

Електроника за експериментите в ЦЕРН

(CMS / TOTEM)

д-р инж. Георги Анчев

ИЯИЯЕ - БАН София / CERN Geneva

Gueorgui.Antchev@cern.ch

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

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

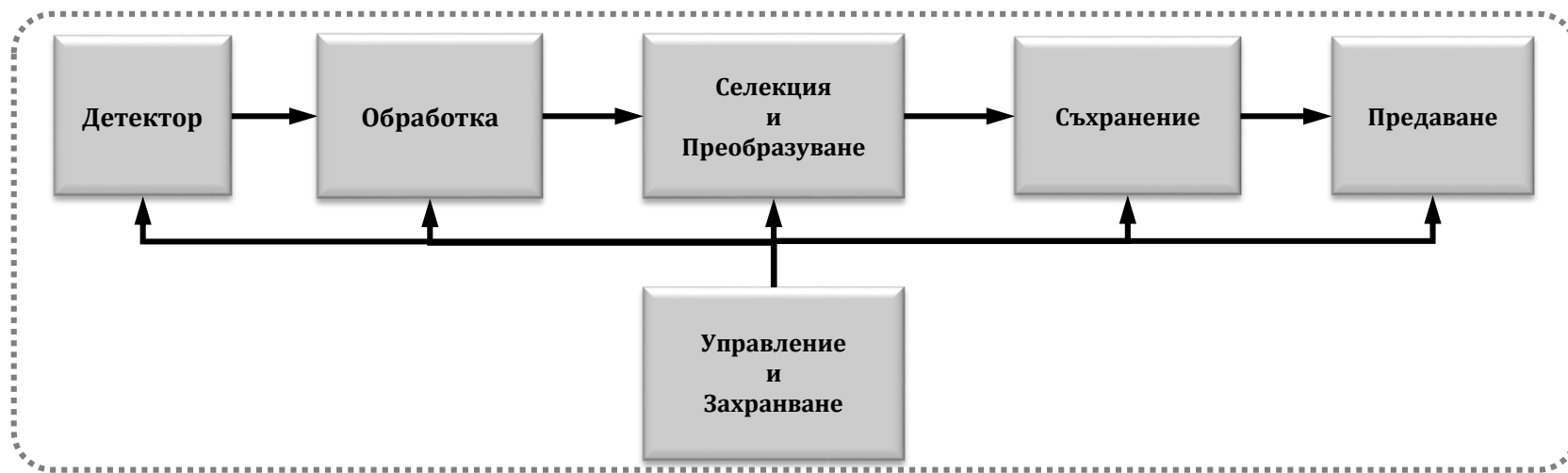
Освен ускорителите във физиката на високите енергии, две са основните групи от технически средства за провеждане на експериментални изследвания:

- 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

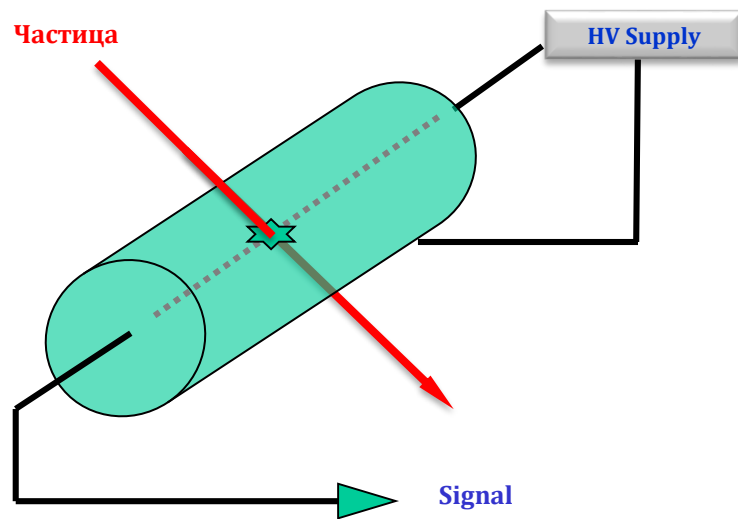
След множеството транзисторни устройства скок в развитието на електрониката се предизвика от напредъка на микроелектрониката. Широко се използват интегрални схеми, програмируеми устройства, микропроцесори и различни видове компютри.



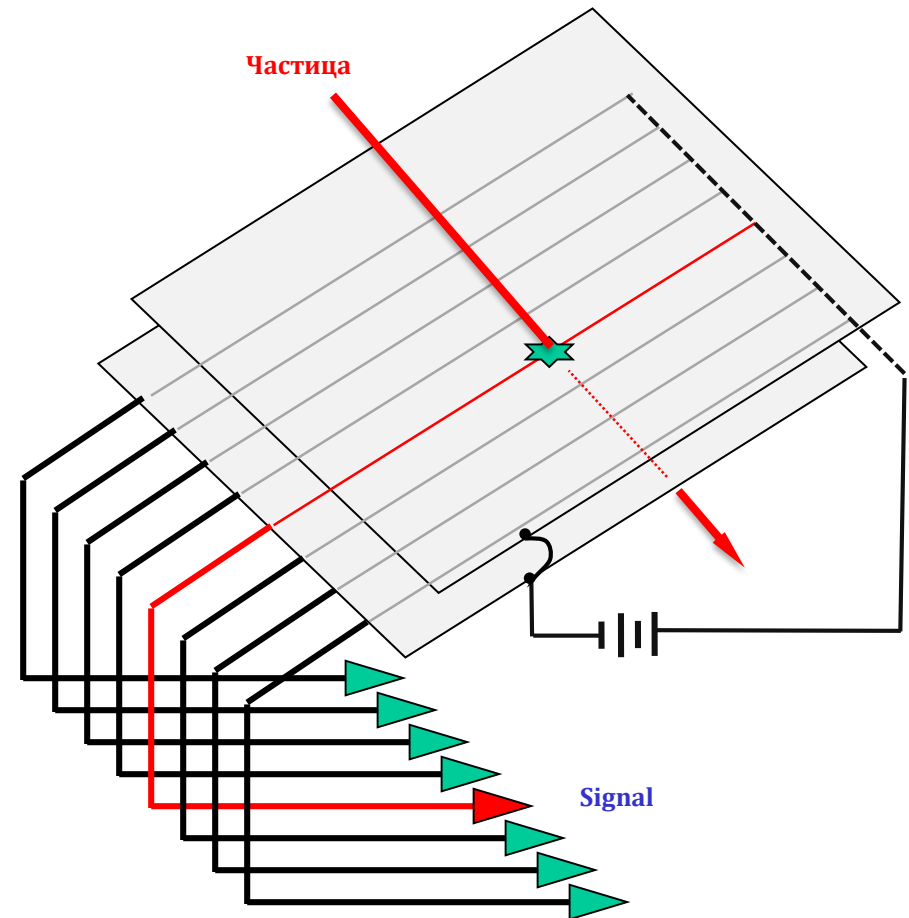
Общата структура съдържа следните основни блокове:

- 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

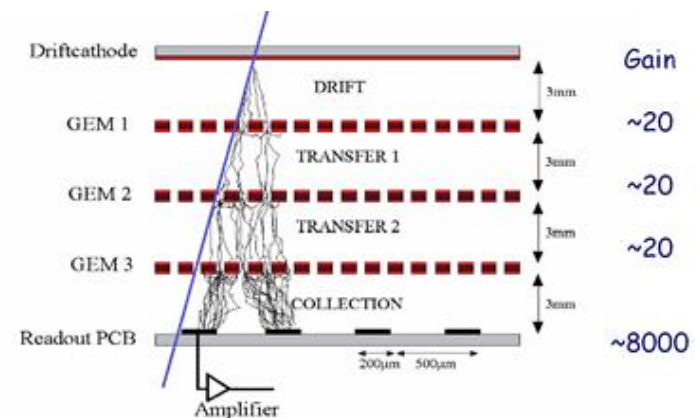
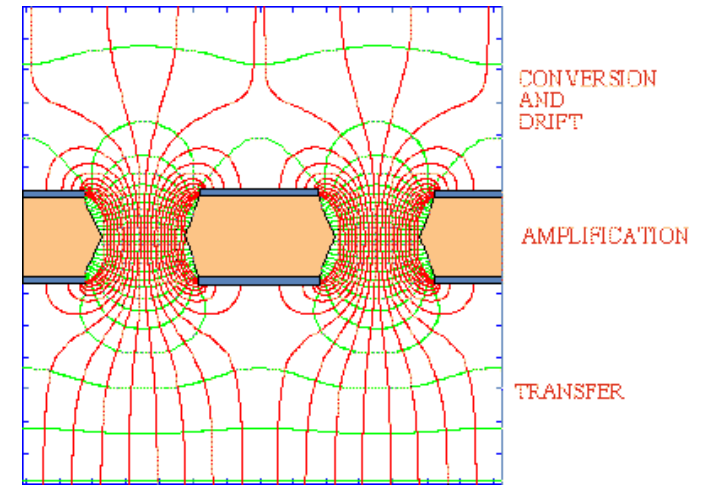
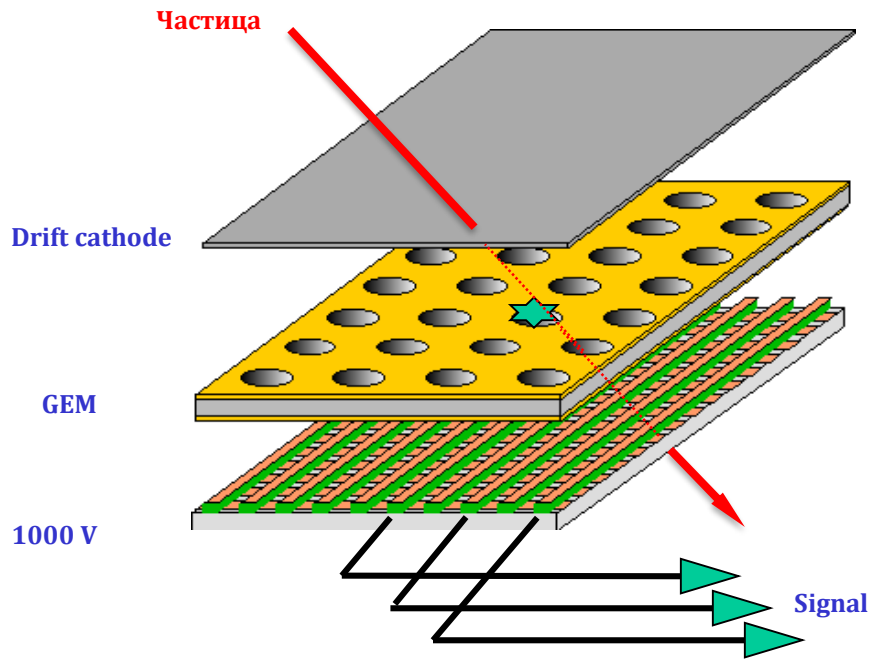
Единична газова камера



Многожична газова камера

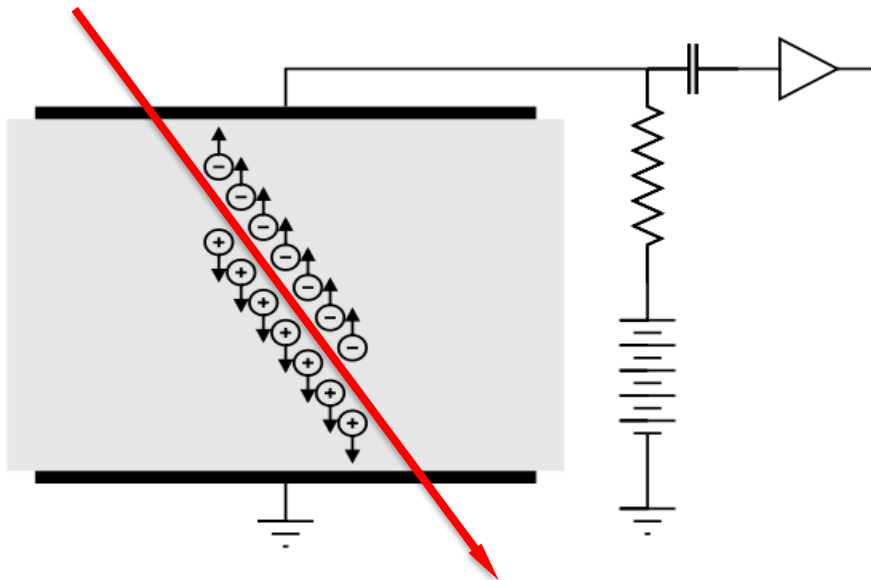


Йонизационна мултипликационна камера (GEM)

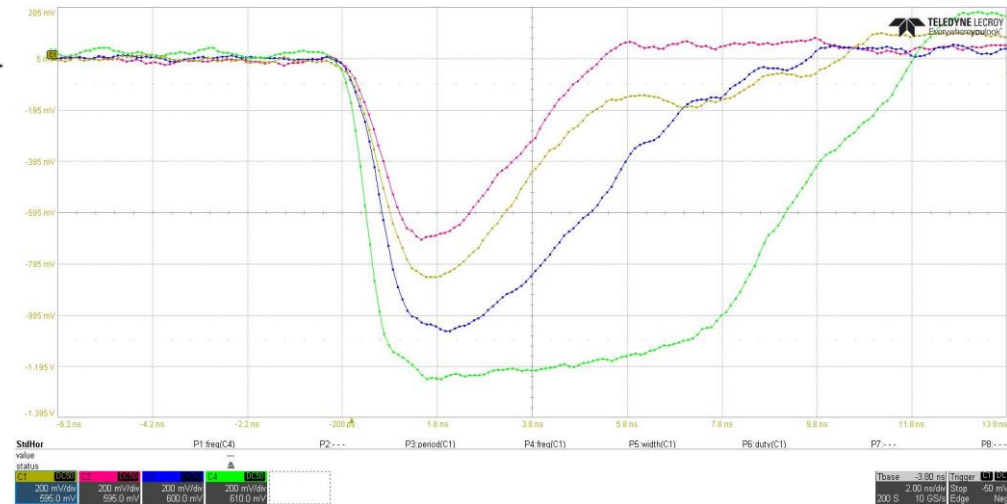


Диамантен детектор

Частица

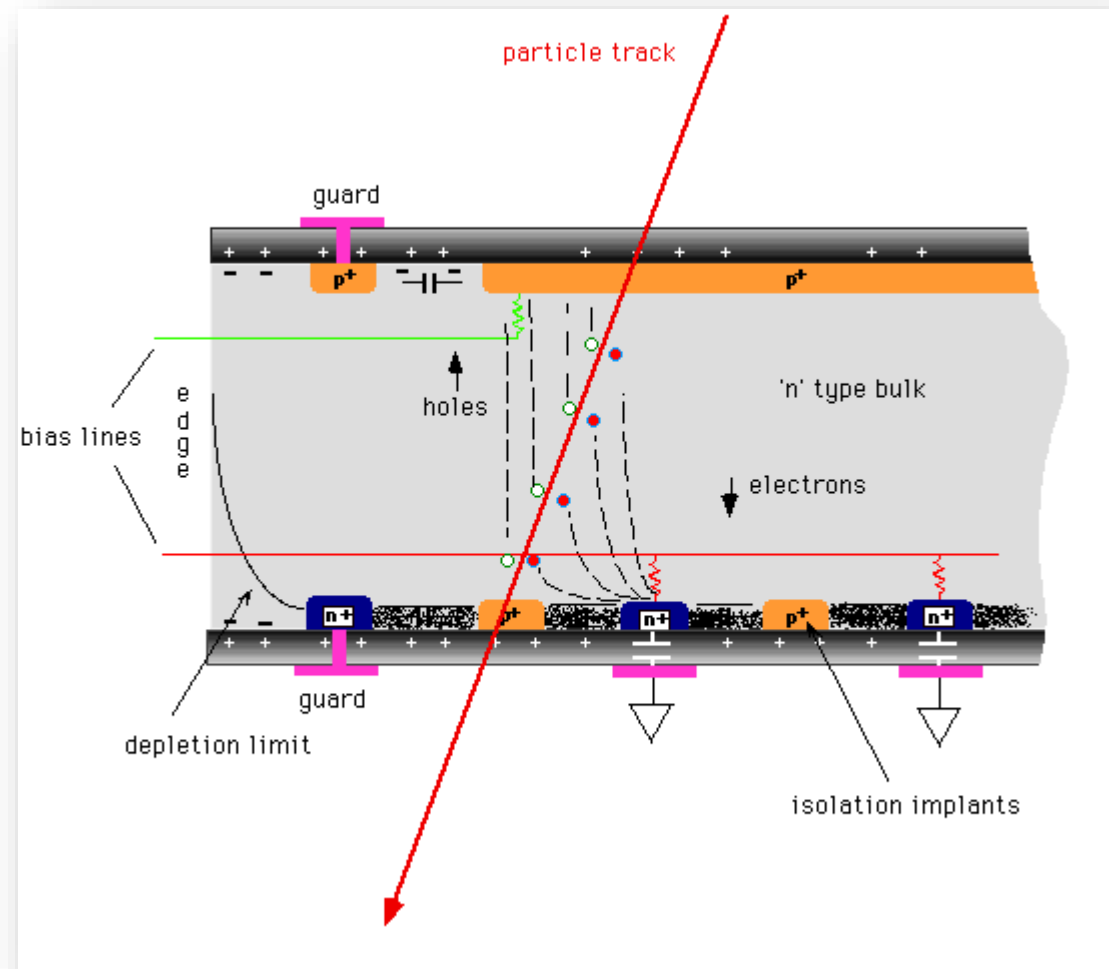


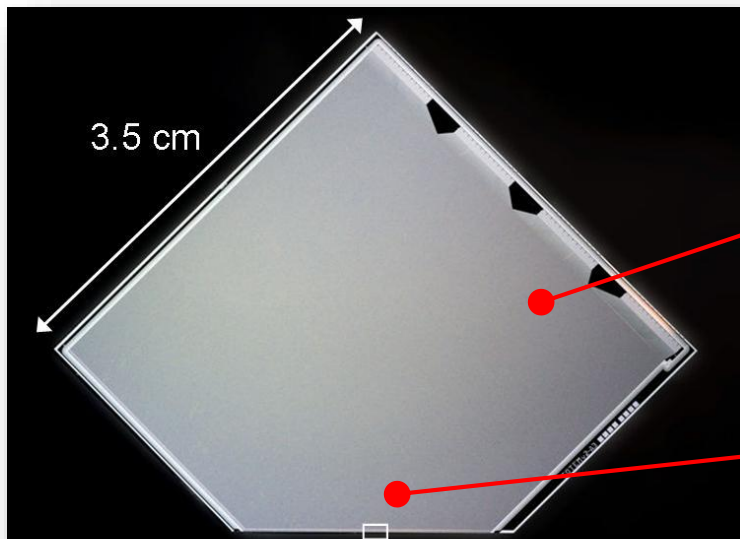
Signal



Предимства и приложение: бързодействие, за времеви детектори

Силициев детектор



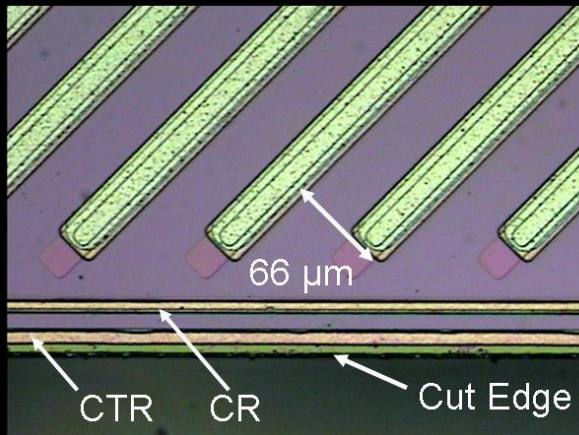


Технология

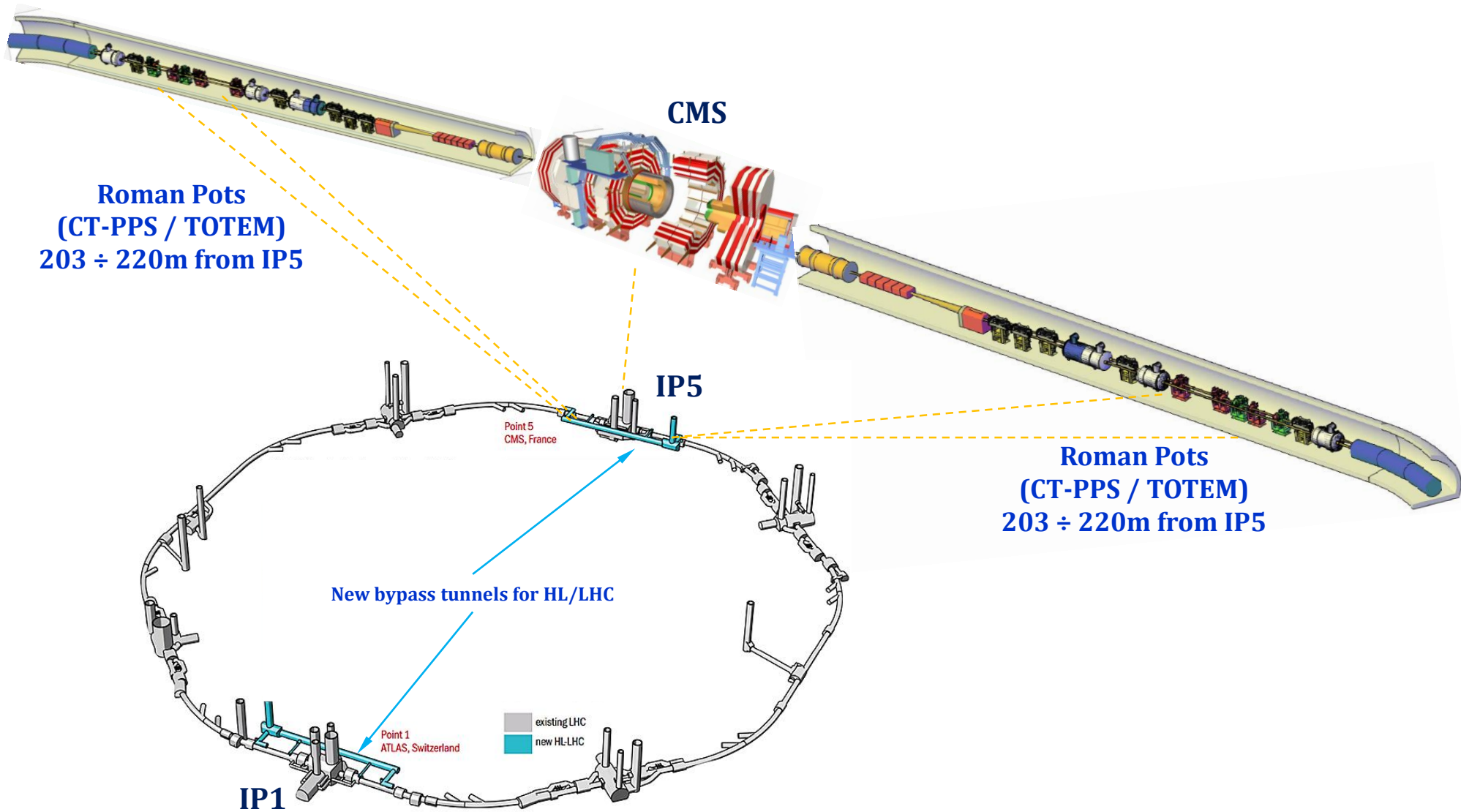
- Si n-тип, с дебелина 300 μm
- Стандартна планарна технология

Дизайн

- Едностранен детектор, 512 писти на 66 μm 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 μm от края на пистата до края на детектора!



**Roman Pots
(CT-PPS / TOTEM)
203 ÷ 220m from IP5**

**Roman Pots
(CT-PPS / TOTEM)
203 ÷ 220m from IP5**

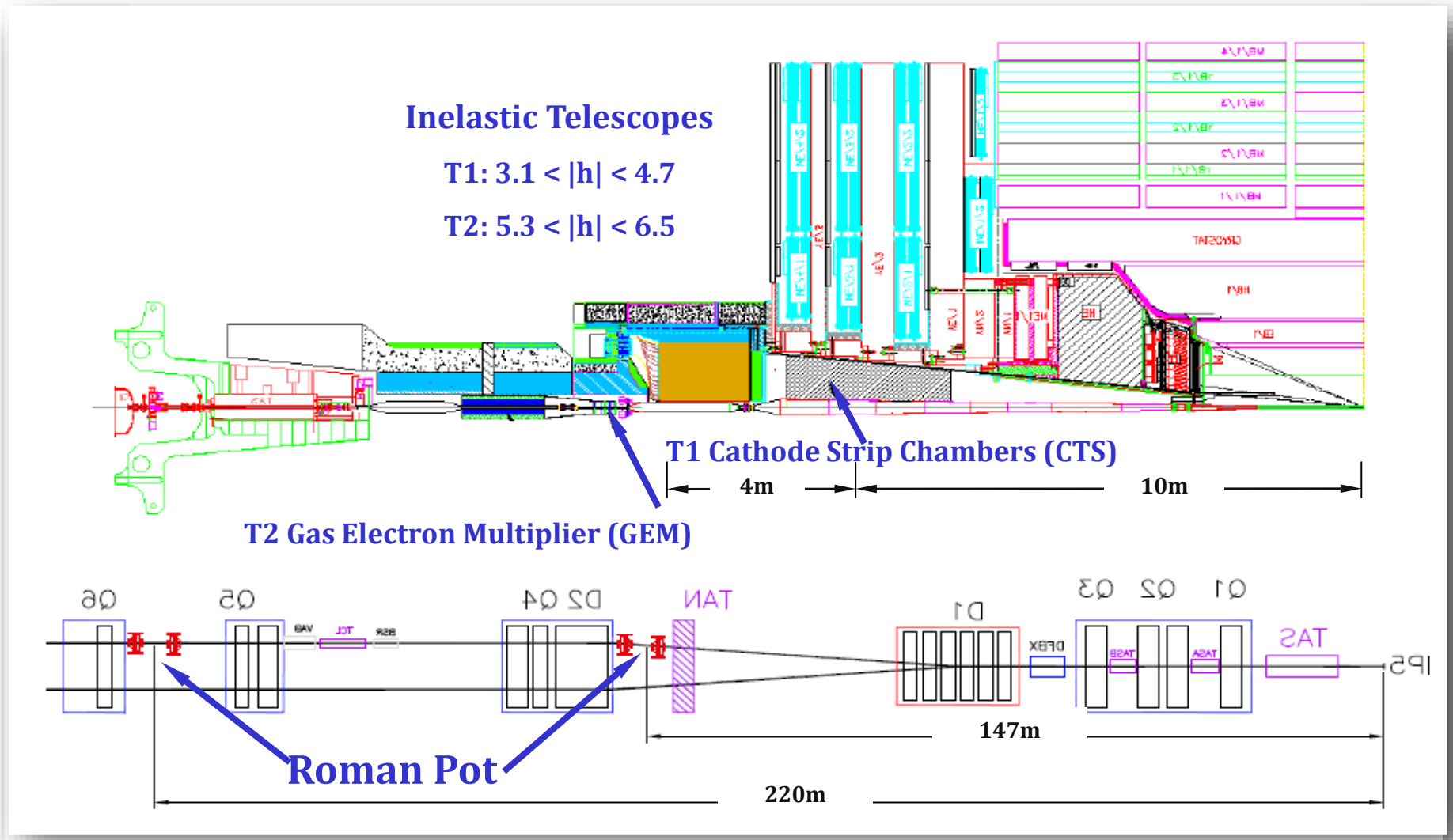
New bypass tunnels for HL/LHC

existing LHC
new HL-LHC

IP1

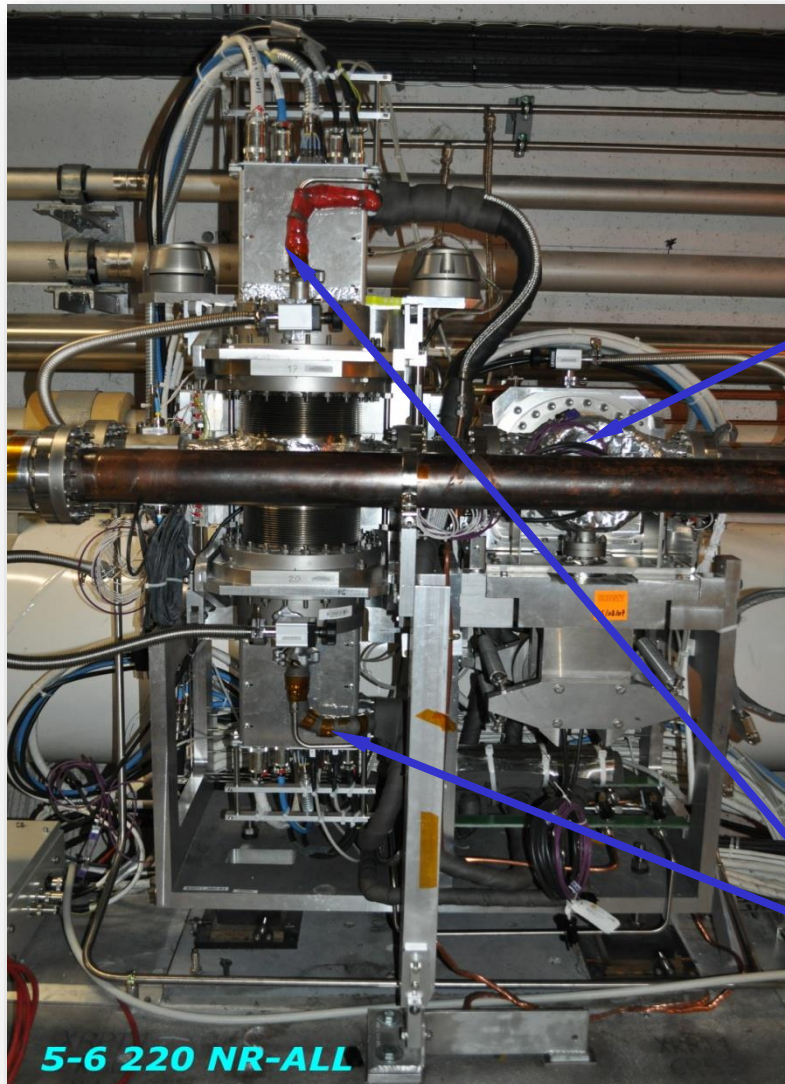
IP5

CMS



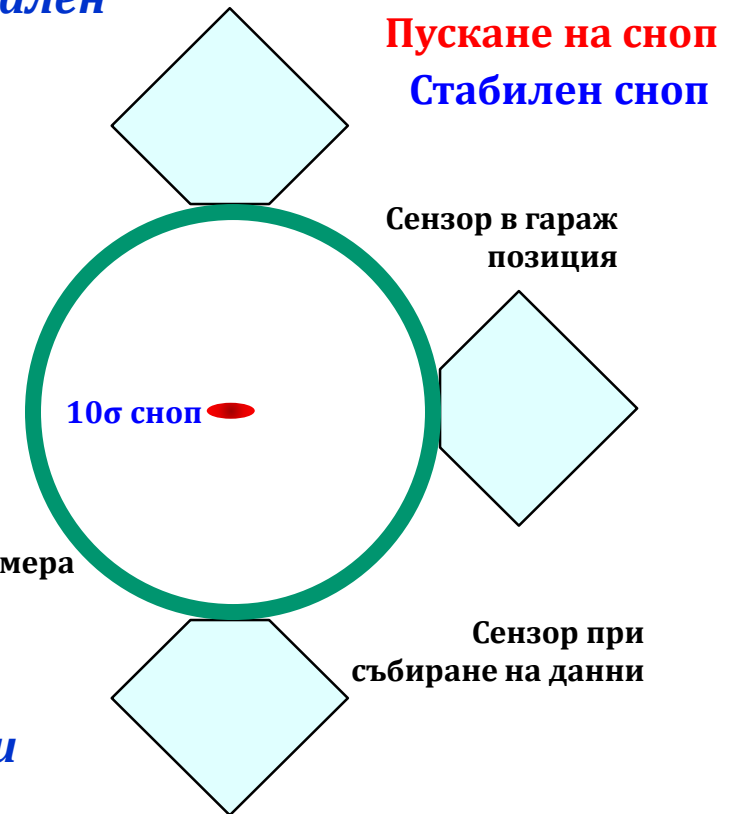
Същите детектори от другата страна на IP5

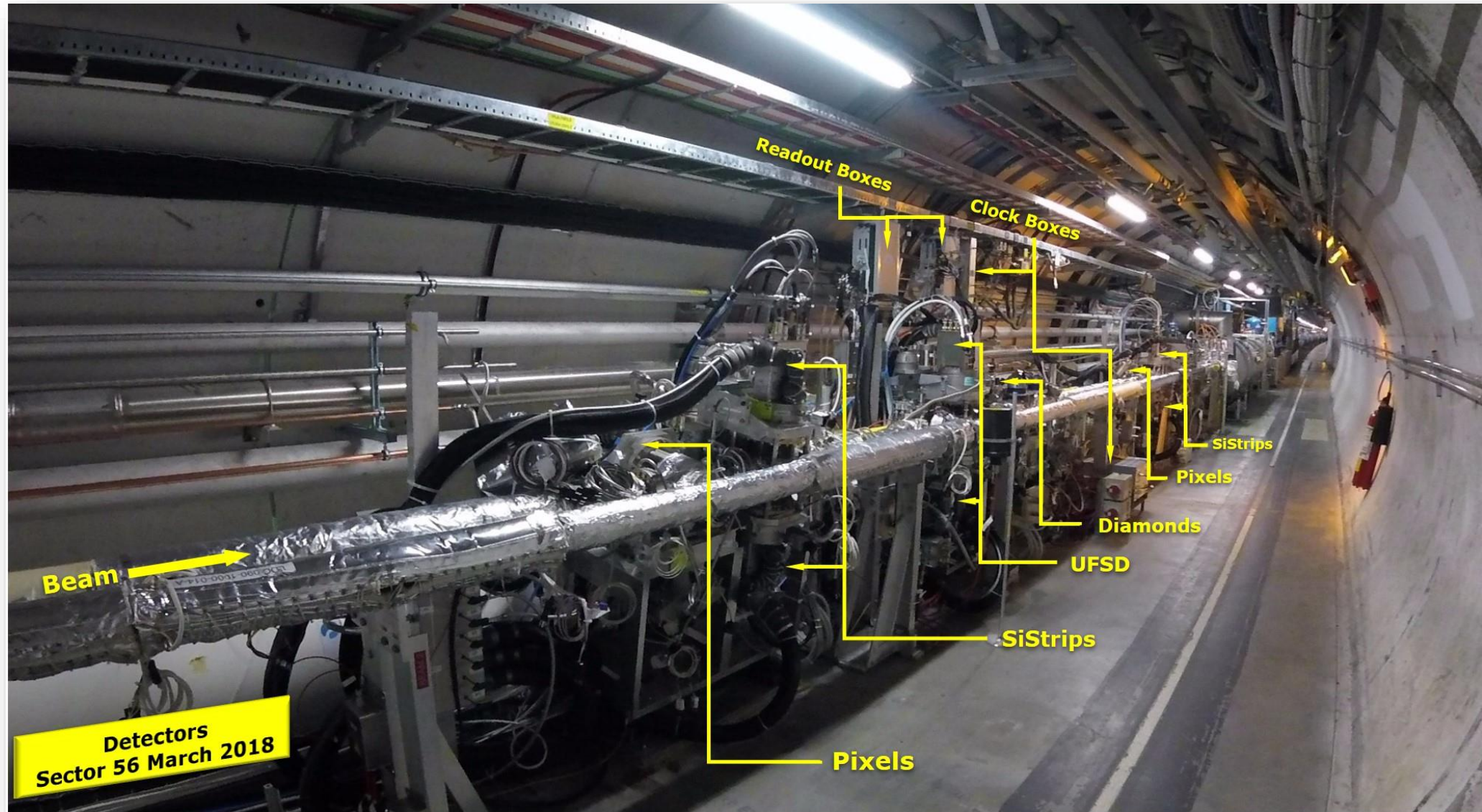
Снимка от сектор 56-220м



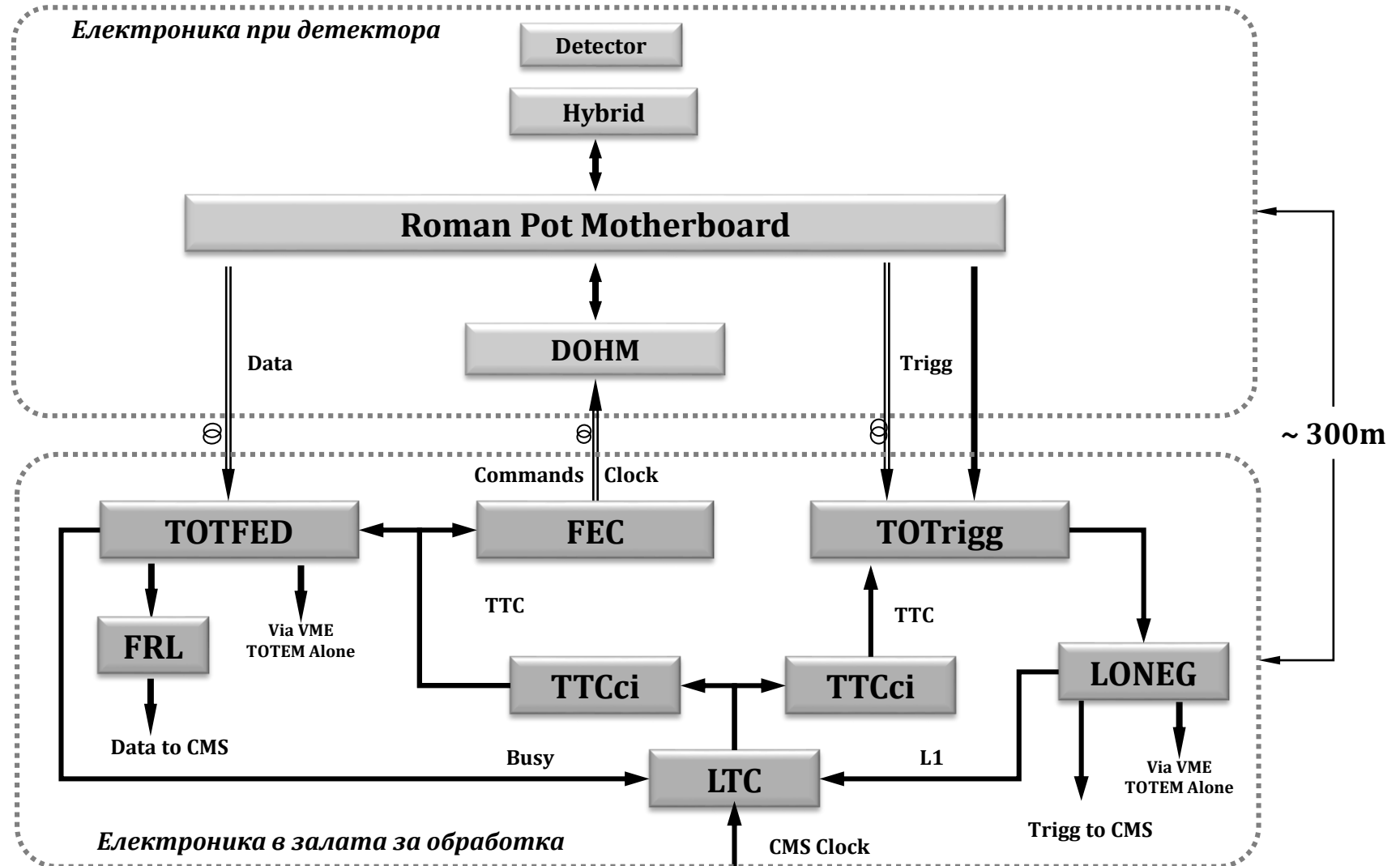
Хоризонтален

Вертикални

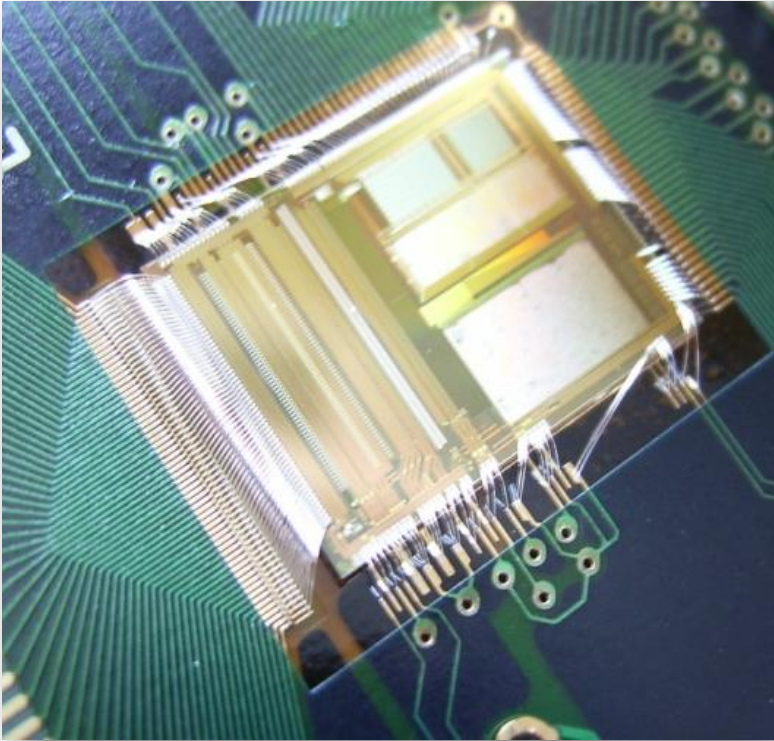




Основни блокове

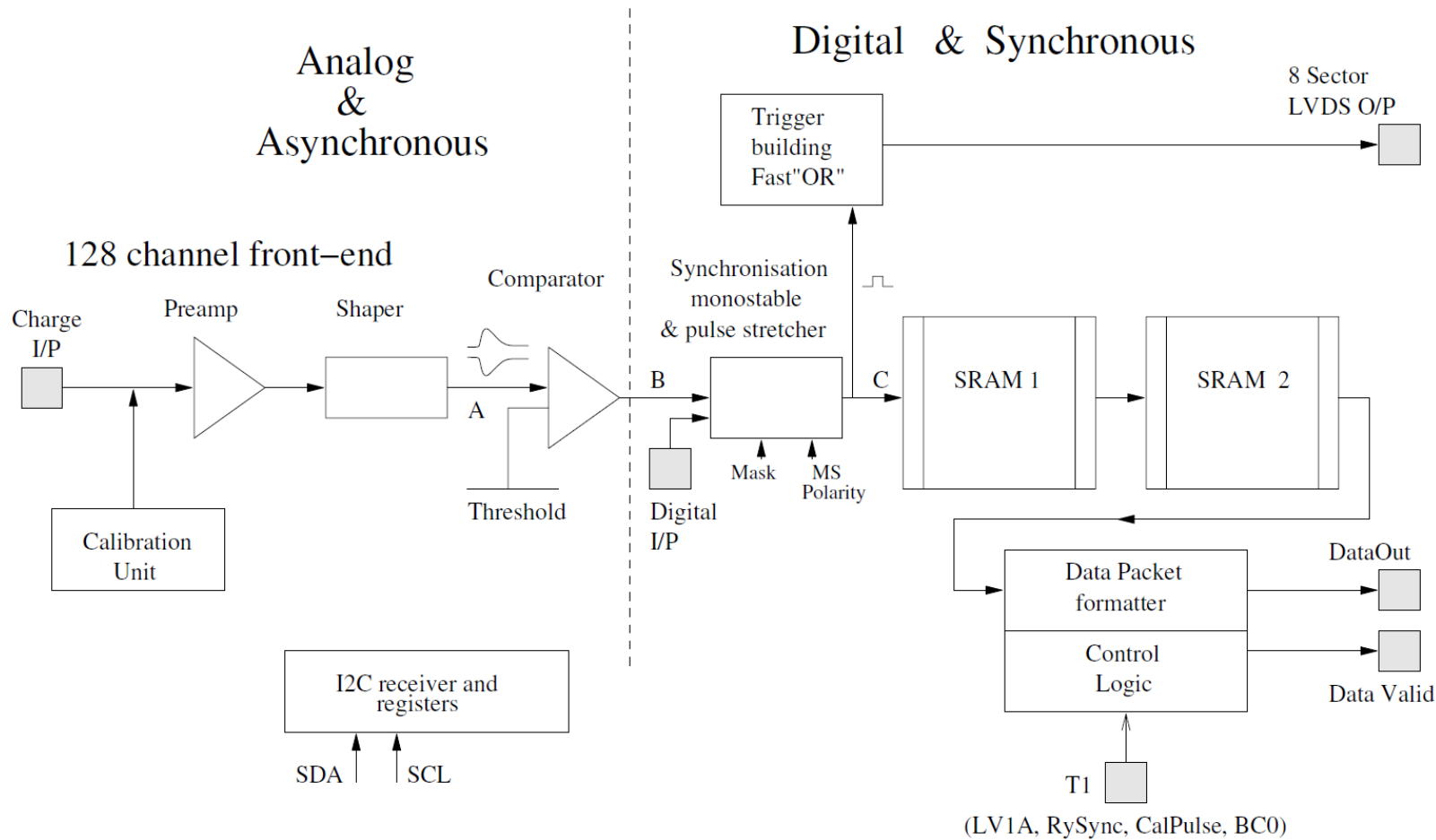


- Въведение
- **Електроника при детектора**
- Електроника в залата за обработка
- Видове системи
- Заключение



- 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
- Има нова версия вече VFAT 3

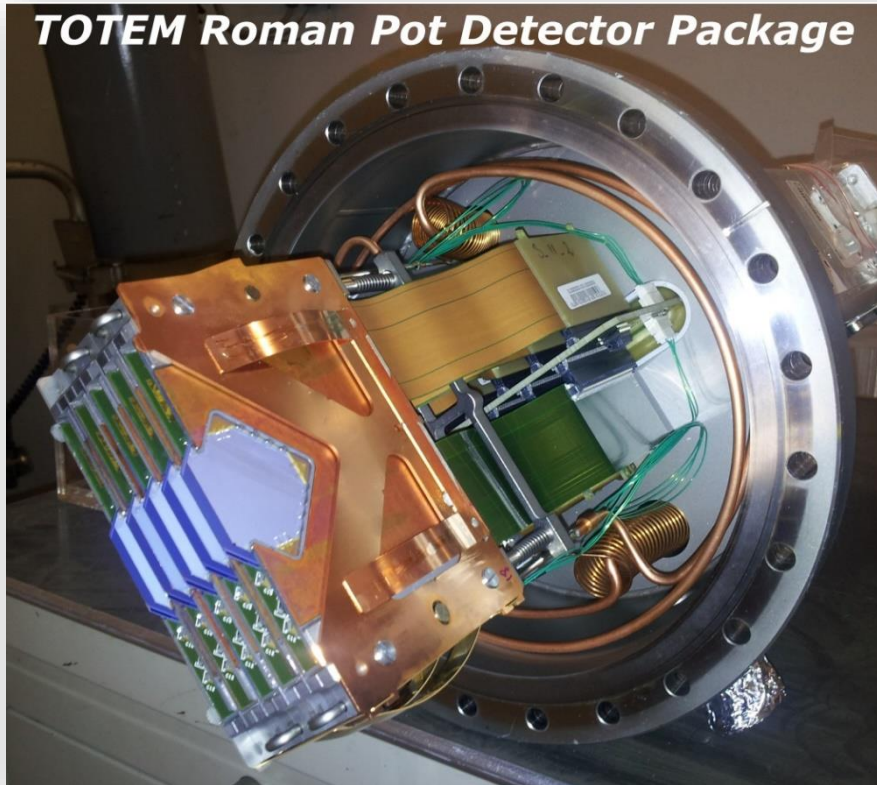
Снимка на VFAT 2 чип монтиран на хибриден модул



Снимка



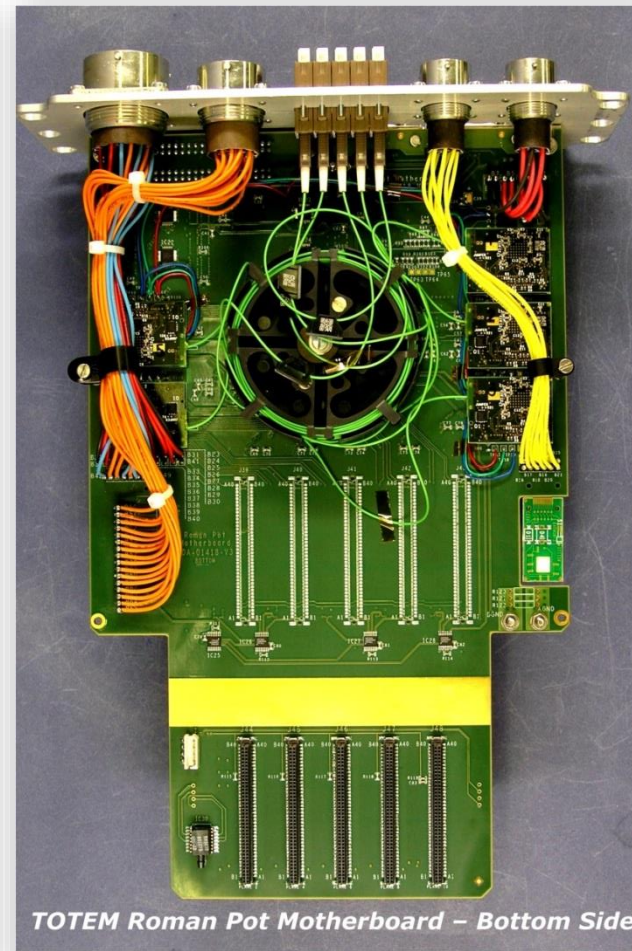
- Съдържа 4 чипа и устройство за контрол
- Свързва се към другата електроника с 80 пинов куплунг и плосък кабел
- По същия куплунг се подава ниско и високо напрежение, синхронизираща честота и се получават данните и тригерните сигнали
- Към 128-те писти на силициевия детектор се свързват директно входовете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

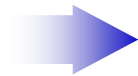
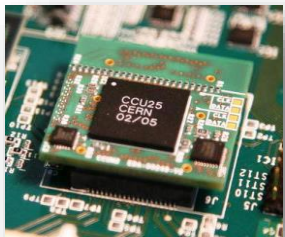


TOTEM Roman Pot Motherboard – Top Side

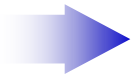


TOTEM Roman Pot Motherboard – Bottom Side

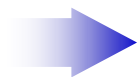
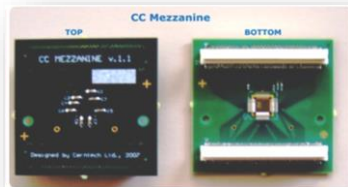
- Свързва детекторния пакет към системите за контрол, тригер и събиране на данни
- Използват се електрически и оптични интерфейси



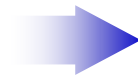
Контролен модул – служи за управление на всички компоненти чрез I2C интерфейс



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



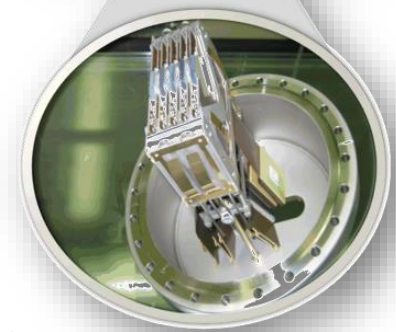
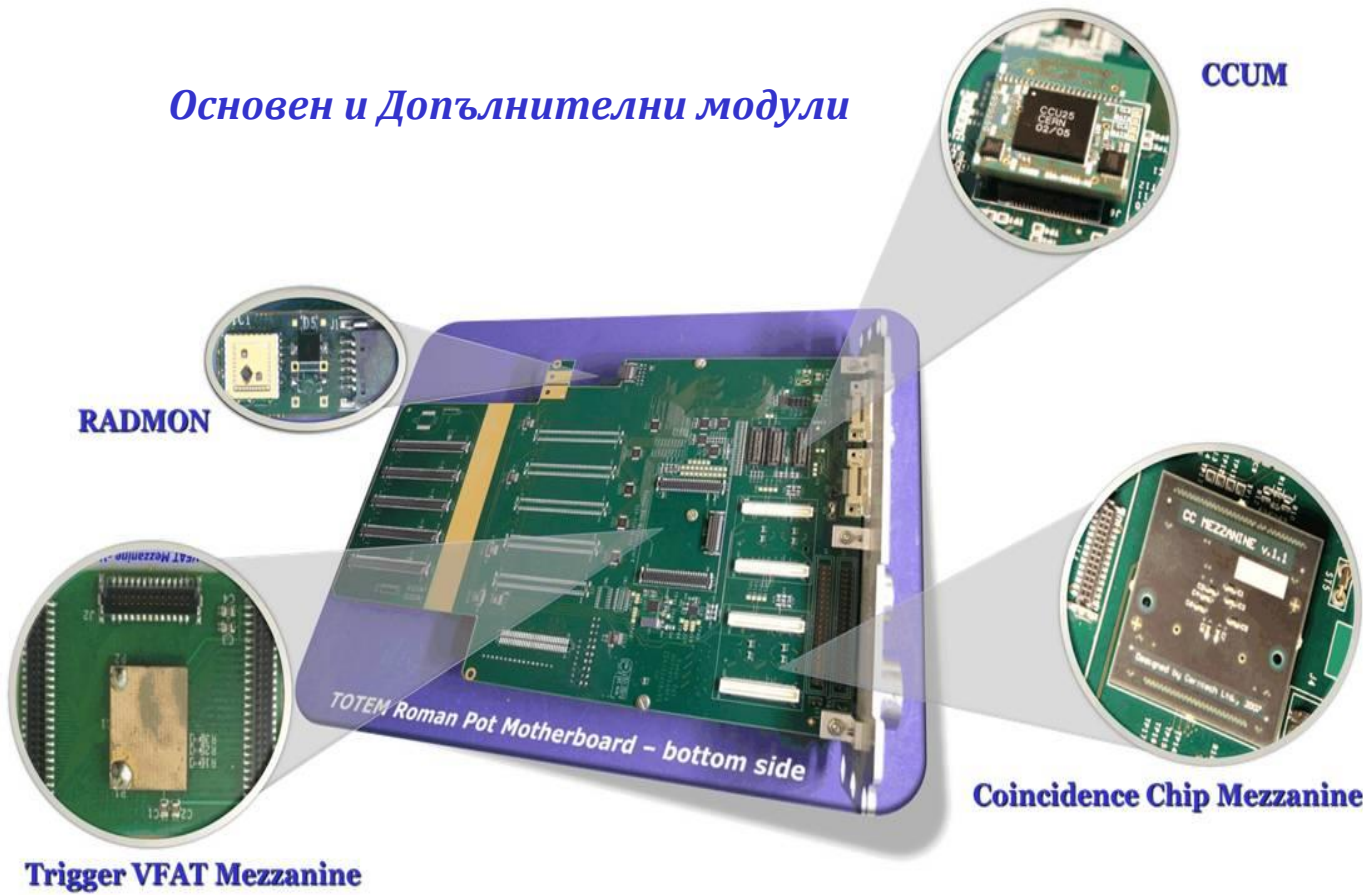
Модул за съвпадение – прави съвпадение между информацията от две координати U и V

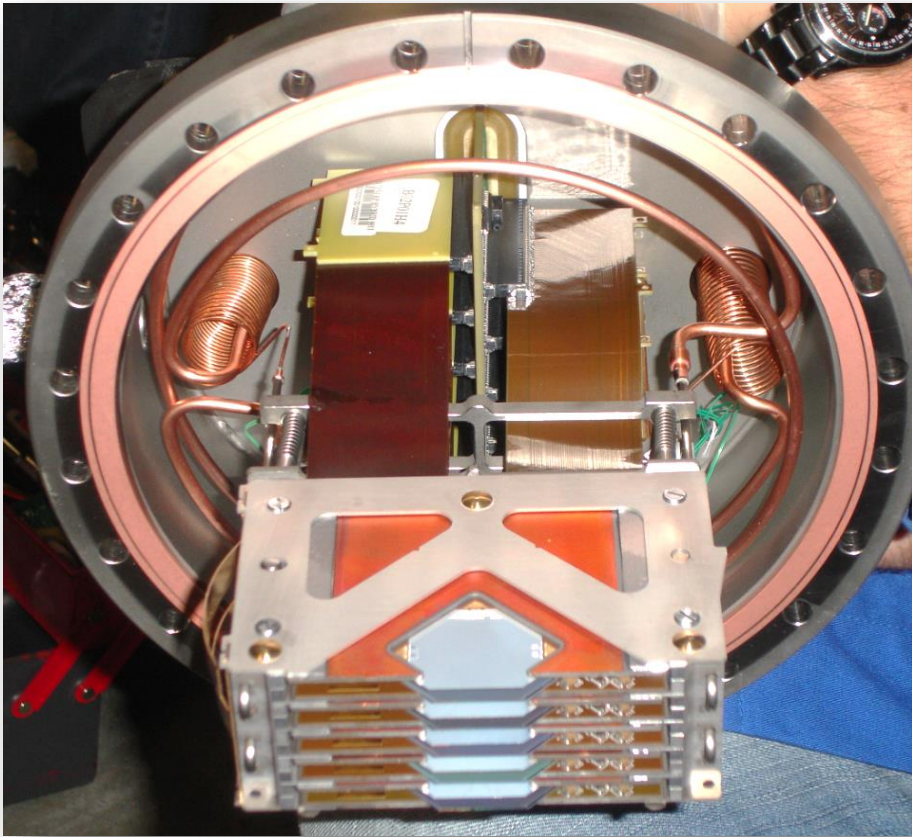


Модул за радиационно измерване – съдържа датчици за измерване на дозата, чиято информация се предава към компютър

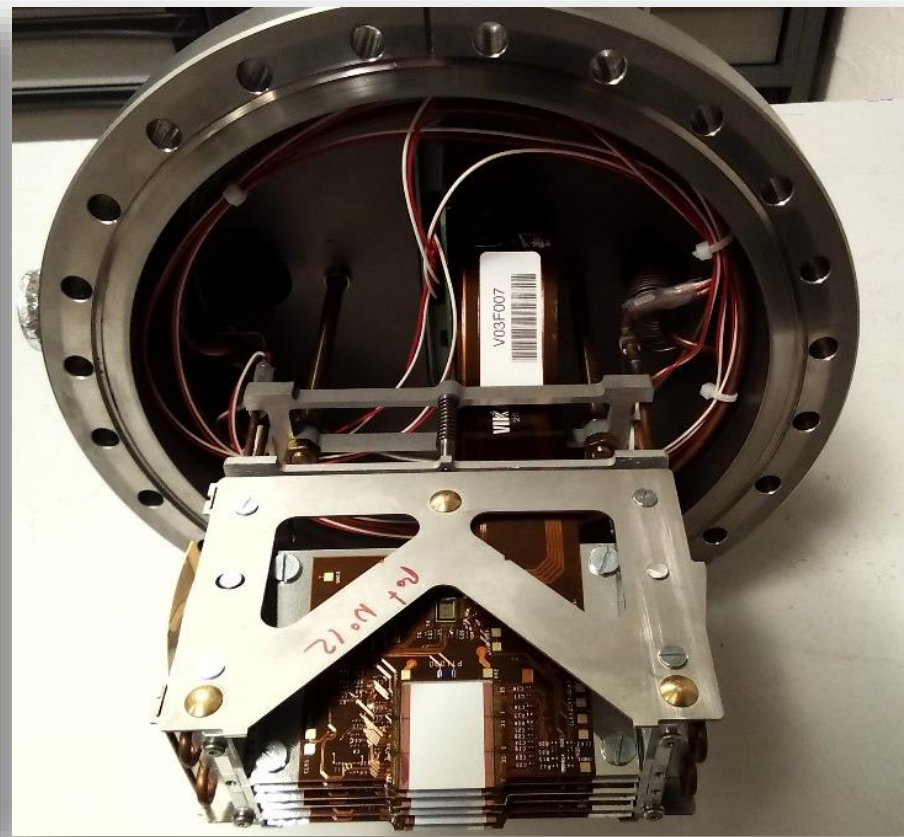
Основен модул и Детекторен пакет

Основен и Допълнителни модули

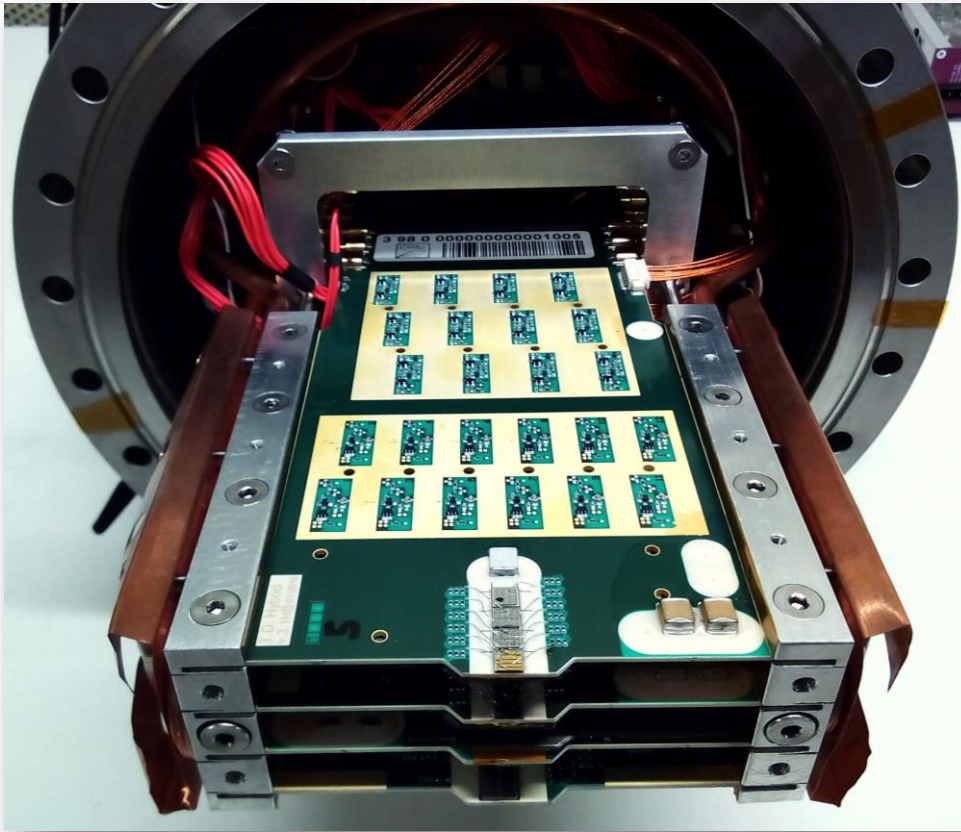




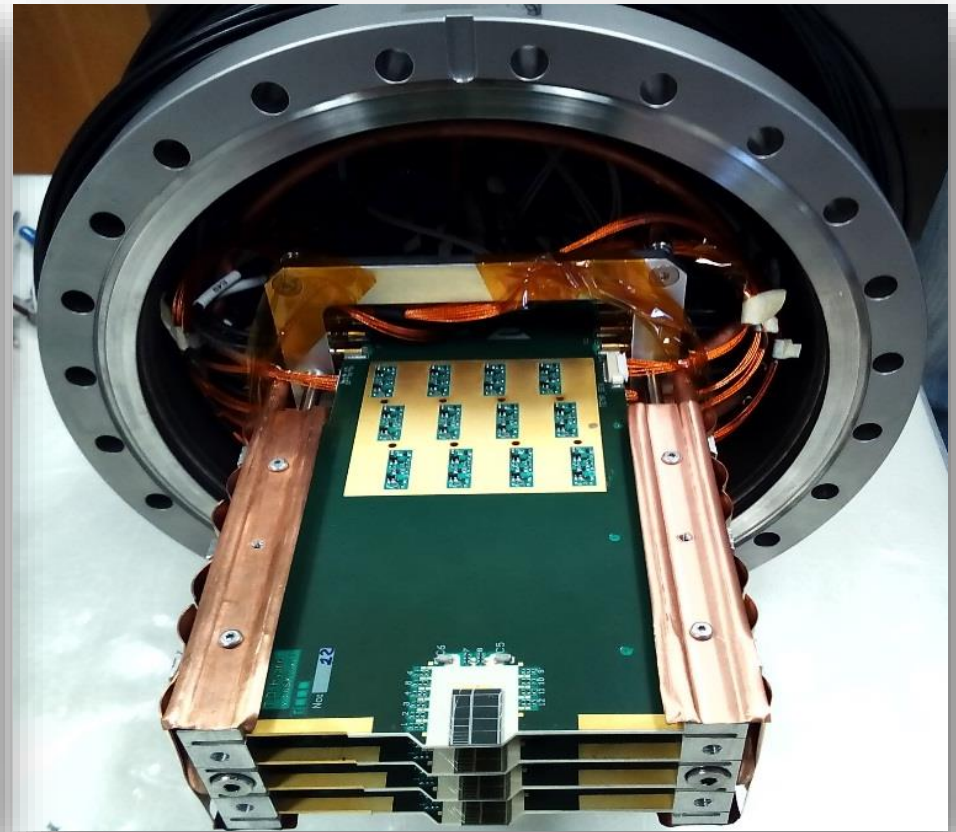
1) **Si-strip**: 10 layers of silicon microstrip plates; space resolution - $10\ \mu\text{m}$, angle resolution - $1\ \mu\text{rad}$; "edgeless" on the beam side; expected lifetime $\sim 10\text{fb}^{-1}$; $t = -25 \div -32\ \text{°C}$, $p = 10 \div 25\ \text{mbar}$; installed on LHC in 2008



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



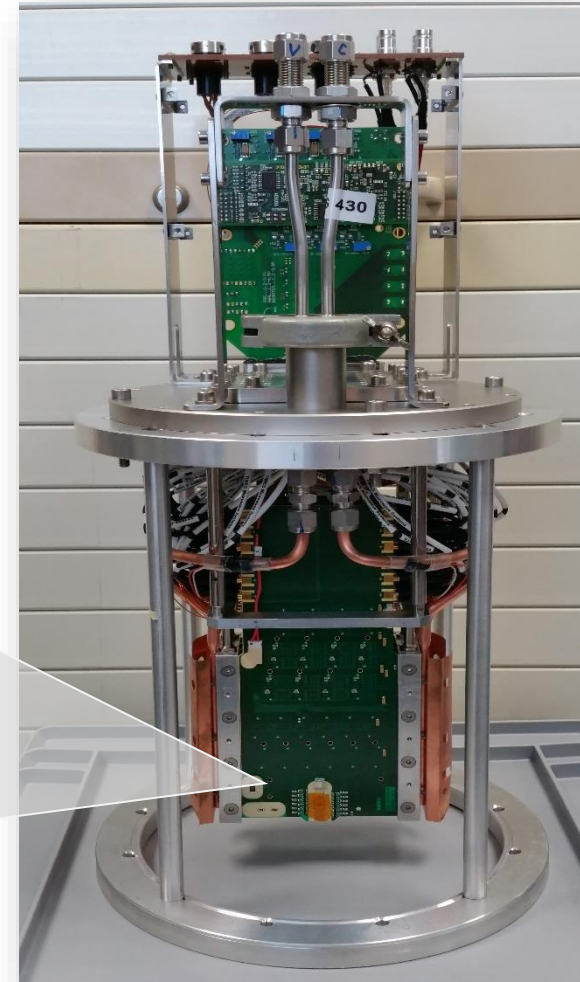
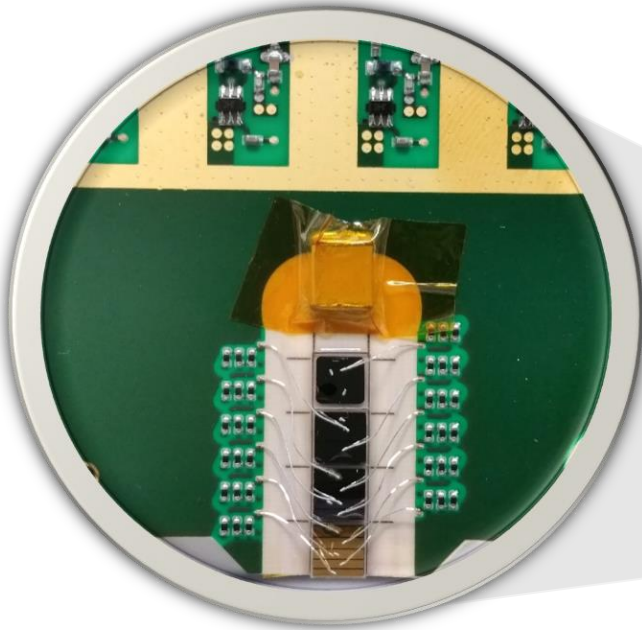
3) Diamond: 4 layers; time resolution up to 50ps per layer; high efficiency on the edge; irradiation limit up to $5 \times 10^{15} \text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$; $t = 0 \div +10^\circ\text{C}$, $p = 50 \div 115 \text{ mbar}$; installed on LHC in 2016



4) UFSD (Si-ultrafast): 4 layers; CNM $50 \mu\text{m}$ sensors; time resolution $\sim 30 \text{ ps}$ per layer; “edgeless” on the beam side; irradiation limit up to $3 \times 10^{14} \text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$; 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

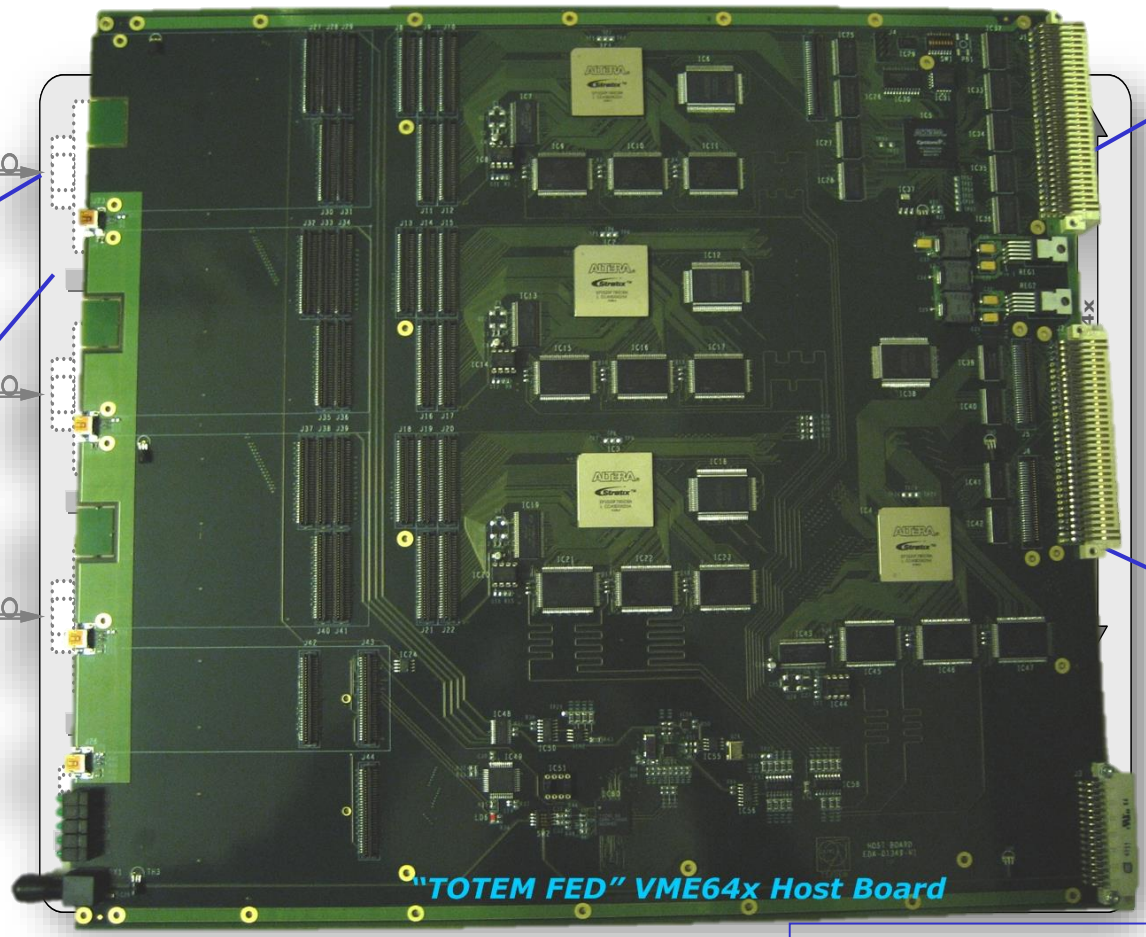
Gigabit Optical INPUT
640Mb/s/fiber x 12 = 7.68Gb/s

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

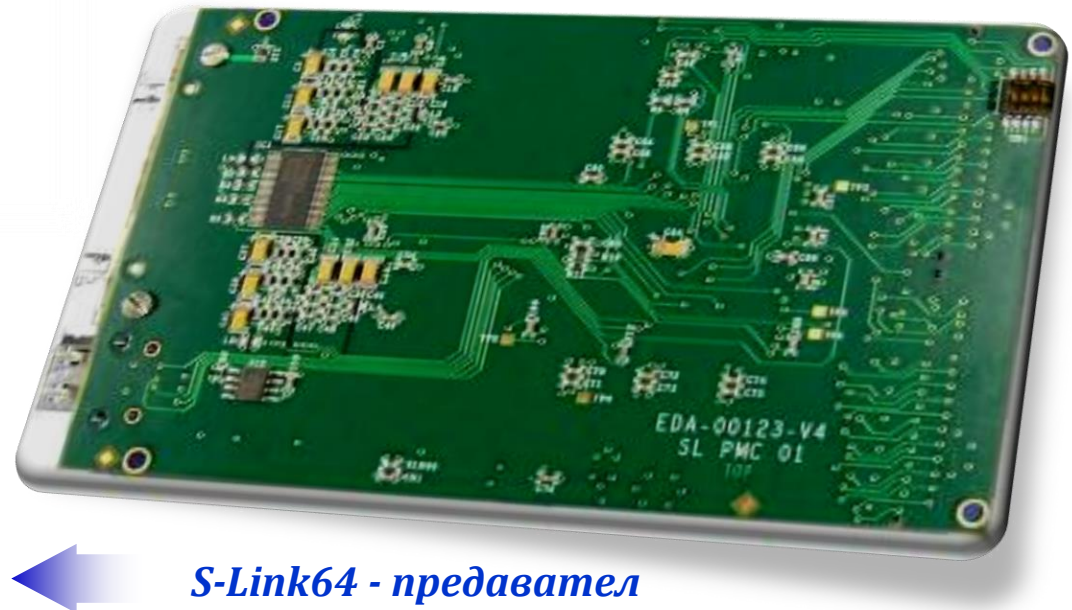
TOTEM Experiment
Trigger Rate - 1 kHz
Event Size - 40 kBytes

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

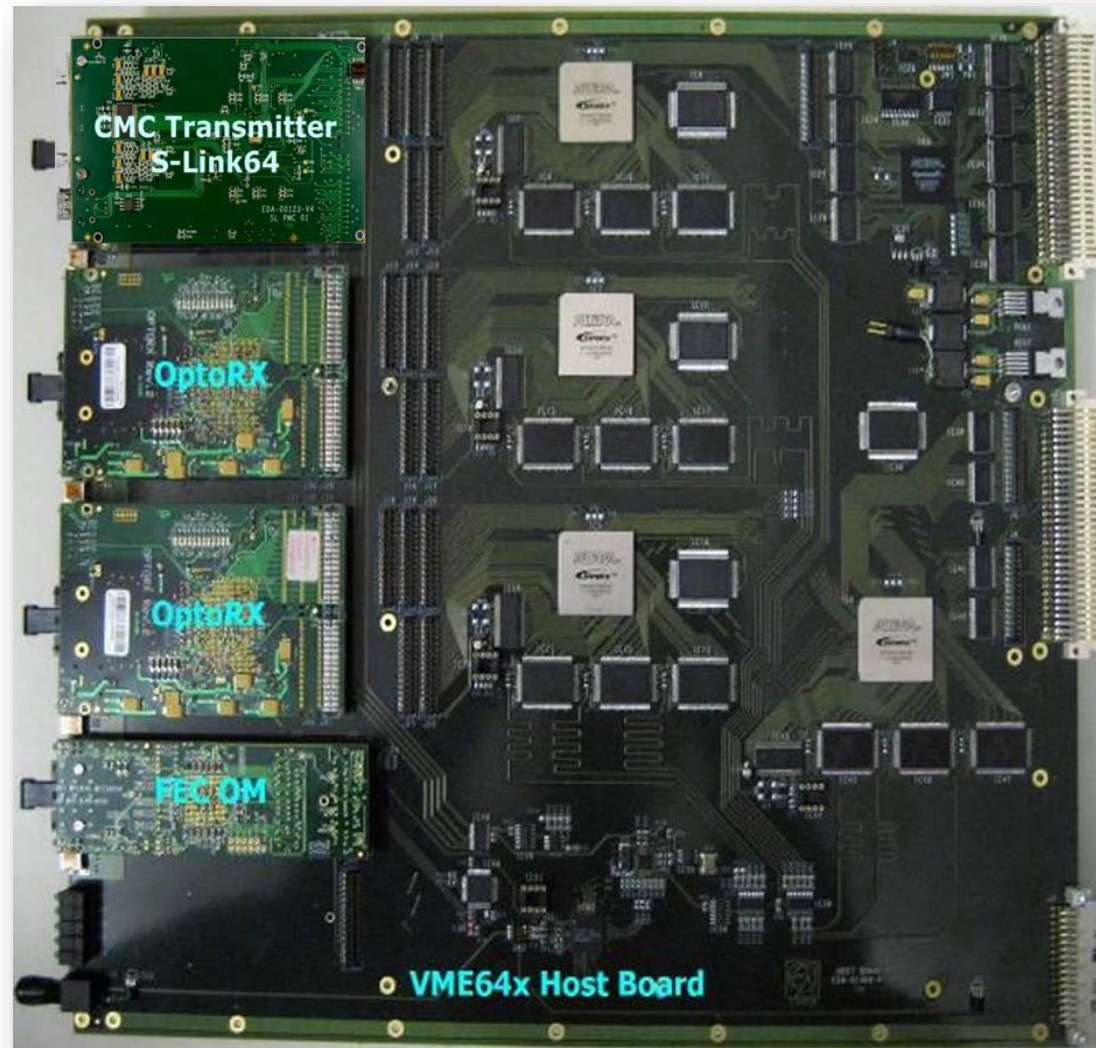


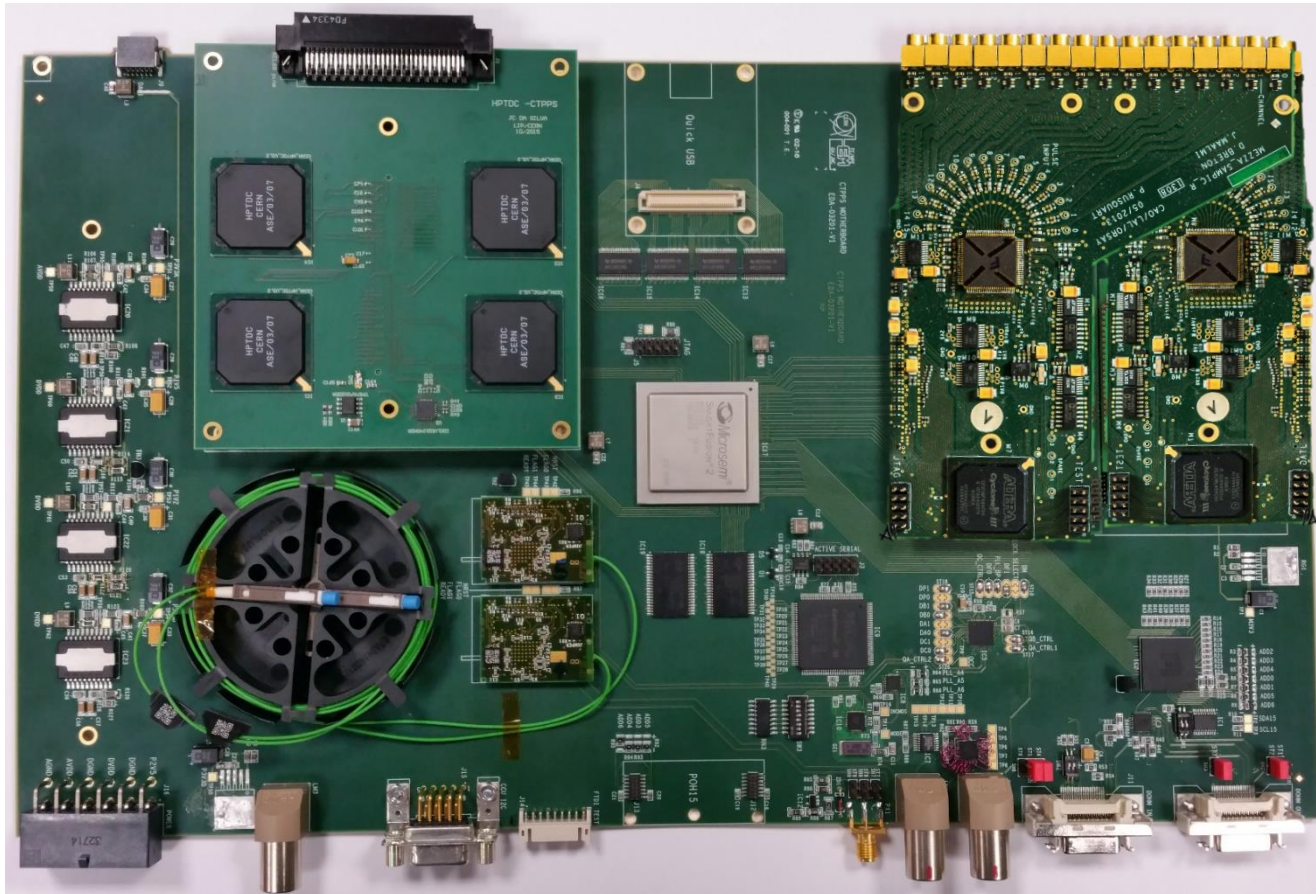
- Получава данните от 36 оптични интерфейса
- Преобразува информацията в цифров вид
- Пакетира и предава на следващото ниво



S-Link64 - предавател

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

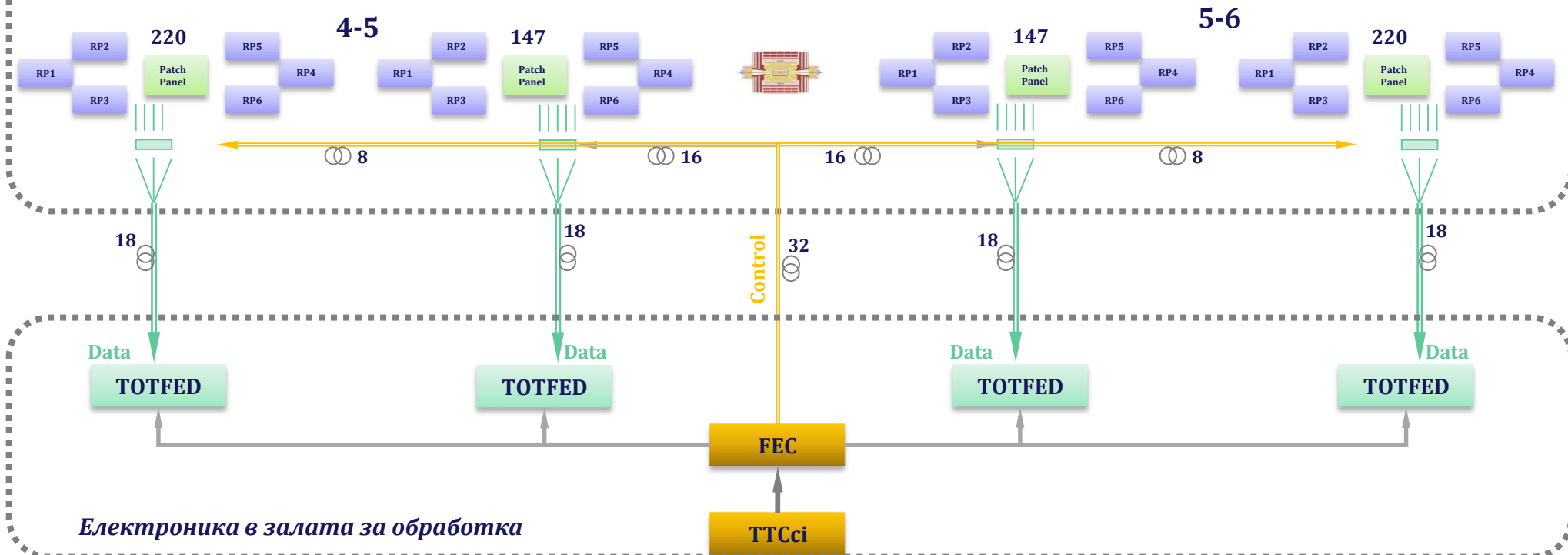


CMS TOTEM - Proton Precision Spectrometer

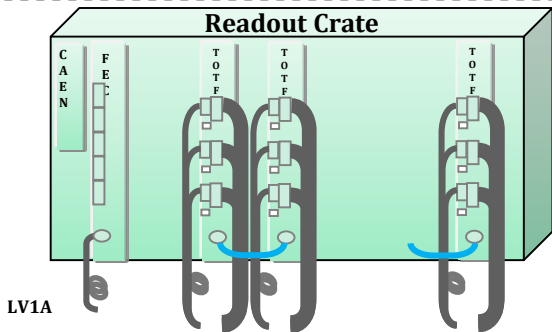
Приема информацията от детектора, преобразува я в цифров вид, обработва и предава на следващото ниво от системата за събиране на данни

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

Електроника при детекторите



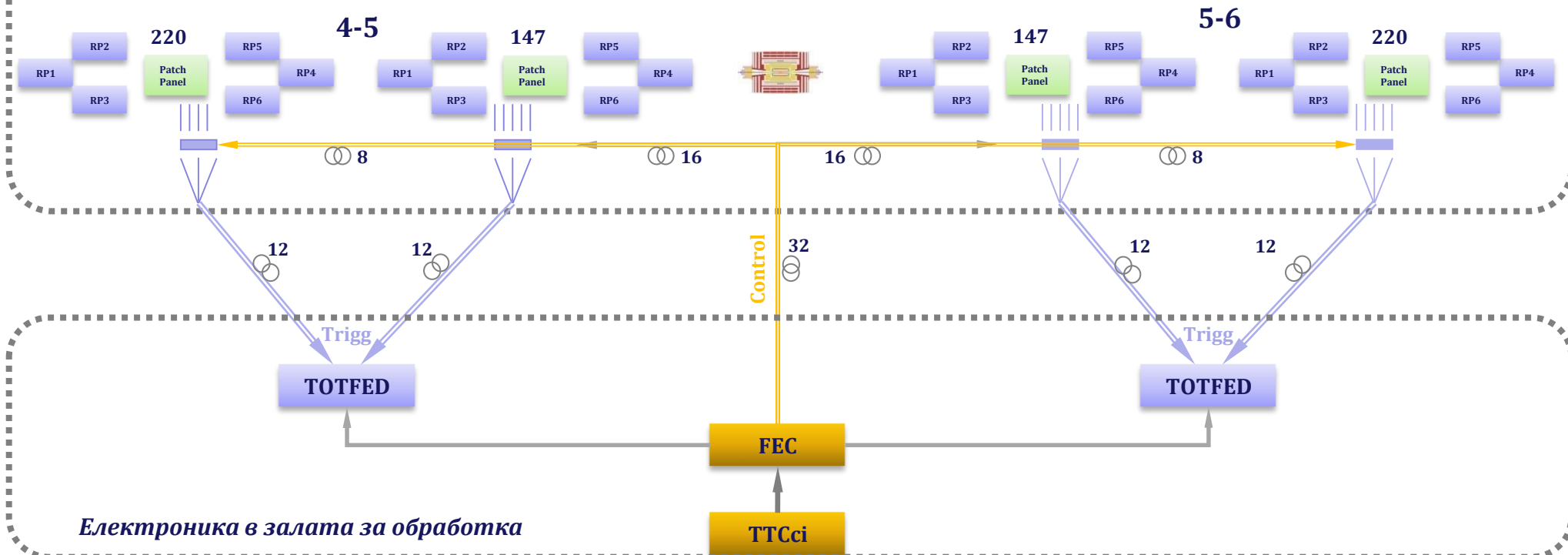
Електроника в залата за обработка



Система за събиране и обработка на данни

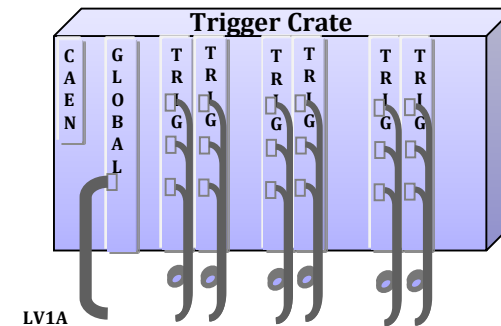
- Скорост до ~ 1KHz през VME64x от ~ 40MB/s
- S-Link64 към CMS от ~200MB/s
- 240 Si детектора с 122880 канала общо се покриват от 960 VFAT2 чипа

Електроника при детекторите

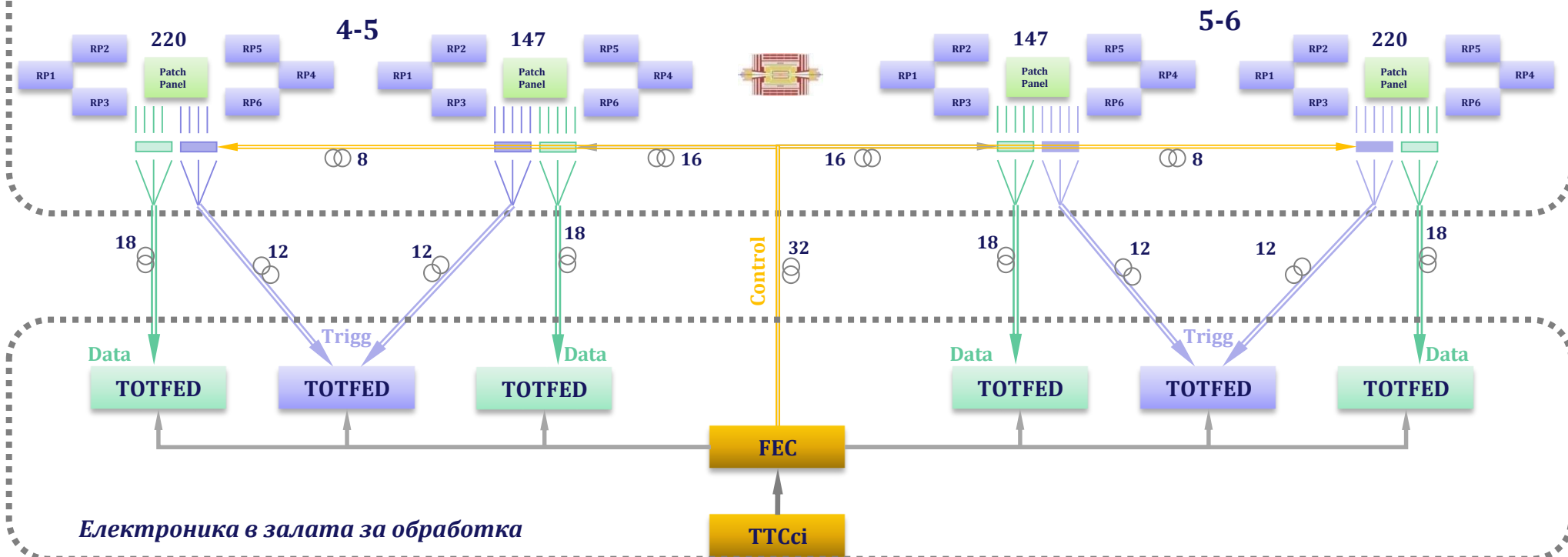


Тригерна Система

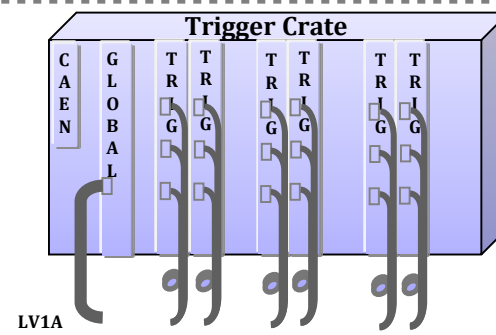
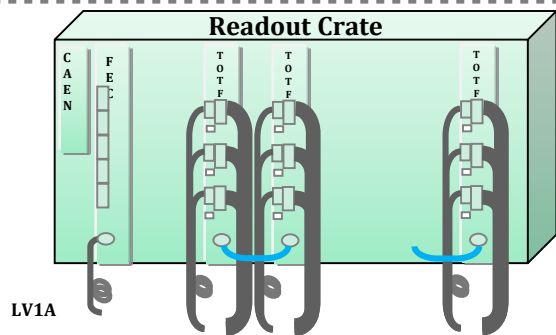
- 12 оптични интерфейса на станция за 2 основни модула TOTFED
- 2 електрически интерфейса на $\frac{1}{2}$ станция за 4 основни модула TOTFED

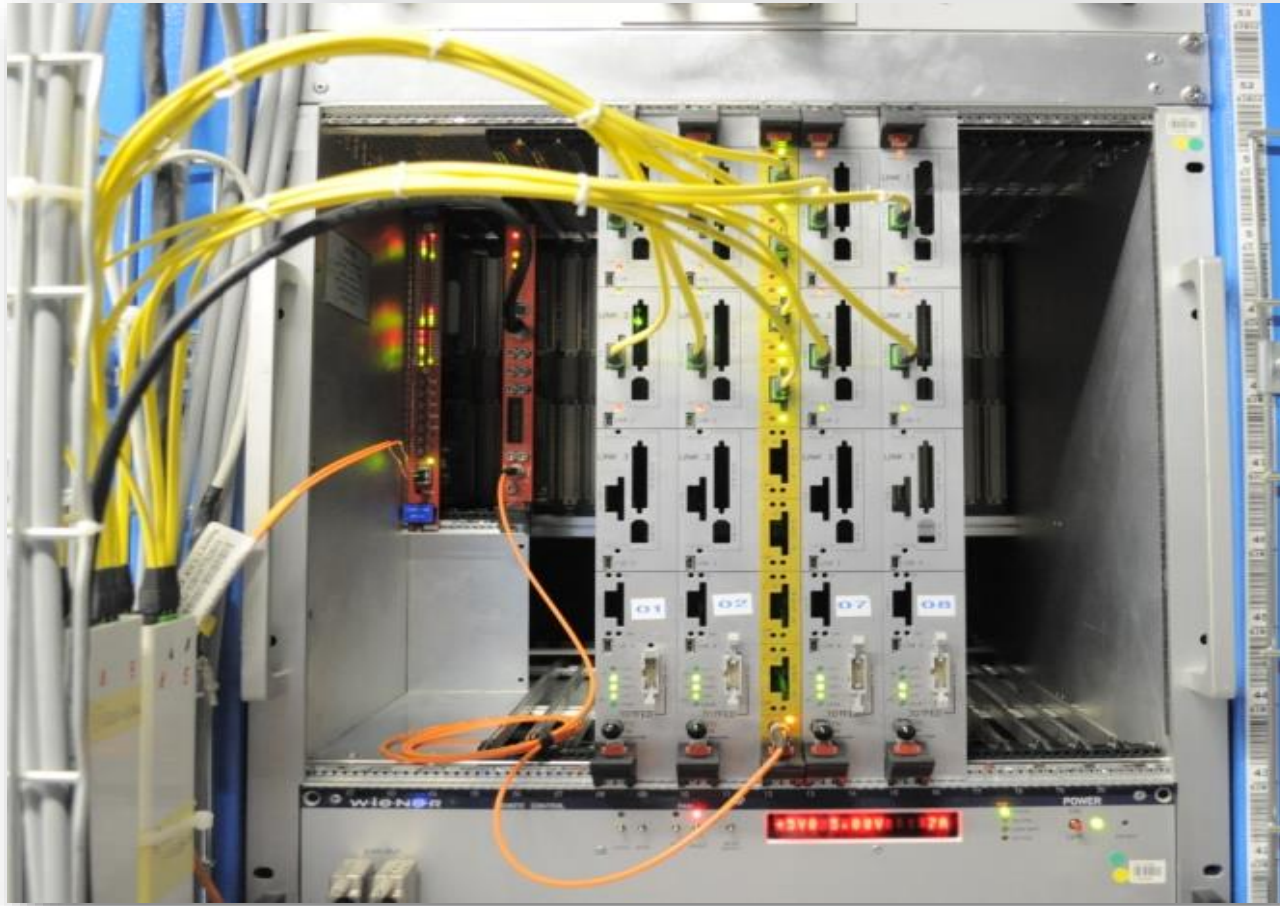


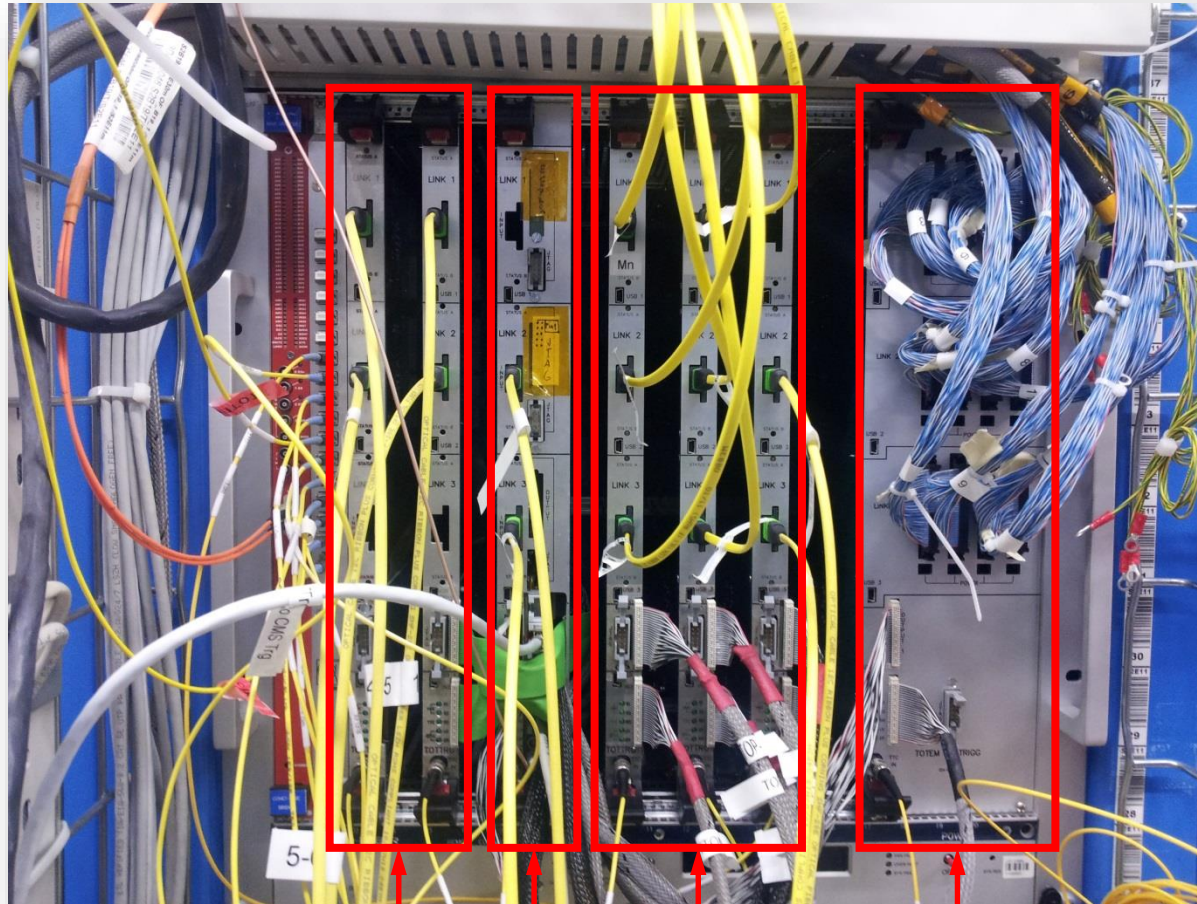
Електроника при детекторите



Електроника в зала за обработка





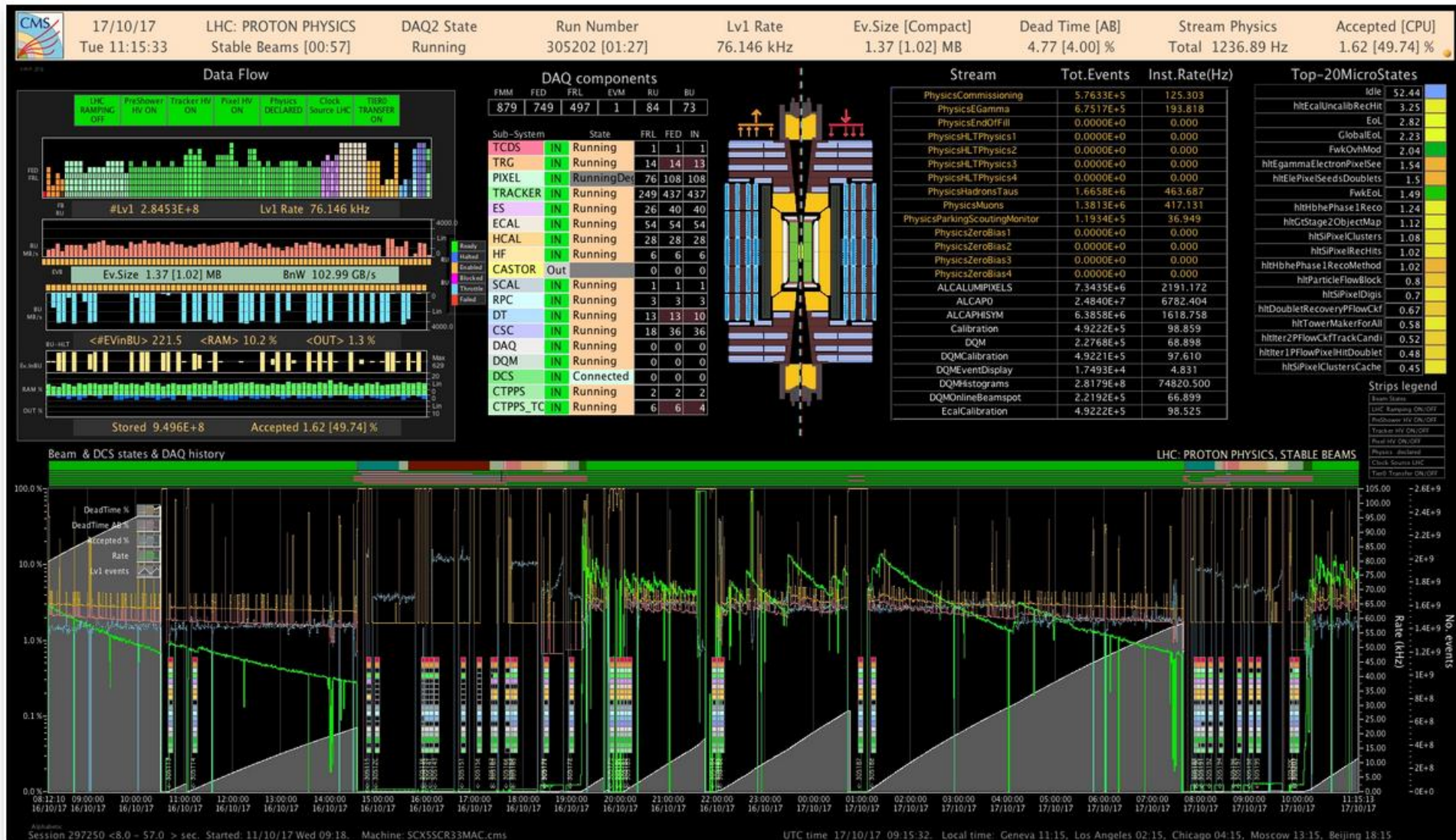


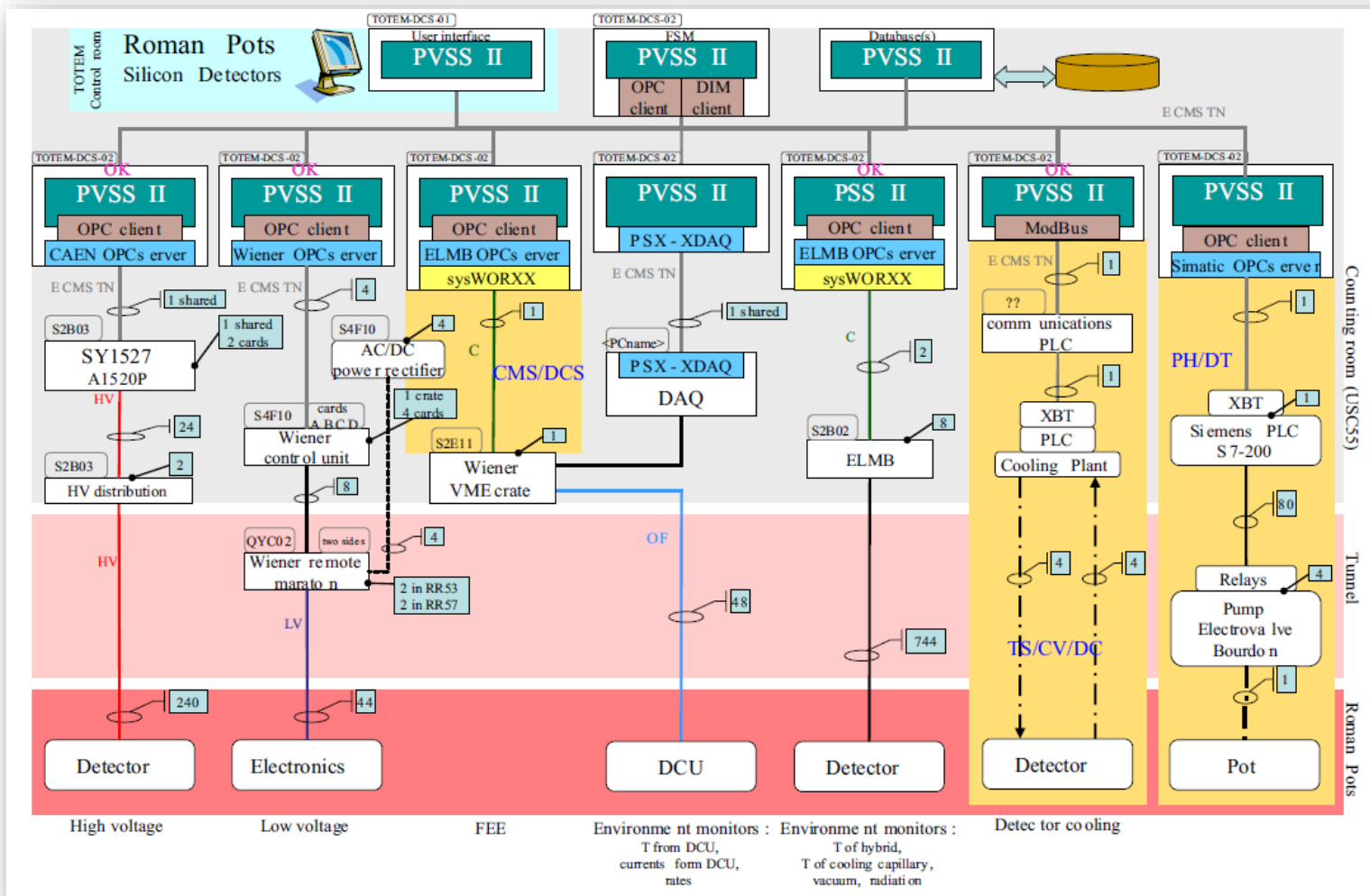
Roman Pot - optical

T1 and T2

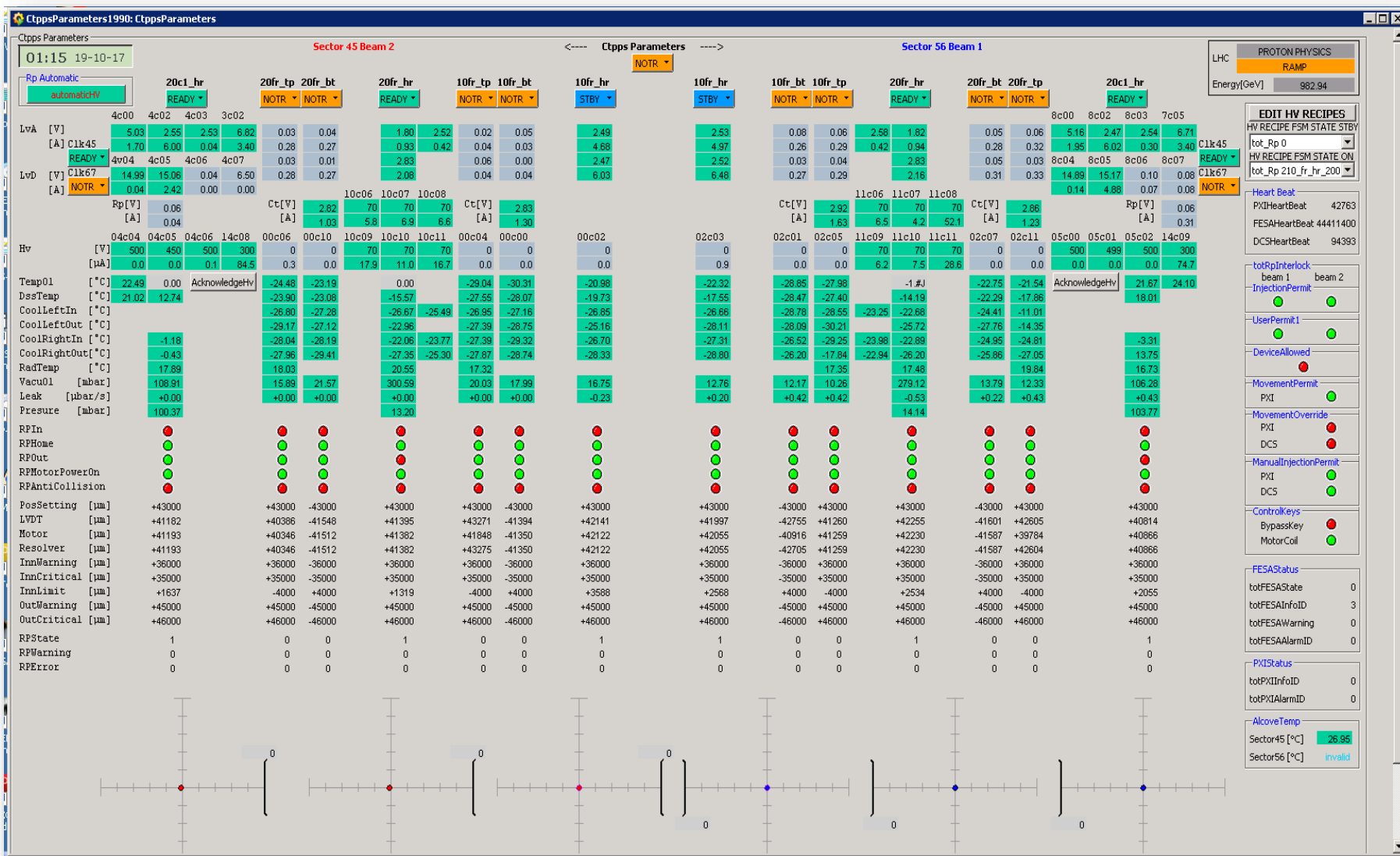
Roman Pot - electrical

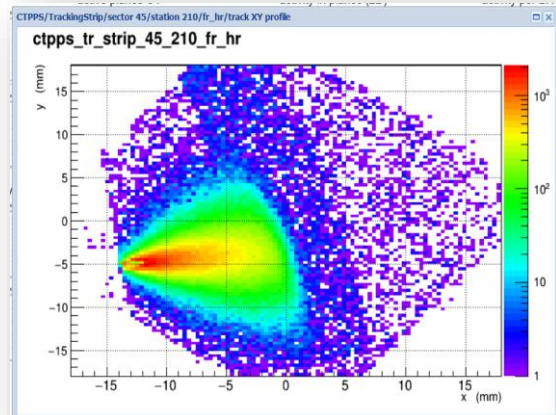
TOTEM GLOBAL Trigger Board



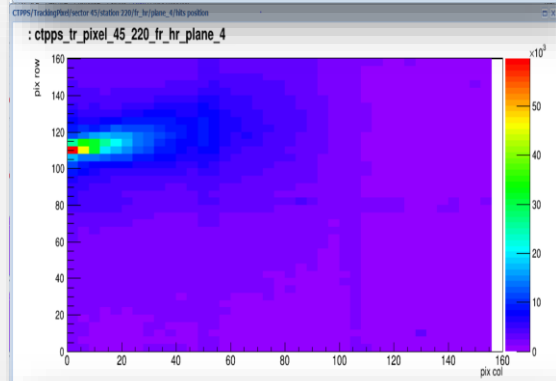
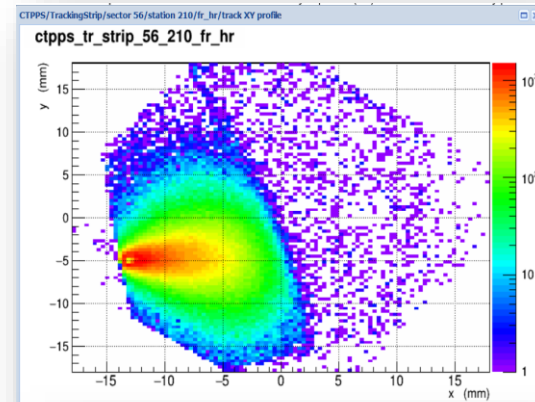


Предоставена от DCS екипа на TOTEM

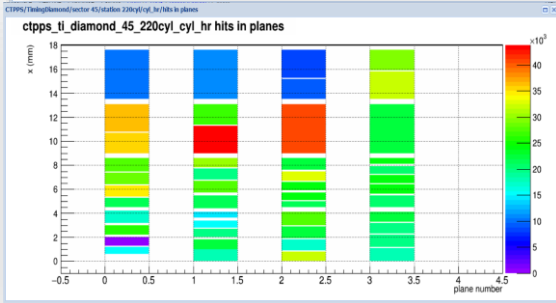
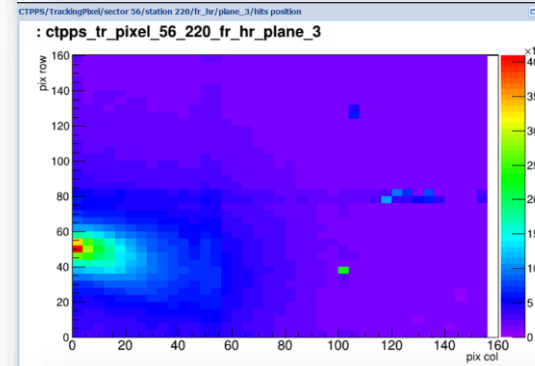




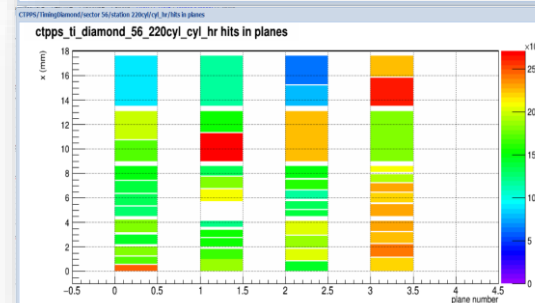
Силициеви
Детектори



Pixels
Детектори



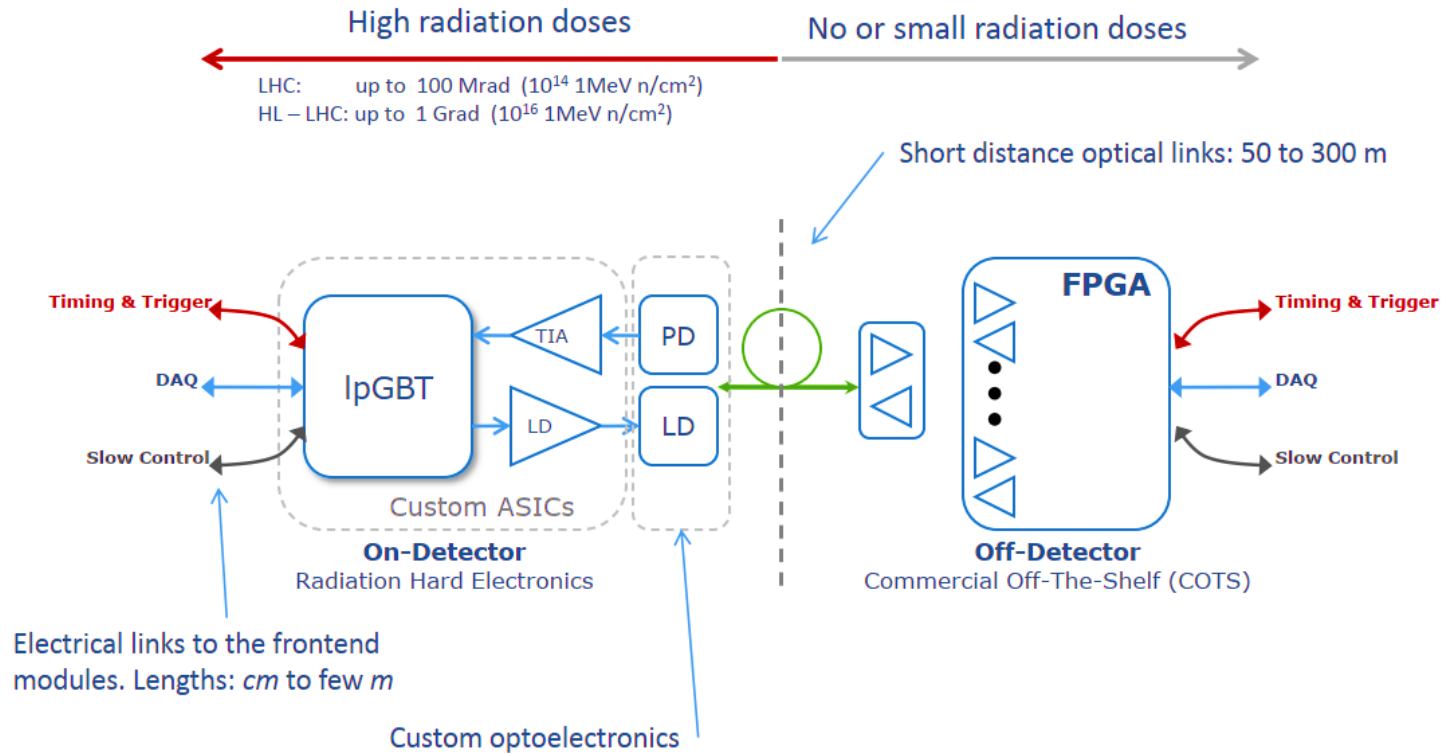
Диамантни
Детектори



HL-LHC поставя нови изисквания и предизвикателства:

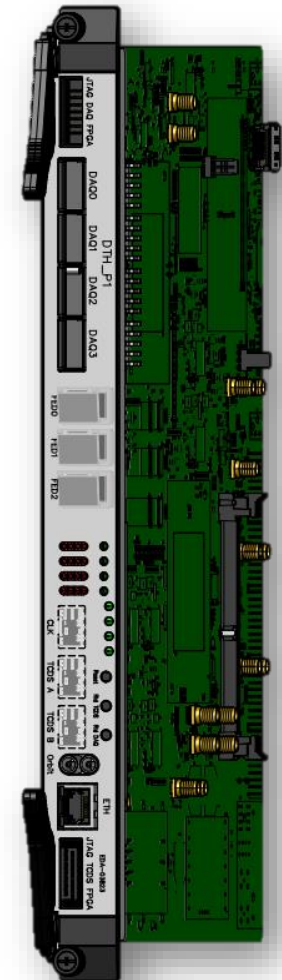
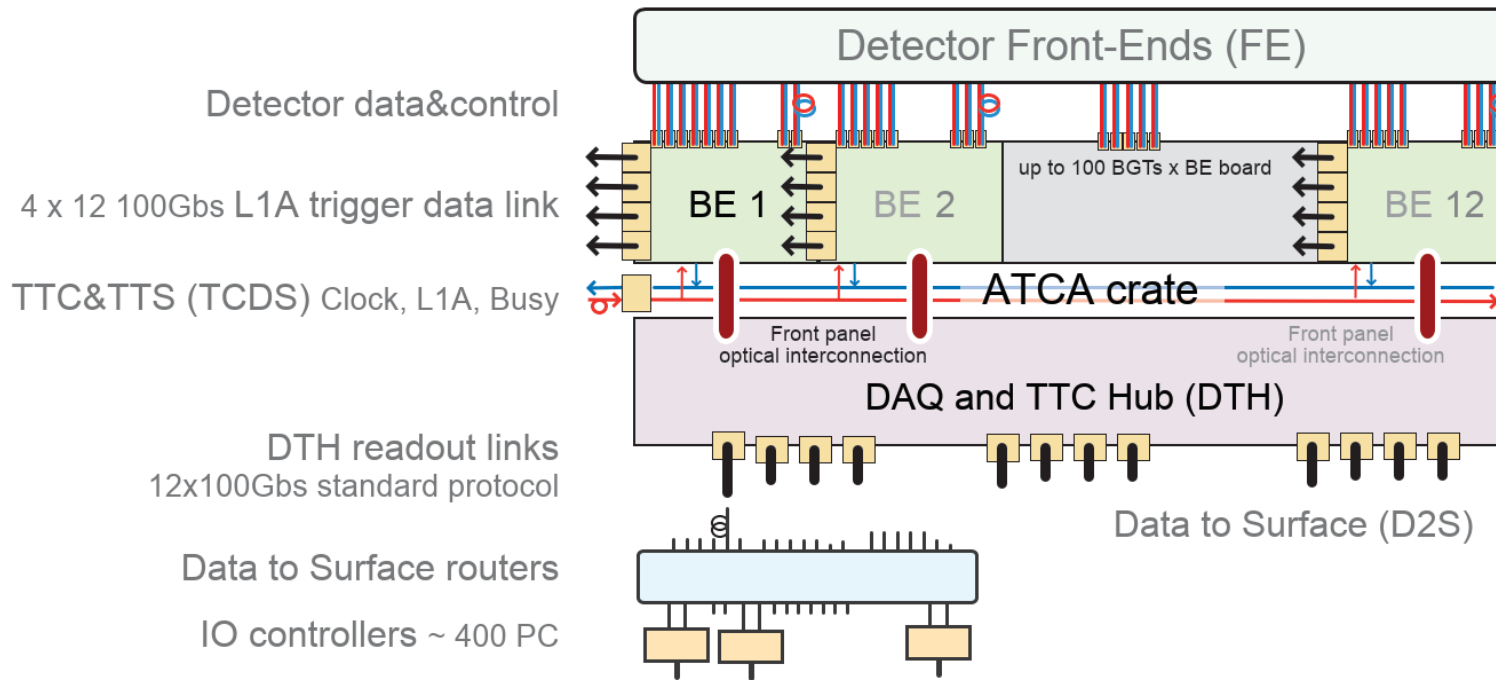
- По-голямо количество информация, скорост, бързодействие, устойчивост на радиация
- Детектори от нов тип с по-добри параметри и възможности
- CERN в колаборация с външни институти разработва специални ел. компоненти за това

IpGBT Link Architecture



Електроника при детекторите

Нова електроника в залата за събиране и обработка на данни, DAQ / Trigger системи



DTH module CMS DAQ

- **ATCA стандарт;**
- **контрол и данни по 100Gbs линкове;**
- **две нива на тригера;**
- **по-бързи оптични рутери и мощни PC станции**

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

- 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 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 (LS2) на ускорителя.
- Усилия за създаването и изграждането на експеримента се отплащат с появата на първите физически резултати, публикувани в международни издания.

Благодаря за вниманието