

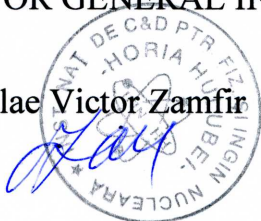
**INSTITUTUL NATIONAL DE C&D  
PENTRU FIZICA SI INGINERIE NUCLEARA  
"HORIA HULUBEI"  
IFIN-HH București**

Str. Atomistilor 407, Com. Măgurele, jud. Ilfov, C.P. MG-6, cod 76900  
tel. (01) 404.23.00, fax (01) 457.44.40, (01) 457.44.32

Avizat,

DIRECTOR GENERAL IFIN-HH,

Dr. Nicolae Victor Zamfir



**RAPORT DE CERCETARE**

**CONTRACT CEE<sub>x</sub> 05-D11-37 / 05.11.2005**

**Denumirea proiectului:**

*Fizica interactiilor nucleare si a fazelor materiei hadronice; noi rezultate,  
activitati de cercetare-dezvoltare, aplicatii-acronim NIHAM*

**Denumirea etapei:**

*Electronica front-end (FEE) pentru high-counting rate – TRD  
(HCR-TRD)*

**Perioada acoperita:** 10.12.2006 –15.04.2007

**I. Obiectivele specifice etapei raportate in corelatie cu obiectivul general al proiectului.**

Scopul prezentului proiect este de a obtine noi rezultate experimentale si teoretice privind structura nucleara si fazele materiei nucleare precum si aplicatii in alte domenii de activitate, respectiv obtinerea de date necesare cercetarilor actuale in domeniul reactorilor hibrizi.

Obiectivele specifice actualei etape sunt in corelatie cu scopul si obiectivul general al proiectului si s-au concretizat in : abordarea unei noi generatii de electronica front-end (FEE) de

avangarda in tehnologia hibrida SMD si sub forma de microcircuite dedicate de tip ASIC (Application Specific Integrated Circuits) pentru detectorul radiatiei de tranzitie cu rata mare de numarare (HCR-TRD), utilizand pachete de programe moderne si performante OrCAD si CADENCE ; proiectarea, realizarea si evaluarea performantelor primelor doua variante realizate (cu tehnologie hibrida si microcircuit de tip ASIC) de electronica front-end si stabilirea etapelor urmatoare de lucru, tinand seama de rezultatele testelor

## **II. Activitati efectuate si rezultate obtinute.**

Activitatile de baza duse pentru atingerea obiectivului mentionat al etapei s-au concentrat in principal pentru proiectarea, constructia si testarea electronicii front-end asociata detectorului TRD cu rata mare de numarare (HCR-TRD). Toate aceste activitati au fost efectuate in scopul realizarii unei generatii de FEE de avangarda pentru noile detectoare de radiatii. In acest scop s-au folosit tehnologii avansate SMD si microcircuite de tip ASIC (Application Specific Integrated Circuits) proiectate in cadrul IFIN-HH sau in colaborare cu GSI Darmstadt si KIP Heidelberg implementandu-se pachete software specializate performante.

### **1. Achizitionarea pachetelor de programe software performante pentru proiectarea FEE**

Pentru proiectarea electronicii front-end asociata atat detectorilor HCR-TRD cat si a altor tipuri de detectori realizati in tehnologii avansate s-au utilizat pachete software performante, CADENCE si OrCAD.

#### **1.1 Implementarea pachetului software CADENCE.**

Programul a fost achizitionat si implementat pentru proiectarea microcircuitelor ASIC necesare electronicii front-end a detectorilor de radiatii. Instalat pe un mediu hardware adecvat, pachetul contine :

- a) Software pentru editarea schemelor electronice, folosind componente din biblioteca corespunzatoare HIT-Kitului utilizat.
- b) Software pentru simularea schemelor microcircuitului, folosind modele tehnologice ale HIT-Kitului aferent. O intreaga gama de programe asigura urmatoarele tipuri de simulari : tipice, parametrice, corner si Monte Carlo.
- c) Software cu modele tehnologice (HIT-Kituri), necesar simularilor si executiei layoutului.
- d) Software pentru realizarea layoutului microcircuitului proiectat. Acest software are urmatoarele implicatii de baza in proiectare :
  - realizarea layoutului microcircuitului, utilizand "vederile layout " ale componentelor corespunzatoare din schema electronica ;

- verificarea layoutului asigurand ca nu exista diferente intre schema electronica si transpunerea acesteia in layout (layoutul este corect) ;
- simularea microcircuitului in "vederea layout" luandu-se in considerare si elementele (capacitati, rezistente) parazite introduse in layout.

Pachetul software CADENCE impreuna cu HIT-Kitul firmei Austria MicroSystems (AMS) implementat in laboratorul de detectori NIHAM permit proiectarea microcircuitelor ASIC in tehnologie CMOS, 0,35 microni. Acestea au fost utilizate pentru proiectarea primului microcircuit ASIC pentru detectorul HCR-TRD.

### **1.2 Implementarea programelor software OrCAD.**

Programul OrCAD pentru proiectarea si realizarea placilor de circuite imprimate a fost instalat in laboratorul de detectori NIHAM. Cu ajutorul lui se proiecteaza circuitele imprimate necesare realizarii placilor pentru electronica front-end a detectorilor. Aceste placi contin componente de tip SMD impreuna cu microcircuite comerciale sau de tip ASIC proiectate in laboratorul NIHAM. Aceasta tehnica hibrida a fost utilizata pentru testarea primelor versiuni de electronica front-end inainte de a fi implementata in microcircuit ASIC, sau pentru realizarea configuratiilor de test pentru microcircuitele de tip ASIC.

## **2. Considerente de baza avute in vedere la proiectarea FEE pentru detectorul HCR-TRD**

In cele ce urmeaza vor fi prezentate principalele argumente care au stat la baza cerintelor de proiectare ale electronicii front-end necesara detectorului HCR-TRD. Sunt aratate cerintele suplimentare ale electronicii front-end fata de cele ale electronicii ALICE-TRD, generate de ratele mari de numarare, de cerintelor fizicii experimentului, sau inovatiilor aduse noilor tipuri de detectori in cadrul laboratorului NIHAM.

Pentru identificarea mezonilor vectoriali de viata scurta in experimentele ce urmeaza sa se desfasoare la aranjamentul experimental CBM de la viitoarea facilitate experimentală FAIR de la GSI Darmstadt, una din alternativele avute in vedere este utilizarea de detectori de radiatie de tranzitie, TRD. Subdetectorul de radiatie de tranzitie al acestui aranjament experimental urmeaza sa fie folosit pentru identificarea electronilor si pozitronilor de energie mare ( $\gamma \geq 2000$ ) cu un factor de rejectie a pionilor mai bun de 200 si pentru identificarea traiectoriilor tuturor particulelor incarcate cu o rezolutie de pozitie de ordinul a 200-300 $\mu\text{m}$ . Aceste performante trebuie atinse in conditiile unui mediu cu rate mari de numarare care la unghiuri polare mici si la o distanta de 4m de tinta poate ajunge la mai mult de 100 000 particule/cm<sup>2</sup>·sec.

Solutia pentru un astfel de detector care sa isi mentina performantele de identificare si rezolutie de pozitie pana la aceasta valoare a ratei de numarare a fost o camera proportionala multifilara cu o

regiune de drift redusă la o zonă de 3mm (distanță dintre planul firelor anodice și cel catodic, respectiv electrodul de citire a semnalelor) astfel încât să genereze semnale suficient de rapide ca să minimizeze efectul pile-upului acestora și să se reducă efectele datorate sarcinii spațiale a ionilor pozitivi.

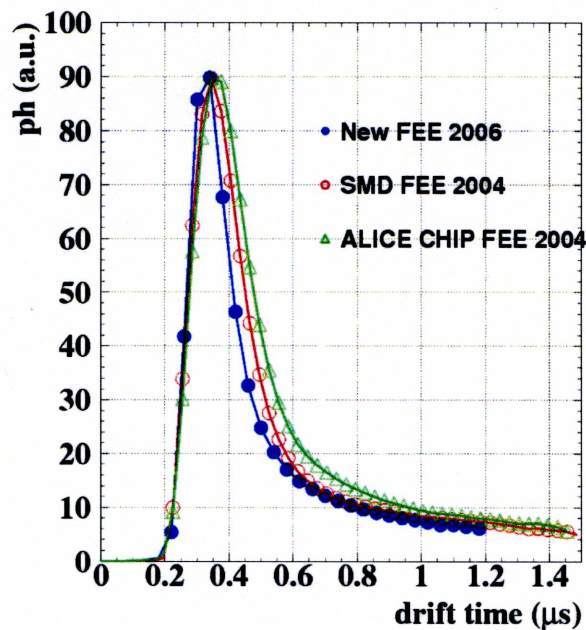
Pentru amplificarea semnalelor generate de prototipurile de detectorii TRD bazate pe astfel de camere multifilare dezvoltate pentru a satisface cerințele impuse de către experimentul CBM s-a folosit o elektronikă front-end de tip preamplificator-formator (PASA). Pentru amplificarea semnalelor generate de primul prototip de detector TRD pentru rate mari de numărare (HCR-TRD) construit de grupul nostru din IFIN-HH, (bazat pe o cameră multifilară simplă cu o zonă de drift de 3mm), s-a folosit un PASA cu 8 canale realizat cu componente discrete (pentru testele realizate cu prototipurile de detectori ALICE - TRD). Acesta are un factor de amplificare de 2mV/fC și un zgomot de 1800 electroni r.m.s. Pentru amplificarea semnalelor celor două prototipuri de detectori TRD pentru rate mari de numărare, bazate de asemenea pe camere proporționale multifilare având zonă de drift de aceeași valoare, construite de grupul de la GSI- Darmstadt, s-a utilizat un PASA realizat în tehnologie ASIC, pentru detectorii ALICE - TRD, cu un factor de amplificare de 6mV/fC și un zgomot de 1000 electroni r.m.s.

Aceste prime prototipuri construite de grupul nostru din IFIN-HH și de grupul de la GSI- Darmstadt au fost testate în fascicul de particule minim ionizante.

Deoarece aceste prototipuri au grosimea stratului de gaz de numai 6mm, eficiența de conversie a radiației de tranziție într-un singur strat este redusă, astfel încât valoarea cerută a factorului de rejecție al pionilor poate fi atinsă cu un număr de straturi de detectori TRD care poate ajunge până la 12 straturi. De aceea, în scopul creșterii eficienței de conversie a radiației de tranziție într-un singur strat, în cadrul grupului nostru a fost realizat un nou prototip de detector TRD bazat pe două camere multifilare identice având electrodul de citire al semnalelor comun, situat la mijloc, între cele două camere.

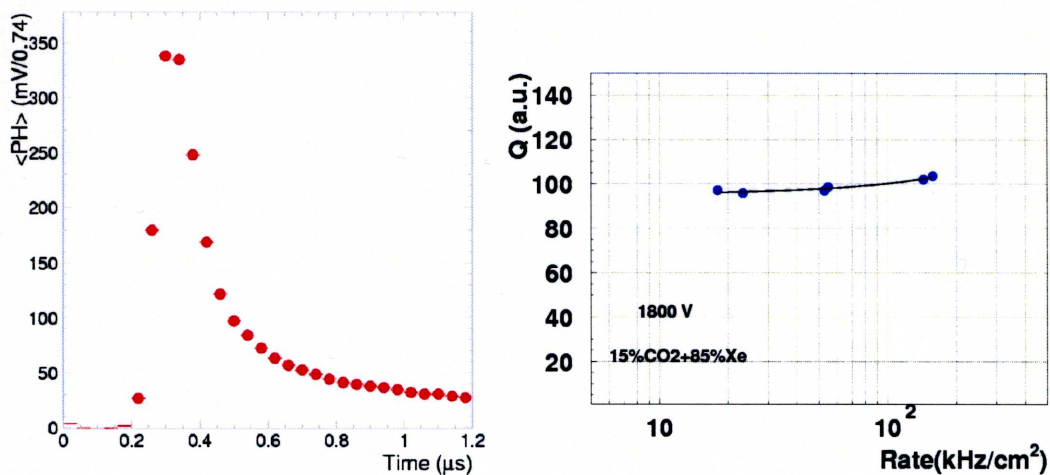
Electrodul de citire a semnalelor a fost realizat cu o structură de celule dreptunghiulare pe ambele fețe, celulele corespunzătoare de pe cele două fețe fiind conectate împreună pentru însumarea semnalelor. În acest fel grosimea stratului de gaz se dublează, fără însă a afecta performanțele de rată atinse cu primul prototip, iar eficiența de conversie a radiației de tranziție în gaz este îmbunătățită. Pentru amplificarea semnalelor generate de acest nou prototip s-a folosit o nouă versiune de PASA realizat în tehnologie ASIC cu 16 canale, dezvoltat pentru a fi utilizat în mediu cu rate mari de numărare.

Acest nou prototip de detector și elektronikă front-end asociată au fost testate în fascicul de particule minim ionizante la GSI-Darmstadt .



**Fig. 1** Dependenta de timp a valorii medii a inaltimei pulsului, rezultat al convolutiei dintre semnalul provenit de la detector si raspunsul electronicii front-end (PASA)

Pulsul de semnal obtinut cu aceste prototipuri este redata in Fig. 1 pentru un amestec gazos bazat pe XeCO<sub>2</sub> (85%/15%). Forma pulsului este rezultatul convolutiei dintre semnalul provenit de la detector, determinat in principal de deplasarea ionilor pozitivi in campul electric din detector si de raspunsul electronicii front-end (PASA). "Coadă" lunga a formei pulsului din zona valorilor mari ale timpului se datoreaza mobilitatii reduse a ionilor de Xe.



**Fig. 2 a)** Valoarea medie a inaltimei pulsului de semnal in functie de binul de timp pentru un interval de timp de 1μs.  
**b)** Dependenta de rata a sarcinii integrate pe acest interval de timp

Se observa ca semnalul obtinut cu PASA cu componente discrete este mai ingust decat cel obtinut cu chip-ul ALICE si scade mai rapid la valori mici ale inaltimei pulsului in zona timpilor lungi de drift.

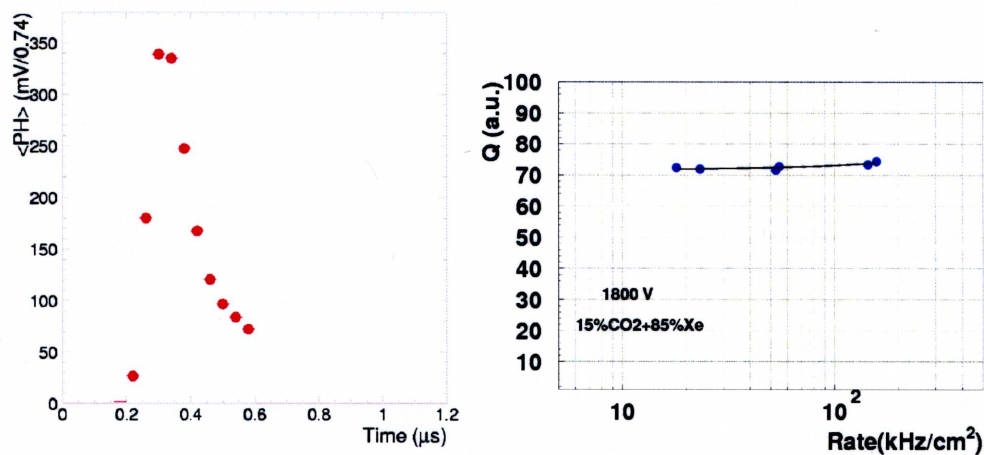
Semnalul cu largimea cea mai mica a fost obtinut folosind noul PASA, special proiectat si realizat pentru testele in fascicul din februarie 2006.

Pentru a evita pile-upul semnalelor datorita ratei mari de numarare este de dorit ca aceste semnale sa fie cat mai inguste si cu o "coada" cat mai scurta, asa cum reiese in continuare din analiza datelor obtinute in fascicul.

Pentru a obtine spectrele de energie depusa s-a integrat semnalul in timp pe o fereastră de timp de  $1\mu\text{s}$  între  $0.2\mu\text{s}$  și  $1.2\mu\text{s}$ . Din fitul Landau al distributiilor de sarcina s-a obtinut valoarea cea mai probabila a distributiei reprezentata in Fig. 2 in functie de rata de numarare.

Din dependenta sarcinii integrate de rata de numarare se observa o crestere relativa a acesteia de 8.1%, crestere datorata efectului de pile-up al semnalelor.

Pentru a demonstra necesitatea reducerii acestui efect printr-o formare corespunzatoare a semnalului de catre electronica front-end am restrans fereastra de integrare la un interval semnificativ de  $0.4\mu\text{s}$  in jurul maximului (Fig. 3).



**Fig. 3 a) Valoarea medie a inaltimei pulsului de semnal in functie de binul de timp pentru un interval de timp de  $0,4\mu\text{s}$ .**

**b) Dependenta de rata a sarcinii integrate pe acest interval de timp**

In acest caz se observa un efect important de reducere a cresterii relative a semnalului, care este de numai 3.4%.

Analiza efectuata a aratat necesitatea proiectarii si realizarii unei electronici front-end adecvata pentru medii cu rate mari de numarare.

### 3. Proiectarea electronicii front-end (FEE) pentru detectorul HCR-TRD

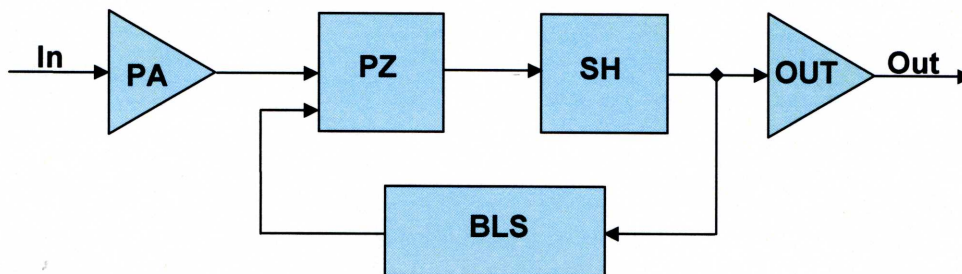
Tinand seama de considerentele exprimate mai sus, si avand in vedere atat experienta in privinta cerintelor realizarii cat si rezultatele obtinute la elaborarea electronicii front-end pentru detectorul ALICE-TRD, [1,2,3] au fost parcurse urmatoarele etape pentru elaborarea electronicii front-end a detectorului HCR-TRD:

### 3.1 Proiectarea si realizarea unei electronici front-end folosind tehnologie hibrida SMD si microcircuite comerciale

Realizarea electronicii front-end folosind tehnologie hibrida SMD si microcircuite comerciale s-a materializat intr-un prim model care a permis obtinerea unor rezultate calitative si cantitative care sa conduca spre o mai buna precizare a cerintelor globale si performantelor electronicii front-end. Aceasta forma ne-a permis sa facem optimizari in alegerea valorilor componentelor care sunt esentiale in stabilirea parametrilor si performantelor de baza astfel incat sa satisfaca cerintele specifice pentru detectorii de tip HCR-TRD.

Din punct de vedere constructiv acest prim model de electronica front-end este realizat sub forma unei cartele de circuit imprimat continand 8 canale identice. Cartela este introdusa intr-un ansamblu ecranat paralelipipedic de dimensiuni 15x15x4,5 cm.

Schema bloc a unui canal pentru procesarea analogica a semnalului unui pad al detectorului HCR-TRD este data in Fig. 4

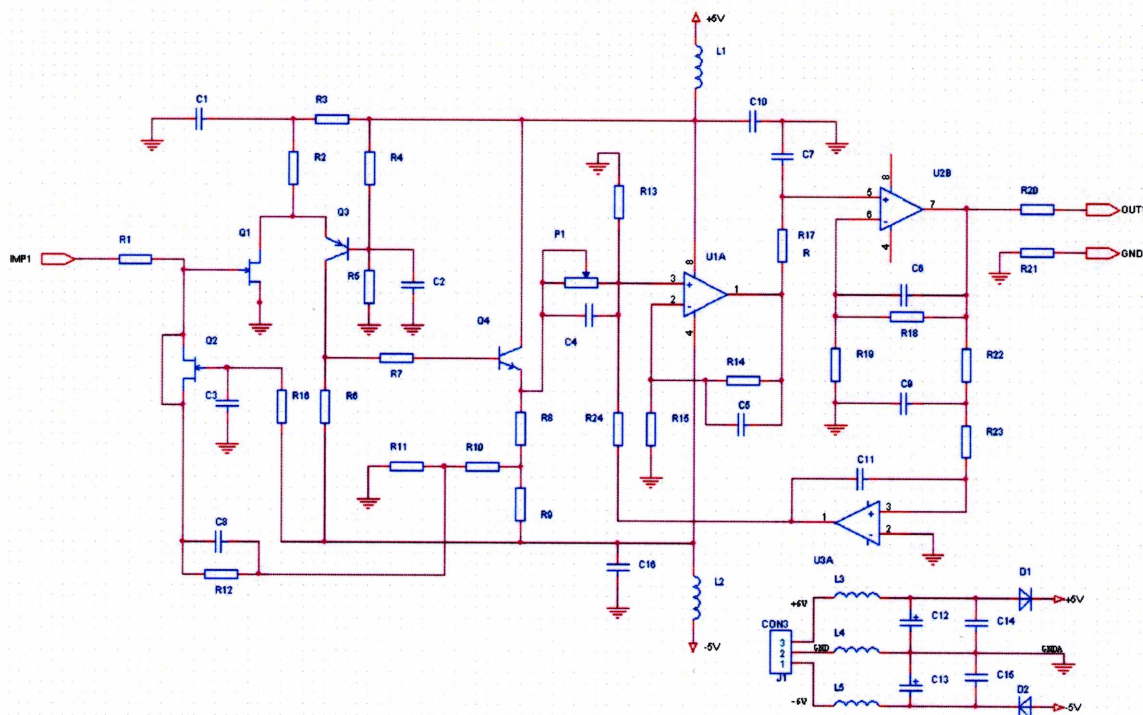


*Fig. 4 Schema bloc a unui canal analogic a FEE HCR-TRD  
(versiunea in tehnologie hibrida SMD)*

Elementele de baza sunt: preamplificatorul sensibil la sarcina (PA), circuitul pol-zero (PZ), shaperul (SH) amplificatorul de iesire (OUT) si circuitul de restabilire a nivelului (liniei) de baza a amplificatorului de iesire (BLS).

Schema electrica a unui canal analogic este data in Fig. 5

Preamplificatorul sensibil la sarcina (PA) este alcatuit in principal din tranzistoarele Q1, Q3 (in configuratia cascode) si Q4. Configuratia cascode si tranzistorul de intrare Q1 cu efect de camp asigura amplificare mare si zgomot redus raportat la intrare. Grupul R12·C8 constituie elementele de integrare ale preamplificatorului sensibil la sarcina. Circuitul pol-zero (PZ) este materializat de componentele P1, C4, R13. Shaperul (doua etaje) este alcatuit din amplificatorul operational U1 si grupul R15·C5 (primul etaj) si din amplificatorul operational U2 si grupul R18·C6 (cel de-al doilea etaj). Amplificatorul operational U2 al celui de-al doilea shaper, impreuna cu R20 si R21 constituie si amplificatorul de iesire al lantului analogic (canalului).



**Fig. 5 Schema electrica a unui canal analogic a FEE HCR-TRD  
(versiunea in tehnologie hibrida SMD)**

Amplificatorul operational U3 impreuna cu grupurile de integrare R22·C9 si R23·C11 compun circuitul pentru stabilizarea liniei de baza (BLS) a canalului analogic.

Elementele partilor constitutive ale canalului analogic au fost proiectate si optimizate pentru a fi compatibile cu cerintele detectorului HCR-TRD. Dintre acestea mentionam: rata medie a impulsurilor de intrare de circa 200kHz, aceasta determinand un optim pentru constanta de integrare a preamplificatorului (R12·C8) de circa 3 $\mu$ s. Constanta de timp acceptabila a celor doua shapere, tinand seama si de zgomotul admis, s-a optimizat in jur de 30ns. In aceste conditii durata la semi inaltime (FWHM) a impulsurilor de iesire este de circa 90ns iar zgomotul echivalent la intrare mai mic decat 2000 electroni. Cu un castig iesire/intrare de circa 2,4mV/fC, nivelul pulsurilor de iesire este intre 0...600mV pentru un semnal la intrare cuprins intre 0...250fC.

Pentru o buna stabilitate a nivelului de iesire al lantului analogic, avand in vedere rata ridicata a semnalului de intrare, s-a considerat necesara introducerea circuitului de stabilizare (BLS in Fig. 4). Acesta actioneaza numai asupra nivelelor de curent continuu sau de joasa frecventa (cativa kHz) astfel incat impulsurile reprezentand semnalele utile, de frecventa ridicata, sunt amplificate corect. In conditiile mentionate anterior, zgomotul echivalent raportat la intrare (ENC) in jur de 2000 electroni (0,3fC), este considerat acceptabil.



### 3.2 Proiectarea si realizarea unei electronici front-end, de tip microcircuit ASIC, pentru detectorii HCR-TRD (versiunea PASA-1)

Prima versiune a electronicii front-end pentru detectorul HCR-TRD, in varianta ASIC, a fost dezvoltata in cadrul colaborarii CBM, avandu-se in vedere rezultatele obtinute in varianta FEE cu tehnologie hibrida SMD precum si experienta capatata in realizarea electronicii front-end pentru detectorul ALICE TRD.

Microcircuitul de tip ASIC PASA-1 contine 16 canale analogice preamplificator-shaper identice preluand semnale de la 16 paduri ale detectorului. El este realizat in tehnologia CMOS 0,35 $\mu$ m, C35B4M3 n-well a firmei Austria MicroSystems (AMS). Aria microcircuitului este in jur de 12mm<sup>2</sup>.

Schema bloc a unui canal este data in Fig. 6.

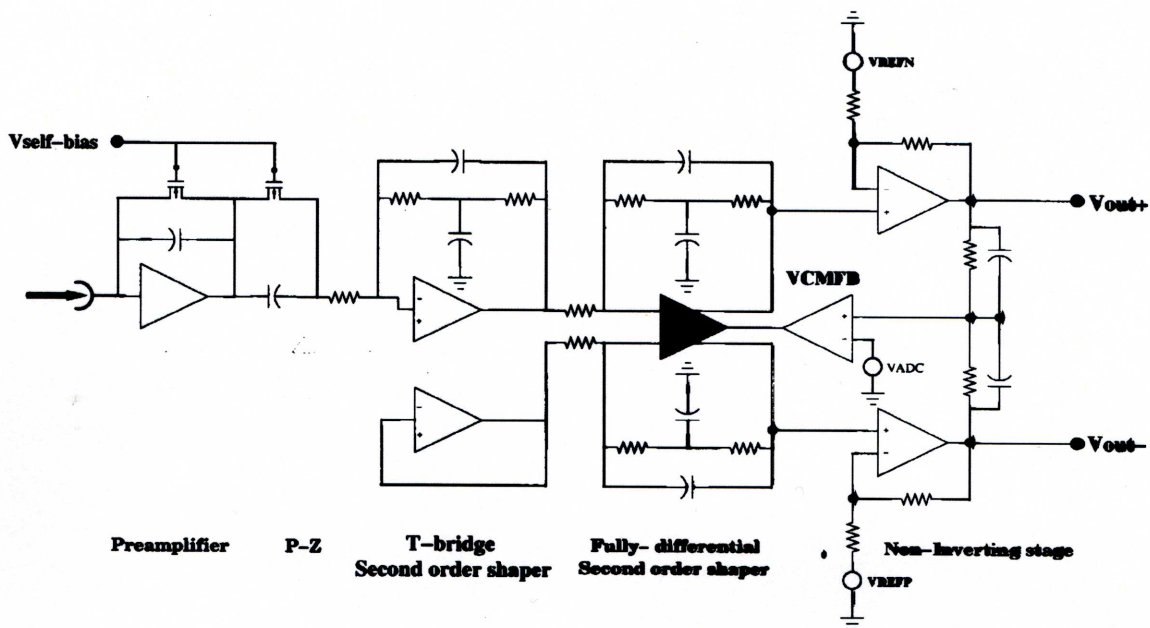


Fig. 6 Schema bloc a unui canal PASA-1, realizat in varianta ASIC

Principalele elemente functionale ale unui canal de preamplificare/formare :

- Preamplificatorul sensibil la sarcina cu rol de integrator, din punct de vedere matematic al curentului unui pad al detectorului pentru rate mari de numarare a radiatiei de tranzitie HCR-TRD. Acest tip de preamplificator confera lantului de masura un zgomot echivalent de intrare foarte redus.
- Circuitul "pol-zero" (PZ) este un filtru "trece sus" cu rolul de diminuare a zgomotelor de joasa frecventa lucrind in stransa legatura cu circuitul de formare a impulsului.
- Circuitul formator de ordinul doi, nediferential, are rolul de filtru "trece jos". Impreuna cu circuitul pol-zero realizeaza o caracteristica de frecventa speciala care asigura atat

reducerea zgomotului lantului de procesare a semnalului cat si o prima formare semigaussiana.

- Circuitul formator de ordinul doi diferential are rol dublu. Pe de o parte avand ca si precedentul doi poli complexi conjugati are rol de filtru "trece jos" accentuand si imbunatatind formarea semigaussiana, cu implicatii benefice asupra reducerii zgomotului, iar pe de alta parte face transformarea catre o iesire diferentiala a semnalului. Aceasta este necesara actionarii convertoarelor analog-digitale care se gasesc in microcircuitul digital care succede PASA-1 si care au intrari diferentiale.
- Amplificatorii neinversori de iesire au rolul de a asigura nivelele de curent continuu si amplitudinile semnalului corespunzatoare cerintelor convertoarelor analog-digitale.

### 3.2.1 Structura preamplificatorului sensibil la sarcina

Preamplificatorul sensibil la sarcina constituie subanablul de baza al unui canal. El este elementul principal in privinta contributiei zgomotului. Pentru obtinerea unui zgomot cat mai redus s-a avut in vedere atat alegerea unei configuratii electronice convenabile cat si a componentelor acesteia. Configuratia aleasa este aceea a unui preamplificator sensibil la sarcina tip Radeka (Fig. 7). [4]

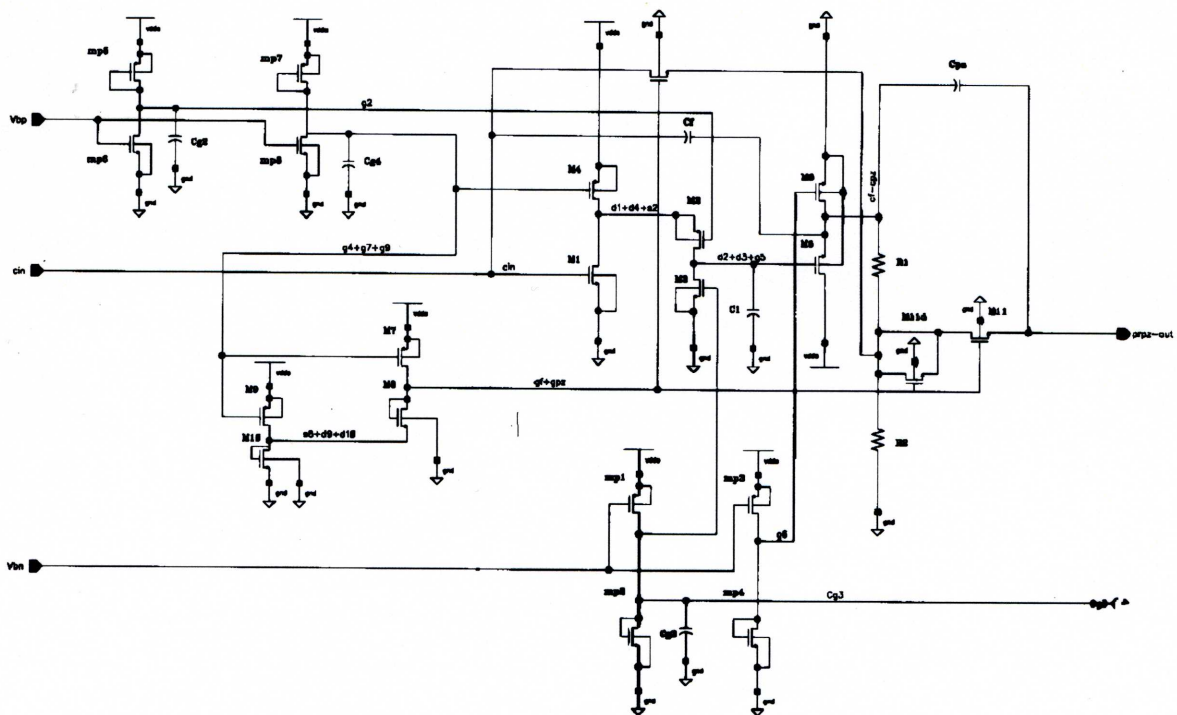


Fig. 7 : Preamplificatorul si circuitul PZ al microcircuitului HCR-TRD PASA-1.

Tranzistorul de intrare M1 a fost selectat pentru realizarea unui bun compromis in ceea ce priveste nivelul zgomotului si puterea consumata, tinand in permanenta cont de capacitatea detectorului estimata la 10pF. In aceste conditii s-a ales un tranzistor de intrare NMOS cu  $W/L=800/0,35$ . Curentul de drain al acestui tranzistor este de 1,8mA ceea ce asigura un zgomot raportat la intrare mai mic de 1000 electroni. Capacitatea de reactie  $C_{fb}$  este de 0,5pF iar rezistenta echivalenta de reactie a tranzistorului  $M_{fb}$  ( $W/L=1/35$ ) este de  $9M\Omega$ . Amplificarea in bucla deschisa a preamplificatorului este de 70dB, realizabila folosind configuratia de tip cascoda. Tranzistorul cascoda M2 de tip PMOS are  $W/L=500/0,6$  iar curentul sau de drain in jur de  $150\mu A$ . Frecventa corespunzatoare amplificarii unitare este de 310MHz. Iesirea preamplificatorului prin intermediul tranzistoarelor M5 si M6, care formeaza un repetor pe sursa, actioneaza circuitele pol-zero (PZ). Tranzistoarele M3 si M4 sunt generatoare de curent.

### 3.2.2 Circuitul P-Z

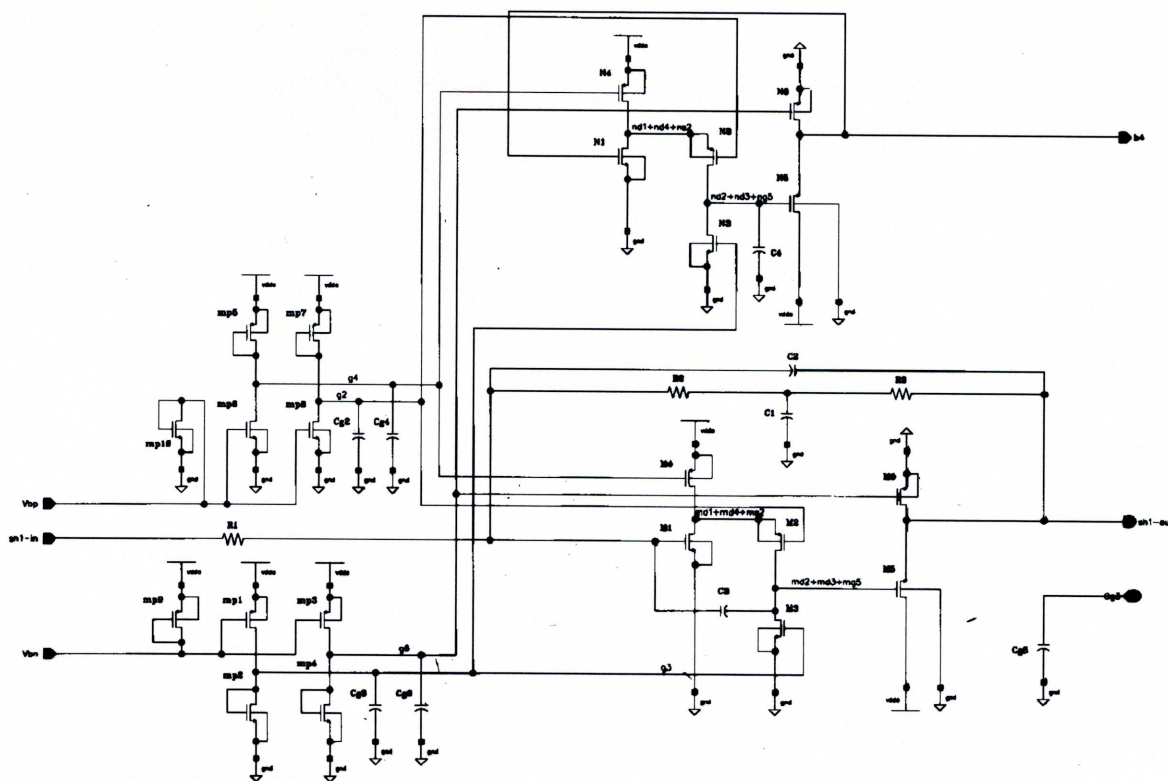
Acesta este aratat de asemenea in Fig. 7. Pentru o buna compensare pol-zero, capacitatea  $C_{pz}$  respectiv rezistenta  $R_{pz}$  a acestuia trebuie sa satisfaca conditiile  $C_{pz} \cdot R_{pz} = C_{fb} \cdot R_{fb}$ . Acest lucru se realizeaza alegand pentru capacitatea  $C_{pz}$  un multiplu al capacitatii  $C_{fb}$  iar rezistenta  $R_{pz}$  este obtinuta prin conectarea in paralel a aceluasi numar (multiplu) de tranzistoare de tip  $M_{fb}$ . In cazul concret s-a ales un multiplu de 16. Deci  $C_{pz} = 16 C_{fb}$  adica  $C_{pz} = 8pF$  iar  $R_{pz} = 1/16 R_{fb}$  adica  $R_{pz} = 60k\Omega$ . Iesirea circuitului pol-zero (PZ) ataca intrarea primului formator (shaper) de ordinul doi de tip nediferential.

### 3.2.3 Primul formator nediferential

Rolul acestui circuit este de a forma impulsul obtinut de la ansamblul preamplificator + circuit pol-zero. Formarea este necesara reducerii zgomotului datorita efectului de filtrare al circuitului. In acelasi timp forma semigaussiana obtinuta la iesirea acestui circuit este mult mai adecvata pentru prelucrari ulterioare. Schema primului circuit formator este aratata in Fig. 8.

Circuitul de formare, cu filtru de tip dublu T este realizat in jurul unui amplificator operational avand aceeasi schema ca cea a preamplificatorului (un circuit de tip cascoda). Tranzistorul de intrare M1 cu  $W/L = 80/0,35$ , avand curentul de drain  $I_D = 180\mu A$  este o scalare cu un factor subunitar de circa 1/10 a tranzistorului M1 al preamplificatorului. Prin aceasta punctul de functionare in curent continuu este acelasi, cu aceleasi variatii ca si pentru preamplificator. Aceasta confera ansamblului preamplificator-pol zero-circuit formator o buna stabilitate la variatii cu temperatura, cu tensiunea de alimentare si ale procesului tehnologic. Si aici configuratia de tip cascoda ofera o reducere a zgomotului intregului circuit in comparatie cu o configuratie de tip diferential. Iesirea de tip repetor pe sursa a primului circuit de formare, ofera un impuls pozitiv cu amplitudinea maxima de circa 700mV care se va aplica celui de al doilea formator de ordinul doi de tip diferential. Constanta de formare a

primului circuit de formare este de circa 25ns. Amplificarea in bucla deschisa a circuitului de formare este de circa 66dB.

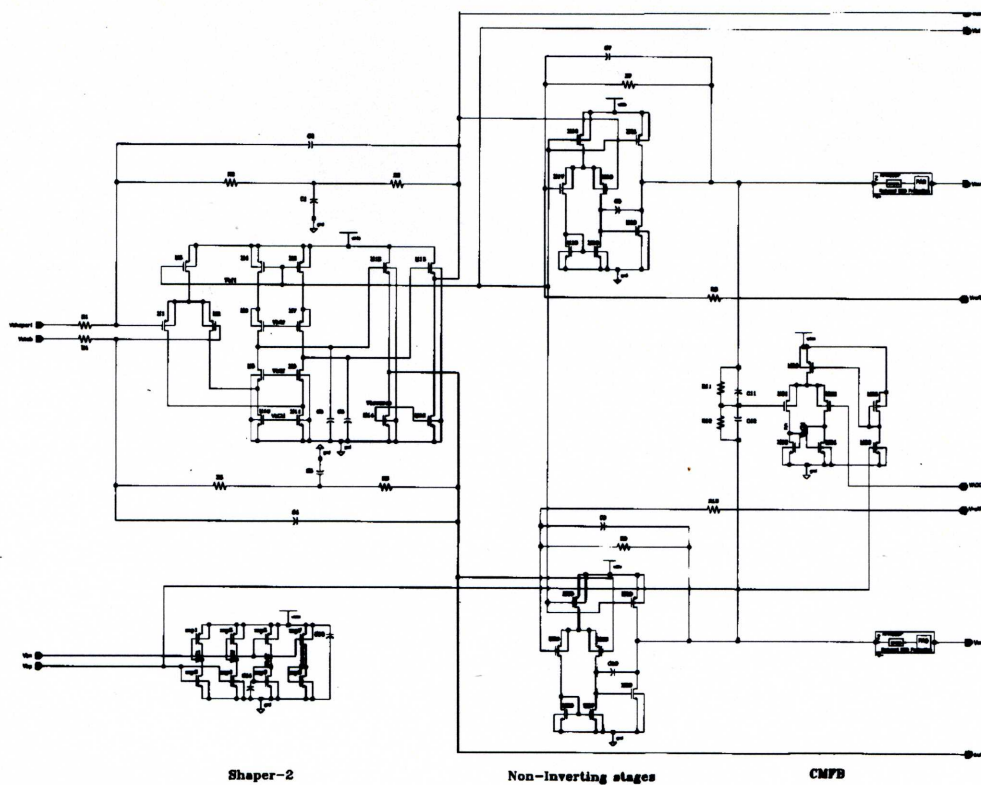


**Fig. 8: Primul circuit de formare si circuitele de polarizare aditionale.**

In schema din Fig. 8 se mai observa un circuit identic ca structura cu circuitul de formare, alcatuit din tranzistoarele N1...N6. Acest circuit lucrând cu reactie totala, are rol de a genera o tensiune de polarizare in curent continuu necesara celui de al doilea circuit formator de ordinul doi, circuit cu o structura de intrare-iesire diferentia.

**3.2.4 Formatorul de ordinul doi diferential si circuitele anexe**

Pentru reducerea in continuare a zgomotului si imbunatatirea formei semigaussiene a semnalului de iesire al preamplificatorului/formator (PASA) s-a introdus un al doilea formator de ordinul doi astfel incat proprietatea de filtrare sa fie accentuata. Acest formator are intrarile si iesirile diferentiale. Intrarile sale sunt actionate de iesirea primului formator si de iesirea circuitului de polarizare si stabilizare a nivelului de curent continuu. Schema corespunzatoare este data in Fig. 9. Formatorul este realizat in jurul amplificatorului de tip cascoda diferential, alcatuit din tranzistoarele M1...M15 de tip PMOS si NMOS. Si aici filtrul este de tip dublu T dar cu structura diferentia. Constanta de formare este ca si in cazul primului formator de 25ns. La iesirea filtrului se obtin impulsuri semigaussiene simetrice axate pe nivelul de mod comun care este generat de convertorul analog-digital ce succede PASA.



**Fig. 9 : Formatorul diferential de ordinul doi si circuitele sale anexe.**

Iesirile formatorului diferential actioneaza doua etaje neinversoare cu amplificarea +2 si care realizeaza in acelasi timp deplasarea celor doua nivele de curent continuu ale iesirilor cu +0,5V si -0,5V astfel ca iesirea neinversoare are nivelul de curent continuu de +0,5V iar cea inversoare de +1,5V. In acest mod semnalul unipolar pozitiv cu amplitudinea maxima de circa 700mV al primului formator genereaza un lob pozitiv axat pe 0,5V precum si un lob negativ axat pe 1,5V, ambele cu amplitudinea maxima de 1V. Astfel intrarile convertorului analog-digital primesc un semnal diferential de -1V ( $U_{ni} - U_i = 0,5 - 1,5 = -1V$ ) adica nivelul minim (lipsa impulsului generat de primul formator) si de +1V ( $U_{ni} - U_i = 1,5 - 0,5 = +1V$ ) adica nivelul maxim (pentru impulsul de amplitudine maxima generat de primul formator). Aceste valori limite de -1V si +1V pentru semnalul diferential corespund codurilor zero respectiv maxim generat de convertorul analog-digital. In afara celor doua etaje neinversoare, schema din Fig. 9 mai cuprinde un circuit de amplificare si stabilizare a nivelului de mod comun al filtrului diferential de ordinul doi, corespunzator valorii de referinta generata de convertorul analog-digital.

### 3.2.5 Realizarea primului microcircuit de tip ASIC (PASA-1) pentru detectorul HCR-TRD

Conform structurii si schemelor circuitelor aratate anterior, a fost construit in colaborare cu Institutul de Fizica al Unuversitatii din Heidelberg, primul microcircuit de tip ASIC pentru detectorul HCR-TRD.

Microcircuitul contine 16 canale identice de preamplificator/formator si a fost produs de firma Austria MicroSystems (AMS) in tehnologia CMOS, n-well de  $0,35\mu\text{m}$  C35B4M3. Aria totala a microcircuitului este  $12\text{mm}^2$ . Aceasta tehnologie ofera o densitate mare de componente pe unitatea de arie si pentru microcircuitele analogice este avantajoasa, nivelul zgomotului propriu al componentelor fiind redus. In plus controlul fabricatiei este bine pus la punct astfel ca reproductibilitatea este foarte buna si abaterile rezultatelor testarilor microcircuitului real comparativ cu simularile sunt in limite de  $\pm 2,5\%$ . Tehnologia este de tipul poly1 – poly2 cu trei metale. Substratul folosit este de tip  $P^+$ .

## III. Rezultatele obtinute asupra electronicii front-end (FEE) proiectata si realizata pentru detectorul HCR-TRD

In cele ce urmeaza vor fi aratate rezultatele obtinute asupra primelor module de electronica front-end pentru detectorii HCR-TRD, varianta in tehnologie hibrida SMD precum si varianta implementata sub forma de microcircuit de tip ASIC, versiunea PASA-1

### 1. Rezultate obtinute asupra variantei de electronica front-end in tehnologie hibrida SMD pentru detectorul HCR-TRD.

Varianta in tehnologie hibrida SMD de electronica front-end pentru HCR-TRD a fost primul model realizat. S-au construit cateva module cu cate 8 canale analogice. Fiecare canal analogic are structura din Fig. 4 iar schema electrica este aratata in Fig. 5.

Principalele caracteristici ale FEE varianta in tehnologie hibrida SMD :

*Tip preamplificator:* sensibil la sarcina

*Reglaj pol/zero :* continuu

*Numar de canale:* 8

*Constanta de timp de formare :* 30ns

*Semnalul de intrare:*  $0\dots 250\text{fC}$

*Castigul :*  $2,4\text{mV/fC}$

*Constanta de timp integrare:*  $3\mu\text{s}$

*Amplitudine si polaritate iesire :*  $0\dots 600\text{mV} +$

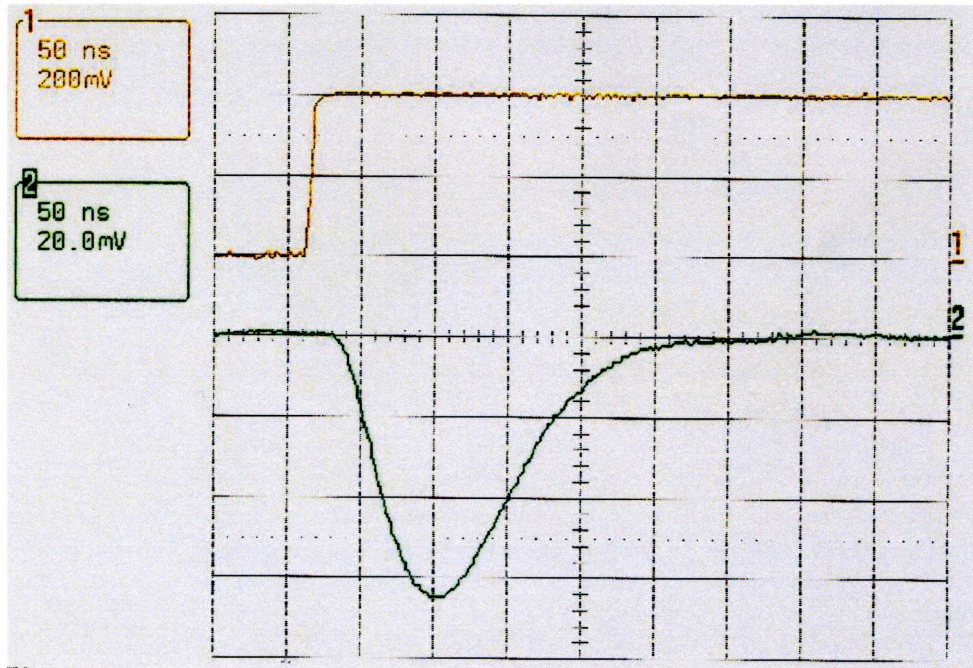
*Numar de etaje de formare:* 2

*Tipul iesirii :* pseudodiferential

*Numarul si tipul polilor/shaper:* 1 pol real

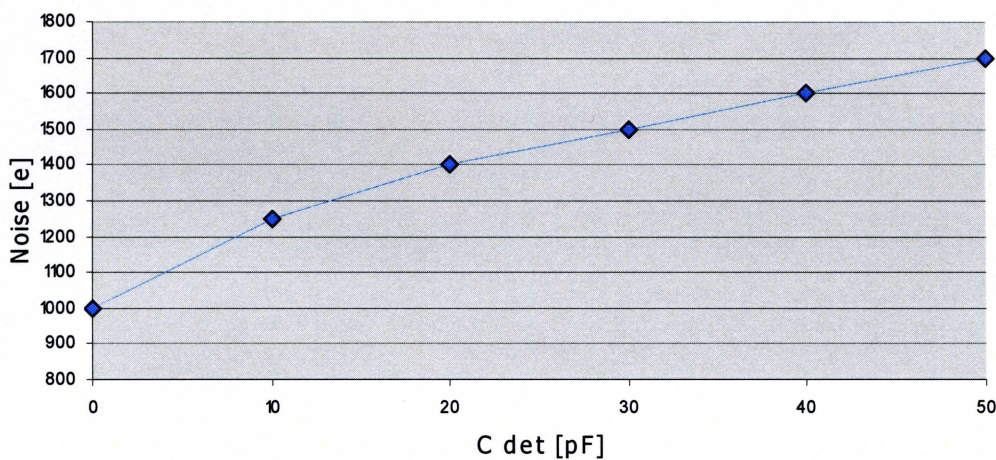
*Zgomotul raportat la intrare*  $< 1800e^-/(C_{\text{det}}=30\text{p})$

In Fig. 10 este data forma semnalului de iesire al unui canal analogic



**Fig. 10 : Forma semnalului de iesire al unui canal analogic pentru FEE  
in tehnologie hibrida SMD**

Variatia zgomotului echivalent la intrare (ENC) pentru un canal analogic, in functie de capacitatea detectorului  $C_{det}$  este aratata in Fig. 11. Se observa ca pentru  $C_{det}=30\text{pF}$ , situatia concreta a detectorilor realizati, zgomotul echivalent la intrare este de circa 1600 electroni.



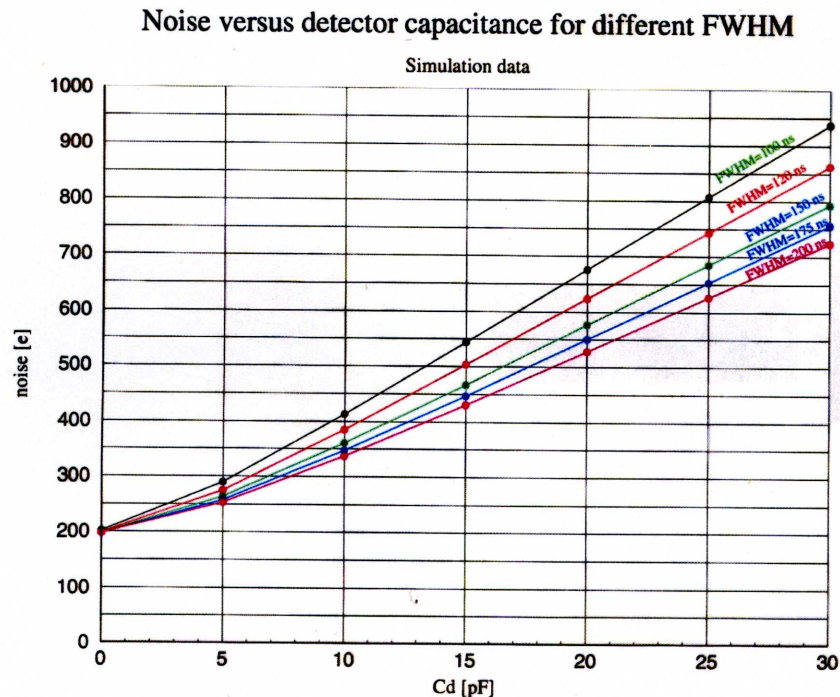
**Fig. 11 : Variatia zgomotului echivalent la intrarea unui canal analogic pentru FEE  
in tehnologie hibrida SMD**

Rezultatele obtinute la testarea electronicii front-end in tehnologie hibrida SMD au constituit o baza de plecare pentru realizarea electronicii front-end sub forma de microcircuit tip ASIC pentru detectorul HCR-TRD.

## 2. Considerente pentru trecerea la varianta ASIC a electronicii front-end pentru detectorul HCR-TRD. Implicatii asupra rezultatelor FEE.

Necesitatea realizarii electronicii front-end pentru detectorul HCR-TRD sub forma de microcircuit ASIC decurge din reducerea spatiului ocupat de electronica, reducerea puterii consumate de aceasta si pentru reducerea pretului ei.

La realizarea microcircuitului ASIC au stat la baza experienta acumulata cu ocazia realizarii microcircuitului ASIC pentru detectorul ALICE-TRD si cerintele specifice detectorului HCR-TRD mentionate la I.2 . Conditia de functionare la rate medii de numarare ridicate (peste 200kHz) a impus o reducere a constantei de formare (shaping time) in comparatie cu situatia de la detectorul ALICE-TRD, dar cu mentinerea cat mai scazuta a zgomotului electronicii front-end in functie de capacitatea detectorului. In Fig. 12 sunt aratate familii de curbe ilustrand valorile zgomotului FEE in functie de capacitatea detectorului pentru diverse valori la semiinaltime (FWHM) a impulsului de iesire generat si care sunt dependente de constanta de formare.



*Fig. 12 : Variatia zgomotului in functie de  $C_{det}$  si FWHM pentru FEE varianta ASIC PASA-1*

## 3. Rezultate obtinute asupra primei versiuni (PASA-1) a variantei sub forma de microcircuit ASIC pentru electronica front-end a detectorului HCR-TRD.

Prima versiune PASA-1 sub forma de microcircuit ASIC a FEE pentru detectorul HCR-TRD a fost realizata conform prezentarii de la II 3.2. Asa cum s-a mentionat mai sus s-a folosit experienta



rezultata de la FEE pentru detectorul ALICE-TRD, microcircuitul PASA-1 fiind o adaptare a versiunii finale a FEE de la detectorul ALICE-TRD la noile conditii impuse detectorului HCR-TRD.

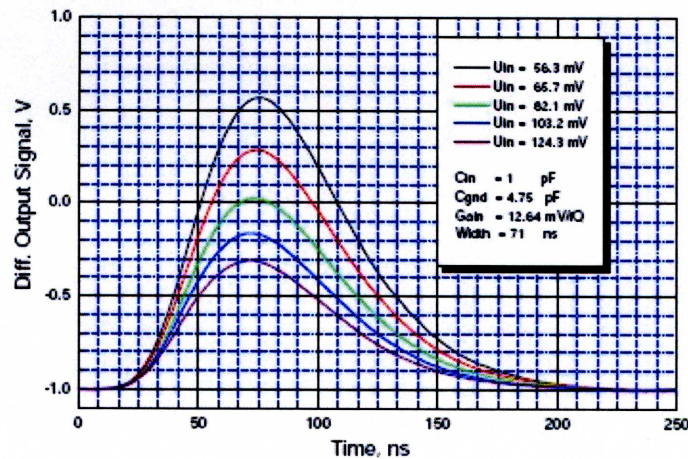
Microcircuitul PASA-1 contine 16 canale identice de preamplificatori/formatori, cu schemele bloc si electrice din Fig. 6 – Fig. 9. Aceasta versiune a fost realizata in ipoteza initiala a capacitatii padurilor detectorului de 10pF.

Microcircuitul ASIC PASA-1 a fost realizat de catre firma Austria MicroSystems (AMS) in tehnologie CMOS 0,35 $\mu$ m C35B4M3 n-well, layoutul fiind realizat la Universitatea de Fizica din Heidelberg. Aria microcircuitului este 12mm<sup>2</sup>.

Principalele caracteristici ale primei versiuni (PASA-1) a FEE in varianta ASIC :

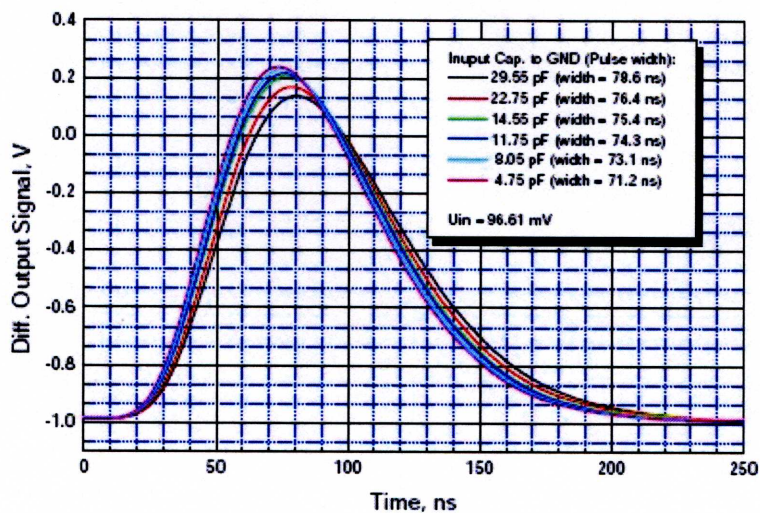
<i>Tip preamplificator:</i> sensibil la sarcina	<i>Constanta de timp de formare :</i> 25ns
<i>Numar de canale:</i> 16	<i>Castigul :</i> 12,6mV/fC
<i>Semnalul de intrare:</i> 0...165fC	<i>Nelineiaritatea integrala:</i> $\leq \pm 0,7\%$
<i>Constanta de timp integrare:</i> 4,5 $\mu$ s	<i>Amplitudine si polaritate iesire :</i> 0... $\pm 1$ V bipolar
<i>Numar de etaje de formare:</i> 2	<i>Tipul iesirii :</i> diferential
<i>Numarul si tipul polilor/shaper:</i> 2 poli complexi	<i>Zgomotul raportat la intrare</i> = $330e^{-} + 12e^{-}/pF$
<i>Reglaj pol/zero :</i> fara reglaj	<i>Puterea consumata/canal :</i> 16mW/canal

In Fig. 13 este aratat semnalul de iesire diferential al unui canal analogic al microcircuitului PASA-1 in functie de semnalul de intrare (cinci valori) si pentru o capacitate a detectorului  $C_{det}$  de circa 5pF.



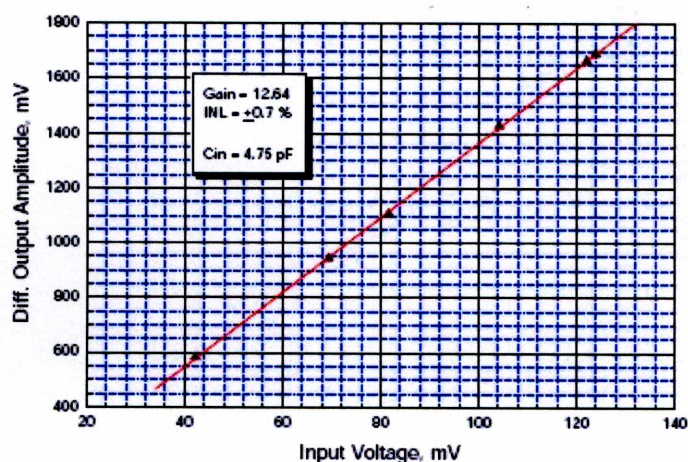
**Fig. 13 : Semnalul de iesire diferential pentru diverse valori ale semnalului de intrare**

In Fig. 14 este data variatia semnalului diferential de iesire al unui canal analogic pentru diverse capacitati echivalente ale padurilor detectorului  $C_{det}$ .



**Fig. 14 : Semnalul de iesire diferential pentru diverse valori  $C_{det}$**

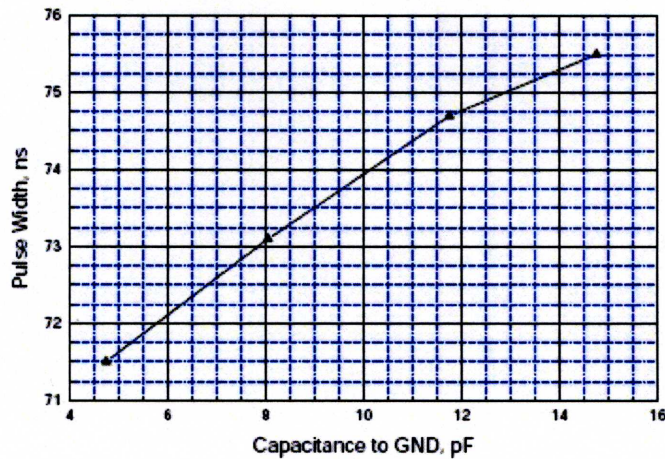
Caracteristica iesire/intrare (castig) unui canal analogic al microcircuitului PASA-1 este aratata in Fig. 15.



**Fig. 15 : Caracteristica iesire/intrare (castig) canalului analogic pentru microcircuitul PASA-1**

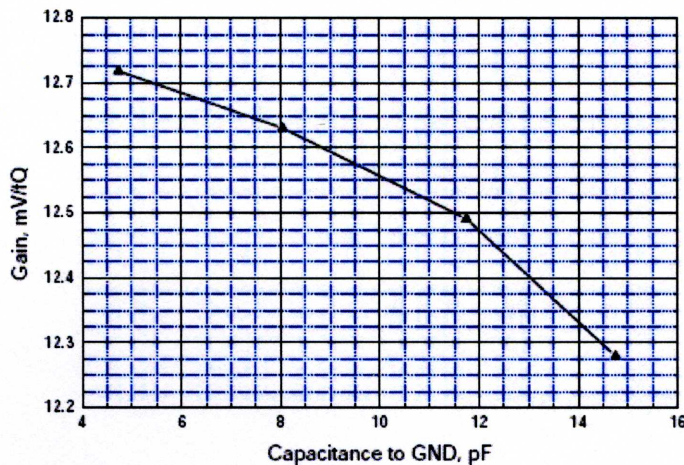
Din Fig. 15 s-a determinat de asemenea nelinearitatea integrala a canalului analogic, rezultand o valoare de ±0,7%.

Variatia latimii la semi inaltime (FWHM) pentru semnalul diferential de iesire in functie de capacitatea padurilor detectorului este data de Fig. 16.



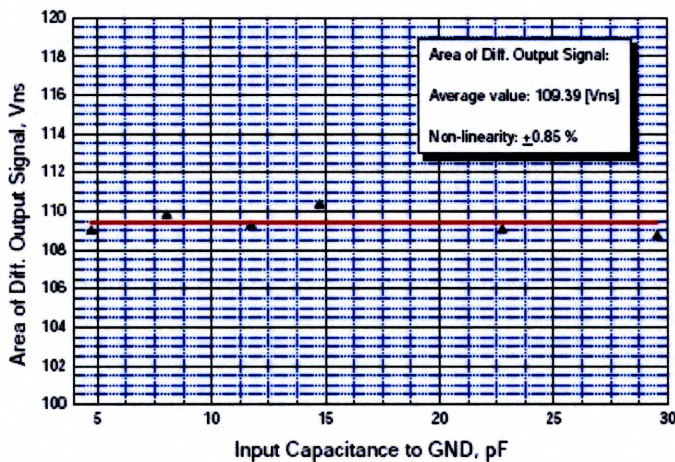
**Fig. 16 :** Variatia latimii la semiinaltime FWHM a impulsului de iesire functie de  $C_{det}$

Valorile castigului unui canal analogic al microcircuitului PASA-1 in functie de capacitatea padurilor detectorului este aratata in Fig. 17.



**Fig. 17 :** Castigul canalului analogic al microcircuitului PASA-1 functie de  $C_{det}$

In Fig. 18 este data variatia ariei impulsului diferential de iesire pentru un canal al microcircuitului PASA-1 in functie de capacitatea padurilor detectorului  $C_{det}$ .



**Fig. 18 :** Variatia ariei impulsului diferential de iesire functie de  $C_{det}$

Variatia zgomotului echivalent la intrare (ENC) functie de capacitatea padurilor detectorului  $C_{det}$  este aratata in Fig. 19.

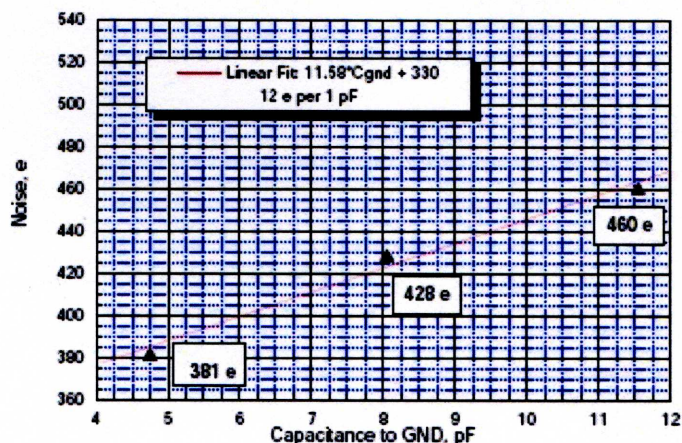


Fig. 19 : Variatia zgomotului echivalent la intrare in functie de  $C_{det}$

Fitul linear arata o variatie aproximativ lineara a zgomotului functie de  $C_{det}$  dupa legea :  $330 + 11,58 C_{det}$ , indicand o crestere de 12 electroni/pF a zgomotului echivalent la intrare.

#### IV. Concluzii

Proiectarea si realizarea primelor modele pentru electronica front-end a detectorului HCR-TRD au avut ca scop stabilirea cerintelor de baza pentru lantul de procesare a semnalelor padurilor detectorilor, verificarea solutiilor alese si caile de imbunatatire a performentelor electronicii front-end pentru versiunile ulterioare in varianta ASIC.

- Varianta cu componente discrete si SMD, anterioara variantei ASIC a permis testarea detectorului HCR-TRD in conditii de laborator pentru a stabili principalele cerinte pentru electronica front-end.
- Prima versiune PASA-1 a variantei ASIC a fost un pas logic pentru imbunatatirea performantelor electronicii asociate detectorului, urmarindu-se de asemenea reducerea volumului si a consumului.
- Testele efectuate asupra primei versiuni ASIC a microcircuitului PASA-1 au aratat ca solutiile alese sunt bune, rezultatele obtinute sunt in concordanta cu cele ale simularilor.
- Testele in laborator si in fascicul au aratat ca electronica front-end impreuna cu detectorul si restul aranjamentului experimental servesc scopului.
- In urma analizei rezultatelor asupra electronicii front-end pentru detectorul HCR-TRD s-au desprins si imbunatatirile ce pot fi aduse acestuia. Rata ridicata a semnalelor provenite de la detector impune prezenta unui circuit de restabilire a nivelului de referinta al iesirilor diferentiale

ale canalului analogic. Tot datorita ratei ridicate de semnal pentru viitoarea versiune a variatiei ASIC este de dorit sa se introduca circuite auxiliare pentru limitarea timpului mort cauzat de saturarea canalului analogic la suprasarcini de intrare. In vederea utilizarii electronicii front-end a detectorului HCR-TRD si pentru alti posibili detectori este posibila imbunatatirea versiunilor ulterioare ale microcircuitului PASA astfel incat acesta sa accepte semnale de intrare de ambele polaritati. Aceste imbunatatiri vor fi analizate in schemele de simulare ale viitoarei versiuni PASA, versiune care va fi realizata in intregime in laboratorul NIHAM (proiectare, simulare, realizare layout).

## **References :**

- [1] H. K. Soltveit, V. Catanescu, J. Stachel, GSI Sci. Report 2005-1(2005), 247
- [2] H. K. Soltveit, V. Catanescu, et al, GSI Sci. Report 2004-1(2004), 244
- [3] V. Angelov et al, Nucl. Instrum. Meth. A525(2004), 447
- [4] V. Radeka et al, IEEE Trans, Nucl. Sci. vol 35(1988), 155
- [5] P. O'Connor et al, IEEE Trans, Nucl. Sci. vol 44(1997), 318
- [6] M. Petrovici et al, GSI Sci. Report 2006-1(2006), 67
- [7] H. K. Soltveit, CBM Progress Report 2006
- [8] A. Andronic et al, Nucl. Instrum. Meth. A540(2005), 140
- [9] A. Andronic et al, Nucl. Instrum. Meth. A558(2006), 516

## **V. Stagii efectuate in strainatate**

- Participare la "The 11<sup>th</sup> Vienna Conference on Instrumentation 2007" 18.02.2007 – 25.02.2007, Viena Austria unde a fost prezentata lucrarea "High Counting Rate Transition Radiation Detector (HCR-TRD)".
- Participare la "Meetingul Colaborarii CBM" in perioada 28.02.2007 – 02.03.2007 la GSI Darmstadt unde s-au discutat programul continuarii activitatii R&D pentru noua generatie de detectori si electronica front-end asociata acestora.

## **VI. Stadiul realizarii obiectivelor**

La finalul acestei etape de cercetare se poate afirma ca obiectivele au fost realizate integral.

## **VII. Stadiul valorificarii rezultatelor**

1. Au fost publicate urmatoarele lucrari:

- **"High efficiency Transition Radiation Detectors for high rate environments"**: M. Petrovici, V. Simion, M. Petris, D. Moisa, A. Radu, D. Bartos, I. Berceanu, V. Catanescu, A. Herghelegiu, C. Magureanu, M. Hoppe, A. Wilk, J. P. Wessels; GSI Scientific Report (2005) (GSI Report 2006-1) pg 67
  - **"Electron/pion identification with fast TRD prototypes"**: A. Andronic, H. Appelshäuser, V. Babkin, P. Braun-Munzinger, V. Catanescu, S. Chernenko, C. Garabatos, S. Golovatyuk, M. Hartig, J. Hehner, A. Herghelegiu, M. Kalisky, M. Klein-Bösing, D. Kresan, C. Lippmann, D. Miśkowiec, W. Niebur, D. Moisa, M. Petris, M. Petrovici, A. Radu, C. J. Schmidt, V. Simion, R. S. Simon, I. Rusanov, H.K. Solveit, J. Stachel, F. Uhlig, J.P. Wessels, A. Wilk, Yu. Zanevsky and V. Zryuev; CBM Progress Report 2006 pg 35
2. In curs de finalizare pentru trimiterea la publicare la revista Nuclear Instruments and Methods urmatoarea lucrare:
- **"A high efficiency Transition Radiation Detector for high counting rate environments"**; M. Petrovici, M. Petris, I. Berceanu, V. Simion, D. Bartos, V. Catanescu, A. Herghelegiu, C. Magureanu, D. Moisa, A. Radu, M. Klein-Bösing, J.P. Wessels, A. Wilk, A. Andronic, C. Garabatos, R. S. Simon, F. Uhlig.
3. A fost prezentata la "The 11<sup>th</sup> Vienna Conference on Instrumentation 2007" din 18-25 February 2007, Vienna, Austria, lucrarea:
- **"High Counting Rate Transition Radiation Detector"**: M. Petris, M. Petrovici, V. Simion, I. Berceanu, D. Moisa,
- Aceasta urmeaza sa fie publicata in revista Nuclear Instruments and Methods.

## VIII. Prezentarea succinta a obiectivelor prevazute pentru etapa urmatoare

Etapa urmatoare: Implementarea MonALISA pe infrastructura GRID locala.

**DIRECTOR PROIECT,  
Prof. Dr. Mihai Petrovici**