

Електроника за експериментите в ЦЕРН (CMS / TOTEM)

Георги Анчев

ИЯИЯЕ – БАН, София, България

Gueorgui.Antchev@cern.ch

- **Въведение**
- **Електроника при детектора**
- **Електроника в залата за обработка**
- **Видове системи**
- **Заклучение**

- **Въведение**
- Електроника при детектора
- Електроника в залата за обработка
- Видове системи
- Заключение

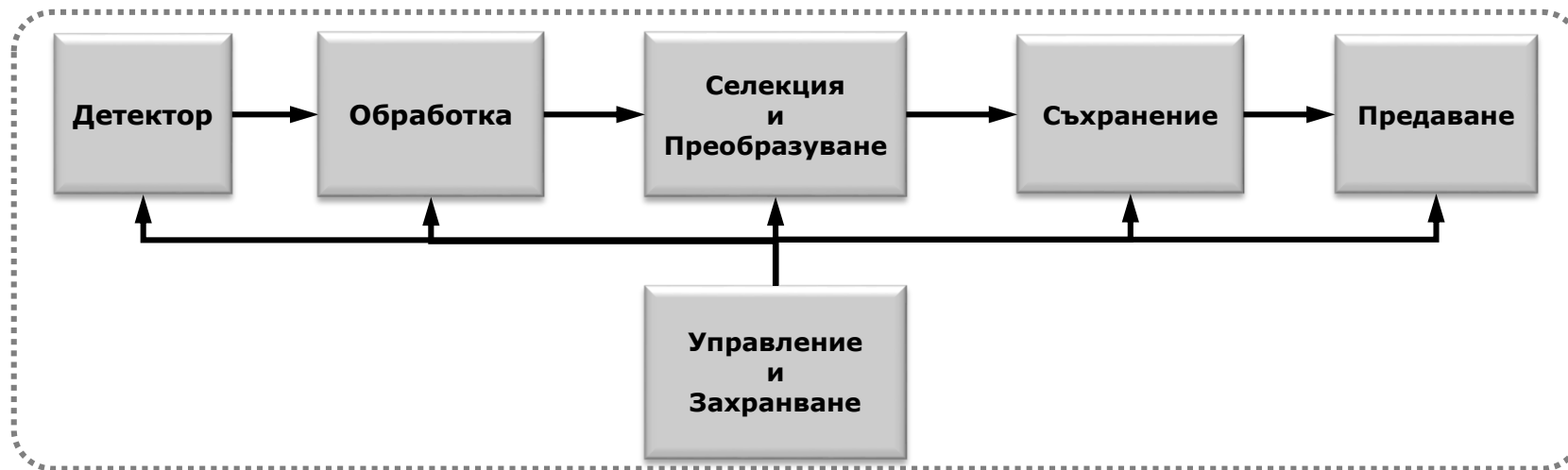
Освен ускорителите във физиката на високите енергии, две са основните групи от технически средства за провеждане на експериментални изследвания:

- Детектори на ядрени лъчения

Устройствата превръщащи измерваните параметри в електрически сигнали (сцинтилатори, газови броячи и йонизационни камери, полупроводникови детектори и т.н.).

- Електроника и системи

След множеството транзисторни устройства скок в развитието на електрониката се предизвика от напредъка на микроелектрониката. Широко се използват интегрални схеми, програмируеми устройства, микропроцесори и различни видове компютри.

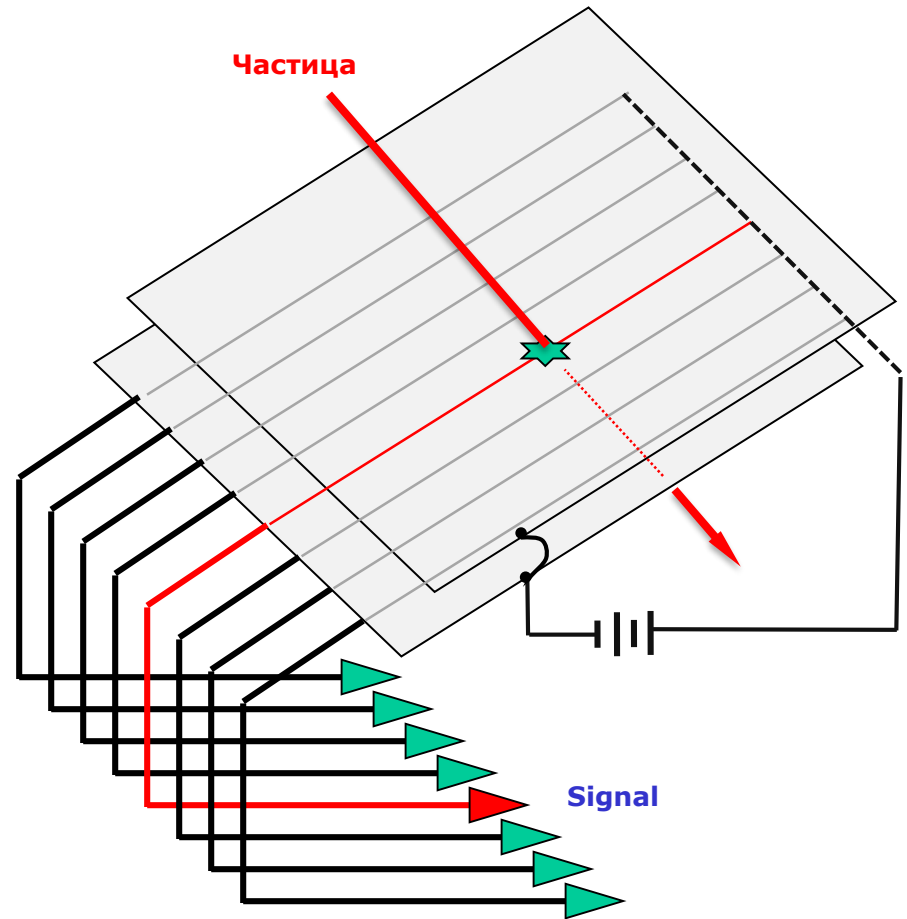
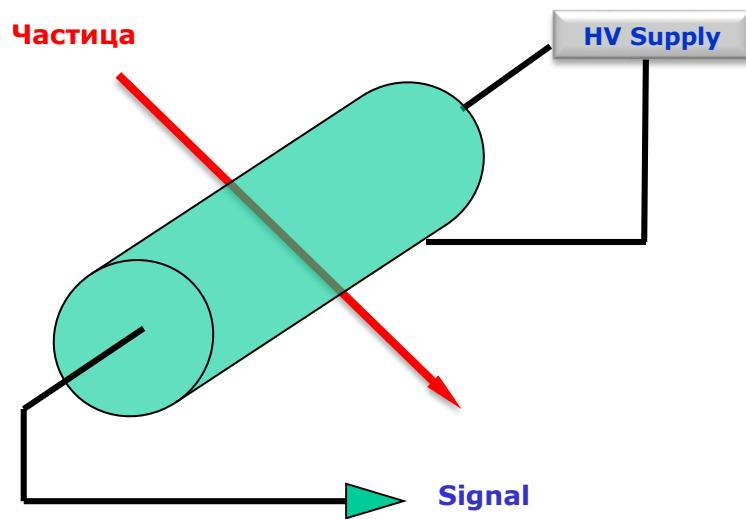


Общата структура съдържа следните основни блокове:

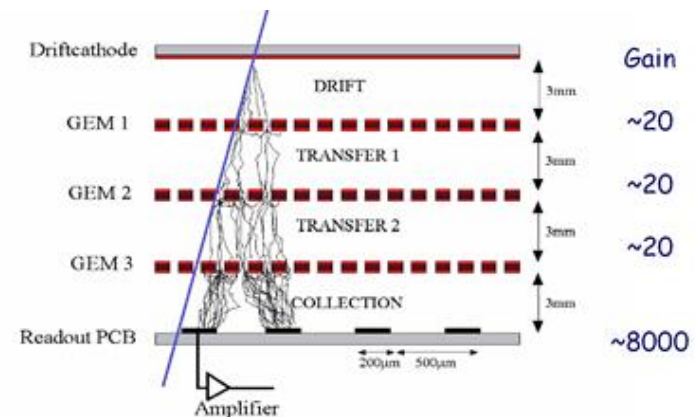
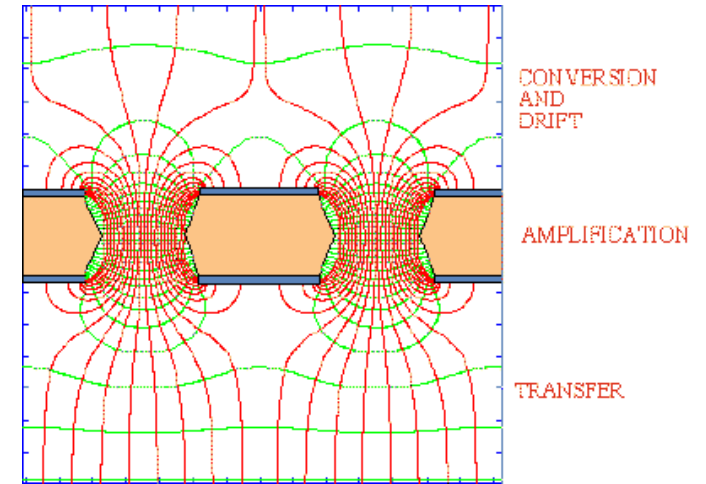
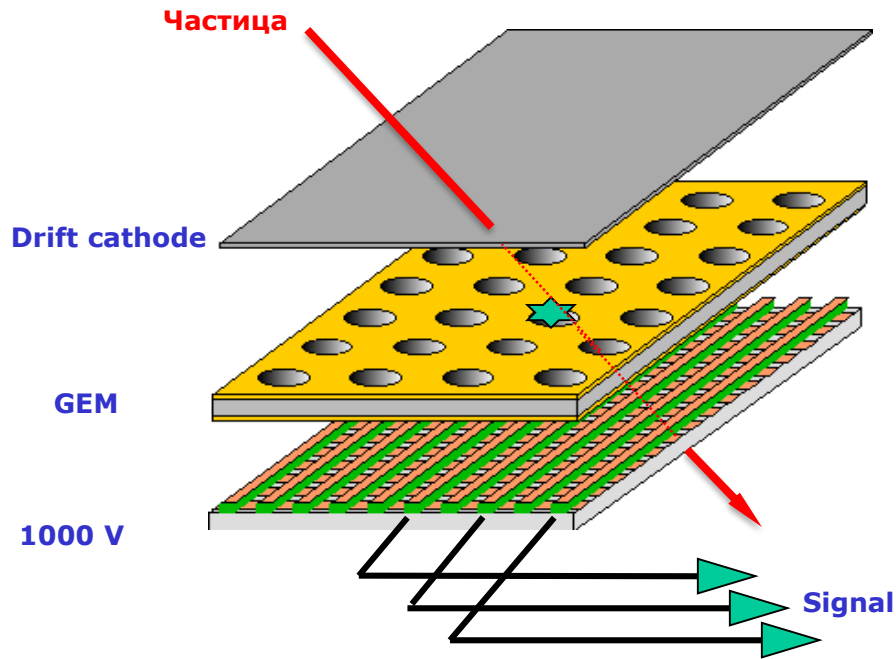
- Детектор – преобразува енергията на лъчението най-често в електрическа
- Блок за обработка – приема сигнала от детектора и променя формата му
- Селекция и преобразуване – сигналите от детектора се групират по параметри и често се преобразуват в цифров вид
- Съхранение – запомня се информацията за следващ етап
- Предаване – блок за форматиране на информацията, представяне във вид за предаване към друго устройство
- Управление и захранване – програмира параметри и задава начало и край на измерването

Многожична газова камера

Единична газова камера

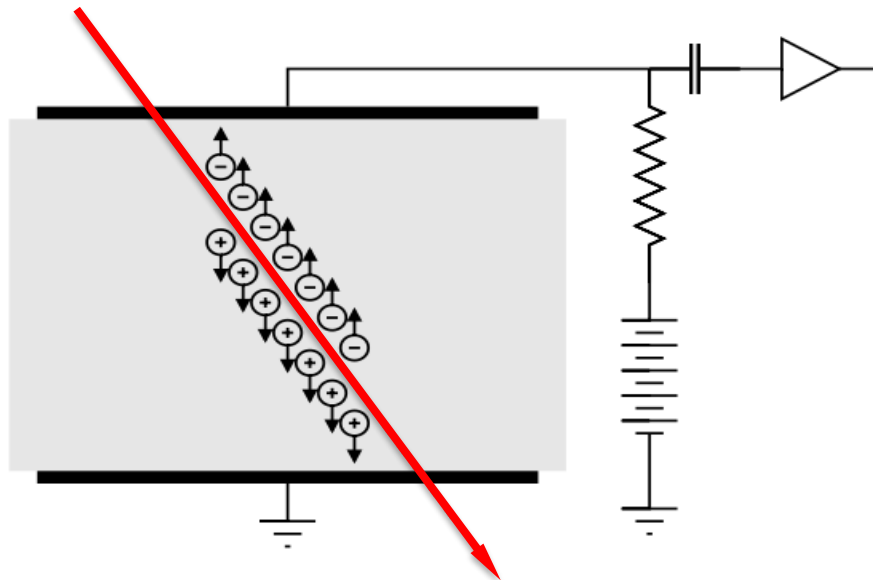


Йонизационна мултипликационна камера (GEM)

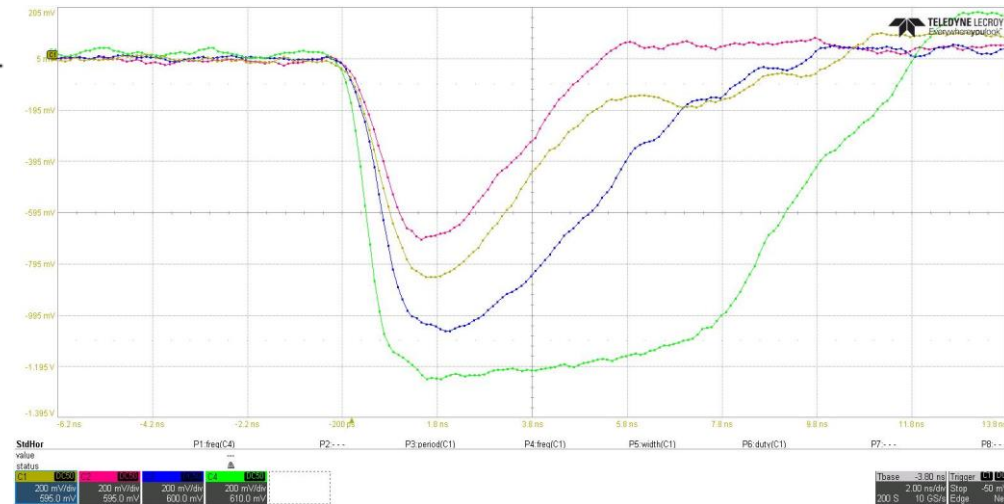


Диамантен детектор

Частица

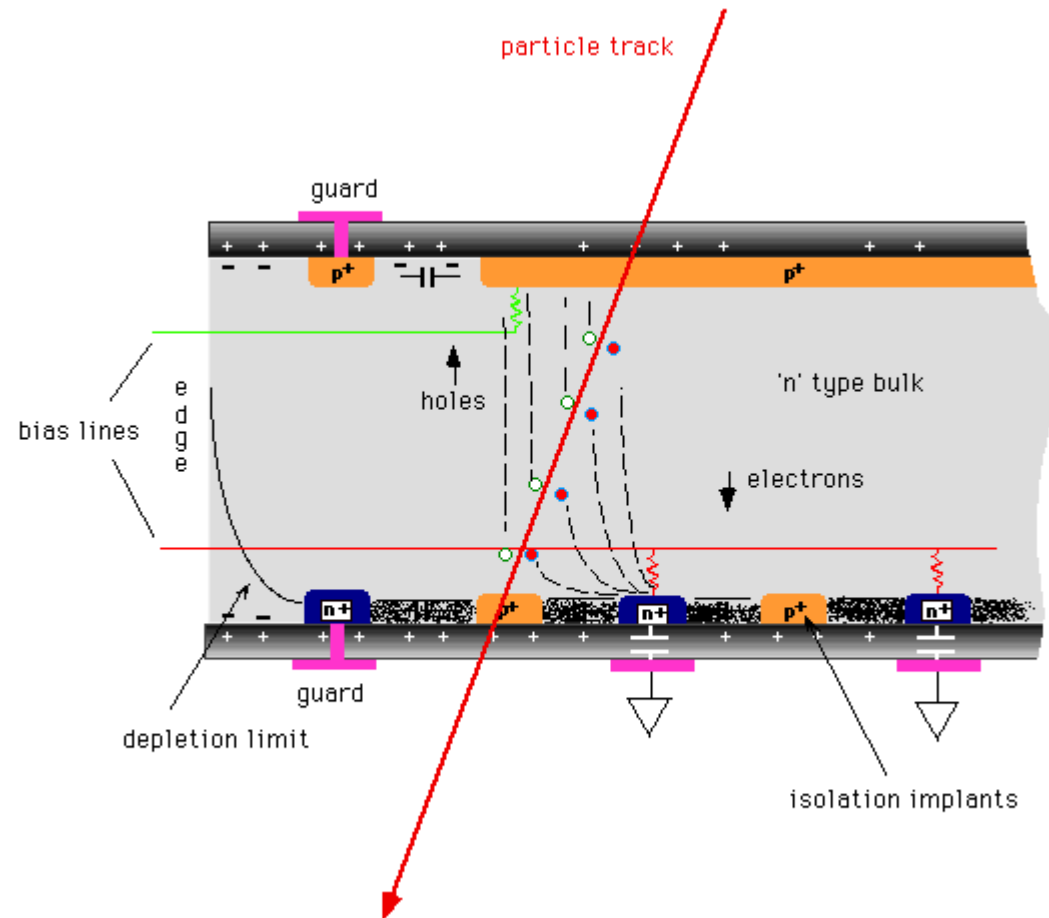


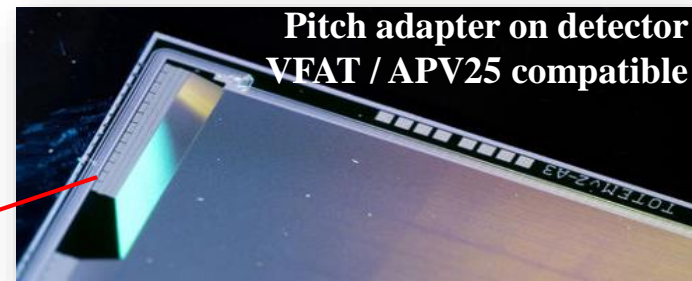
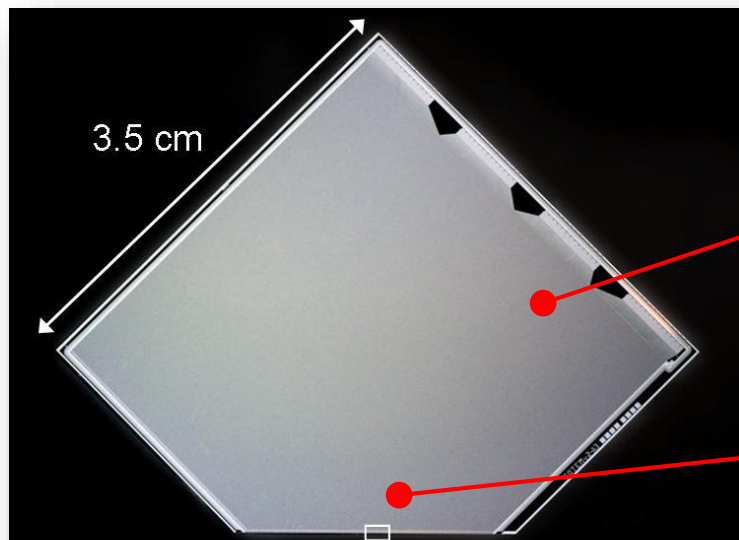
Signal



Предимства и приложение: бързодействие, за времеви детектори

Силициев детектор



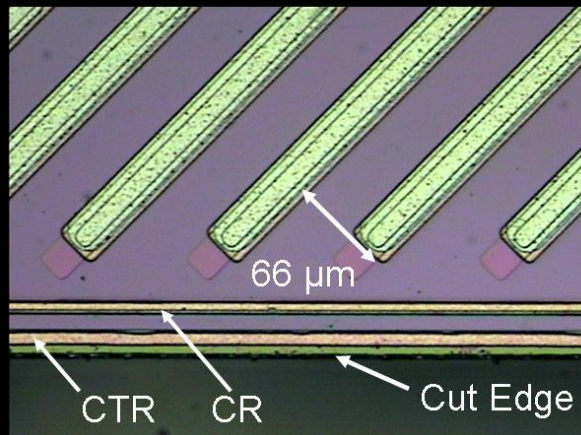


Технология

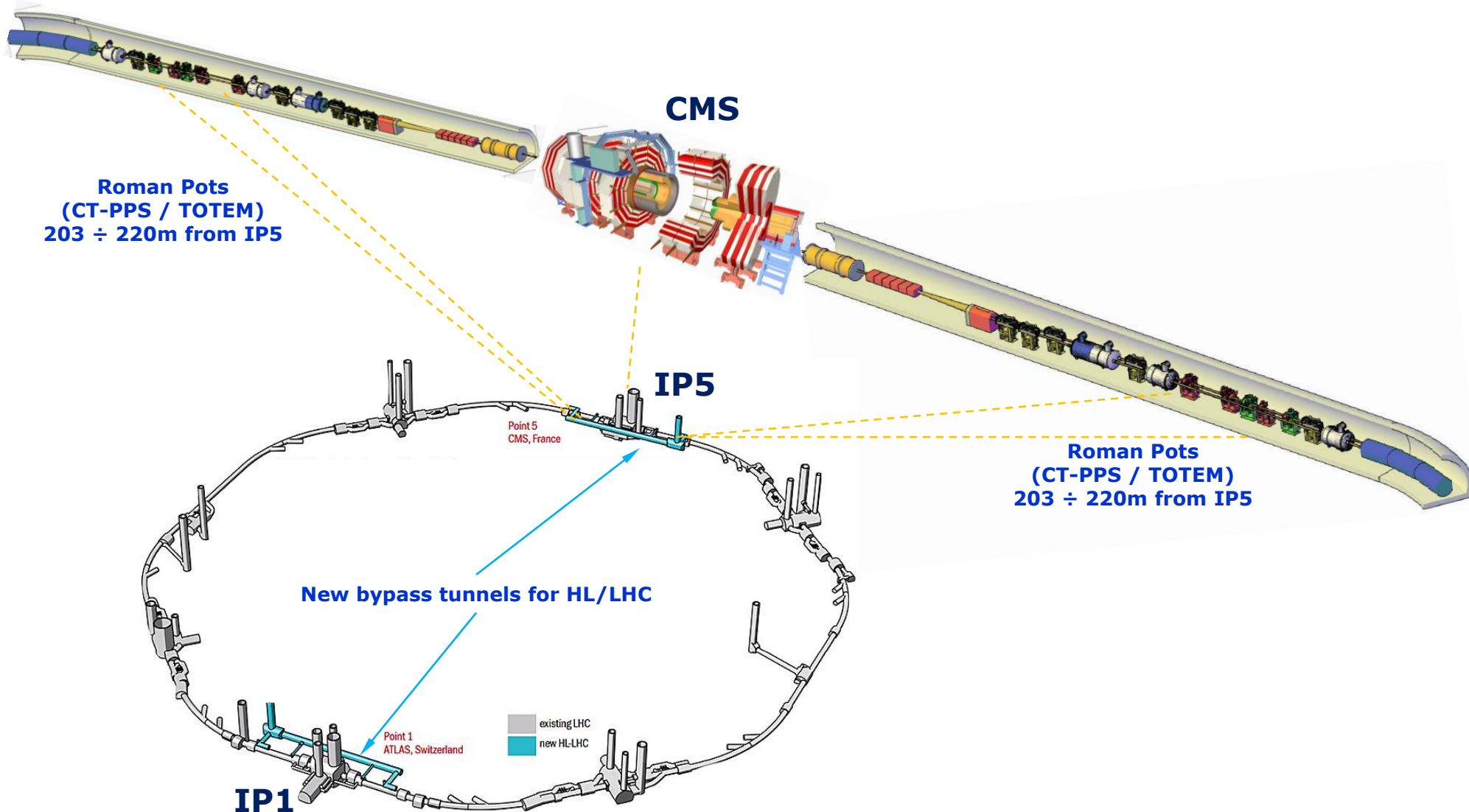
- Si n-тип, с дебелина 300 μ m
- Стандартна планарна технология

Дизайн

- Едностраниен детектор, 512 писти на 66 μ m и под 45° спрямо края на детектора
- Специални структури в края за по-голяма точност, намаляване на загубите и увеличаване на чувствителността (VTS), (CTS), (CTR) и (CR)



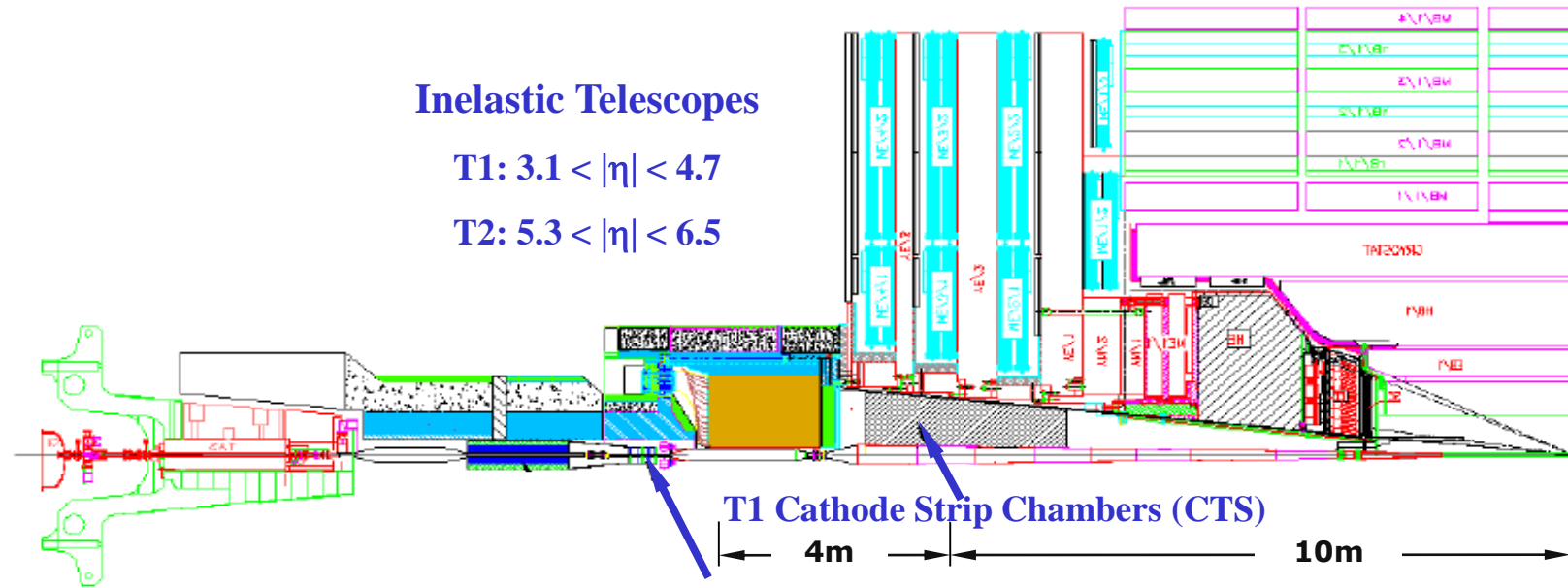
Само 50 μ m от края на пистата до края на детектора!



Inelastic Telescopes

T1: $3.1 < |\eta| < 4.7$

T2: $5.3 < |\eta| < 6.5$

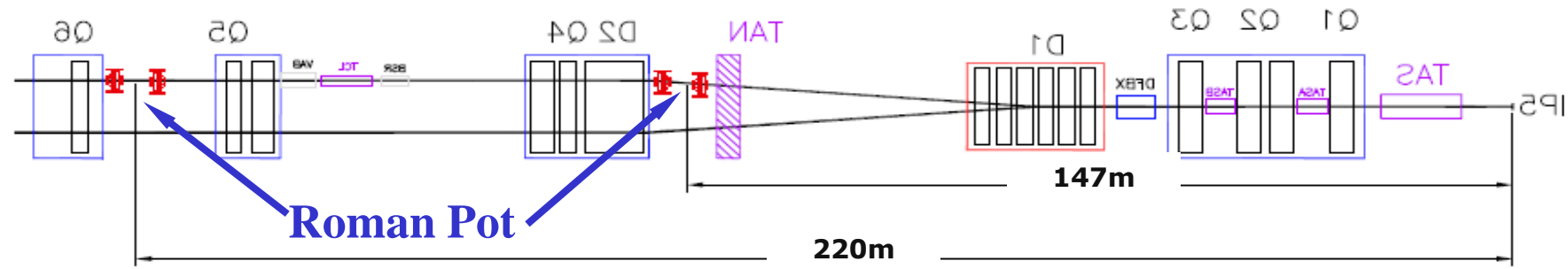


T1 Cathode Strip Chambers (CTS)

4m

10m

T2 Gas Electron Multiplier (GEM)



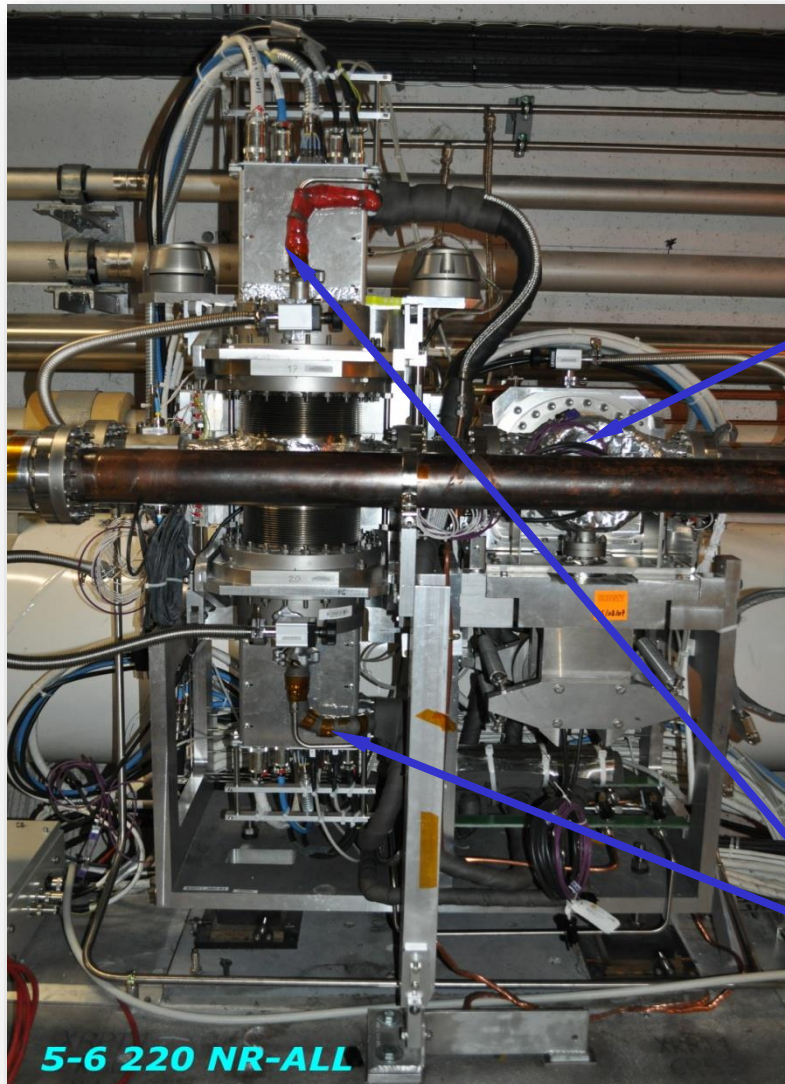
Roman Pot

147m

220m

Същите детектори от другата страна на IP5

Снимка от сектор 56-220м

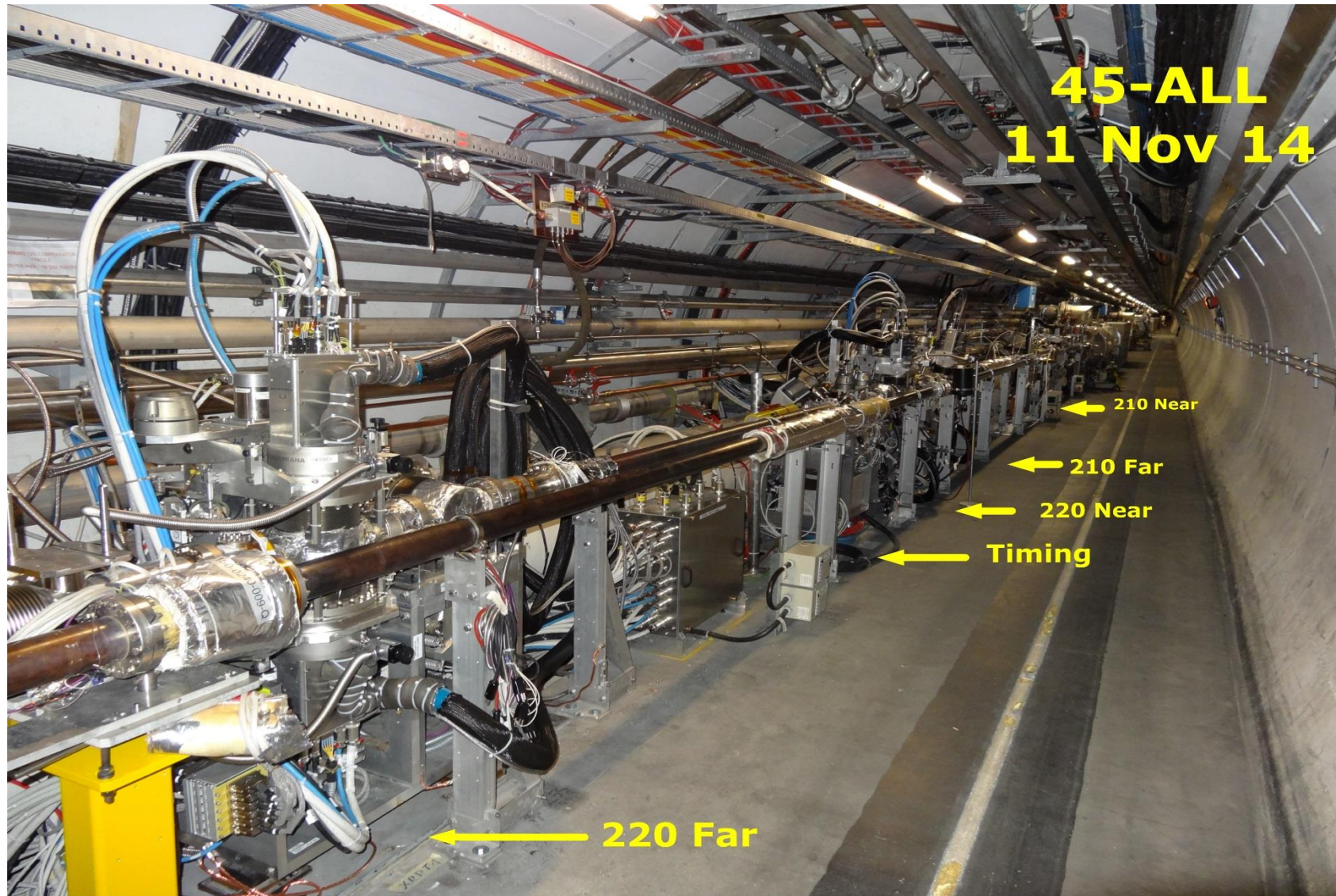


5-6 220 NR-ALL

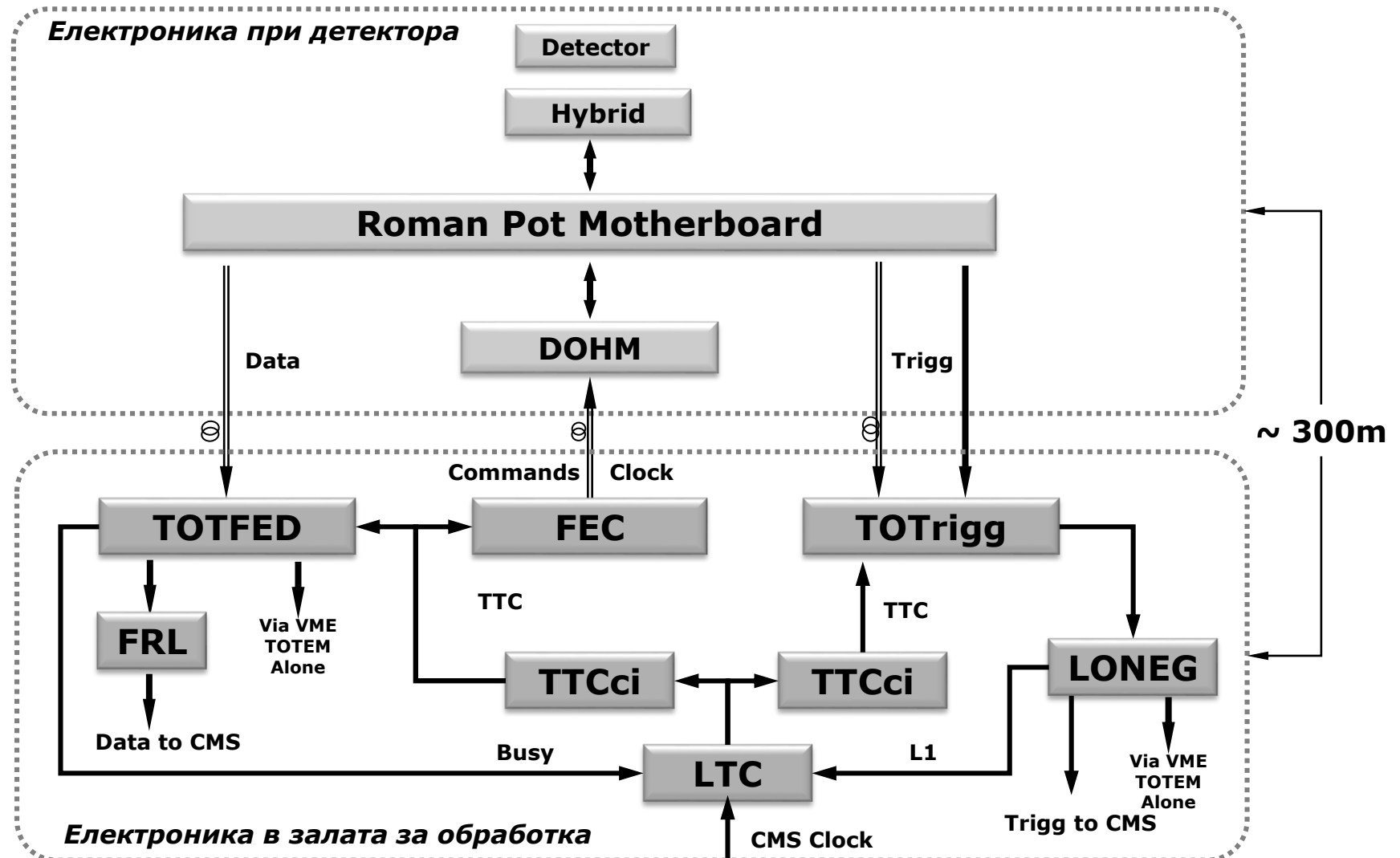
Хоризонтален

Вертикални

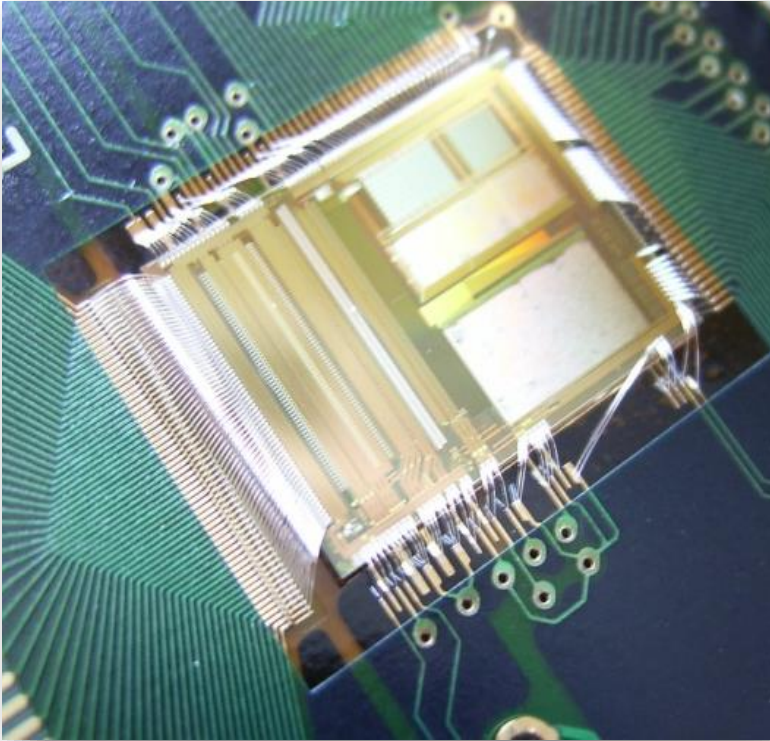




Основни блокове

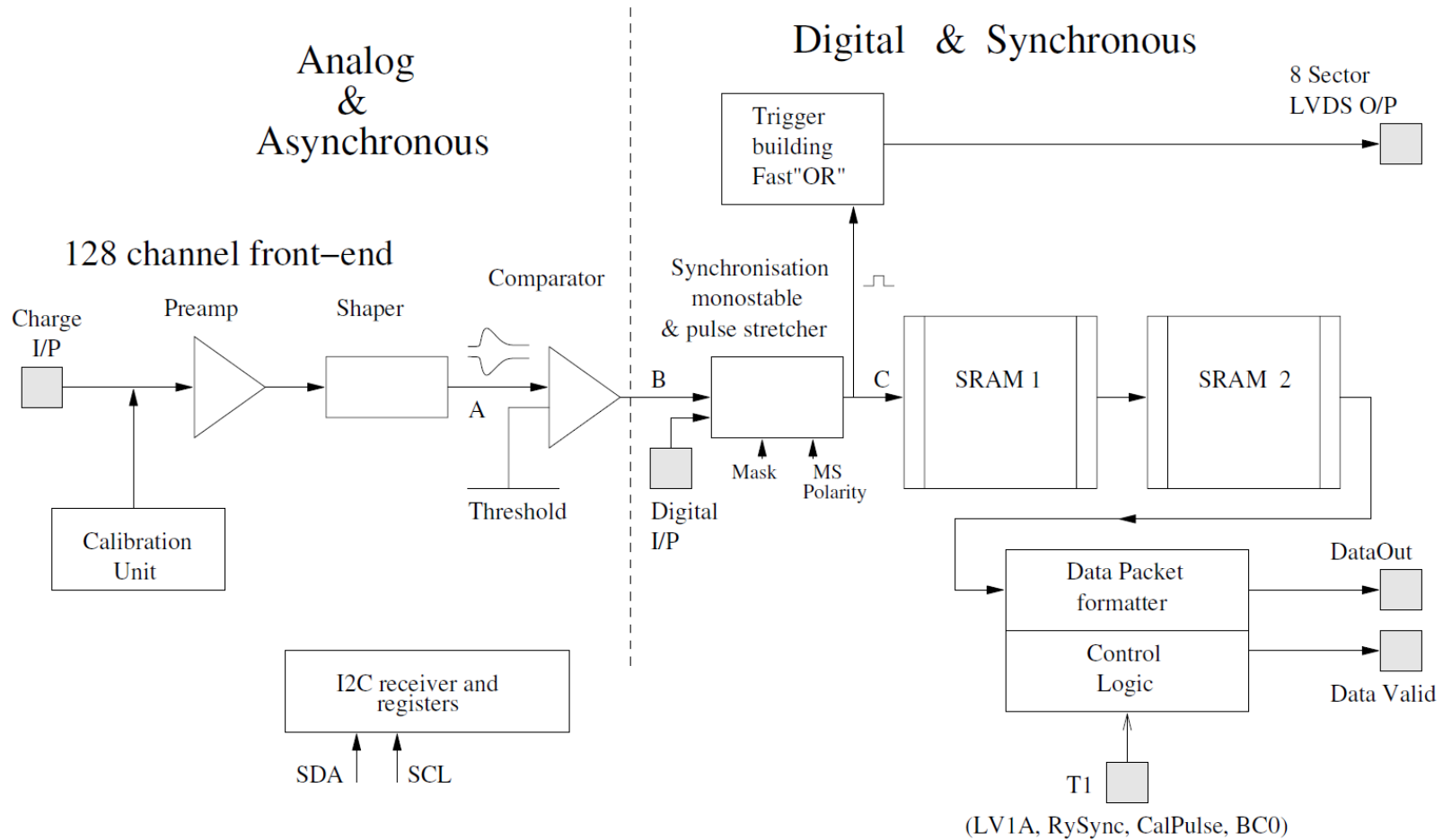


- Въведение
- **Електроника при детектора**
- Електроника в залата за обработка
- Видове системи
- Заключение



- 128 канала, цифрово записване и предаване на информацията
- 8 програмируеми изхода за тригер
- Устойчив на радиация
- ~160 / 8 битови регистри с възможност за външно програмиране чрез I2C интерфейс
- Разработен в CERN

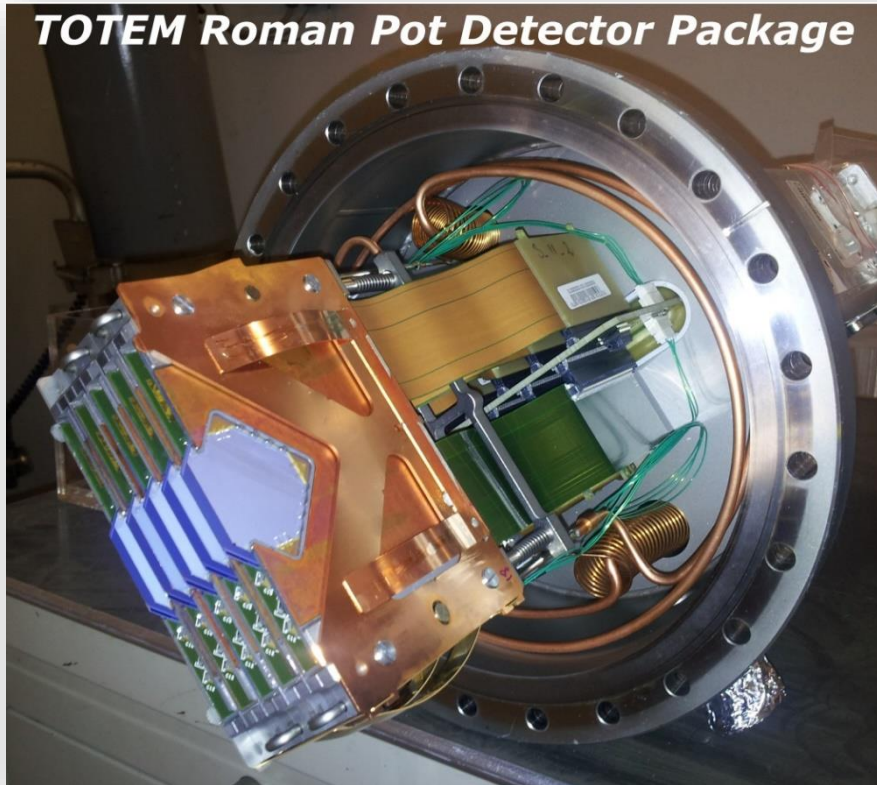
Снимка на VFAT 2 чип монтиран на хибриден модул



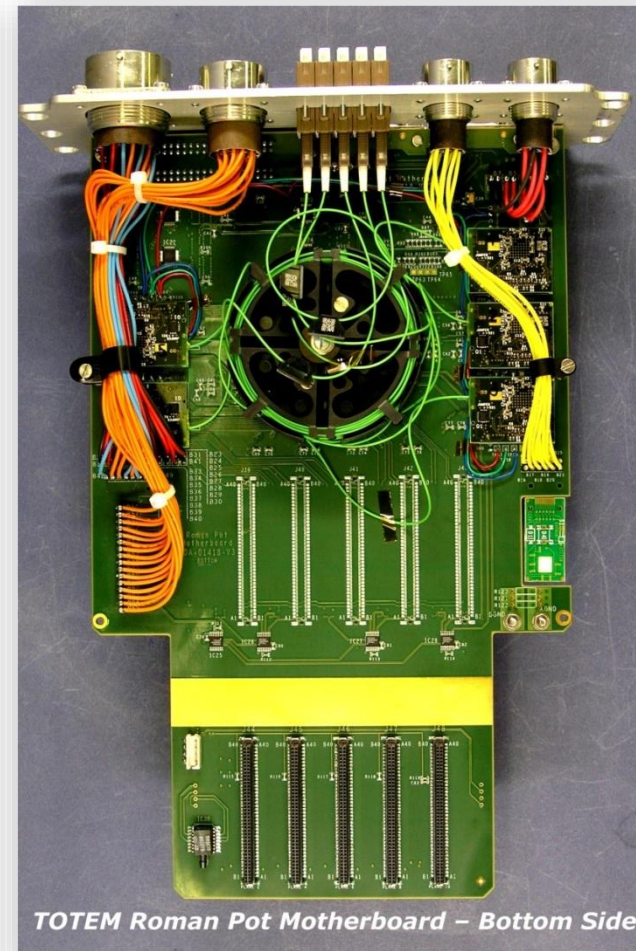
Снимка



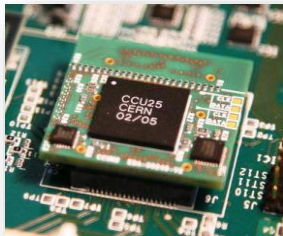
- Съдържа 4 чипа и устройство за контрол
- Свързва се към другата електроника с 80 пинов куплунг и плосък кабел
- По същия куплунг се подава ниско и високо напрежение, синхронизираща честота и се получават данните и тригерните сигнали
- Към 128-те писти на силициевия детектор се свързват директно входовете на чипа



- Съвкупност от 10 хибридни модула
- Фиксирани един срещу друг за да се образуват 2 координати от писти под 45°
- Електронните компоненти са монтирани от една страна за да се намали разстоянието между хибридите



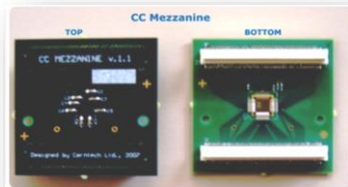
- Свързва детекторния пакет към системите за контрол, тригер и събиране на данни
- Използват се електрически и оптични интерфейси



→ **Контролен модул** – служи за управление на всички компоненти чрез I2C интерфейс



→ **Тригерен модул** – получава тригерна информация, дефинира как да бъде използвана и я предава на следващо ниво



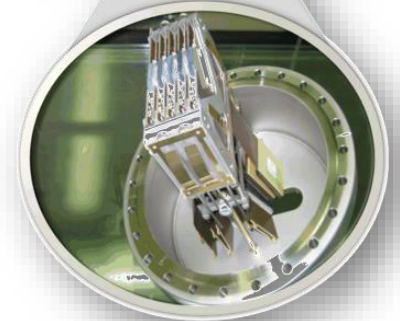
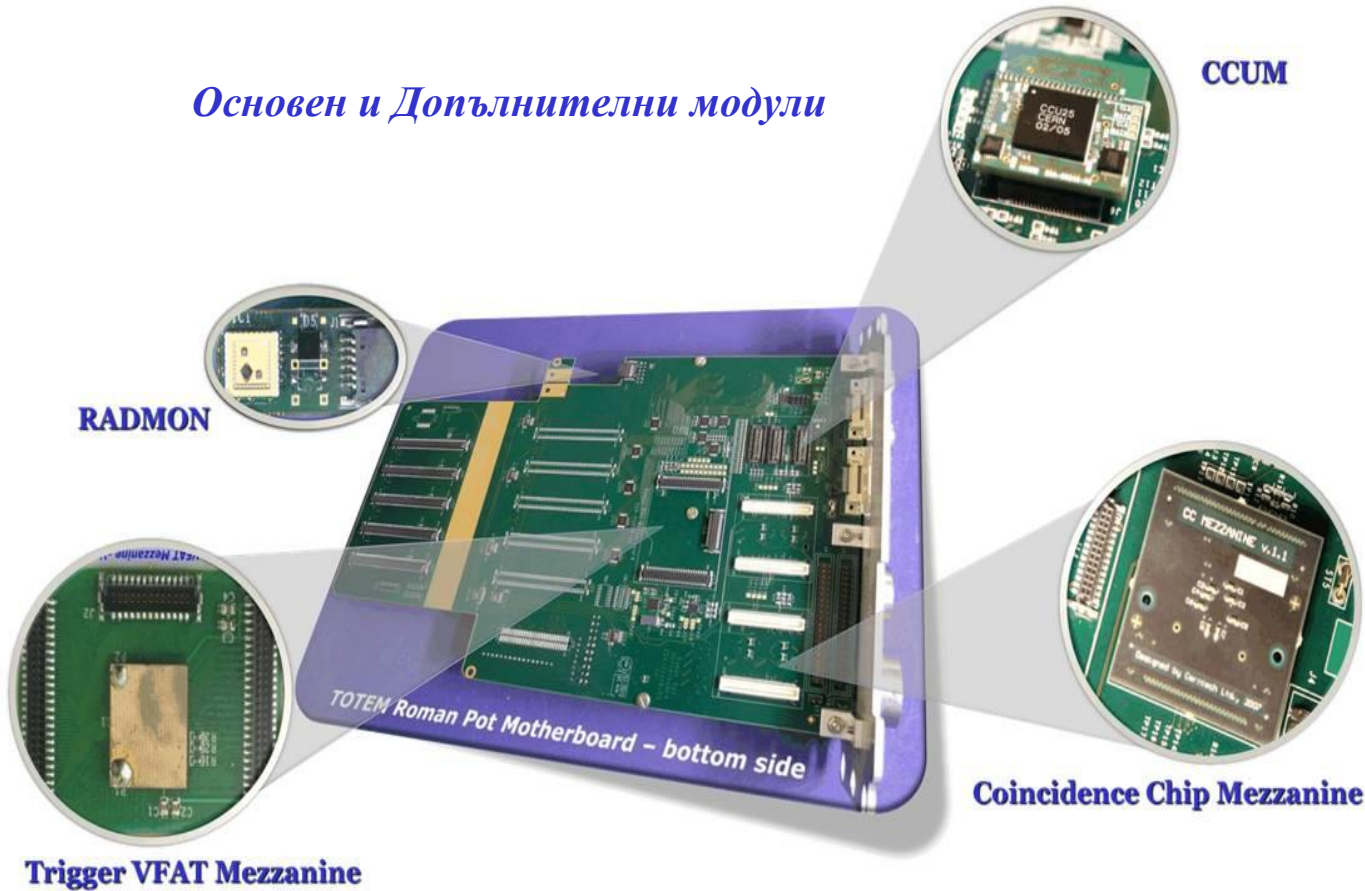
→ **Модул за съвпадение** – прави съвпадение между информацията от две координати U и V

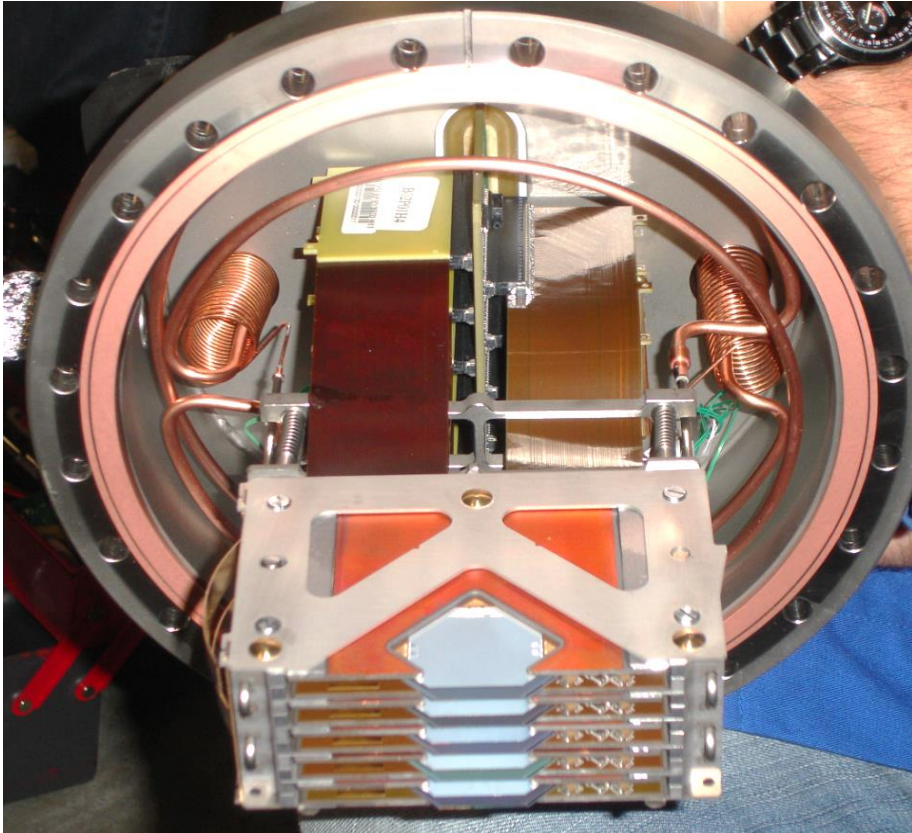


→ **Модул за радиационно измерване** – съдържа датчици за измерване на дозата, чиято информация се предава към компютър

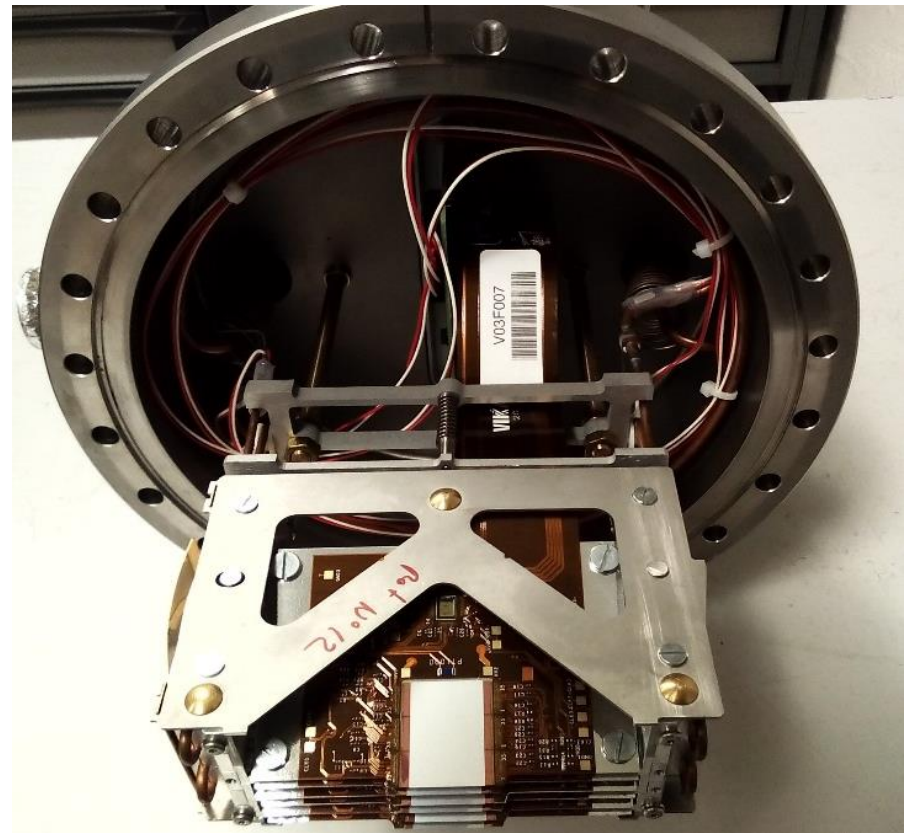
Основен модул и Детекторен пакет

Основен и Допълнителни модули

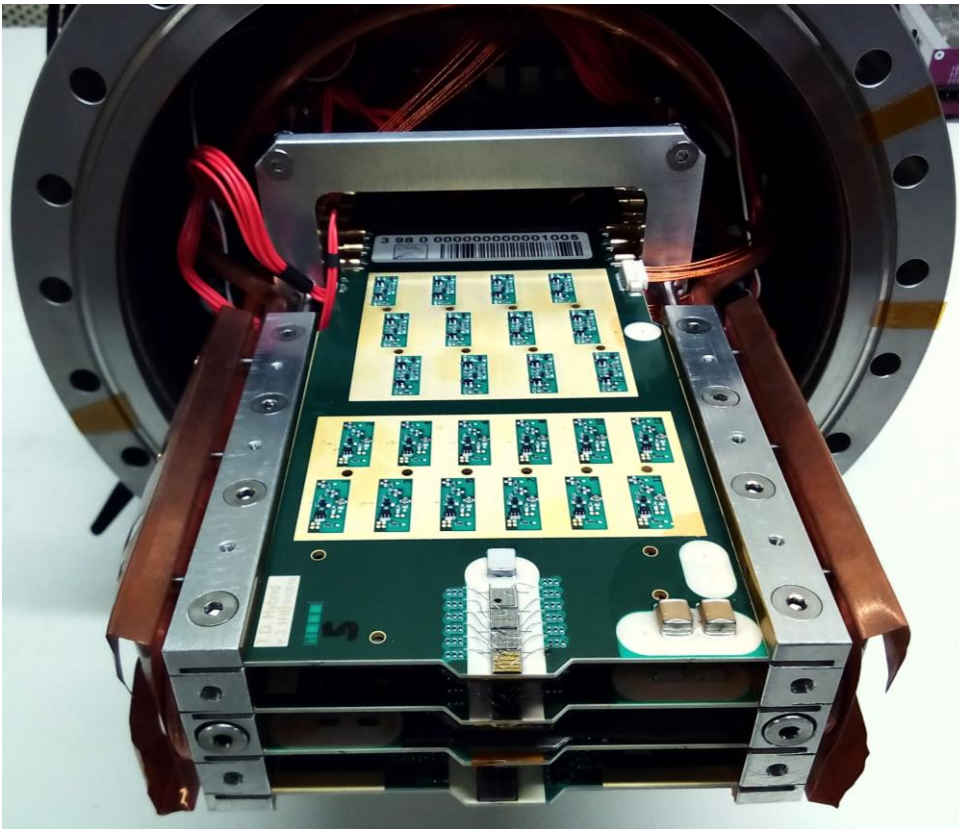




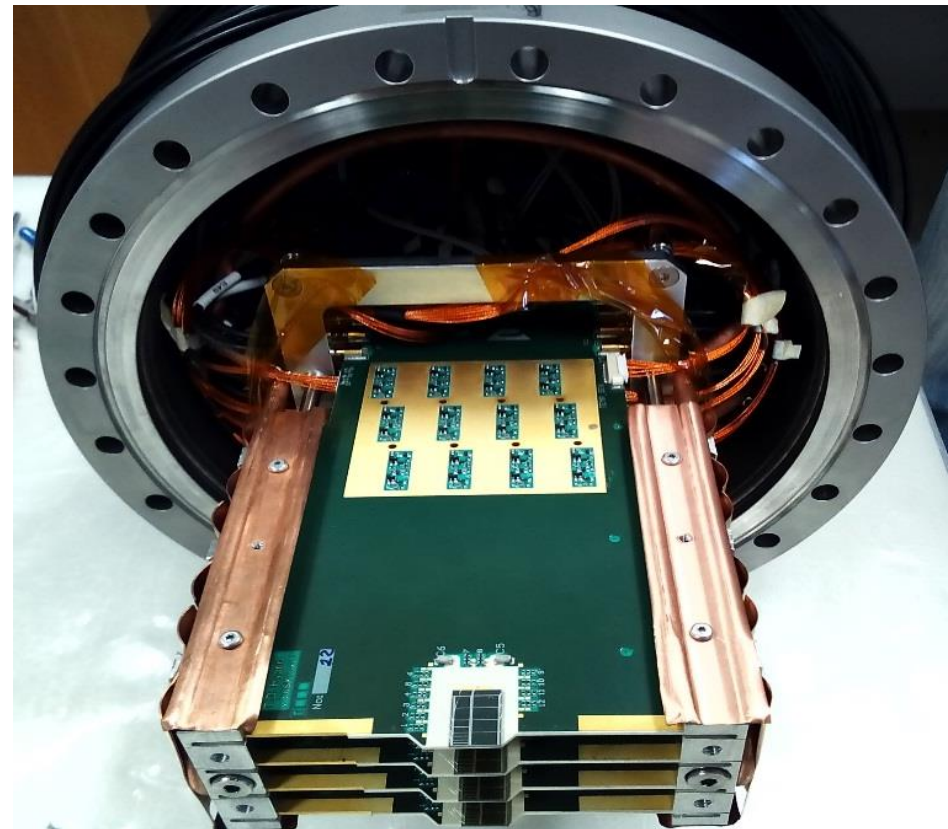
1) Si-strip: 10 layers of silicon microstrip plates; space resolution - 10 μm , angle resolution - 1 μrad ; "edgeless" on the beam side; expected lifetime $\sim 10\text{fb}^{-1}$; $t = -25 \div -32 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 10 \div 25 \text{ mbar}$; installed on LHC in 2008



2) RPIX (3D-Si): 6 layers; CNM 3D pixel sensor (230 μm thickness); pixel size 100 x 150 μm ; ROC (psi46dig), each module has 160 x 156 pixels; expected lifetime $\sim 15\text{fb}^{-1}$ ($3 \times 10^{15} n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$); spatial resolution 10 (30) μm along x (y) direction; "edgeless" - 200 μm ; installed in 2017



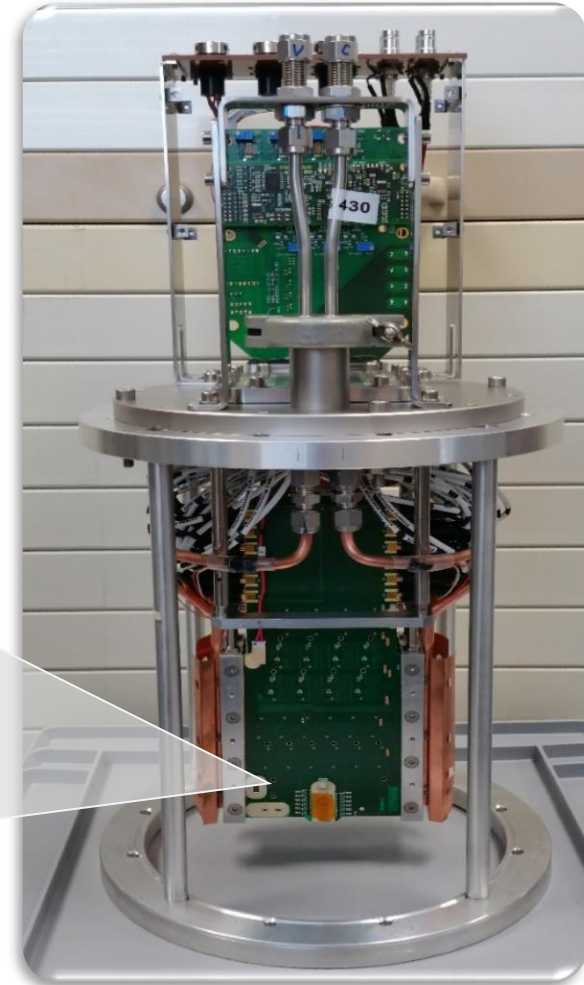
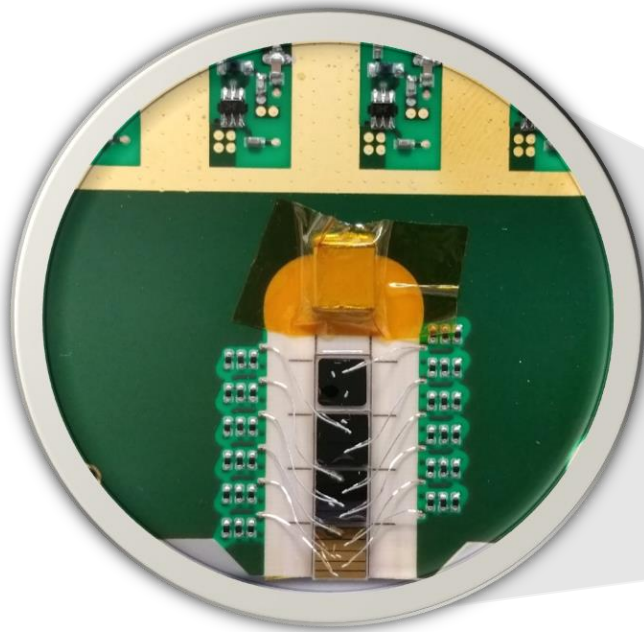
3) Diamond: 4 layers; time resolution up to 50ps per layer; high efficiency on the edge; irradiation limit up to $5 \times 10^{15} n_{eq}/cm^2$; $t = 0 \div - +10^\circ C$, $p = 50 \div 115 mbar$; installed on LHC in 2016



4) UFSD (Si-ultrafast): 4 layers; CNM 50 μm sensors; time resolution $\sim 30ps$ per layer; "edgeless" on the beam side; irradiation limit up to $3 \times 10^{14} n_{eq}/cm^2$; installed on LHC in 2017

Основен модул с Детекторен пакет

Детектори монтирани на хибридният модул



- Въведение
- Електроника при детектора
- **Електроника в залата за обработка**
- Видове системи
- Заключение

Gigabit Optical INPUT

640Mb/s/fiber x 12 = 7.68Gb/s

S-Link64 OUTPUT

480MB/s 64bit@60MHz

USB2.0 OUTPUT

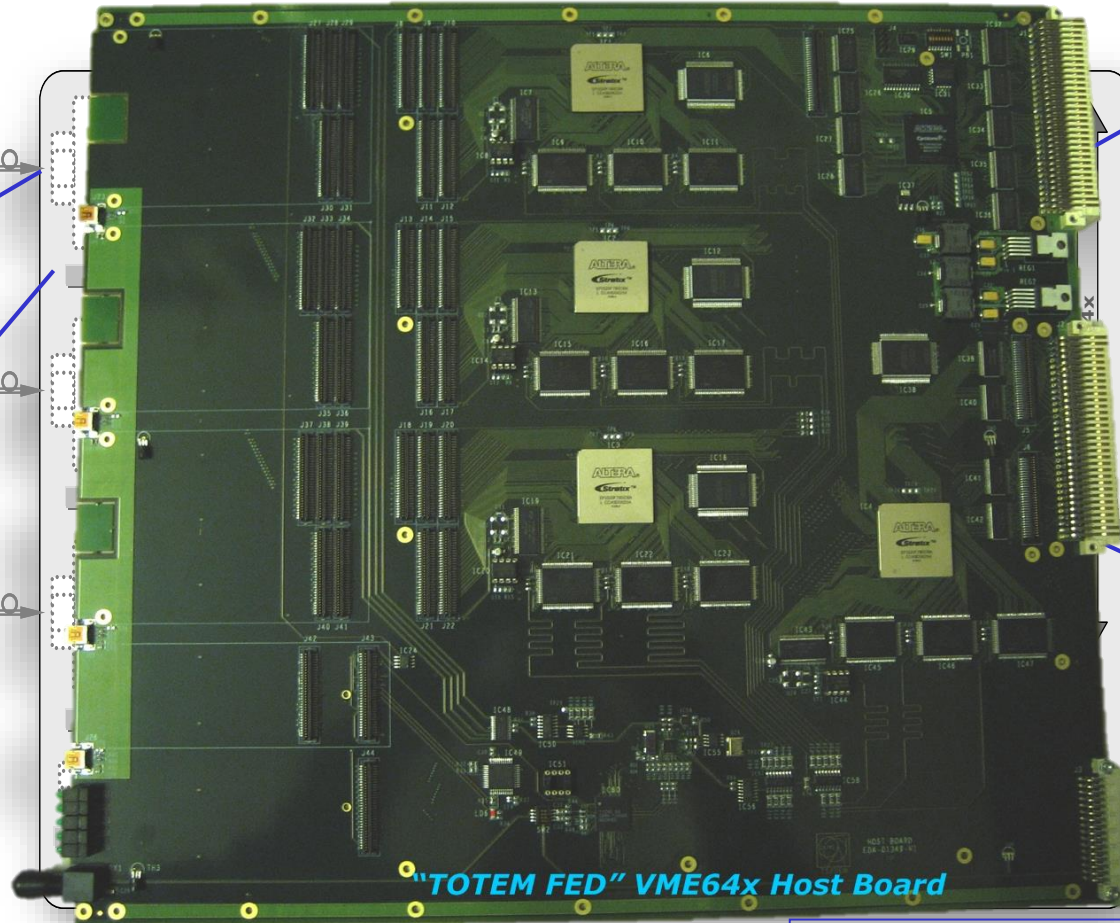
480Mb/s – high
12Mb/s – full
320Mb/s – effective

VME64x OUTPUT

40MB/s BLT

S Link64 OUTPUT

480MB/s 64bit@60MHz



"TOTEM FED" VME64x Host Board

Data Bandwidth

TOTEM Experiment

Trigger Rate - 1 kHz
Event Size - 40 kBytes

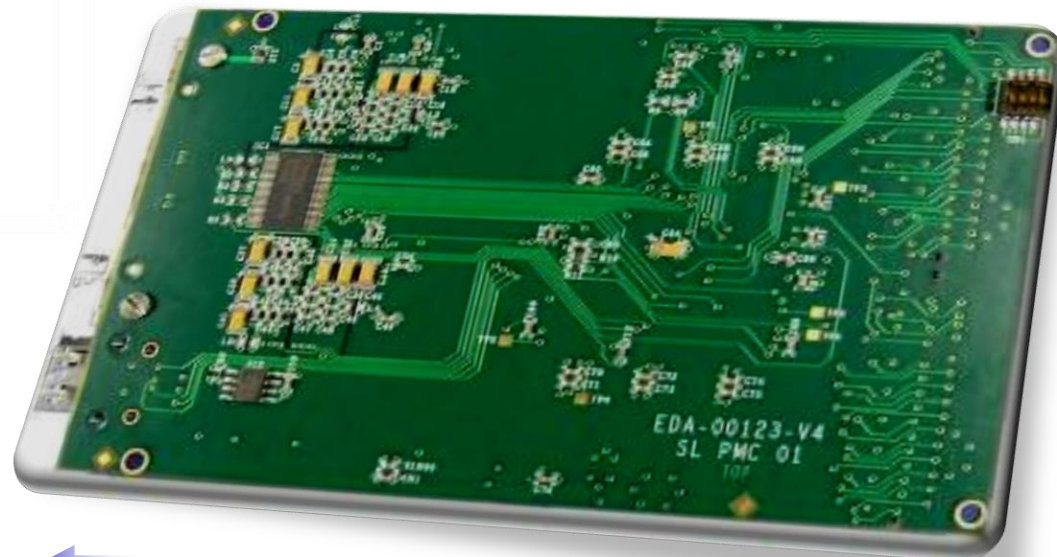
TOTFED has:

INPUT - 3 x OptoRX -> 3 x 7.68Gb/s
OUTPUTS - 4 x S_Link64 -> 4 x 480MB/s
- 4 x USB2.0 -> 4 x 320Mb/s
- 1 x VME64x -> 40MB/s

OptoRX12 – оптичен приемник

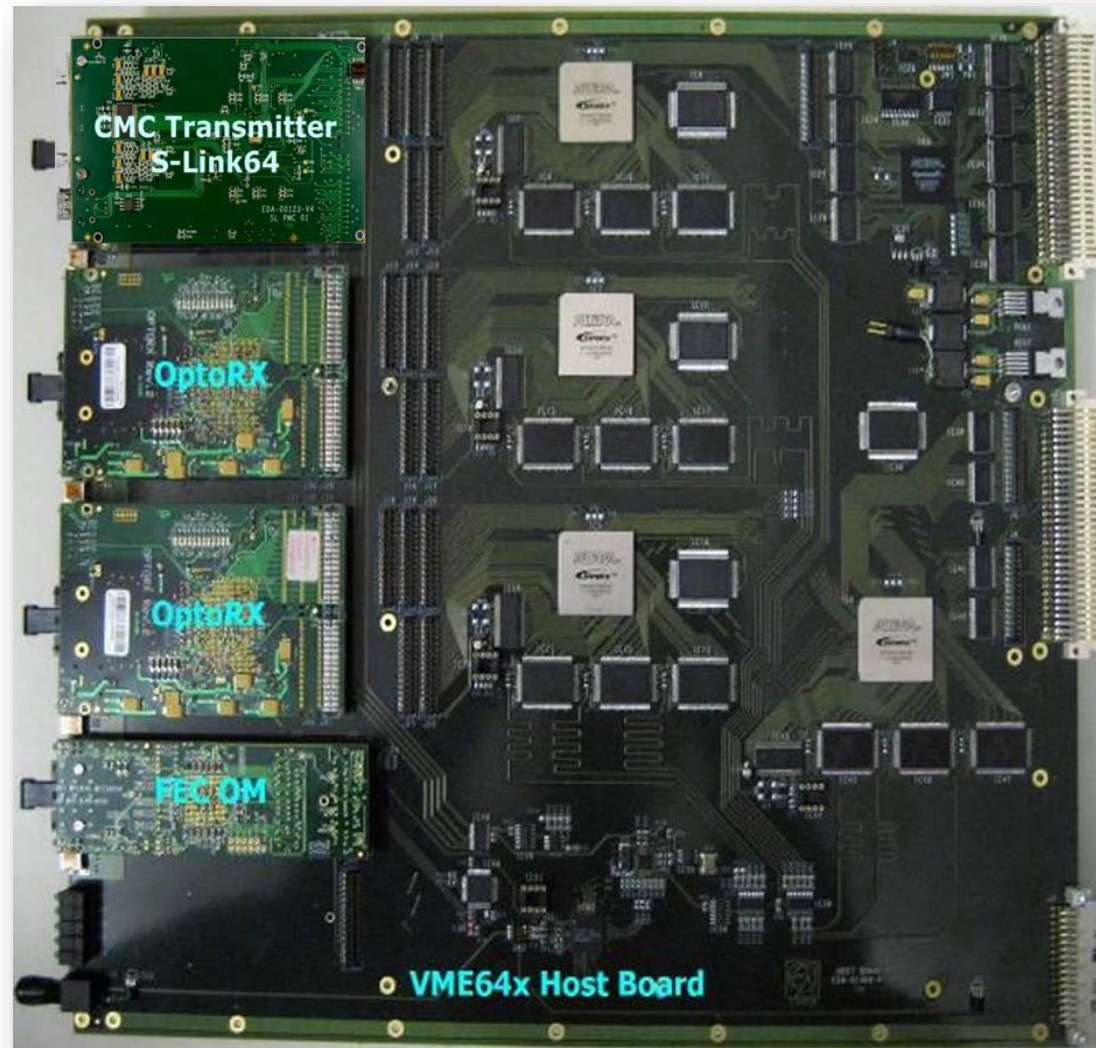


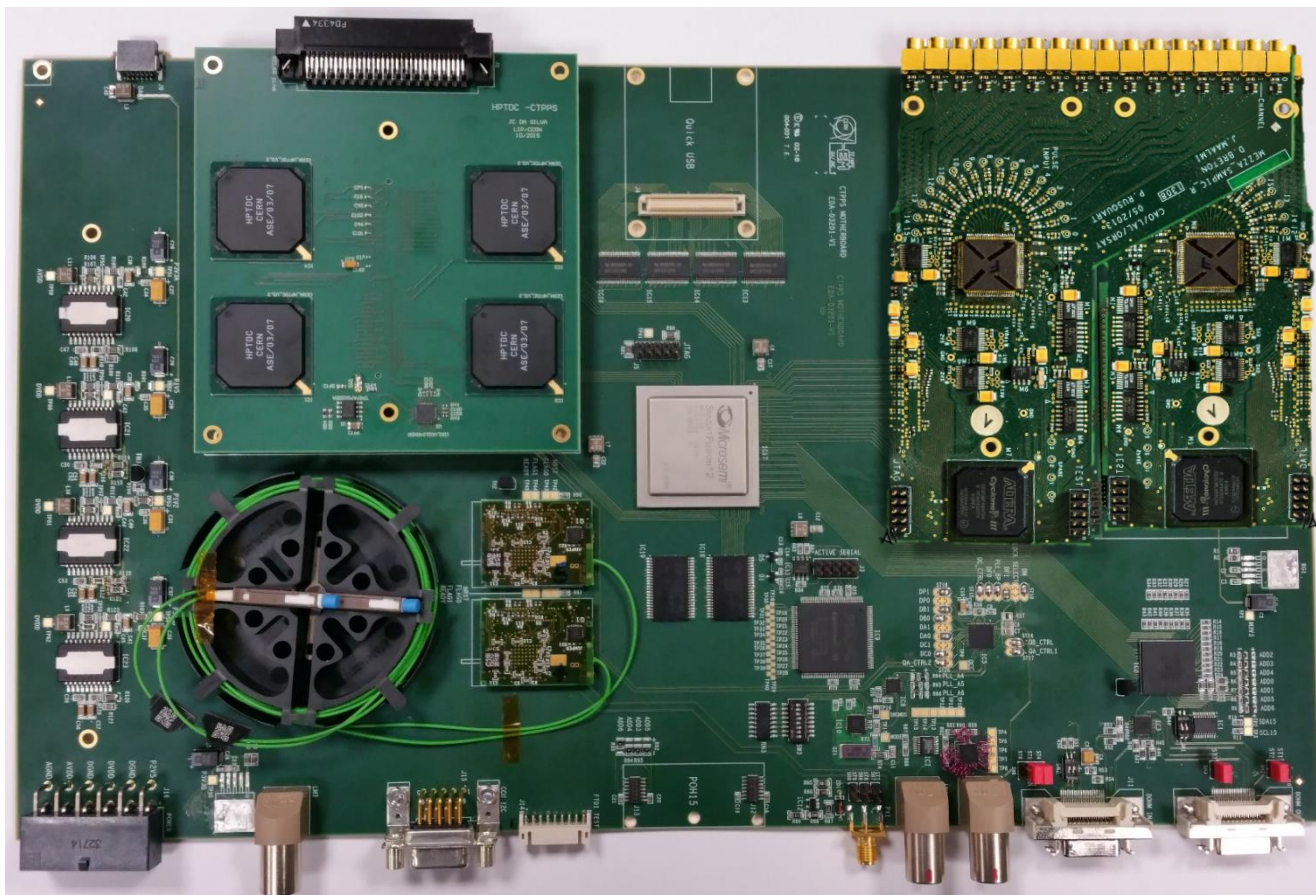
- Получава данните от 36 оптични интерфейса
- Преобразува информацията в цифров вид
- Пакетира и предава на следващото ниво



S-Link64 - предавател

- Предава пакетите от данни към системата за събиране и обработка (DAQ) по определен протокол

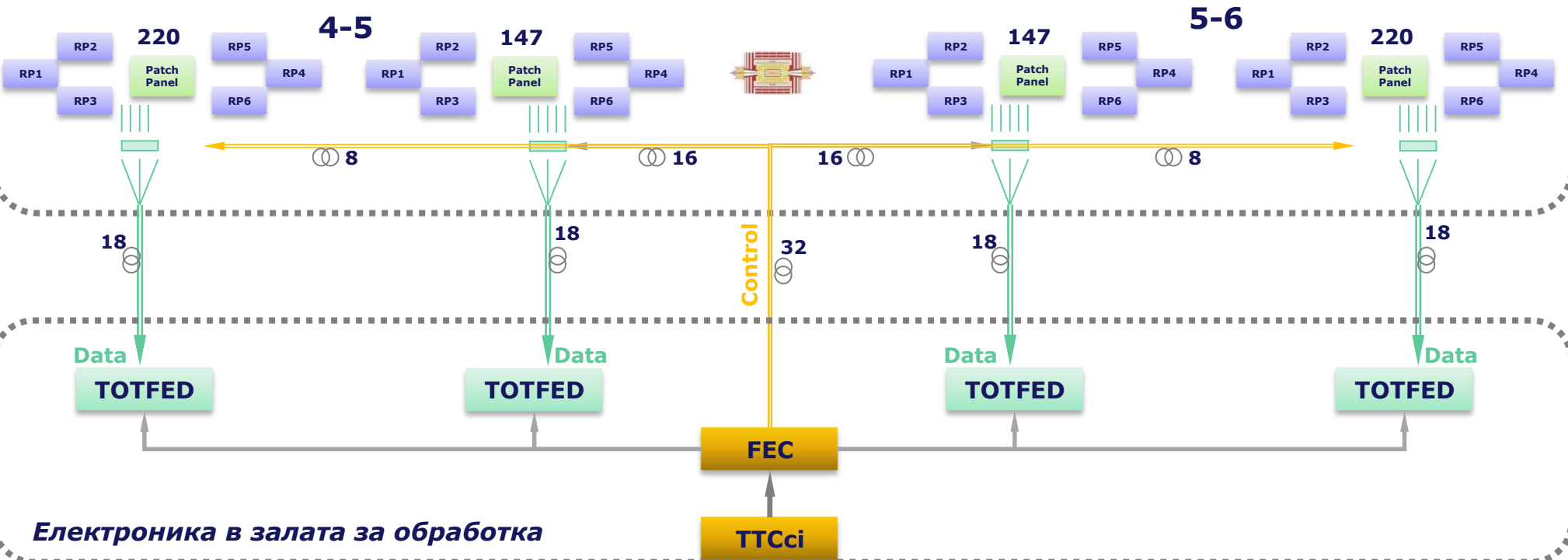


CMS TOTEM - Proton Precision Spectrometer

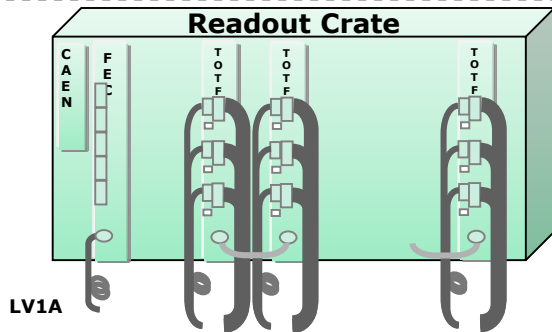
Приема информацията от детектора, преобразува я в цифров вид, обработва и предава на следващото ниво от системата за събиране на данни.

- Въведение
- Електроника при детектора
- Електроника в залата за обработка
- **Видове системи**
- Заключение

Електроника при детекторите



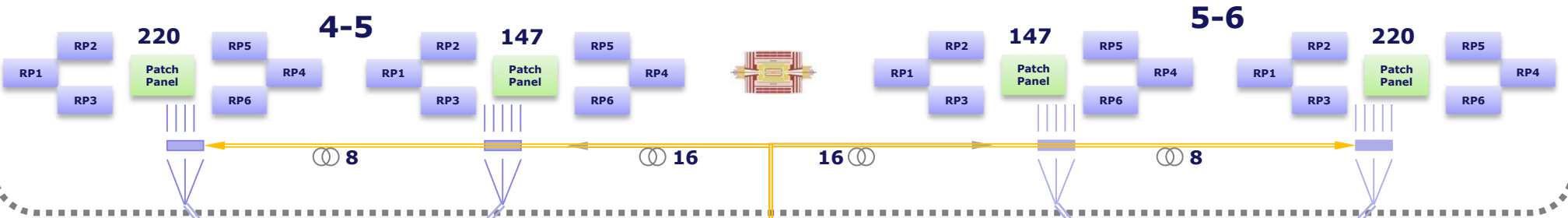
Електроника в залата за обработка



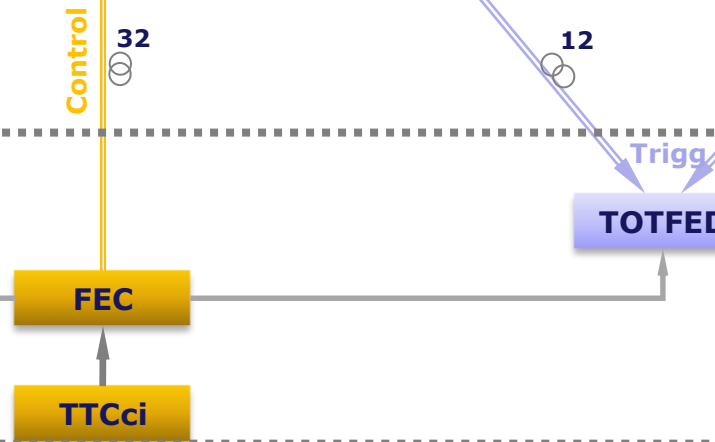
Система за събиране и обработка на данни

- Скорост до ~ 1KHz през VME64x от ~ 40MB/s
- S-Link64 към CMS от ~200MB/s
- 240 Si детектора с 122880 канала общо се покриват от 960 VFAT2 чипа

Електроника при детекторите

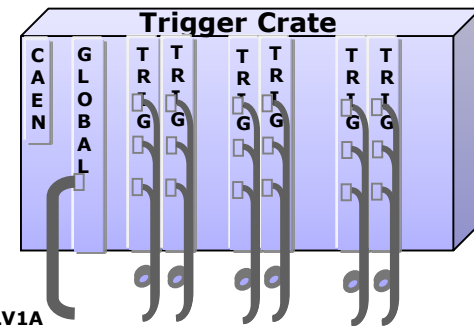


Електроника в залата за обработка

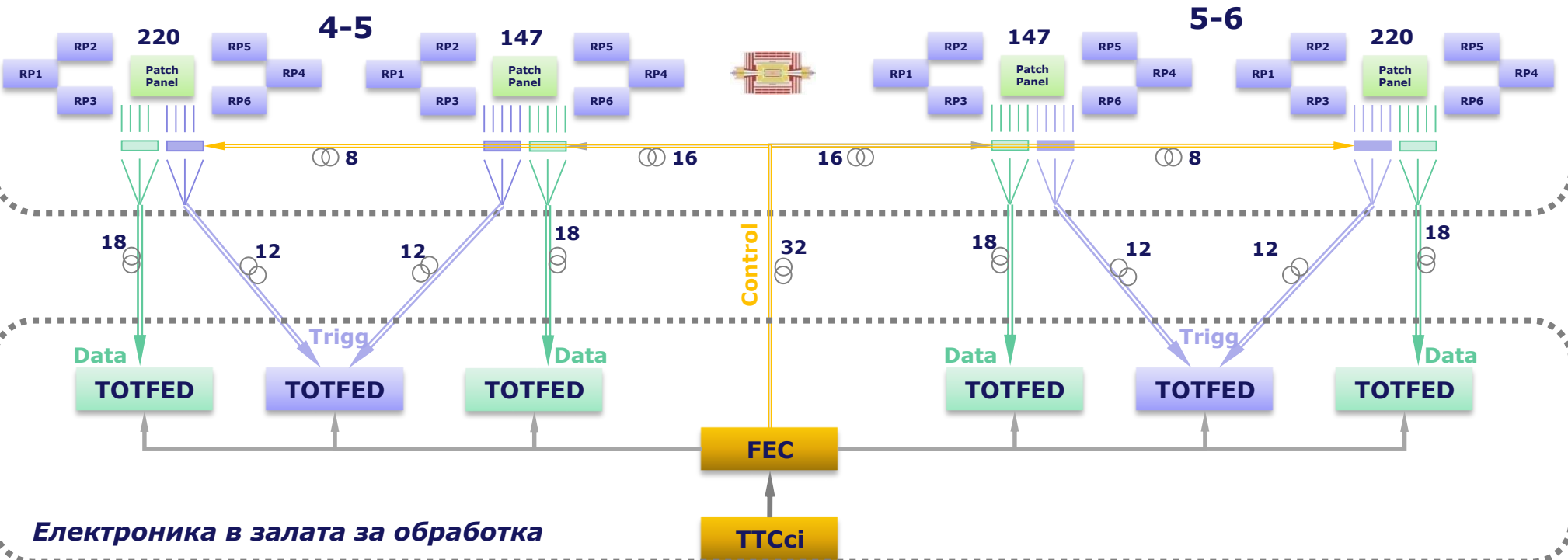


Тригерна Система

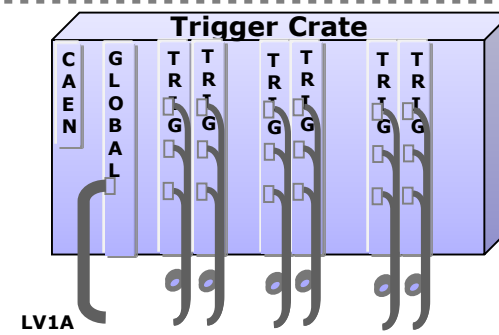
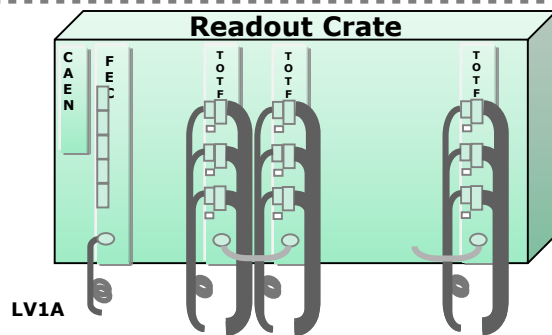
- 12 оптични интерфейса на станция за 2 основни модула TOTFED
- 2 електрически интерфейса на $\frac{1}{2}$ станция за 4 основни модула TOTFED

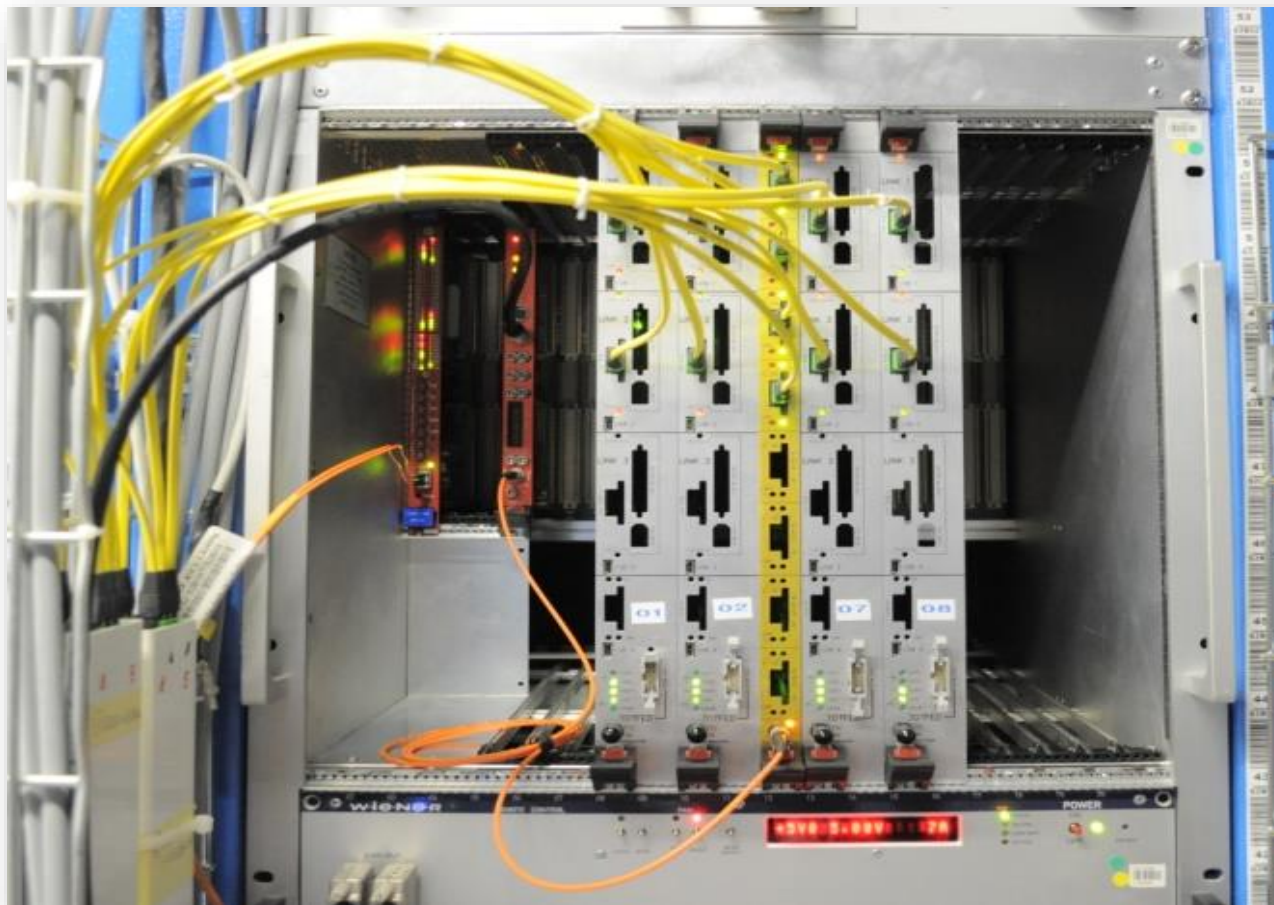


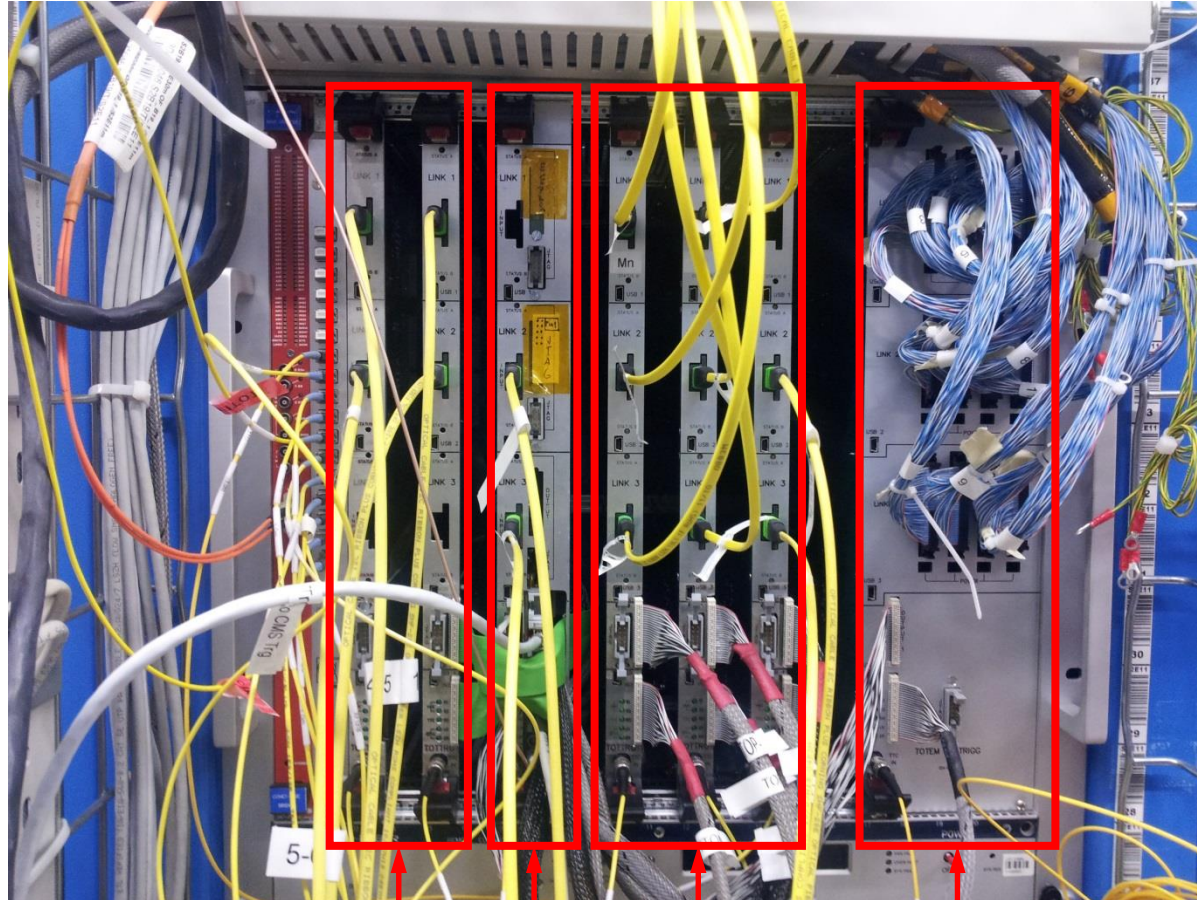
Електроника при детекторите



Електроника в залата за обработка





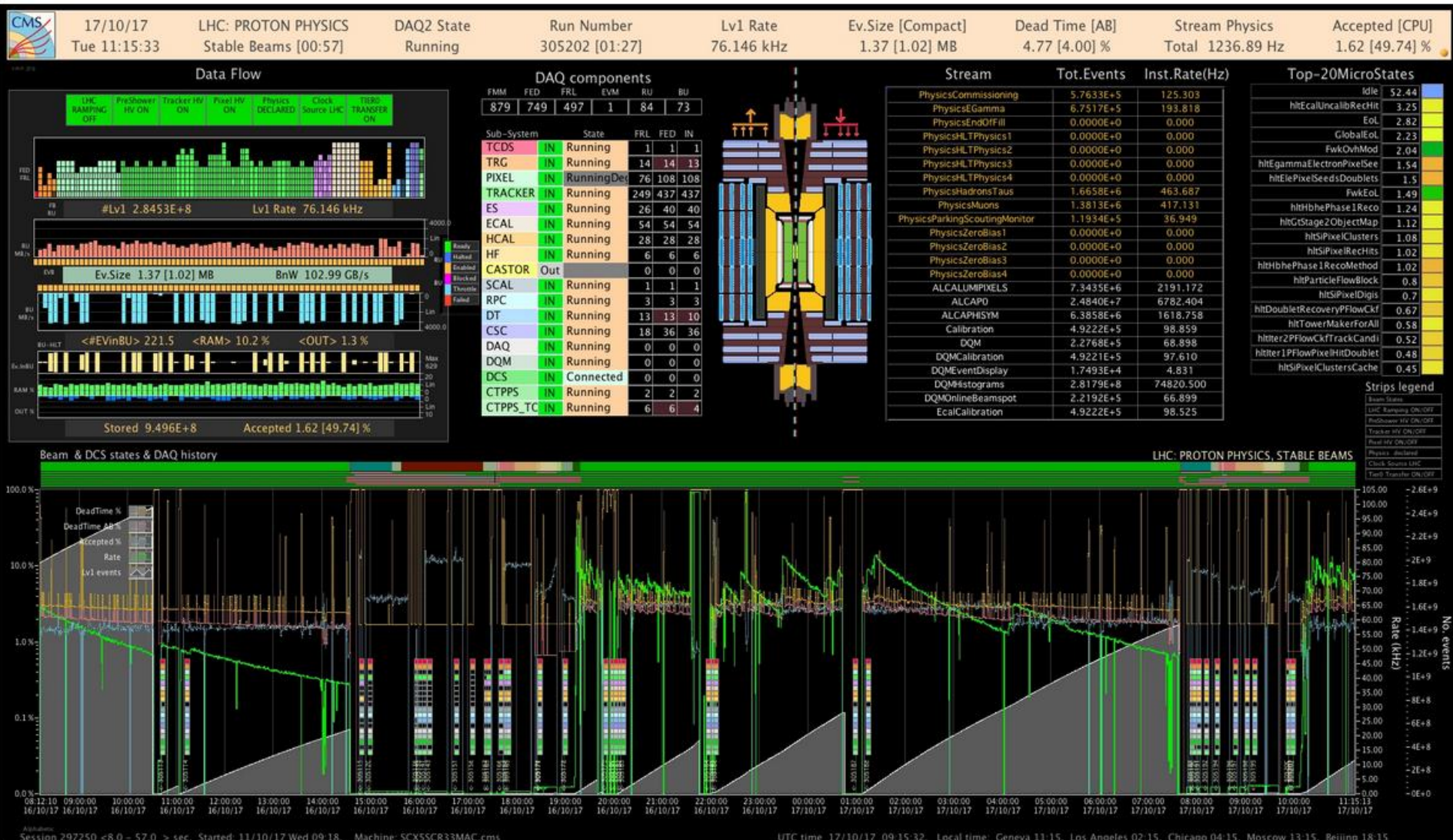


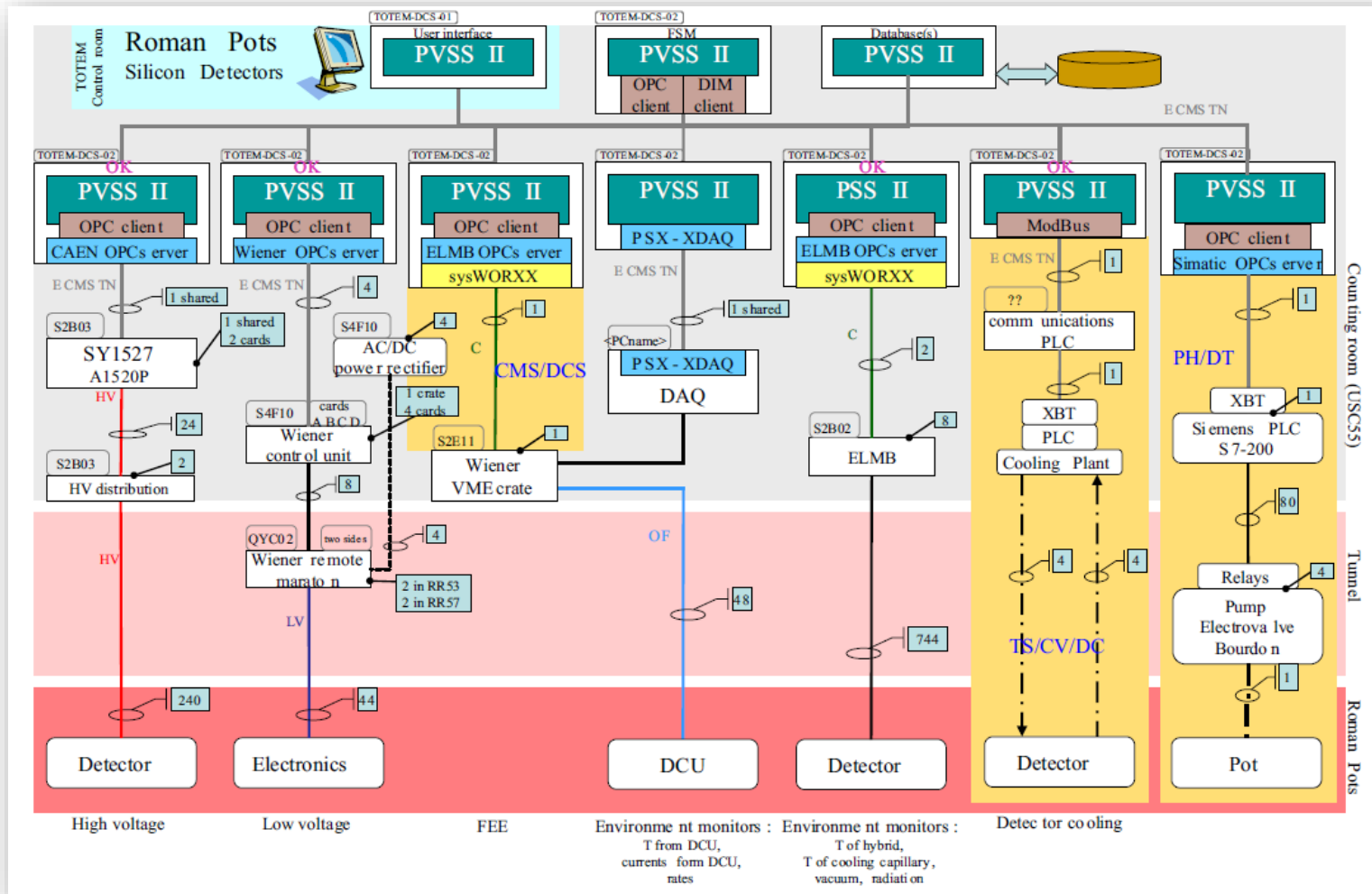
Roman Pot - optical

T1 and T2

Roman Pot - electrical

TOTEM GLOBAL Trigger Board





Предоставена от DCS екипа на TOTEM

CtppsParameters1990: CtppsParameters

01:15 19-10-17

Sector 45 Beam 2

Sector 56 Beam 1

Energy(GeV) 982.94

EDIT HV RECIPES

tot_Rp 0

tot_Rp 210_fr_hv_200

Heart Beat

PXIHeartBeat 42763

FESAHeartBeat 44411400

DCSHeartBeat 94393

totRpInterlock beam 2

InjectionPermit

UserPermit1

DeviceAllowed

MovementPermit

PXI

MovementOverride

PXI

DCS

ManualInjectionPermit

PXI

DCS

ControlKeys

BypassKey

MotorCoil

FESASStatus

totFESAState 0

totFESAInfoID 3

totFESAWarning 0

totFESAAlarmID 0

PXIStatus

totPXIInfoID 0

totPXIAlarmID 0

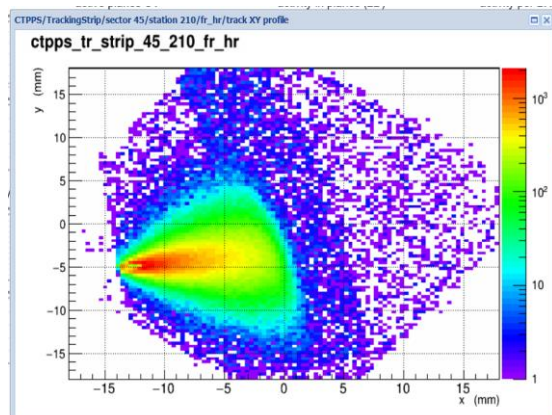
AlcoveTemp

Sector45 [°C] 26.95

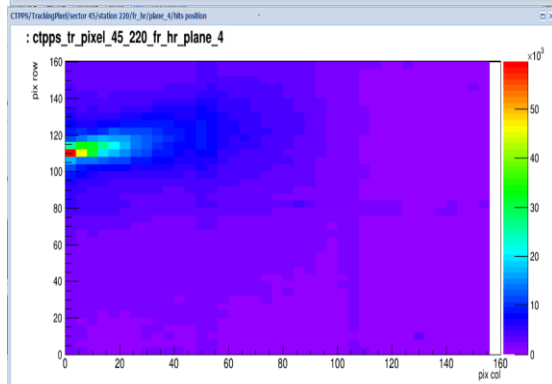
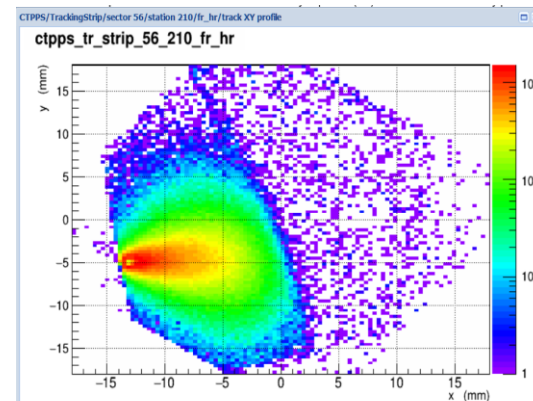
Sector56 [°C] invalid

LvA [V]	5.03	2.55	2.53	6.82	0.03	0.04	1.80	2.52	0.02	0.05	2.49	2.53	0.08	0.06	2.58	1.82	0.05	0.06	5.16	2.47	2.54	6.71		
[A] Clk45	1.70	6.00	0.04	3.40	0.28	0.27	0.93	0.42	0.04	0.03	4.68	4.97	0.26	0.29	0.42	0.94	0.28	0.32	1.95	6.02	0.30	3.40		
LvD [V]	14.99	15.06	0.04	6.50	0.28	0.27	2.83	0.06	0.06	2.52	6.03	6.48	0.03	0.04	2.83	0.05	0.03	0.31	14.88	15.17	0.10	0.08		
[A]	0.04	2.42	0.00	0.00	0.04	0.04	2.08	0.04	0.04	0.04	6.03	6.48	0.27	0.29	2.16	0.31	0.33	0.31	14.88	15.17	0.10	0.08		
Rp [V]	0.06				2.82	70	70	70	2.83		2.83		2.92	70	70	70	2.86		0.06				0.06	
[A]	0.04				1.03	5.8	6.9	6.6	1.30		1.30		1.63	6.5	4.2	52.1	1.23		0.31				0.31	
Hv [V]	500	450	500	300	0	0	70	70	70	0	0	0	0	0	70	70	70	0	500	499	500	300		
[μA]	0.0	0.0	0.1	84.5	0.3	0.0	17.9	11.0	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	7.5	28.6	0.0	0.0	0.0	0.0	74.7		
Temp01 [°C]	22.49	0.00			-24.48	-23.19	0.00		-29.04	-30.31	-20.98	-22.32	-28.85	-27.98		-1.70		-22.75	-21.54			21.67	24.10	
DssTemp [°C]	21.02	12.74			-23.90	-23.08		-15.57	-27.55	-28.07	-19.73	-17.55	-28.47	-27.40		-14.19		-22.29	-17.86			18.01		
CoolLeftIn [°C]					-26.80	-27.28		-26.67	-25.49	-26.95	-27.16	-26.85	-26.66	-26.78	-28.55	-23.25	-22.68		-24.41	-11.01				
CoolLeftOut [°C]					-29.17	-27.12		-22.98	-27.39	-28.75	-26.16	-26.11	-28.09	-30.21		-25.72			-27.76	-14.35				
CoolRightIn [°C]	-1.18				-28.04	-28.19		-22.06	-23.77	-27.39	-29.32	-26.70	-27.31	-26.52	-28.25	-23.98	-22.89		-24.95	-24.81		-3.31		
CoolRightOut [°C]	-0.43				-27.96	-29.41		-27.35	-25.30	-27.87	-28.74	-28.33	-28.80	-26.20	-22.94	-26.20			-25.86	-27.05		13.75		
RadTemp [°C]	17.89				18.03			20.55		17.32			17.35		17.48				19.84			16.73		
Varu01 [mbar]	108.91				15.89	21.57		300.59		20.03	17.99	16.75	12.76		10.26		279.12		13.79	12.33		106.28		
Leak [μbar/s]	+0.00				+0.00	+0.00		+0.00		+0.00	+0.00	-0.23	+0.42		+0.42		-0.53		+0.22	+0.43		+0.43		
Pressure [mbar]	100.37						13.20															103.77		
RPIn	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
RPHome	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
RPOut	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
RPMotorPowerOn	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
RPAntiCollision	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
PosSetting [μm]	+43000				+43000	-43000		+43000		-43000		+43000		-43000	+43000		-43000	+43000				+43000		
LVDT [μm]	+41182				+40386	-41548		+41395		-41394		+42141		-41997	+41260		-42255	+41260		-41601	+42605		+40814	
Motor [μm]	+41193				+40346	-41512		+41382		-41350		+42122		-42055	+41259		-42230	+41259		-41587	+39784		+40866	
Resolver [μm]	+41193				+40346	-41512		+41382		-41350		+42122		-42055	+41259		-42230	+41259		-41587	+42604		+40866	
ImmWarning [μm]	+36000				+36000	-36000		+36000		-36000		+36000		-36000	+36000		-36000	+36000		-36000	+36000		+36000	
ImmCritical [μm]	+35000				+35000	-35000		+35000		-35000		+35000		-35000	+35000		-35000	+35000		-35000	+35000		+35000	
ImmLimit [μm]	+1637				-4000	+4000		+1319		-4000	+4000	+3588	+2568	+4000	-4000		+2534	+4000		-4000	-4000		+2055	
OutWarning [μm]	+45000				+45000	-45000		+45000		-45000		+45000		-45000	+45000		-45000	+45000		-45000	+45000		+45000	
OutCritical [μm]	+46000				+46000	-46000		+46000		-46000		+46000		-46000	+46000		-46000	+46000		-46000	+46000		+46000	
RPState	1	0	0		1	0	0		1	0	0	1	1	0	0		1	0	0	0	0	1	1	
RPWarning	0	0	0		0	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	
RPErrror	0	0	0		0	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	

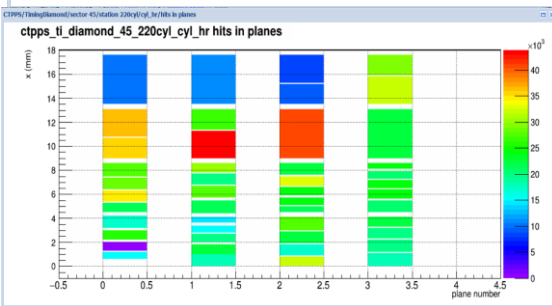
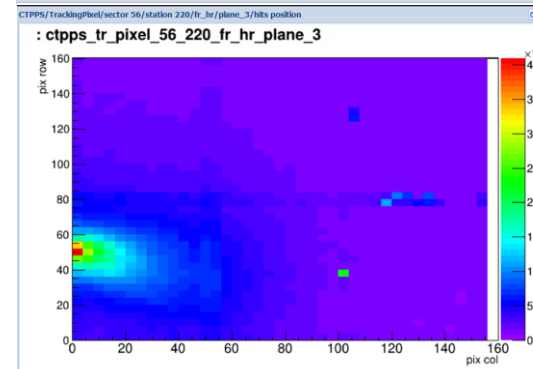
- Въведение
- Електроника при детектора
- Електроника в залата за обработка
- Видове системи
- **Заключение**



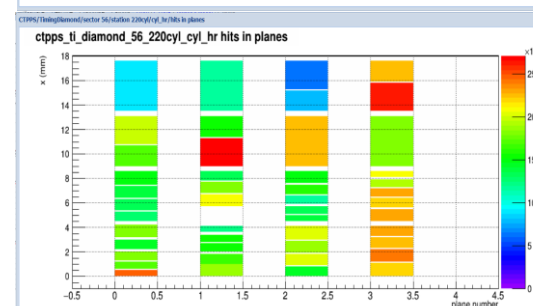
Силициеви
Детектори



Pixels
Детектори



Диамантни
Детектори



- Развитието и усъвършенстването на технологиите в области като микроелектроника, електроника, измервателна техника, системите за събиране и обработка на данни, комуникациите и т.н. позволяват да се създават съвременни системи за физични експерименти.
- Увеличеното бързодействие на предаване на данни в съвкупност с програмируемите компоненти, създаде възможността за изграждането на многоканални устройства за събиране на данни от експеримента.
- Експеримента TOTEM с неговите силициеви детектори беше създаден за кратък период от 2004 и успешно бяха събирани данни още през 2009 г.
- Създадената за Roman Pot електроника се използва успешно и за другите детектори на TOTEM а така също и за един от детекторите на CMS.
- Силициевите детектори за Roman Pot показват отлични качества и ще се използват за физическите измервания на TOTEM и след голямото спиране (LS1) на ускорителя.
- Усилия за създаването и изграждането на експеримента се отплащат с появата на първите физически резултати, публикувани в международни издания.

Благодаря за вниманието