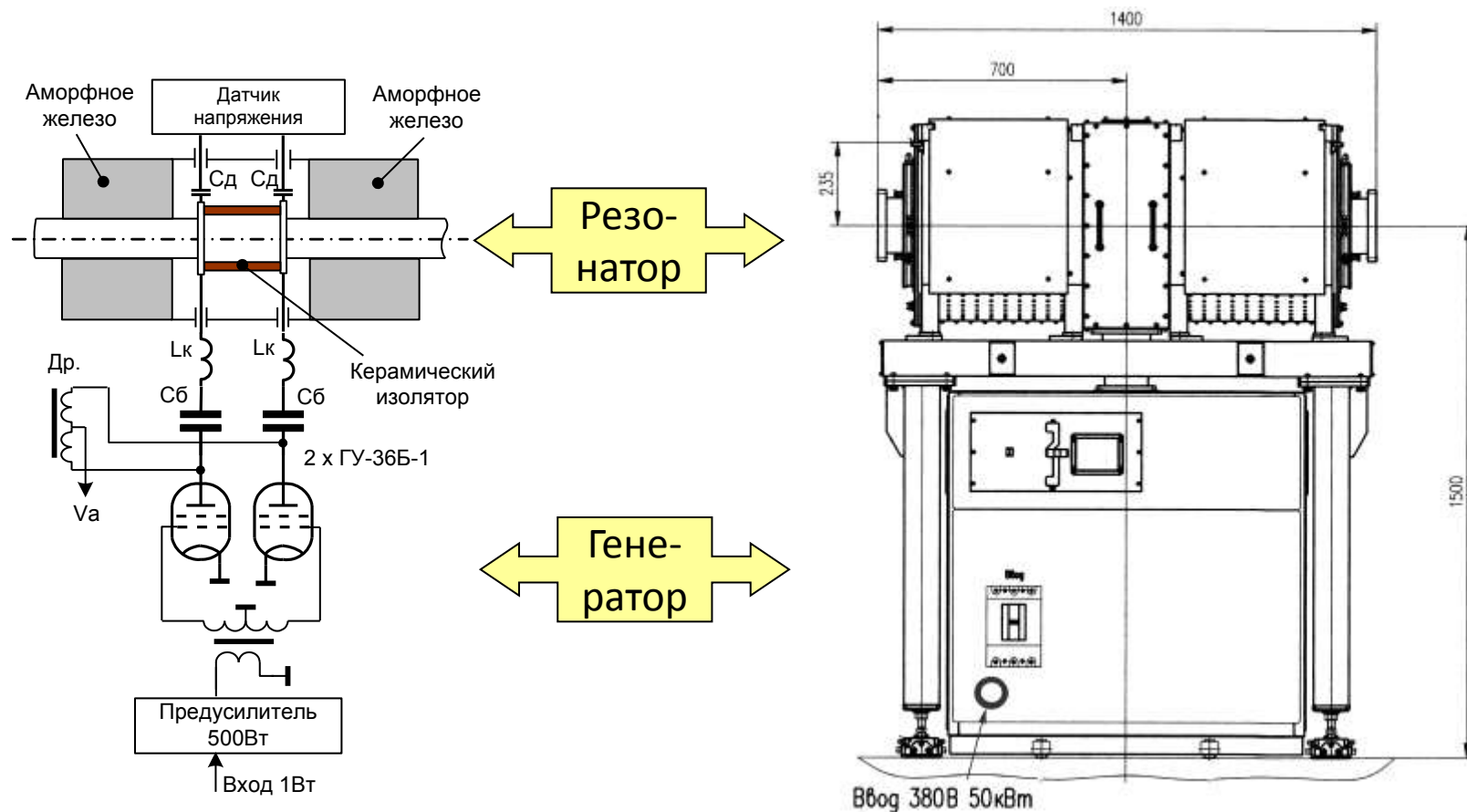
Разгружающий сильфон и керамический изолятор ускоряющего зазора



Вид снизу через прямоугольное окно выдвижного короба, экранирующего соединение резонатора с генератором

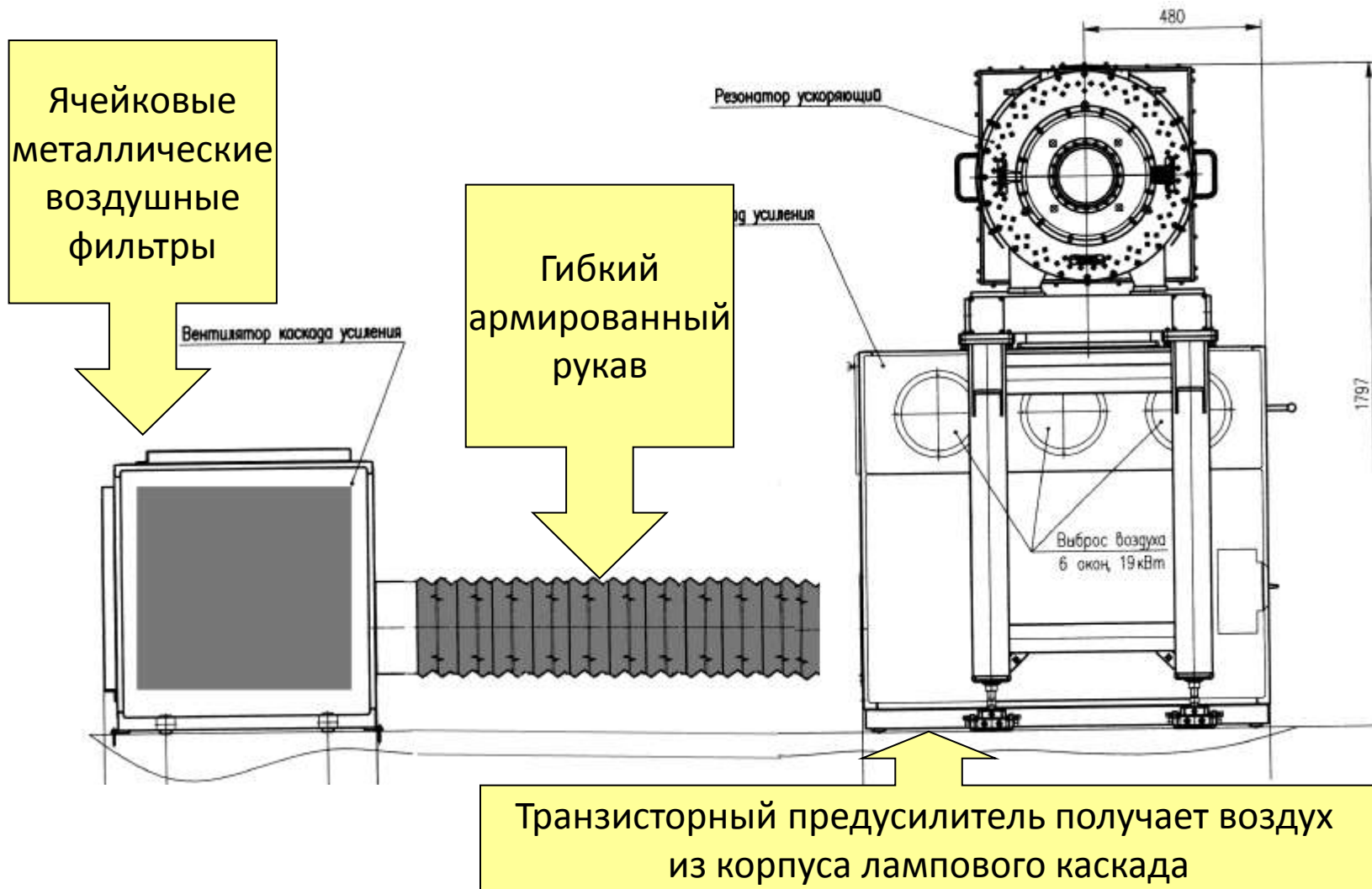


В кольцо бустера устанавливаются две ускорительные станции. Ускоряющее напряжение на зазоре 5 кВ у каждой. Станция состоит из резонатора с ламповым ВЧ генератором и системы воздушного охлаждения.



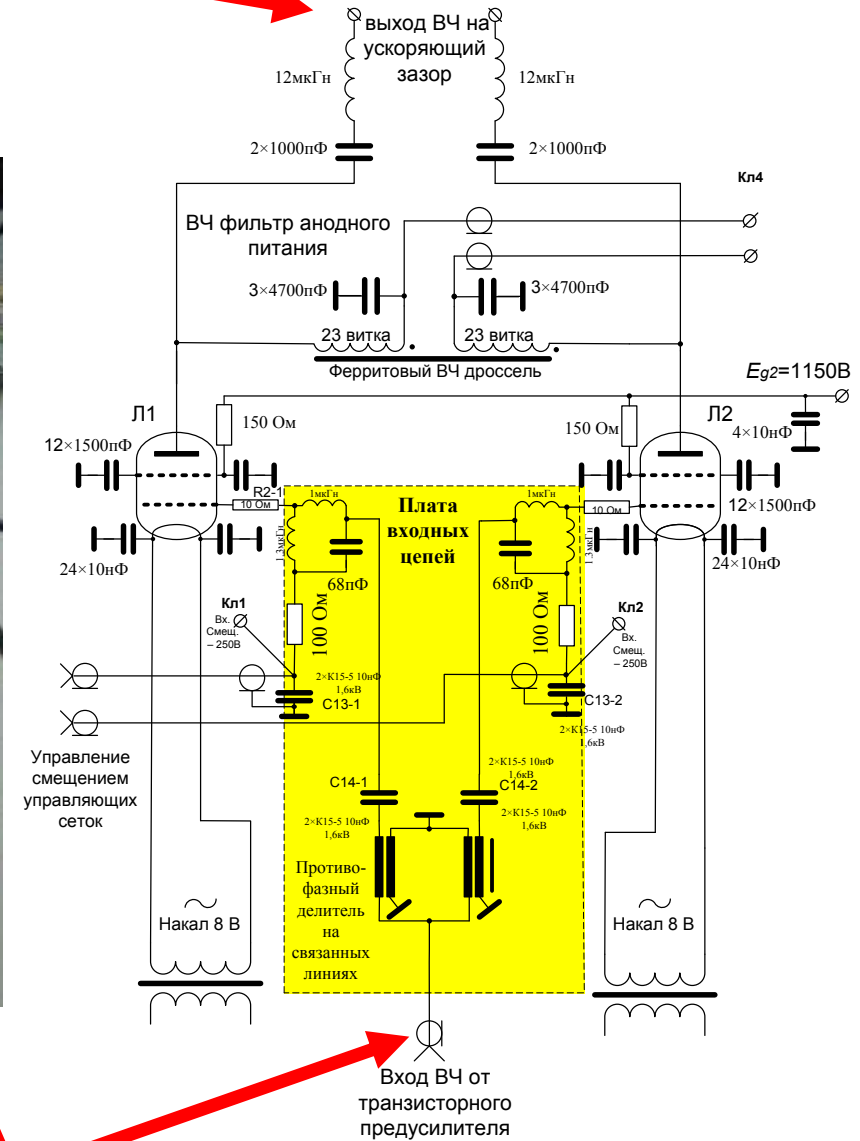
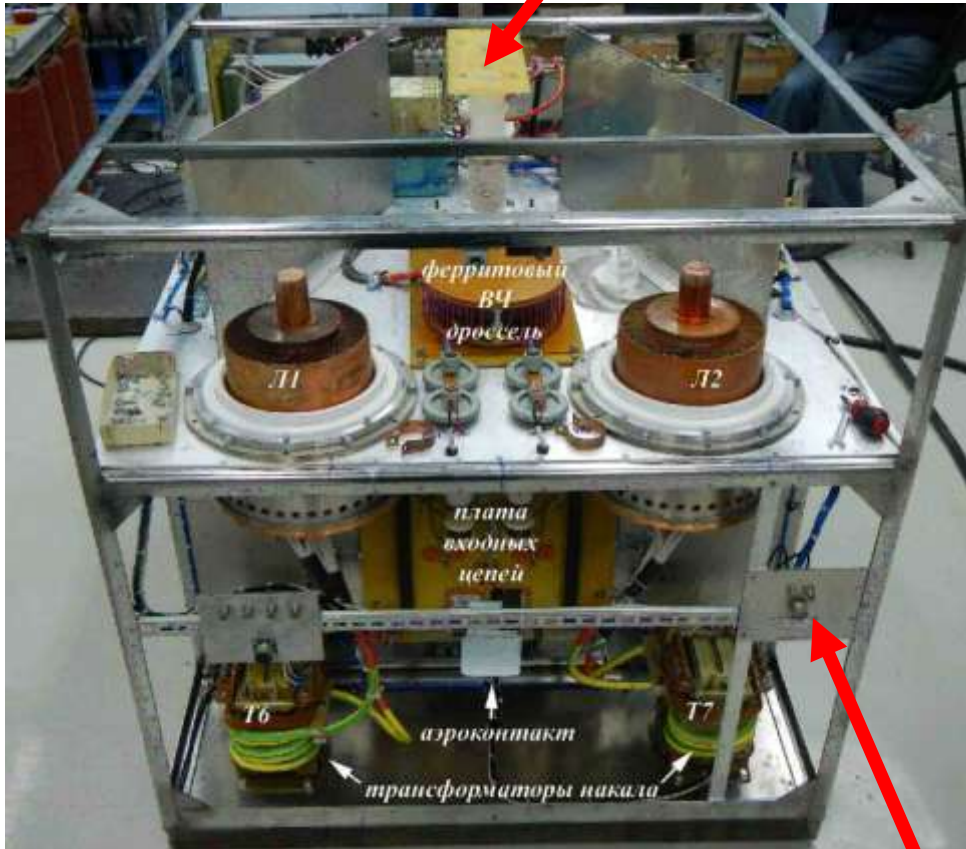
Выходной каскад генератора на двух тетродах ГУ-36Б-1 производства ЗАО «С.Е.Д.-СПб», Санкт-Петербург, Россия. Лампы работают противофазно по схеме с общим катодом. Охлаждение – воздушное.

Для воздушного охлаждения ламп, радиатора транзисторного предусилителя и резонатора используется нагнетающий вентилятор с расходом 4000 м<sup>3</sup>/час под давлением 2000 Па.



# Расположение элементов ВЧ тракта выходного каскада генератора

Выход к резонатору



Вход от предусилителя

Аноды ламп через блокировочные конденсаторы  $C_b$  подключены непосредственно к ускоряющему зазору резонатора. Источник анодного питания  $V_a = +4.5\text{ kV}$  отдельно подключен к анодам через два бесконтактных измерителя тока и две обмотки ВЧ дросселя на двух ферритовых кольцах размером  $180 \times 110 \times 20$  с магнитной проницаемостью 1000. Анодные токи ламп выравниваются следящими системами автоматического регулирования напряжения смещения управляющих сеток по общей программируемой уставке тока. Это предотвращает намагничивание феррита, а взаимная индуктивность обмоток выравнивает противофазные напряжения на анодах и подавляет четные гармоники ускоряющего напряжения в зазоре. Для уменьшения нелинейных искажений ускоряющего напряжения, в цикле ускорения лампы работают в режиме, близком к классу А. В паузе между циклами лампы заперты полным смещением – 250 В для уменьшения средней мощности, рассеиваемой на анодах.



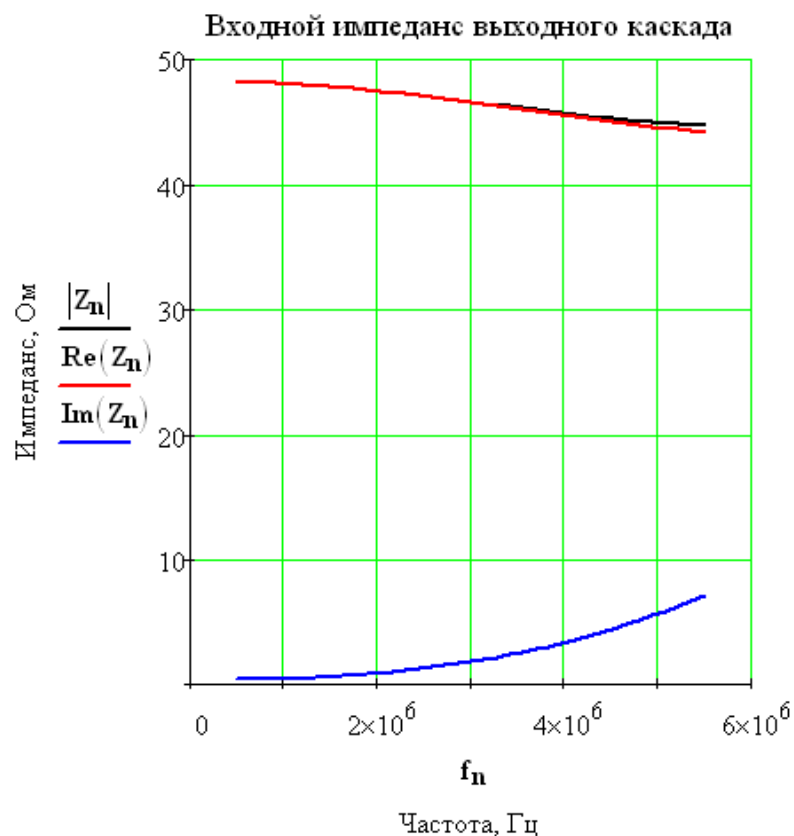
**Элементы выходных цепей  $C_b$  и  $L_k$**



**Ферритовый ВЧ дроссель анодного питания**



Так как модуль сопротивления нагрузки ламп изменяется в частотном диапазоне в два раза, для уменьшения средней мощности, рассеиваемой на анодах, постоянная составляющая анодного тока в цикле ускорения регулируется по заданной программе с помощью цепи обратной связи. На частотах с меньшим сопротивлением нагрузки постоянная составляющая увеличивается. Опорное напряжение для этой цепи вырабатывает ЦАП в системе управления.



Лампы возбуждаются противофазно от полупроводникового предусилителя с максимальной выходной мощностью 500 Вт. Максимальная мощность на входе предусилителя – 1 Вт. При испытании станций его выходная мощность не превышала 200 Вт.

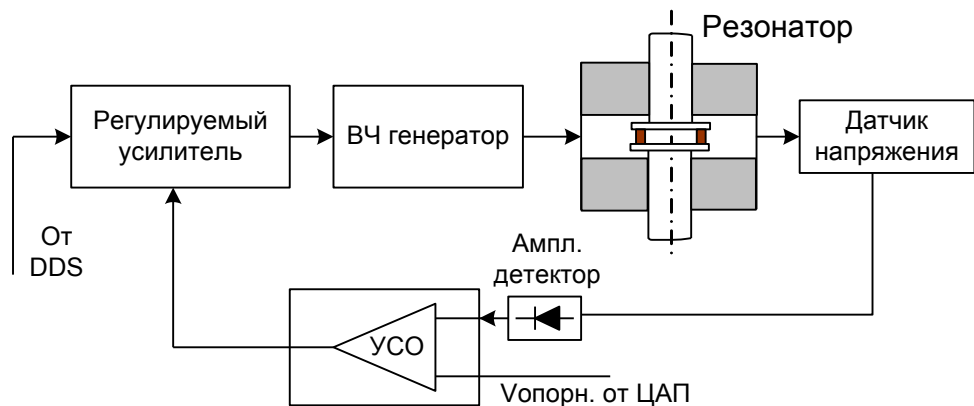


**Плата входных цепей с противофазным делителем входного сигнала и 100 –омными балластными нагрузками**

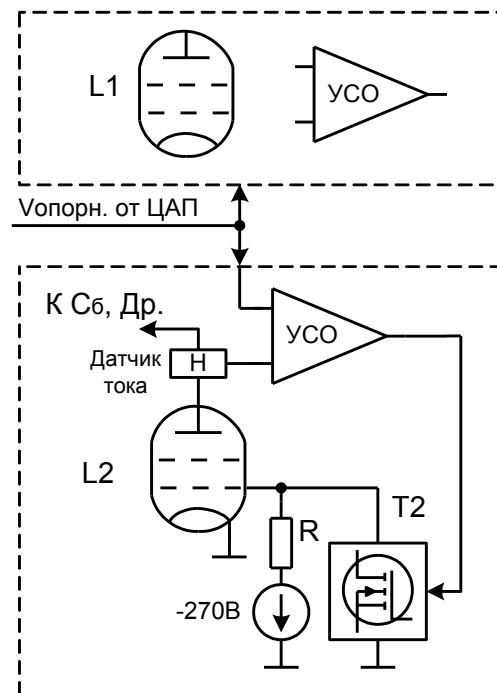
# Внешний вид ВЧ генератора со стороны органов управления



# Малосигнальные цепи обратных связей

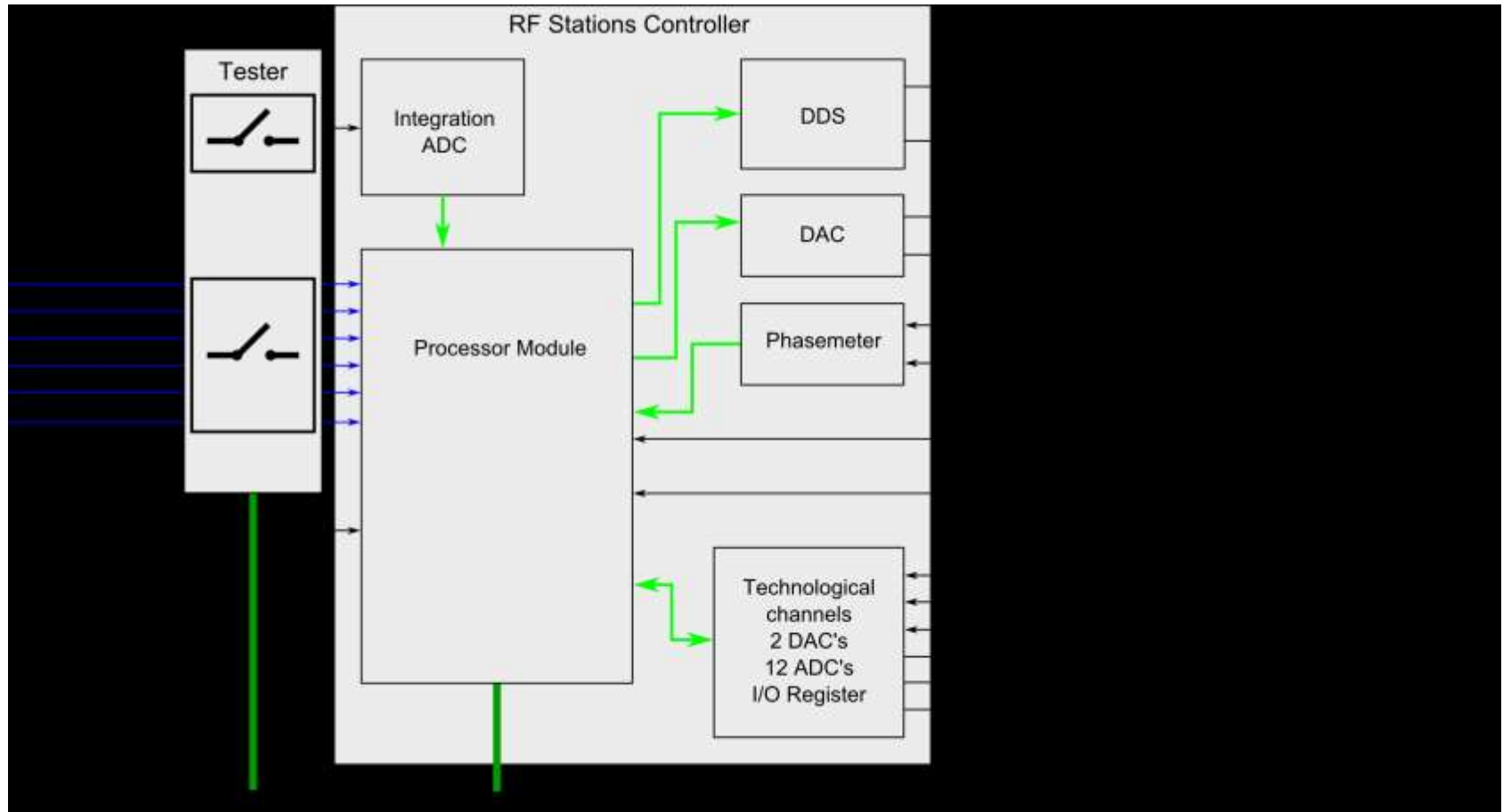


Блок схема цепи обратной связи регулирования амплитуды ускоряющего напряжения станции.



Блок схема цепи обратной связи для регулирования постоянной составляющей анодного тока ламп станции.

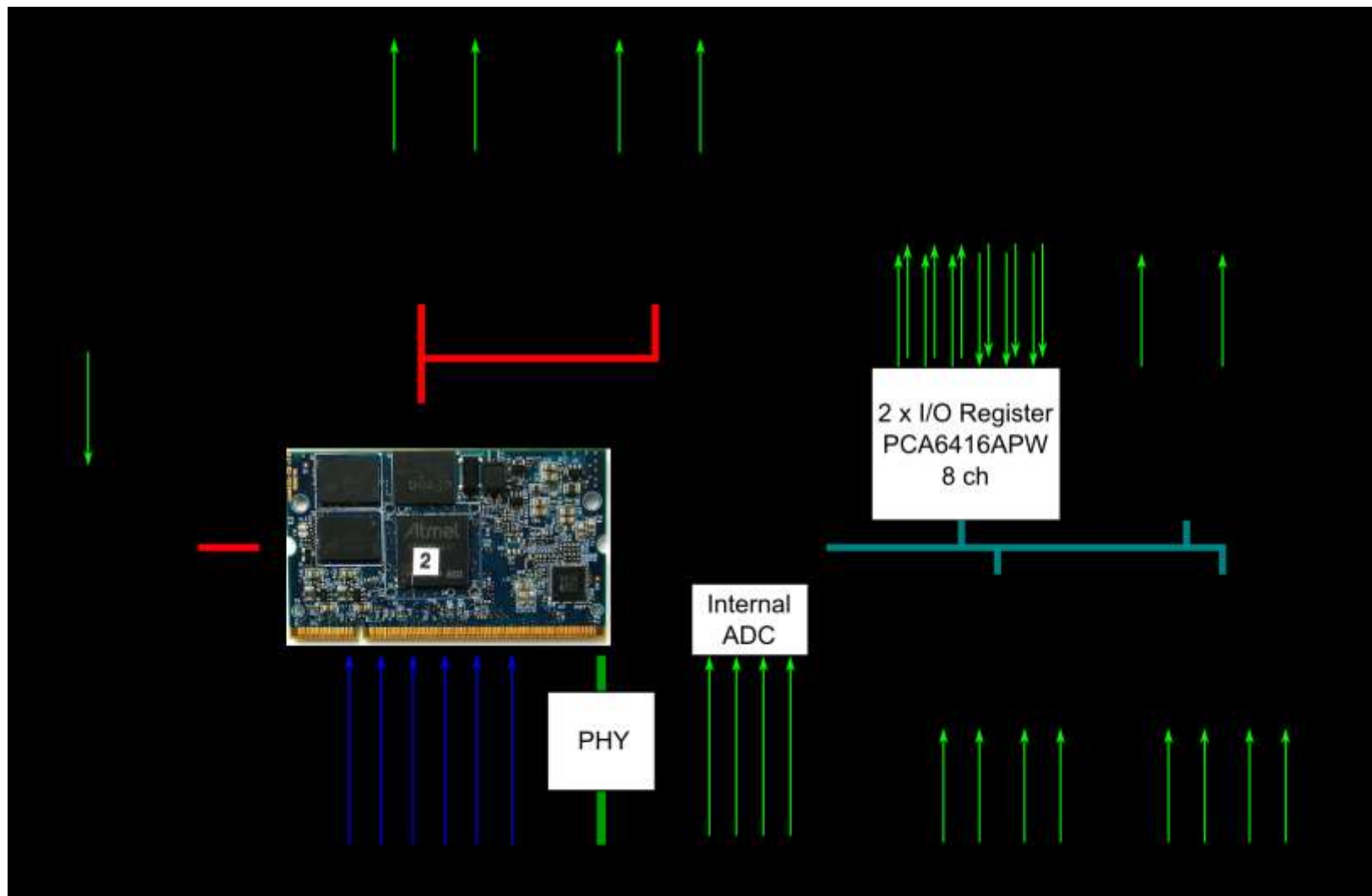
# Система управления



$$F(B) = \frac{c^2 / L Z / A_n \rho 1 / 10^6 B}{\sqrt{m_n^2 + (Z / A_n \rho c / 10^6)^2 B^2}}$$



# Система управления



## ВЧ станция на испытательном стенде



15.09.14 – ВЧ станции упакованы и  
подготовлены к отправке в ОИЯИ...



...25.09.14 – груз доставлен в ОИЯИ,  
пуско-наладка 10.11.14 - ...





## RF SYSTEM OF THE BOOSTER OF NICA FACILITY

Thank you for your  
attention!

G.A.Fatkin for

G.Ya.Kurkin, A.M.Batnikov, S.A.Krutikhin, Ya.G.Kruchkov, S.V.Motygin, A.M.Pilan  
Budker Institute of Nuclear Physics, SB RAS.



**Институт  
Ядерной  
Физики  
имени Г.И.Будкера**

