



Отделение Физики Высоких Энергий

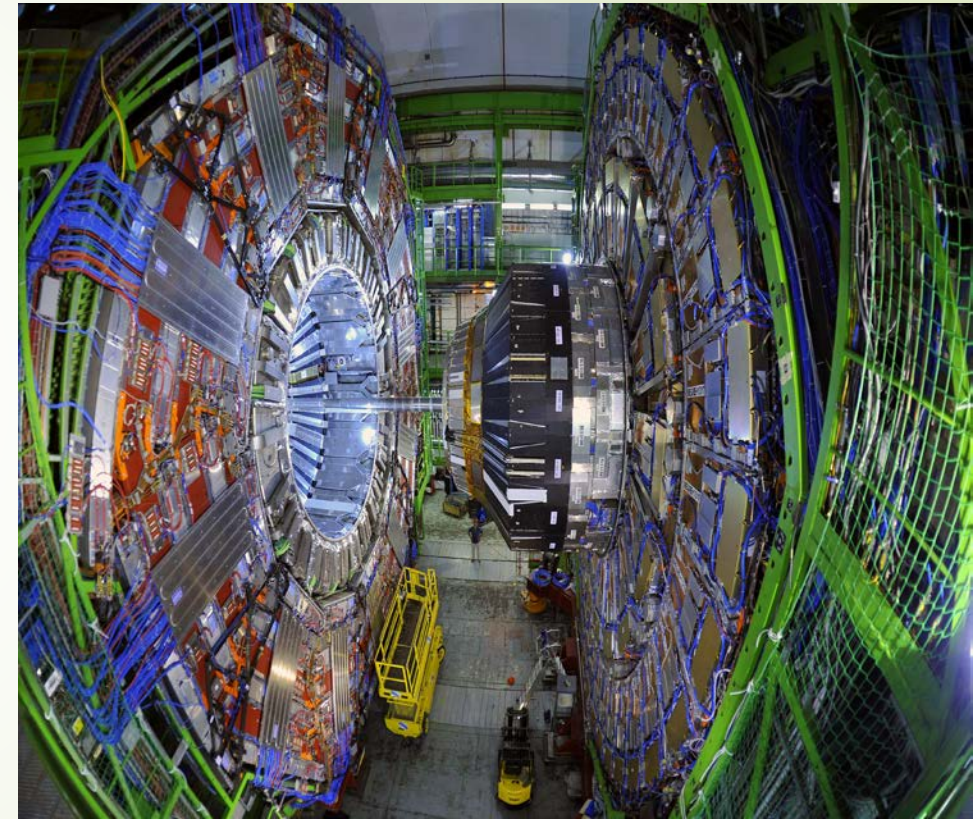
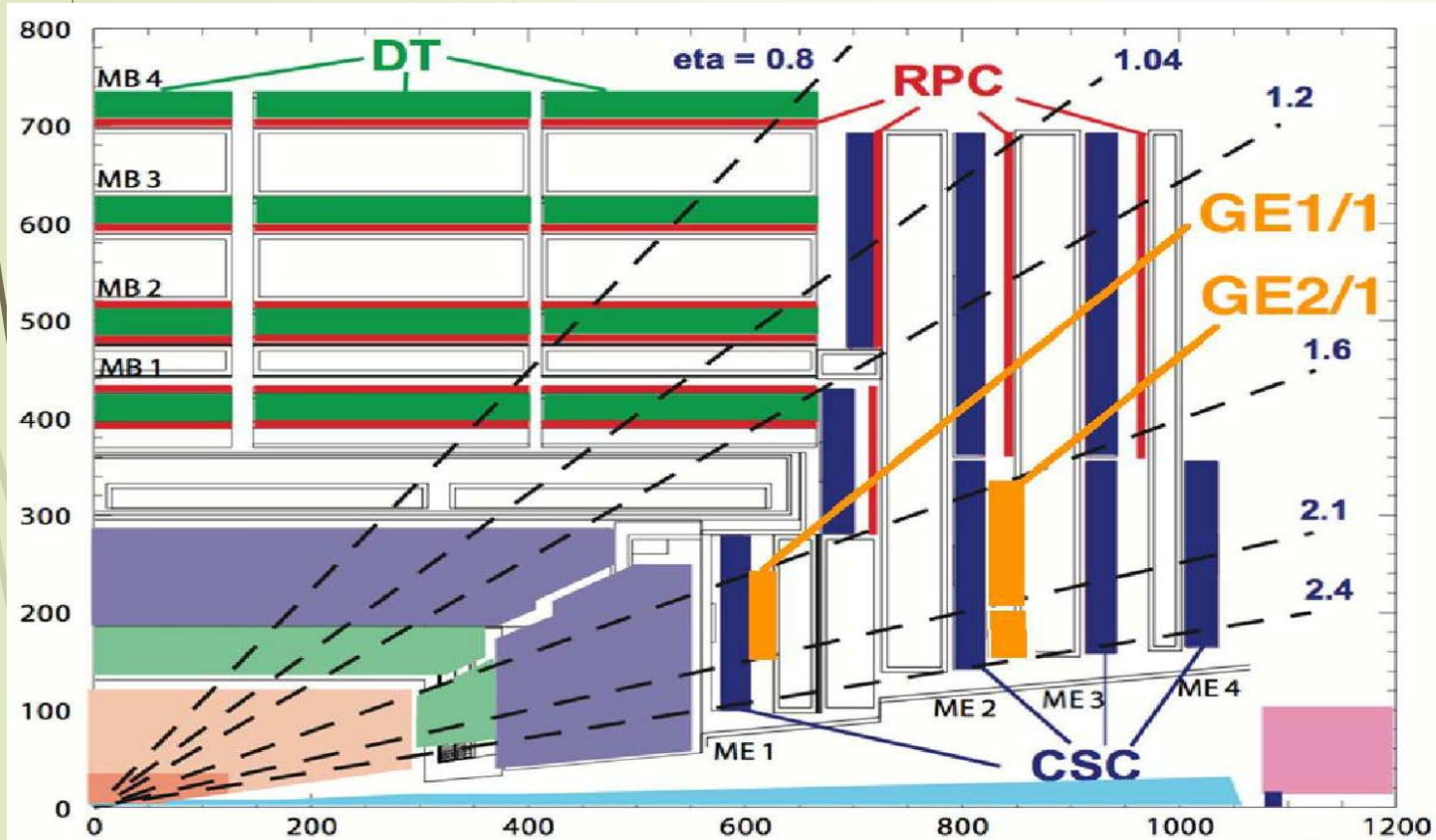
ФГБУ «ПИЯФ» НИЦ «КИ»



Высоковольтная система мюонного торцевого детектора эксперимента CMS (модернизация для работы в условиях LH-LHC)

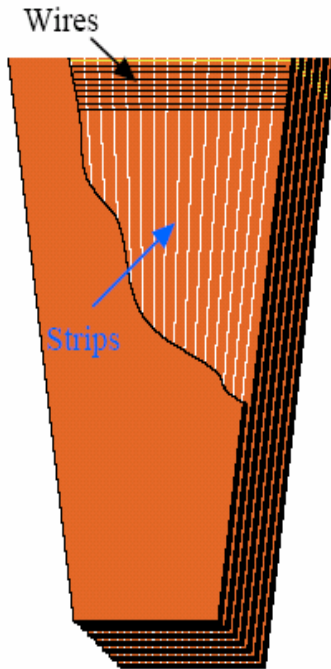
27.12.2017. С. Волков

Структура мюонного детектора эксперимента CMS



Структура мюонного детектора. Сегментация камер по высоковольтному напряжению. Основные требования к высоковольтному питанию.

Conceptual design of a CMS EMU CSC



trapezoidal chambers
 length up to 3.4 m
 width up to 1.5 m
 6 planes per chamber
 9.5 mm gas gap (per plane)

6.7 to 16.0 mm strip width
 strips run radially to measure ϕ -coordinate with $\sim 100 \mu\text{m}$ precision

50 μm wires spaced by 3.2 mm
 5 to 16 wires ganged in groups
 wires measure r -coordinate

gas Ar(40%)+CO₂(50%)+CF₄(10%)
 HV~3.6 kV ($Q_{\text{cathode}} \sim 110 \text{ fC}$, $Q_{\text{anode}} \sim 140 \text{ fC}$)

Chambers	ME1/1	ME1/2	ME1/3	ME2/1	ME3/1	ME4/1	ME4/2
Number of chambers	72	72	72	36	36	36	72
Planes per chamber	6	6	6	6	6	6	6
Number of HV segments per chamber	1	2	3	3	3	3	5

Overall numbers of HV segments for muon endcaps

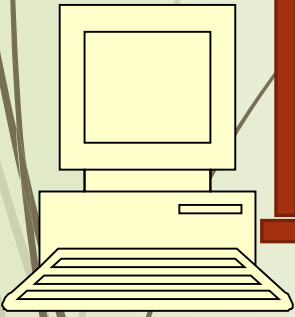
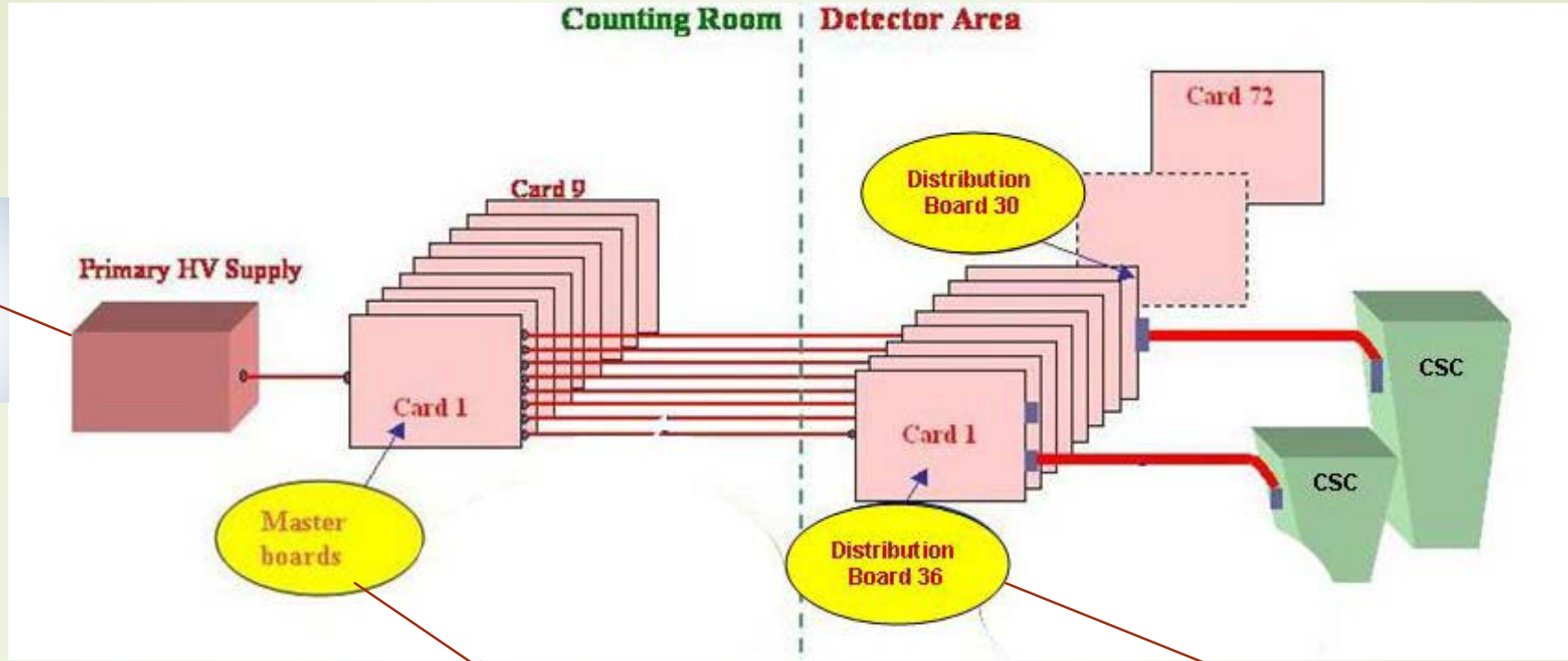
13392

Технические требования на систему высоковольтного напряжения для мюонных камер торцевого детектора CMS

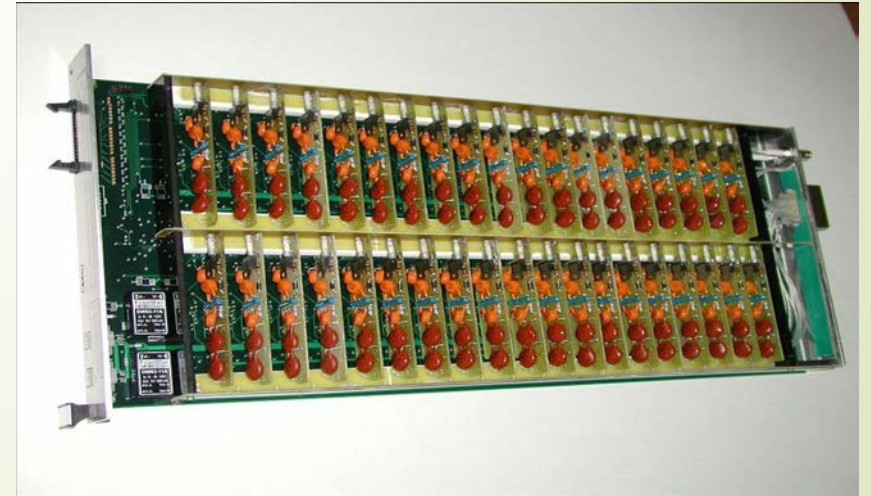
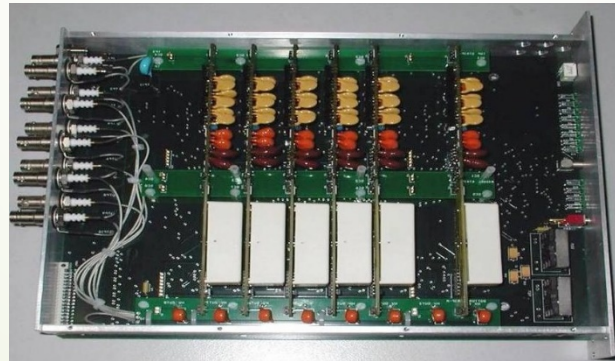
№	Параметр	Значение
1	Максимальное значение напряжения питания V_{max}	4000 В
2	Диапазон регулирования напряжения питания в канале	$(V_{max} - 1000 \div V_{max})$ В
3	Разрешающая способность регулирования напряжения	≤ 50 В
4	Разброс значений напряжения по каналам	≤ 20 В
5	Максимальный выходной ток I_{max}	100 мкА
6	Скорость отключения канала при искрении (трип) Пороговое значение тока при искрении	Программируемая, ≤ 1 с Программируемое $1 \div 100$ мкА шаг изменения порога 1 мкА
7	Максимальное значение пульсации напряжения	10 мВ р-р, полоса 100 Гц \div 20 МГц
8	Точность измерения напряжения индивидуально по каналам	≤ 10 В в диапазоне $0 \div V_{max}$
9	Точность измерения выходного тока индивидуально по каналам	≤ 100 нА при токах ≤ 1 мкА $\leq 10\%$ при токах > 1 мкА
10	Разброс значений измеряемого тока по каналам	$\leq 10\%$

Концепция построения высоковольтной системы (UF/PNPI option)

Low profile / High power
Rack-mount type
HV power supply
AU series



Interface **PCI**
PCI-express
USB(LHCb)



Оригинальные технические решения

1. Базовый элемент системы – регулятор на основе высоковольтного транзистора с импульсной обратной связью
2. Высоковольтный датчик тока с нелинейной шкалой измерения
3. Многоканальный динамический ЦАП для управления высоковольтным напряжением в каналах модуля
4. Безкрейтовая модульная конструкция
5. Коммерчески доступный первичный высоковольтный источник
6. Интерфейс совместимый с обычным или промышленным РС.

Полная конфигурация высоковольтной мюонной системы CMS эксперимента

Primary supply	-	8
Master board	-	50
Distributer board	-	370



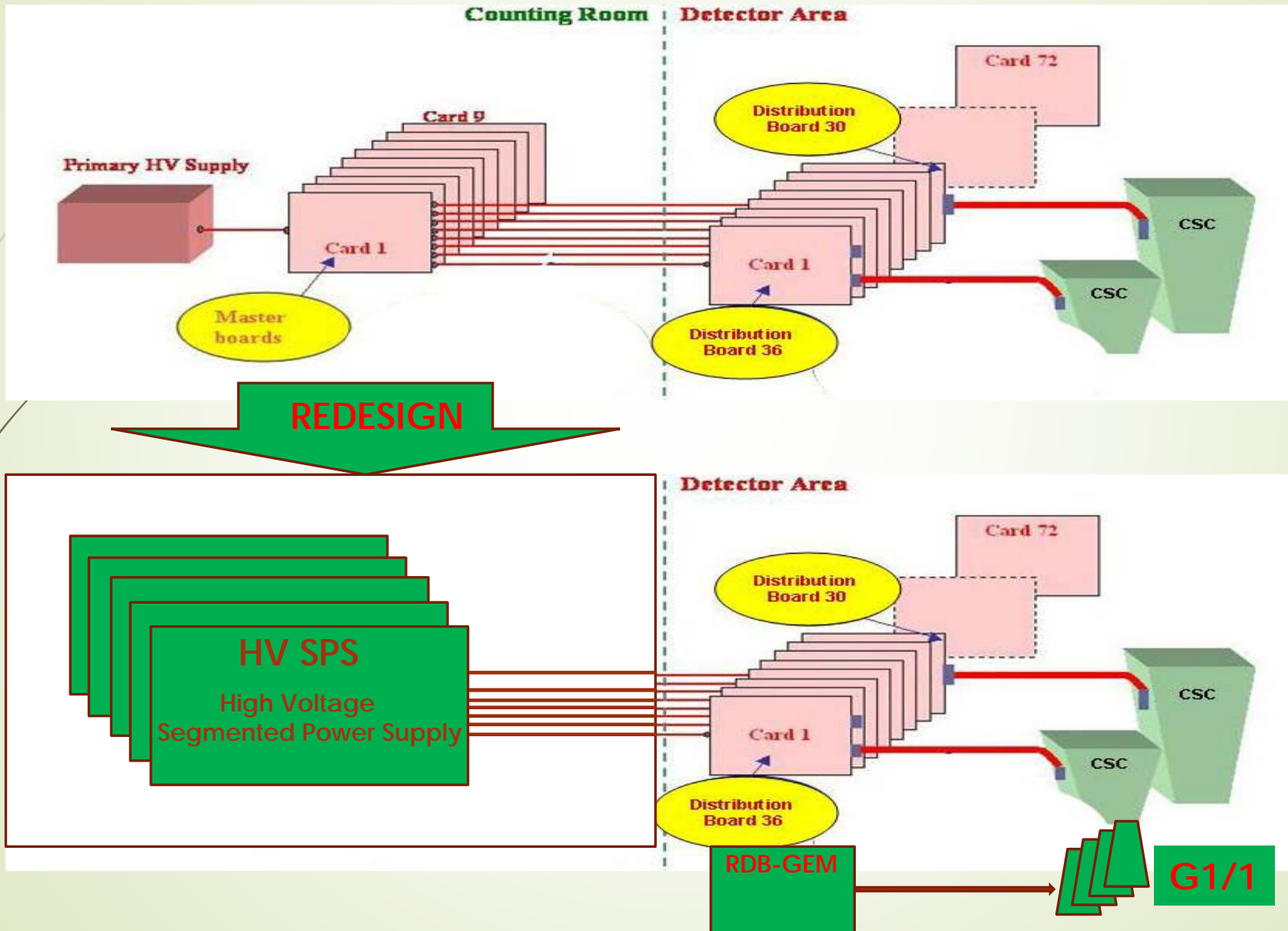
Выводы по результатам эксплуатации высоковольтной системы

По утверждению экспертов: За более чем 10-ти летний срок работы высоковольтная система показала высокую надежность и удобство в эксплуатации.

Зачем нужна модернизация высоковольтной системы?

1. В связи с повышением светимости LHC (**HL-LHC**) возрастают токи в камерах и, как следствие, должна быть повышена нагрузочная способность высоковольтных блоков по выходному току.
При максимальных нагрузках камер особенно в критическом режиме оказываются главные распределители (Master Boards).
2. В мюонном детекторе вводится новый тип камер, выполненных по Triple GEM технологии (144 камеры по 7 высоковольтных сегментов) **требующих дополнительно 1008 высоковольтных каналов для их питания.**
3. Мюонной коллаборацией принято решение заменить ранее используемые для высоковольтного питания камер **ME1/1 модули (на базе CAEN системы) на вариант UF/PNPI системы.**
4. Некоторые высоковольтные компоненты (радиодетали) сняты с производства, что в перспективе приведет к трудностям с ремонтом модулей.

Концепция модернизации высоковольтной системы

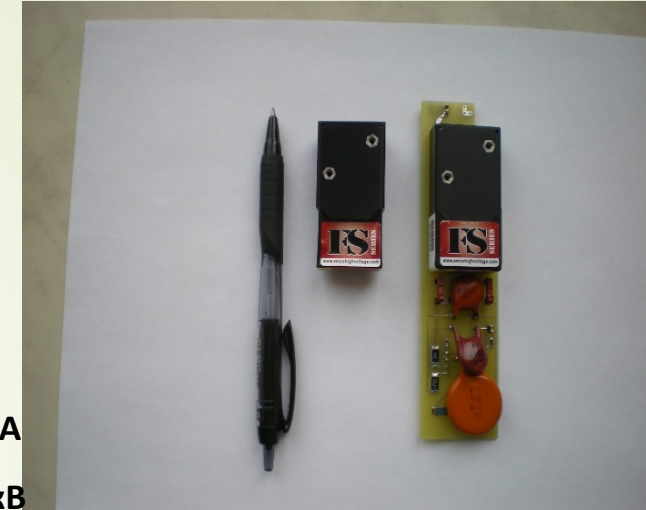


Модуль HV SPS

Высоковольтный сегментированный источник напряжения

1. Технические характеристики HV SPS.

Число выходов высоковольтного напряжения	- 9
Максимальное выходное напряжение по каждому выходу	- 4кВ.
Максимальный выходной ток по каждому выходу	- 2.5мА
Диапазон управления выходным напряжением	- 0В- 4кВ
Точность установки выходного напряжения	+/- 1В
Точность мониторинга выходного напряжения	+/- 1.5В
Точность мониторинга выходного тока	- 10 мкА
Пульсации	не более - 100мВ
Защита от перегрузок по напряжению и току	- программируется.
Переключение полярности +/-	- программируется
Модуль работает под управлением Linux PCI-express Host карты.	



UF/PNPI HV system Master boards and ME1/1 HV power upgrade



HV SPS

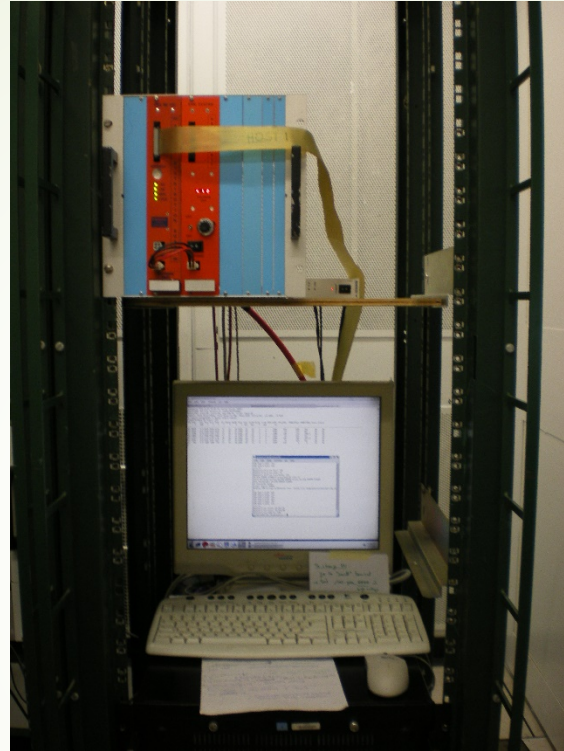


RDB-36, RDB 12/3

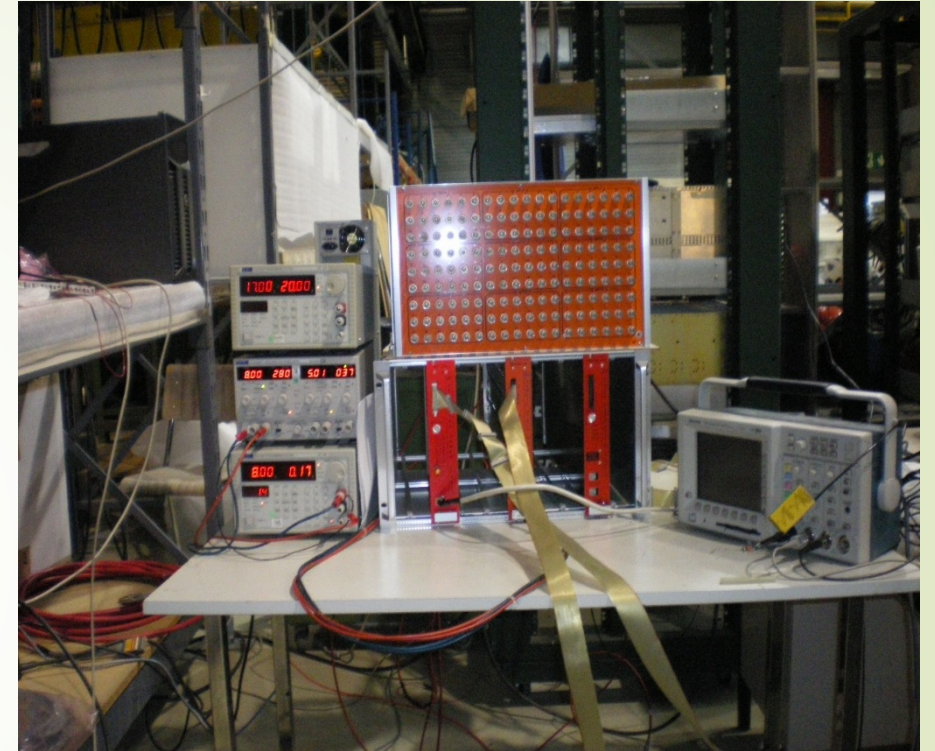
Испытания прототипов модулей высоковольтной системы



Стенд для калибровки
высоковольтных модулей
(CERN, BLD.904)



Прототип системы высоковольтного
питания(UF/PNPI) для CMS GEM
детектора
(CERN, пучок SPS)



Прототип системы высоковольтного
питания(UF/PNPI) для CMS CSC
(CERN, BLD.904)

Тесты прототипа высоковольтной системы на установке GIF++ в ЦЕРНе



Gamma Irradiation Facility GIF++ at CERN

**BEAM UP TO 100 GEV/C, 14TBQ CESIUM
SOURCE ATTENUATION FACTOR FROM ZERO
TO 50.000**



Результаты тестов мюонных камер M1/1 и M2/1 пучке GIF++

UF/PNPI- VS- CAEN

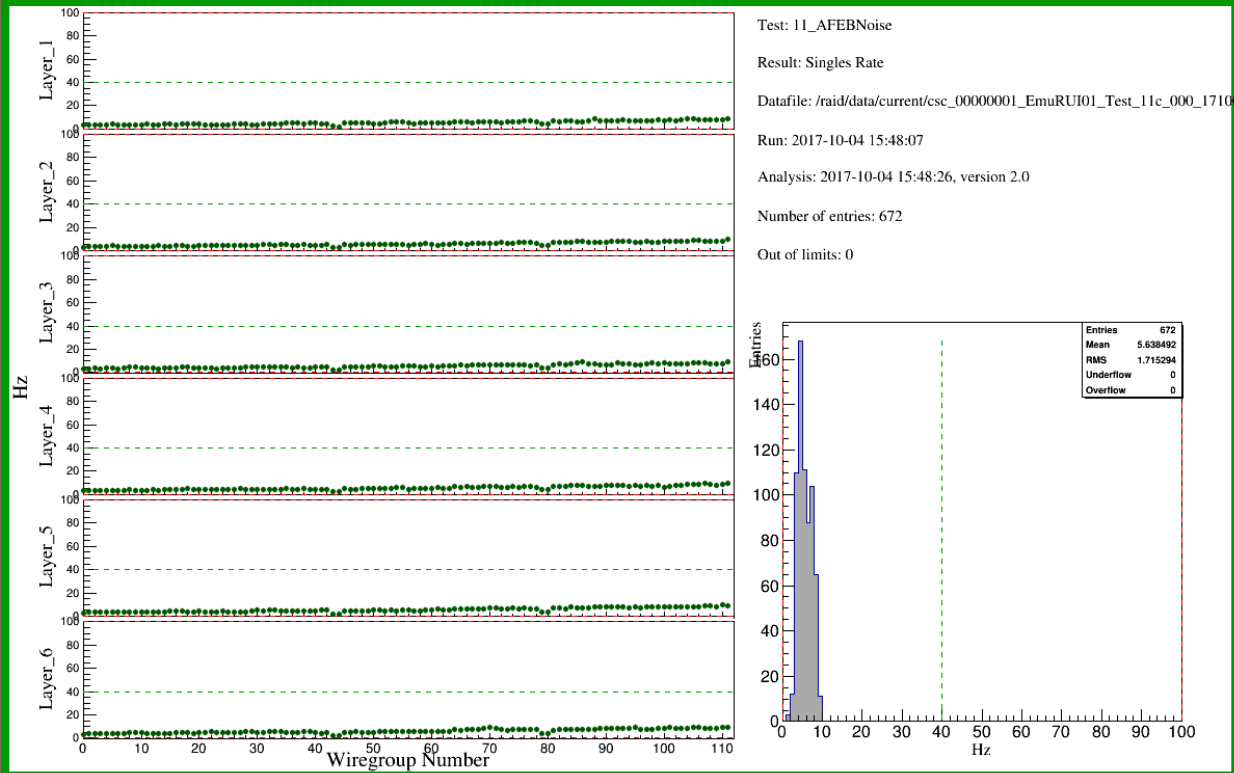
- Testing with two chambers:
 - ❖ ME1/1
 - ❖ ME2/1
 - ❖ 100 meter HV cable to ME1/1 chamber (mimicking P5 setup)

Tests:

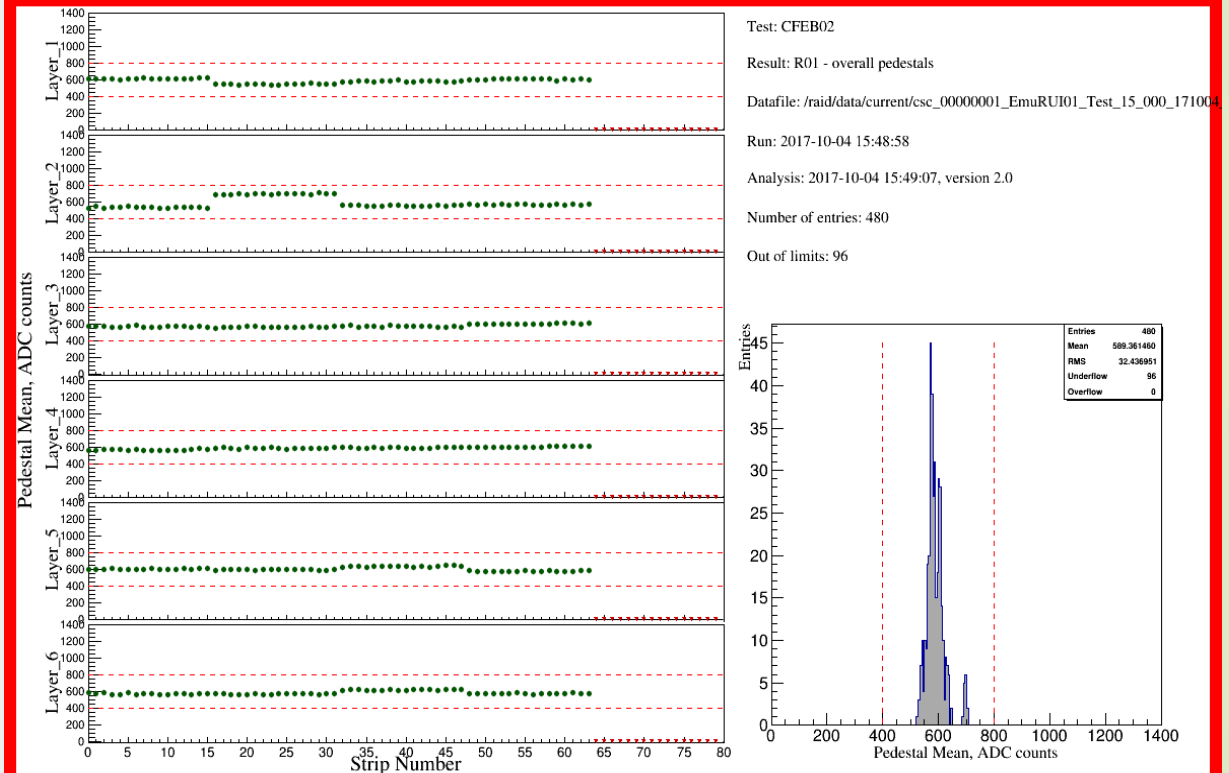
- test 40 with external trigger and TMB dumps (beam on, source off)
- This lets us monitor the following:
 - ❖ chamber efficiency
 - ❖ gain (cluster charge)
 - ❖ resolution
 - ❖ CFEB pedestals
- This test was done at
 - ❖ ME1/1 test voltages: 2800V, 2900V, 2950V
 - ❖ ME2/1 test voltages: 3500V, 3600V, 3700V
- Dark rates (tests 11, 11c, 15, 27s) with single-layer trigger
- Above tests done with TMB dumps
- tests with source (high current)
- monitor current measurement stability in ME1/1

Результаты тестов прототипа высоковольтной системы

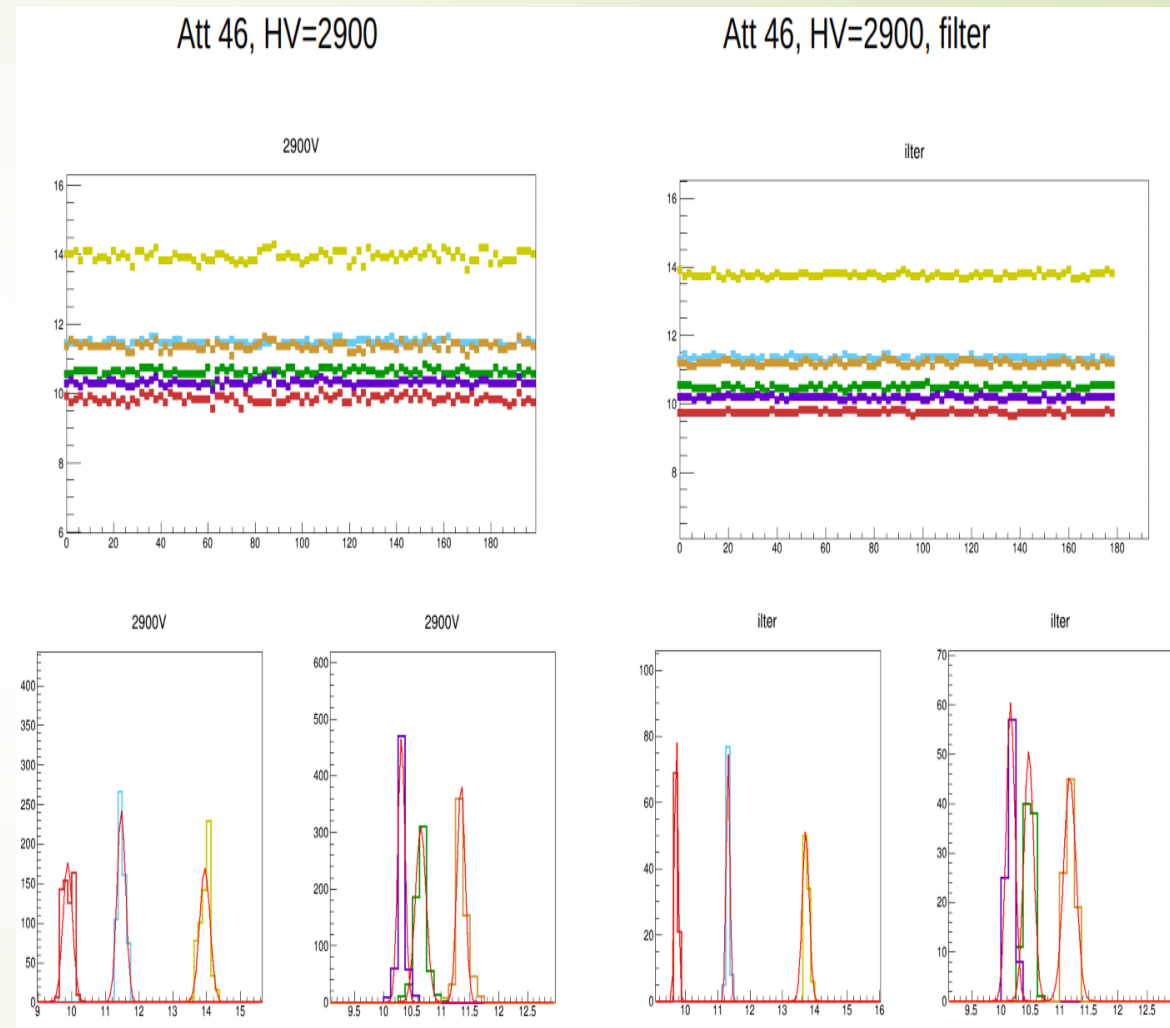
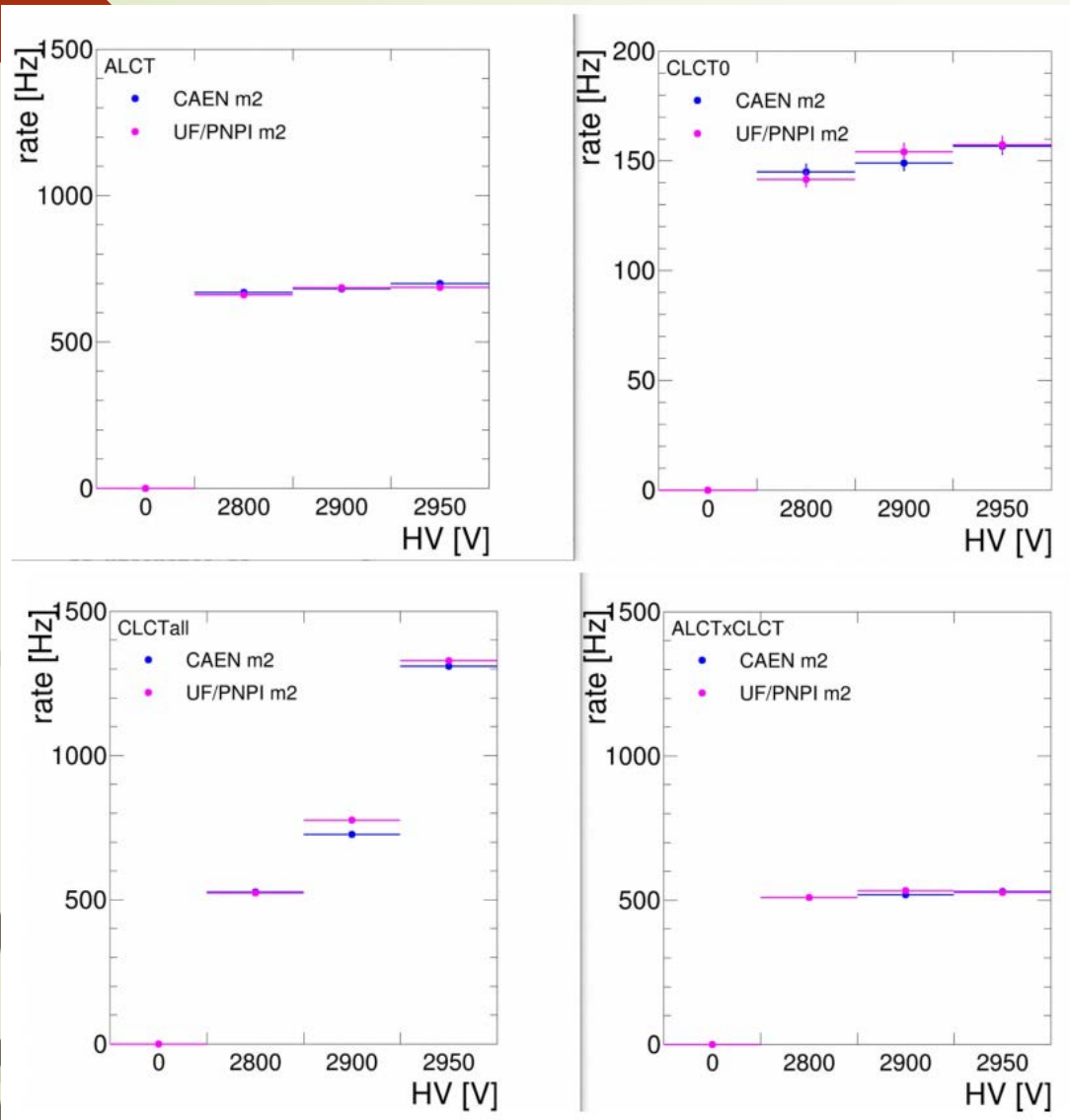
ME+2.1._17_: 11_AFEBNoise Singles Rate



ME+2.1._17_: CFEB02 R01 - overall pedestals



Результаты тестов прототипа высоковольтной системы





Выводы по результатам тестов

Характеристики камер при работе с прототипом UF/PNPI высоковольтной системы практически не отличаются от характеристик при работе камер с HV CAEN

Производство в ПИЯФ

HV SPS 47 unit

RDB12/3 16 unit

Budget Profile for Muon HV system upgrade

Date of availability	Amount	Currency
2017	9	млн. руб.
2018	10	млн. руб.
2019	8	млн. руб.

Budget Profile for ME1/1 upgrade

Date of availability	Amount	Currency
2017	4	млн. руб.
2018	6	млн. руб.
2019	4	млн. руб.
Итого	41	млн. руб.



Комментарии, вопросы,
замечания приветствуются

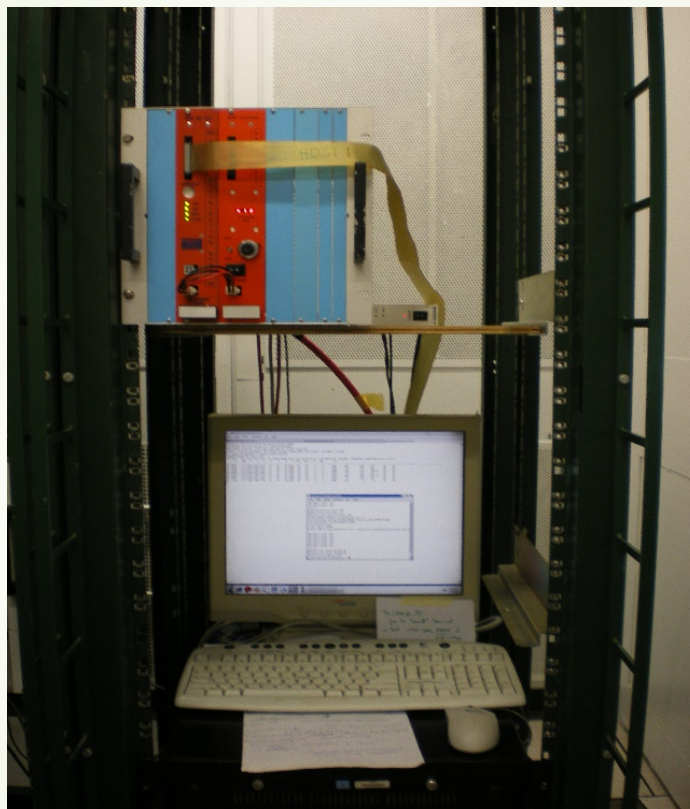
Благодарю за внимание



Buck-UP Slides

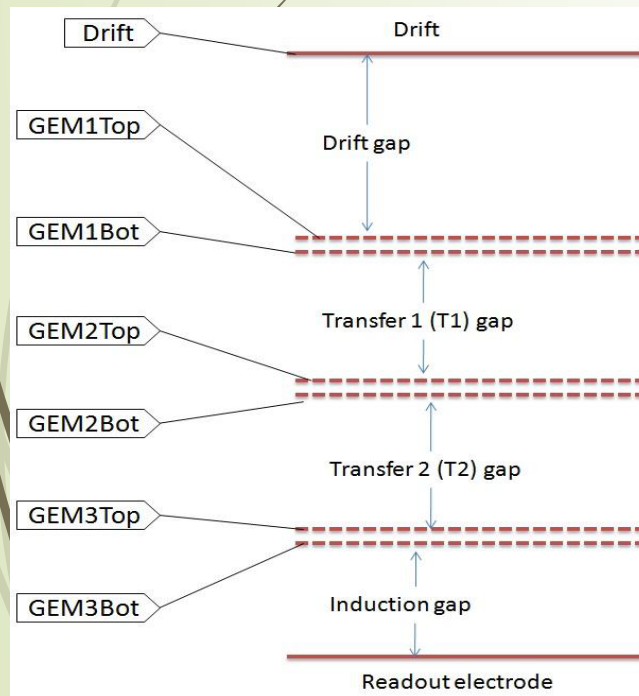
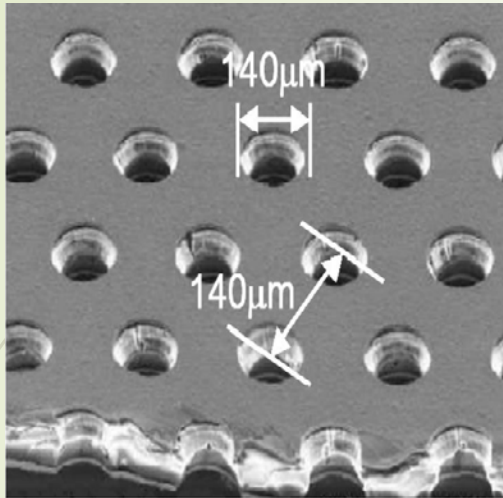


CMS-GEM HV SYSTEM



**Прототип системы высоковольтного
питания(UF/PNPI) для CMS GEM
детектора
(CERN, пучок SPS)**

Specification of the UF/PNPI GE1/1 HV system.



Number of output channels in the system 144 chambers * 7 outputs = 1008 channels

Output channel organization 4 chambers per distribution board

Nominal output voltages

-3760 V Drift Catode

-2860 V GEM1 TOP

-2410 V GEM1 BOT

-2060 V GEM2 TOP

-1620 V GEM2 BOT

-920 V GEM3 TOP

-500 V GEM3 BOT

Absolute maximum voltage between top and bottom foil of the GEM 450 V

Absolute maximum voltage across drift, transfer and induction regions 2000 V

Voltage settings, resolution, each output 1 V

Voltage adjustment, individually for each output $V_{nominal} \pm 100$ mV

Maximum output current per output, I_{max} 150 μ A

GEM current leak tolerance up to two shorted segments per chamber, 100 μ A leakage current

Individual output turn-off (trip) timeout

Programmable, with the step of 20 ms, up to 5 sec

Trip level software programmable From 1 μ A to 150 μ A

Trip Level setting resolution 1 μ A

Voltage measurement, individually for each output via software, resolution 1 V

Current measurement, individually for each output via software, resolution 1 μ A

Rate of voltage change 2 to 100 V/s

Maximum HV ripple 20 mV p-p, bandwidth: 100 Hz to 20 MHz

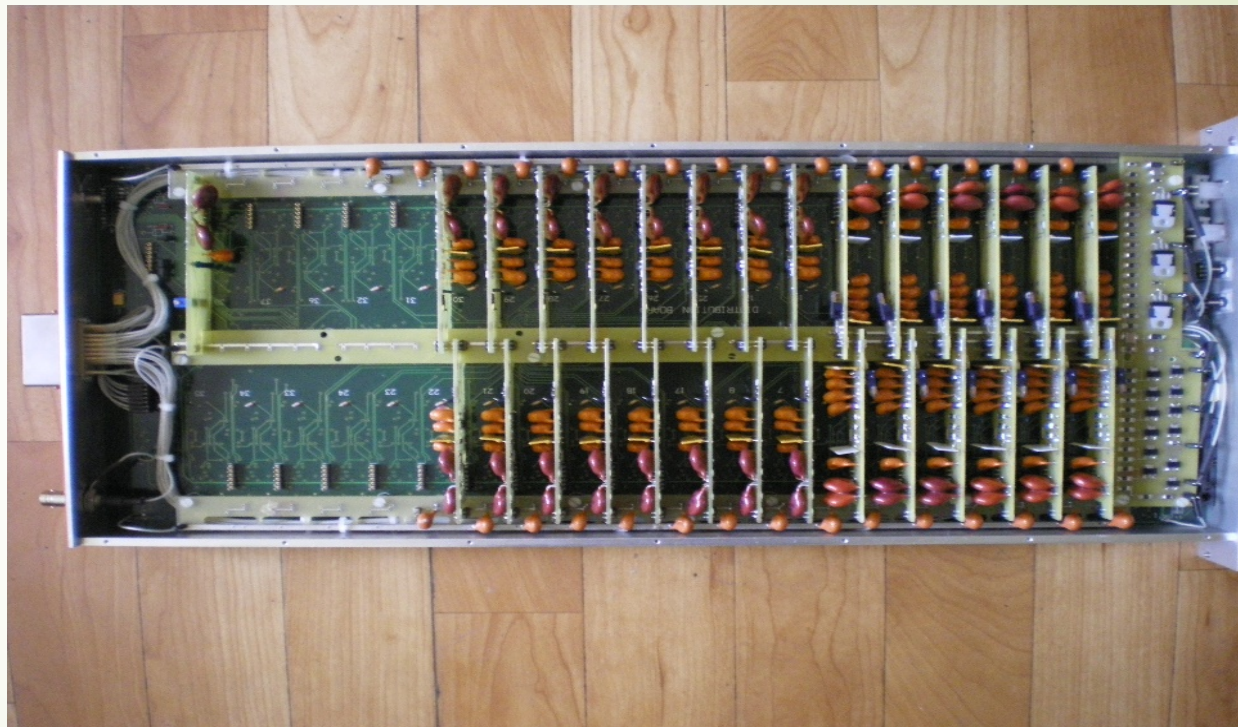
UF/PNPI HV sub-system for G1/1 station

CERN-LHCC-2015-012
CMS-TDR-013
30 September 2015
CMS TECHNICAL
DESIGN REPORT
FOR
THE MUON ENDCAP
GEM UPGRADE



HV SPS

Обеспечивает высоковольтное питание
9-ти RDB-GEM



RDB-GEM

Обеспечивает высоковольтное питание
4-х GEM камер

CMS-GEM HV System REVIEW

Февраль 2015

1. UF/PNPI collaboration.



205KSF

2. INFN/CAEN company collaboration



270KSF

Approved for GE1/1