

Capitolul 8: Exemplu de concepție și proiectare a unui sistem de măsurare a concentrației de Radon în aer și transmisia datelor la distanță

8.1. Introducere

Radonul 222 (timpul de înjumătățire 3,8 zile) apare prin dezintegrarea Radiumului (timpul de înjumătățire 1620 ani). Radium-226 apare prin dezintegrarea Uraniului-238 (timpul de înjumătățire 4,5 miliarde ani). Uraniul-238 este conținut în scoarța Pământului (4ppm). Expunerea la Radon în interiorul clădirilor creează un risc semnificativ de îmbolnăvire, circa 3000 de cazuri de cancer /an, fiind a doua cauză de apariție a cancerului pulmonar după fumat [1].

Măsurarea concentrației de Radon în aer se poate face prin mai multe metode. În acest capitol se descrie o metodă de măsurare în timp real cu un sistem înglobat pe bază de microcontroller conceput și realizat în cadrul unui proiect CEEEX [2] coordonat de IFIN-HH București. Aparatul este completat cu un sistem de transmisie a datelor la distanță prin GPRS folosind infrastructura telefoniei mobile GSM.

Una din aplicațiile deosebit de utile ale aparatului poate fi la măsurarea Radonului pe falii seismice și transmierea în timp real la distanță a datelor. Ultimele cercetări pe plan internațional converg spre ideea unei corelări a variațiilor în concentrația de Radon din sol și din ape freatice (din zona faliilor seismice de suprafață) cu mișcările seismice.

Mai multe aparate de măsură sunt montate pe teren în anumite puncte. Aceste aparate trimit date cu o anumită periodicitate prin GPRS. Datele trimise conțin concentrația de Radon măsurată și poziția modulului determinată prin GPS. Pentru ca transmisia de la mai multe module să nu fie simultană se alocă fiecărui modul un interval de timp de transmisie. Timpul este determinat de fiecare aparat din informația GPS recepționată.

Un aparat de măsură este un sistem înglobat cu microcontroller ATMEGA16 având ca traductor o cameră de detecție cu fotoelement, ca afișaj un LCD grafic iar pentru transmisia datelor un modul GPRS/GPS marca Telit. Sistemul de transmisie GPRS este pus la dispoziție de un operator de telefonie mobilă și datele achiziționate sunt trimise la un server al utilizatorului. Fiecare modul GPRS/GPS trebuie să aibă un card SIM furnizat de operatorul de telefonie mobilă. Realizări similare sunt prezentate în [3], [4], [5]. Modulul GPRS/GPS Telit a fost achiziționat de la firma RCS [6], firma acordând și suportul tehnic necesar în derularea proiectării. În ipoteza că locația nu este în suprafața de acoperire cu semnal a operatorului a fost prevăzută o soluție de conectare prin modem de linie telefonică. Pentru aplicații în zone fără alimentare de la rețea a fost prevăzut un sistem de alimentare de la un acumulator de 12V/9Ah.

În acest capitol se descriu etapele de realizare a proiectului: alegerea traductorului, concepția circuitului analogic, alegerea microcontrollerului, soluțiile alese fiind justificate cu simulări. Schema bloc a aparatului este dată în figura 8.1.

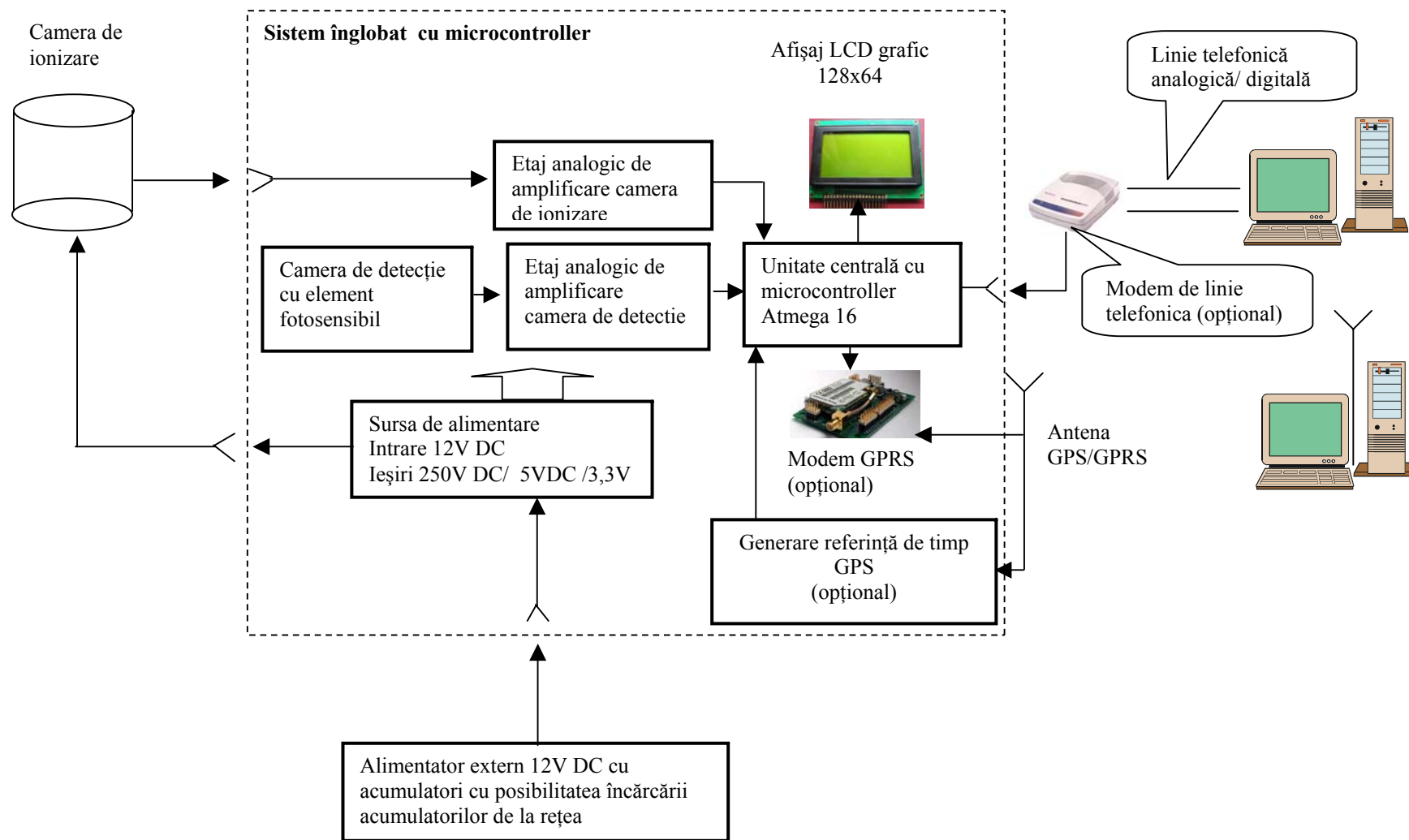


Figura 8.1: Schema bloc a aparatului de măsurare a Radonului

8.2.Traductori

8.2.1.Camera de ionizare

Camera de ionizare este o incintă închisă, de diferite forme (apropiate de forma cilindrică) în care se găsesc doi electrozi plan paraleli și aer în condiții normale sau cu circulație forțată. Electrozii formează un condensator plan. Atomii de Radon vor produce prin descompunere ionizarea aerului iar particulele ionizate vor produce în circuitul exterior un curent măsurabil. Schema camerei de ionizare este dată în figura 8.2.

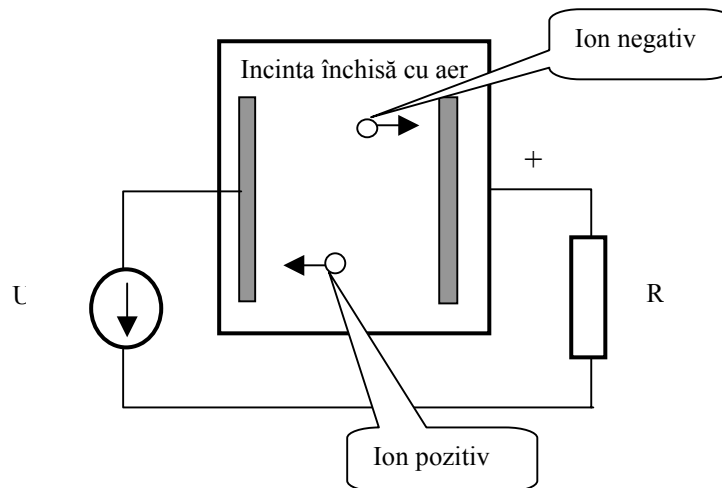


Figura 8.2: Camera de ionizare

În urma interacțiunii între atomul de Radon și moleculele de aer se produc ioni pozitivi și negativi. Numărul perechilor de sarcini care se produc depinde de natura radiației. De exemplu o particulă încărcată cu 10MeV produce cam 300 mii perechi de ioni. Dacă toată această sarcină este colectată și dacă se estimează capacitatea camerei la 50pF atunci impulsul de tensiune va fi de aproximativ:

$$\Delta V = -\frac{Q}{C} = 0.96 \cdot 10^{-3} V \text{ sau aproximativ } 0,1 \text{mV/MeV}$$

În urma ionizării produse ionii pozitivi și cei negativi pot interacționa cu moleculele de aer și pot apărea noi ioni pozitivi și negativi. Atunci când la electrozii camerei se aplică o tensiune continuă, în interiorul camerei apare un câmp electric care direcționează ionii către electrozi. În lipsa câmpului electric ionii au o mișcare dezordonată. Ionizarea produsă de descompunerea unei particule radioactive produce în exterior apariția unui curent mic care dă naștere unei tensiuni pe rezistența R. Apare un impuls de tensiune care poate fi vizualizat sau achiziționat și înregistrat cu un sistem electronic de măsurare.

Pentru măsurarea numărului de particule de Radon din aer este necesară realizarea unei surse de polarizare a camerei de ionizare cu tensiune variabilă pentru a se putea stabili tensiunea optimă pentru detecție. În anumite condiții lățimea impulsului de tensiune măsurat pe R va putea oferi informații despre energia particulei radioactive care a produs ionizarea, deci se va putea stabili natura particulei.

8.2.2. Camera de detecție

Camera de detecție este prezentată în figura 8.3.

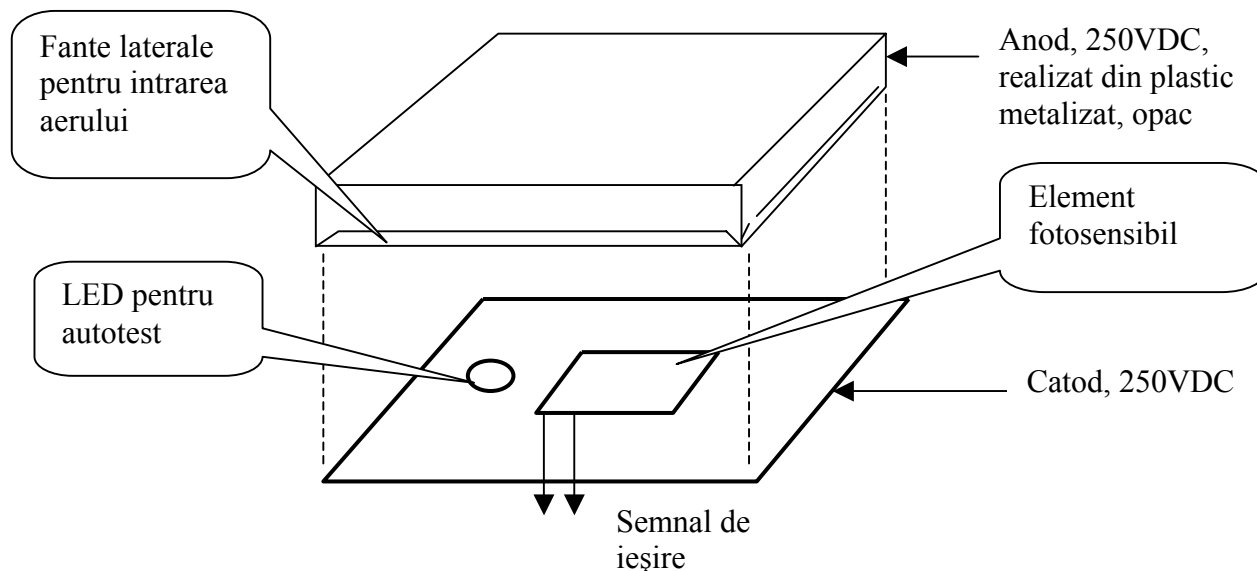


Figura 8.3: Camera de detecție

În interior se creează un câmp electric puternic. Particulele radioactive lovesc suprafața fotosensibilă și dau naștere unui semnal electric la ieșire. Înainte de utilizare se face un autotest al funcționării prin aprinderea unui LED (intensitate luminoasă foarte mică) și măsurarea semnalului de ieșire. Se compară valorile citite cu cele de referință și dacă sunt în gama de precizie acceptată începe măsurătoarea. Dacă nu, se afișează un cod de eroare. În lipsa iluminării semnalul citit trebuie să fie apropiat de zero (într-un interval programat), dacă nu, zgomotul apărut poate fi datorat interferențelor electromagnetice. Se afișează un cod de eroare și se indică utilizatorului îndepărtarea surselor de câmp electromagnetic

Comportarea particulelor încărcate în câmp electric este descrisă de ecuația de mișcare a electronilor în câmp electric uniform [7]:

$$m \frac{dv}{dt} = qE \text{ unde } m \text{ este masa electronului și } q \text{ sarcina electrică} \quad (8.1)$$

Efectuând prima integrare se obține:

$$v = \eta Et + M$$

După a doua integrare se obține $r = \frac{\eta E t^2}{2} + M t + N$ unde t este variabila timp, M și N

constante de integrare care se determină din condițiile la limită iar $\eta = \frac{q}{m}$

Considerăm câmpul electric paralel cu axa Oy și electronii intră în câmp cu viteza v_0 care face unghiul θ cu axa Ox. Din ecuația (8.1) rezultă:

$$\frac{dv_x}{dt} = 0 \quad \text{și} \quad \frac{dv_y}{dt} = -\eta.E$$

După prima integrare se obține:

$$v_x = v_0.t.\cos\theta$$

$$v_y = -\eta.E_y.t + v_0.t.\sin\theta$$

După a doua integrare, cu condițiile inițiale la $t=0$, $x=0$ și $y=0$:

$$x = v_0.t.\cos\theta$$

$$y = -\eta.E.\frac{t^2}{2} + v_0.t.\sin\theta$$

Eliminând timpul din ultimele două relații se obține traiectoria electronului:

$$y = -\eta.E\frac{x^2}{2.v_0^2.\cos^2\theta} + x.tg\theta \quad (8.2)$$

Pentru a simula comportarea electronului în câmp electric considerăm: sarcina elementară: $q=1.602\ 176462(63) \times 10^{-19}$ C, masa electronului: $m=9.10938188(72) \times 10^{-31}$ kg, viteza electronilor aproximativ 104 m/s, intensitatea câmpului electric în camera de ionizare aproximativ 2500V/m. Cu aceste date se obțin simulările în MATCAD din figurile 8.4 și 8.5.

$$y = -K.\frac{x^2}{\cos^2\theta} + x.tg\theta \quad \text{unde} \quad K = \frac{\eta.E}{2.v_0^2} = \frac{q.E}{2.m.v_0^2} \cong 2.10^6$$

Se observă din aceste simulări că electronii vor fi direcționați către fotoelement / electrod indiferent de unghiul de incidență. Simulările sunt valabile pentru comportarea particulelor încărcate și în camera de ionizare și în camera de detecție.

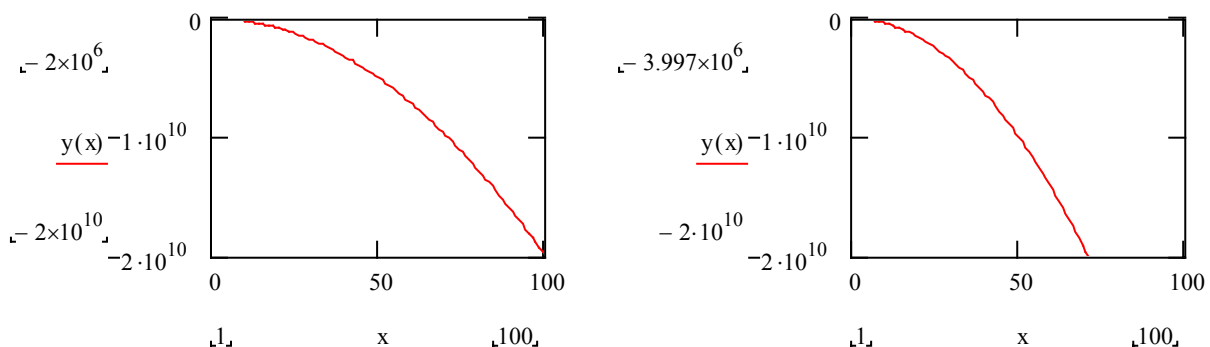


Figura 8.4: Traiectoria electronului în câmp electric pentru un unghi de intrare de 0° (stânga) și 90° (dreapta)

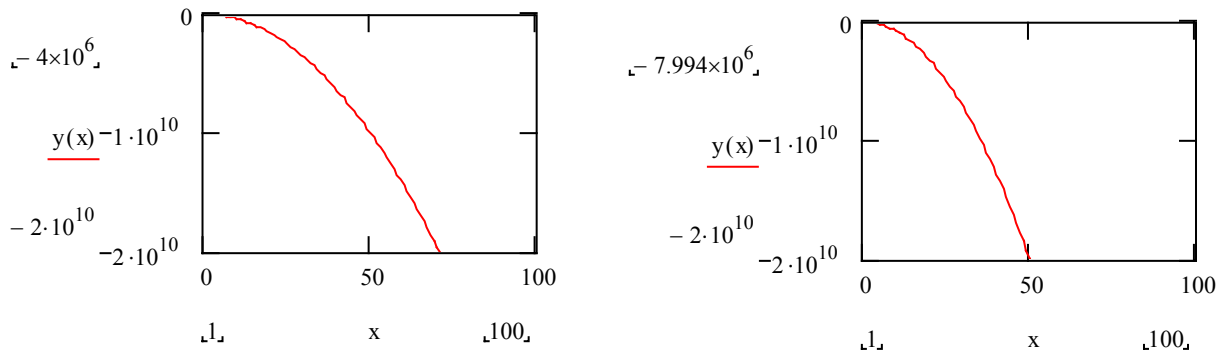


Figura 8.5: Traiectoria electronului în câmp electric pentru un unghi de intrare de 0° (stânga) și 90° (dreapta) pentru un câmp cu intensitate dublă

Traductorul fotoelectric este o celulă fotovoltaică, adică o joncțiune pn cu concentrații relativ mari de impurități pentru a micșora rezistența electrică. Regiunea supusă iluminării este subțire pentru a permite luminii să ajungă la regiunea de trecere. Dacă celula se află în întuneric la bornele ei nu apare nici o tensiune, celula fiind în echilibru termodinamic. Dacă lumina cade pe suprafața celulei fotonii penetrează zona subțire și generează perechi electroni gol care datorită câmpului electric intern E din regiunea de trecere sunt orientați - golurile spre regiunea p și electronii spre n. La polarizarea inversă a dispozitivului curentul printr-o rezistență de sarcină R este puternic influențat de acțiunea radiației luminoase. Acesta este domeniul în care dispozitivul funcționează ca fotodiodă. Caracteristicile statice permit realizarea unui model simplificat, figura 8.6.

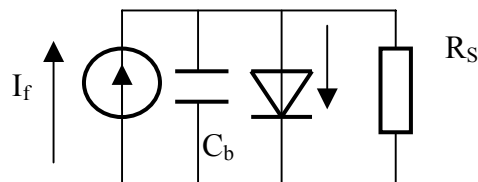


Figura 8.6 Modelul celulei fotovoltaice

Pentru a putea realiza o modelare simplificată a fenomenelor care au loc la apariția unei particule alfa în camera de detecție se consideră că o particulă alfa generează prin ciocniri circa 600 de electroni, ceea ce înseamnă 18keV iar zgomotul de fond se consideră generat de 200 de electroni, adică 7keV. Cu relația $I=dQ/dt$ se poate face o apreciere a ordinului de mărime al curentului generat de intrarea unei particule alfa care rezultă 10^{-7} A pentru o durată a impulsului de 10^{-9} s. Nivelele de curent care trebuie măsurate sunt extrem de mici în prezența unui zgomot de valoare importantă (10^{-8} A)

Măsurarea nivelului de radiație, deci a numărului de particule radioactive poate fi realizată în două feluri:

- prin integrare, se măsoară nivelul tensiunii la ieșirea unui integrator care este proporțional cu numărul de particule din incintă;
- prin numărarea vârfurilor de tensiune, deci a numărului de particule.

8.3. Metode de măsurare

8.3.1. Măsurarea prin integrare

Simularea în SIMULINK a integrării în prezența unui zgomot aleator și în prezența influenței perturbatoare a tensiunii rețelei de alimentare a fost realizată cu modelul din figura 8.7.

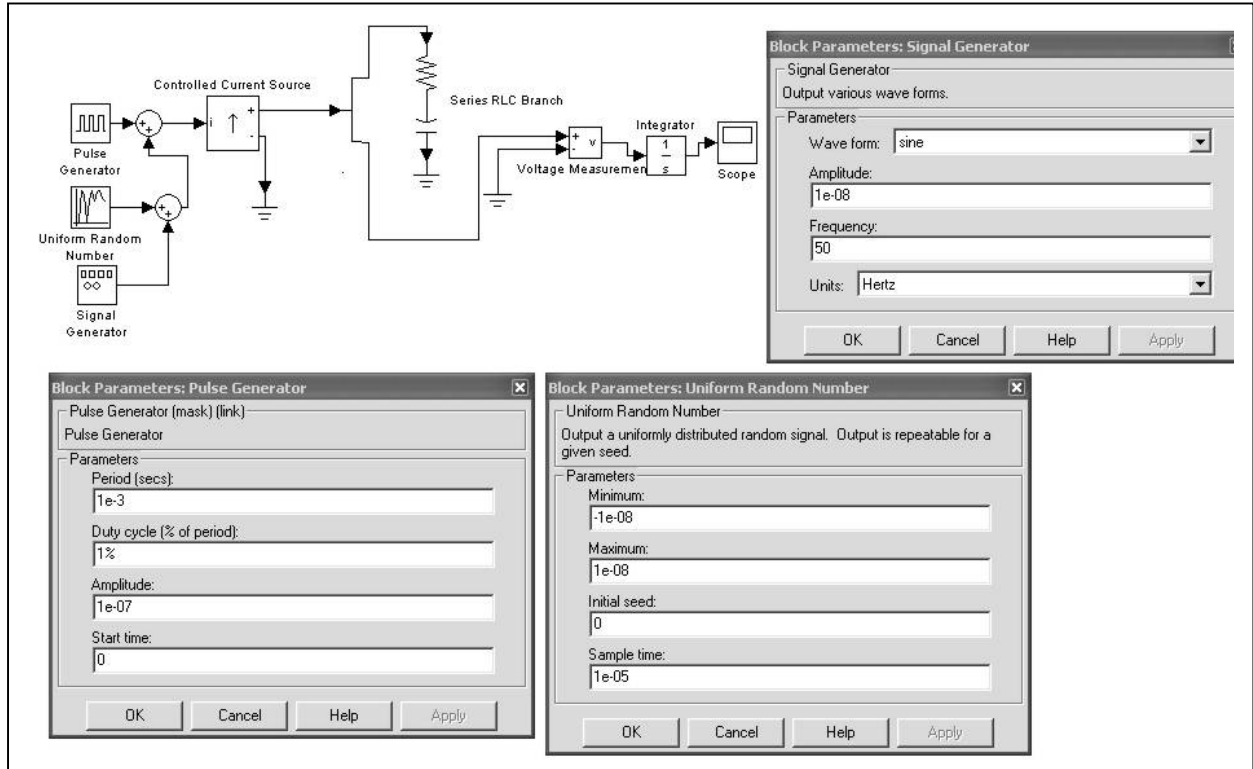


Figura 8.7: Modelul măsurării prin integrare

Un generator de impulsuri simulează apariția unei particule radioactive cu frecvența de o particulă/10ms, amplitudinea de 10^{-7} A și durata 0,01% din perioadă, adică $10\mu\text{s}$. Zgomotul este simulat printr-un generator de numere aleatoare, amplitudinea zgomotului fiind de 10^{-8} A. Fotocelula este simulată printr-o sursă de curent iar rezistența de sarcină este de $10\text{M}\Omega$.

În figura 8.8 sunt prezentate diagramele de timp ale ieșirii în ipoteza preluării datelor fără integrator. În stânga se văd impulsurile de durată mică ($10\mu\text{s}$) amestecate cu zgomotul de amplitudine 1/10 din semnalul util. În dreapta scara de timp este extinsă.

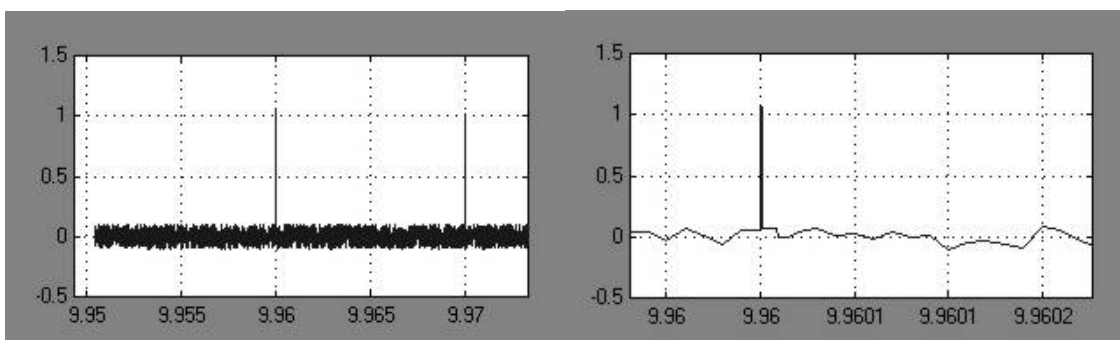


Figura 8.8: Impulsuri și zgomot fără integrare

În figura 8.9 sunt prezentate rezultatele după integrare (perioada 10ms, durata impulsului 10 μ s). Valoarea finală a tensiunii este 1,06 $\cdot 10^{-3}$, cu o eroare de 6% introdusă de zgomot. În stânga este prezentat tot intervalul de timp de integrare iar în dreapta intervalul de timp final.

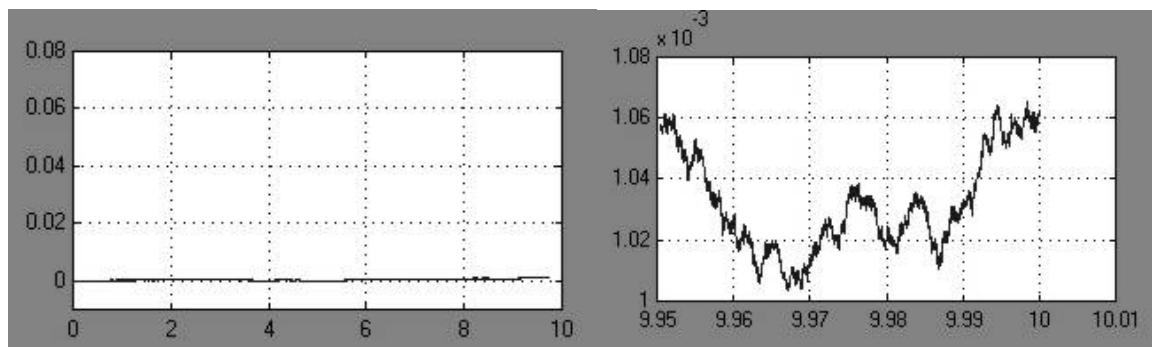


Figura 8.9: tensiunea după integrator (perioada 10ms, durata impulsului 10 μ s)

În figura 8.10 sunt prezentate diagrame de timp ca și cele din figura 8.9 dar cu o perioadă de 10 ori mai mică (o particulă/1ms, deci perioada 1ms și aceeași durată a impulsului). Se poate observa forma în timp a tensiunii pe integrator care este mai apropiată de cea ideală. Eroarea scade la 1%.

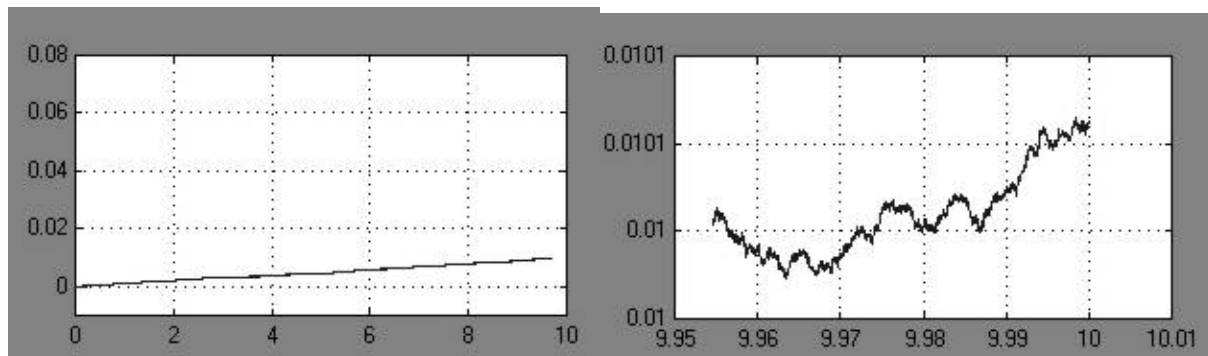


Figura 8.10: Tensiunea după integrator (perioada 1ms, durata impulsului 10 μ s)

Ultimul exemplu este prezentat în figura 8.11, în cazul a 10 particule/ms, adică o perioadă de 0,1ms și aceeași durată a impulsului, eroarea fiind în acest caz de 0,1%.

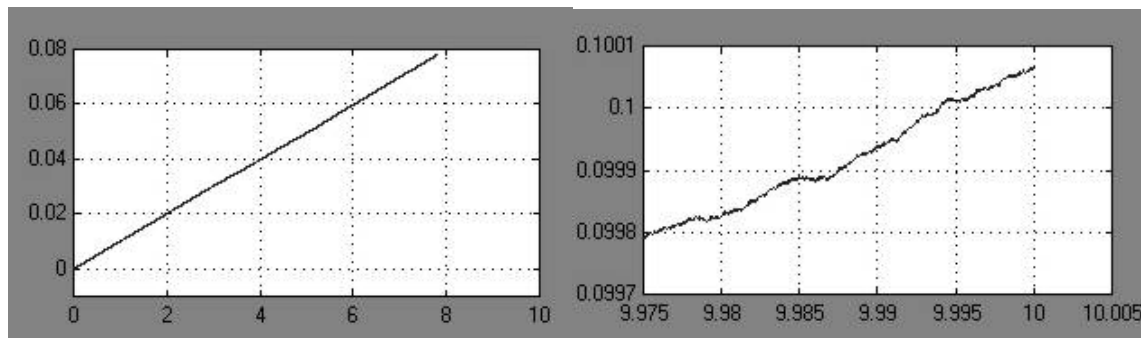


Figura 8.11: Tensiunea după integrator (perioada 0,1ms, durata impulsului 10 μ s)

În cazul unei concentrații și mai mici de gaz, adică o particulă la 100ms eroarea este deja de 60%, inadmisibil de mare. Eroarea este cu atât mai mare cu cât frecvența impulsurilor este mai mică (mai puține particule în timp). De asemenea eroarea este cu atât mai mare cu cât durata și amplitudinea impulsurilor sunt mai mici (evident eroarea depinde de energia impulsurilor).

Pentru a constata cum se manifestă influența tensiunii rețelei la intrare se însumează un semnal sinusoidal cu frecvența de 50Hz și amplitudinea de 10% din cea a semnalului util. Semnalul este figurat fără integrare și cu integrare în figura 8.12.

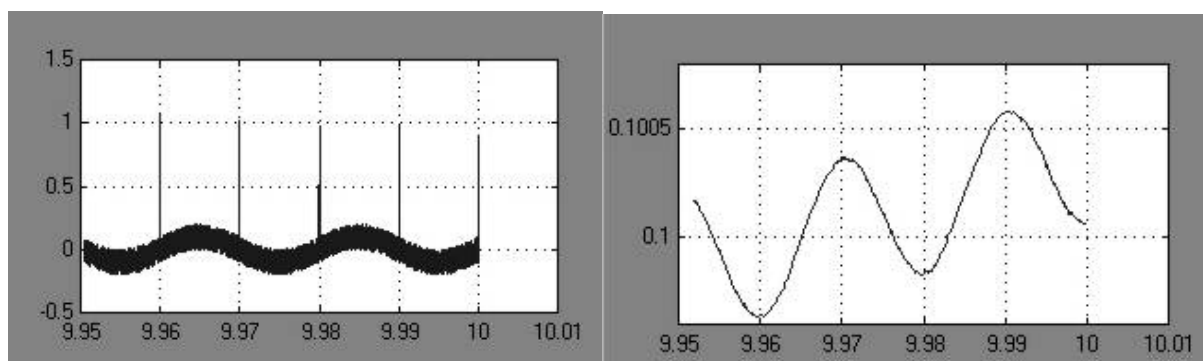


Figura 8.12: Tensiunea înainte de integrator (stânga) și după integrator (dreapta)

Comparând semnalele cu cele din figura 8.11 (perioada 0,1ms, durata impulsului 10 μ s) se observă că tensiunea la sfârșitul perioadei de integrare are aceeași valoare și că adăugarea semnalului perturbator sinusoidal nu deteriorează rezultatul măsurării. Dacă perioada de integrare este aleasă ca multiplu al perioadei semnalului perturbator periodic se constată rejecția acestei perturbații. Dacă s-ar fi măsurat tensiunea pe integrator la momentul 9,99s atunci valoarea ar fi fost 0,1006 și eroarea ar fi fost de 0,6%, mai mare de 6 ori decât în lipsa acestei perturbații.

Se pot măsura curenți cu metoda clasică a integratorului transimpedanță. În figura 8.13 se prezintă o schemă de principiu:

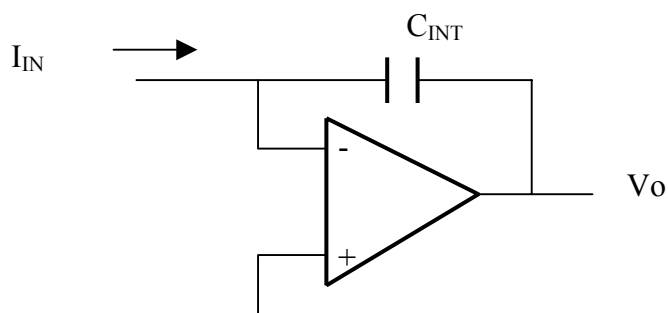


Figura 8.13: Schema de principiu a integratorului transimpedanță

Tensiunea de ieșire V_0 este:

$$V_0 = \frac{-1}{C_{INT}} \int I_{IN}(t).dt$$

Pentru un curent constant I_{IN} , la sfârșitul intervalului de integrare T_{INT} se obține:

$$V_0 = -I_{IN} \frac{T_{INT}}{C_{INT}}$$

După perioada de integrare tensiunea la ieșirea circuitului este proporțională cu I_{IN} (curentul de intrare).

Ca și integrator se poate folosi circuitul integrat IVC102 de Burr-Brown care este un amplificator integrator de precizie comutat. Ca și aplicații sunt menționate în catalog măsurările de curenți mici preluați de la camere de ionizare sau fotodiode. Circuitul are integrate 3 capacități de integrare care se pot conecta în paralel dar se pot conecta și capacitoare exterioare. La intrare se pot măsura atât curenți pozitivi cât și negativi, curentul de polarizare la intrare fiind de maximum 750fA. Circuitul IVC 102 are doi pini de masă, unul pentru masa analogică la care este conectată intrarea neinversoare a amplificatorului operațional și unul pentru masa digitală. Cei doi pini de masă între care diferența de potențial poate fi de maximul 100mV se unesc la sursa de alimentare. Cablajul este recomandat de furnizor.

8.3.2. Măsurarea prin numărarea impulsurilor

Dacă impulsurile date de traductor nu se integrează ele pot fi amplificate și numărate direct de un microcontroller. În acest caz nu se poate determina tipul de descărcare radioactivă din incinta de detecție. Variante de măsură care determină și tipul descărcării sunt:

- Amplificarea impulsurilor și achiziția lor cu un convertor analog digital integrat în microcontroller. Microcontrollerul calculează aria (energia) impulsului din amplitudinea și durata lui, ceea ce este dificil deoarece necesită o viteză mare a convertorului și o putere de calcul mare a microcontrollerului.
- Amplificarea impulsurilor și realizarea unei conversii durată număr de impulsuri de ieșire respectiv amplitudine număr de impulsuri de ieșire, ceea ce înseamnă că microcontrollerul poate deduce energia impulsului din numărul de impulsuri de ieșire.

Circuitul de amplificare este așezat în apropierea camerei de detecție / camerei de ionizare. La intrare circuitul are un amplificator operațional de instrumentație AD712. Amplificatorul de instrumentație este urmat de două etaje construite cu amplificatorul operațional cvadruplu LM324 care asigură semnalul necesar pentru ca ieșirea etajului să poată fi conectată la intrarea digitală a microcontrollerului. Etajul de amplificare cu LM324 este un etaj neliniar format din două ramuri. Ramura superioară dă la ieșire un număr de impulsuri proporțional cu amplitudinea semnalului și ramura inferioară dă impulsuri doar dacă amplitudinea semnalului este mai mare decât o valoare de prag. Valoarea de prag poate fi astfel aleasă încât amplificatorul să semnalizeze cu un impuls dat de ramura inferioară o eroare, adică apariția

unui impuls cu o valoare energetică anormal de mare care nu poate proveni dintr-o descărcare ci datorită interferenței electromagnetice. A fost implementată o variantă simplificată a ramurii de sus care nu dă un singur impuls la fiecare impuls de intrare, fiind astfel imposibilă determinarea naturii gazului radioactiv, figura 8.14.

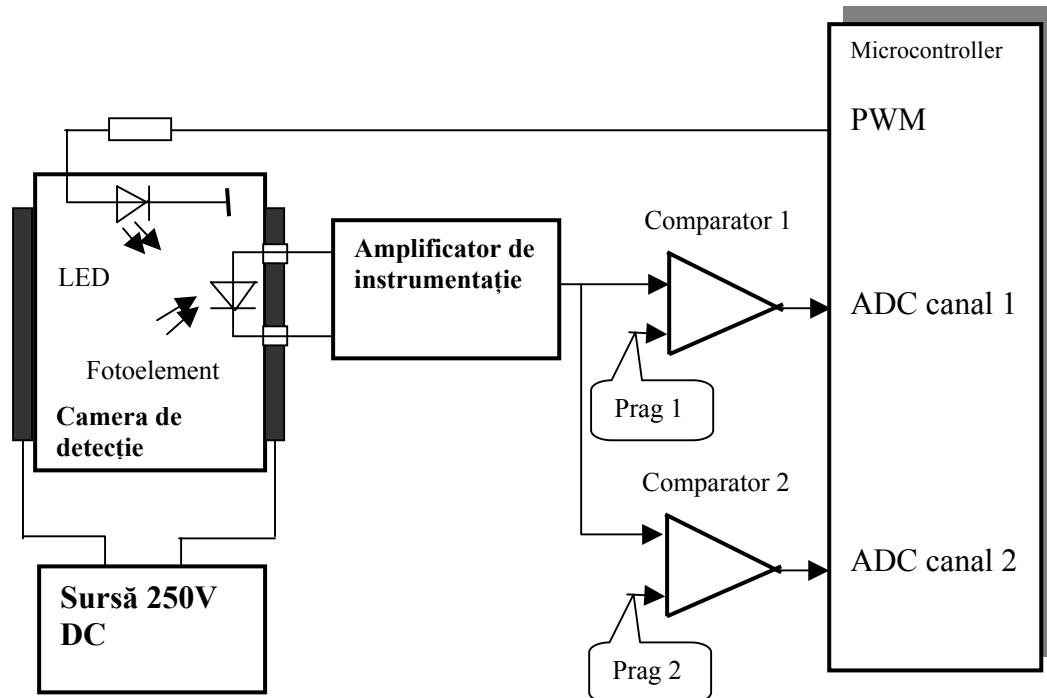


Figura 8.14: Schema bloc a măsurării prin numărarea impulsurilor

Durata și amplitudinea unui impuls de curent depind de energia particulelor incidente pe fotoelement. Amplitudinea este mărită de amplificatorul de instrumentație dar durata rămâne mică. La microcontrolerile uzuale rata de eșantionare este destul de mică- 10ks/s la ATMEL ATMEGA16, 100ks/s la Fujitsu, de aceea există riscul ca un impuls să nu fie detectat de către microcontroller. Pentru a putea realiza un aparat de măsurare portabil cu cost redus trebuie utilizat un microcontroller ieftin, de aceea se impune prelungirea lățimii impulsurilor cu circuite RC de diferențiere.

Variația parametrilor mediului în care se realizează măsurarea precum și variațiile parametrilor componentelor electronice face ca măsurarea să fie afectată de erori și funcționarea aparatului să fie perturbată. Mediul electromagnetic agresiv este una dintre principalele cauze posibile. A fost implementat un mod de verificare a calibrării care constă dintr-un LED aflat în incinta de măsurare (în interiorul traductorului) alimentat de la un canal PWM al microcontrollerului. Comparatorul 2 compară impulsul de ieșire cu un prag mai mare care poate fi atins doar când LED-ul luminează cu o intensitate mare. LED-ul este comandat să lumineze mai puternic la începutul măsurătorii pentru verificarea calibrării. Pe parcursul măsurării dacă se detectează un impuls dat de comparatorul 2 se consideră că acesta nu poate proveni decât de la o perturbație electromagnetică și se abandonează măsurătoarea prin afișarea unui mesaj de eroare

Schema de simulare a măsurării în Simulink este dată în figura 8.15.

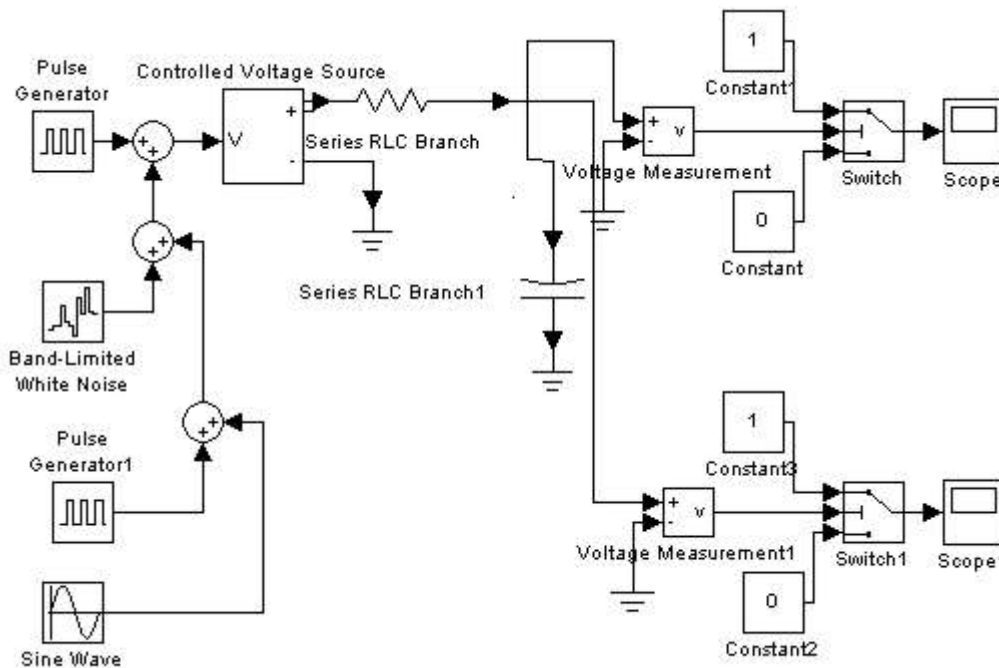


Figura 8.15: Schema de simulare a măsurării prin numărarea impulsurilor

Ca și în simularea măsurării prin integrare, pe lângă sursele de impulsuri utile se adaugă o sursă de zgomot aleator care simulează zgomotul intern al fotoelementului și o sursă sinusoidală care simulează perturbația de 50Hz care provine de la rețeaua industrială de curent alternativ. Un generator de impulsuri simulează impulsurile de amplitudine mică care provin de la o descărcare iar un generator de impulsuri simulează impulsurile de amplitudine mare generate la calibrare prin aprinderea LED-ului. Semnalul de intrare arată ca în figura 8.16:

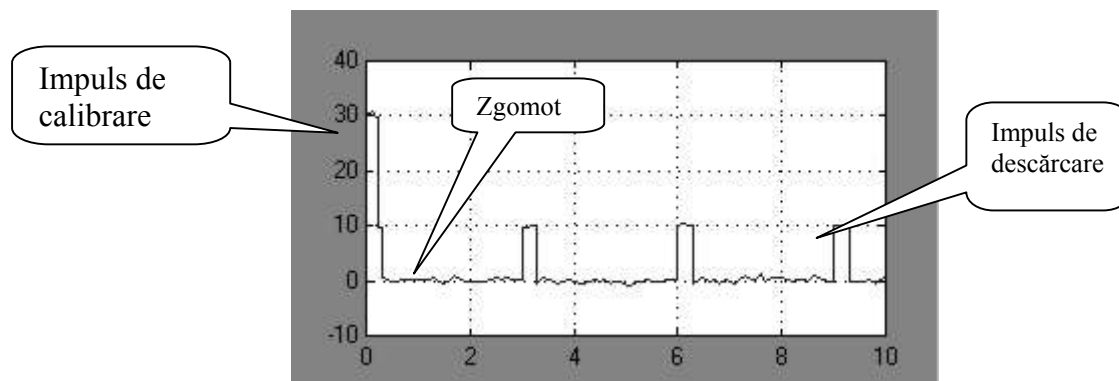


Figura 8.16 Impulsuri de intrare

Circuitele de diferențiere măresc durata impulsului iar circuitele de prag selectează impulsurile după amplitudine. Impulsurile de ieșire din comparatorul 1 și 2 sunt date în figura 8.17 stânga respectiv dreapta.

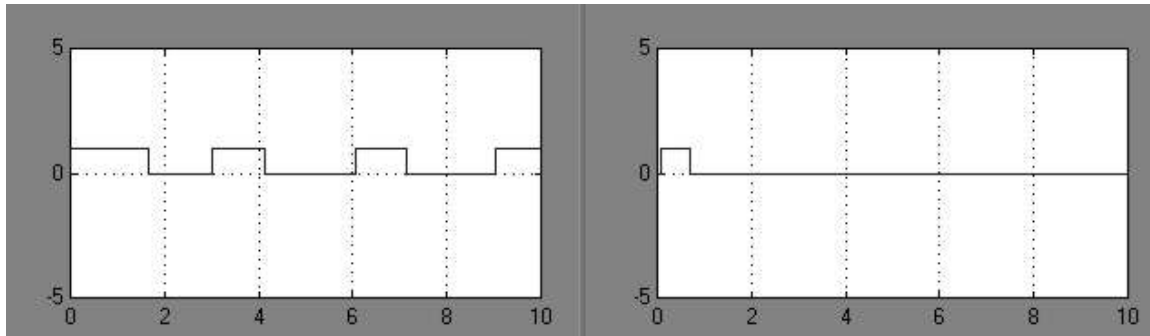


Figura 8.17: Impulsuri de ieșire

Se poate observa că la ieșirea comparatorului 1 apar impulsurile de descărcare și cel de calibrare iar la ieșirea comparatorului 2 apare doar impulsul de calibrare.

Măsurarea prin integrare este superioară celei prin numărarea impulsurilor din mai multe puncte de vedere:

- Perturbația sinusoidală este rejectată în totalitate dacă perioada de integrare este multiplu al perioadei tensiunii rețelei industriale;
- În timpul integrării microcontrollerul poate executa alte sarcini, de exemplu de transmisie de date;
- Etajul analogic este simplu.

Din păcate metoda integrării se poate aplica doar la un număr mare de impulsuri de descărcare în unitatea de timp, iar măsurarea concentrațiilor mici de Radon înseamnă un număr foarte mic de descărcări pe zi. Prin integrare zgomotul de măsurare crește în timp și produce saturarea circuitului analogic de integrare. Metoda numărării impulsurilor se pretează și la măsurări de concentrații mici, folosind însă mai mult resursele microcontrollerului. Așa cum a fost implementată, metoda prin numărarea impulsurilor nu poate determina tipul particulei radioactive care s-a descompus deoarece așa cum se vede din simulare impulsurile sunt prelungite și au aceeași amplitudine.

8.4. Unitatea de prelucrare

8.4.1. Alegerea microcontrollerului

Au fost considerate două variante de microcontroller, una cu un microcontroller din familia Fujitsu cu care Catedra de Electronică și Calculatoare are o colaborare și o altă variantă cu un microcontroller Atmel care este preferat în realizări prin faptul că este foarte cunoscut. Criteriul principal de selecție a fost performanța convertorului analog digital pentru că se fac achiziții de semnale analogice.

Prin rularea câtorva teste de achiziție s-a constatat o instabilitate a valorilor de la ieșirea convertorului analog/digital din componența microcontrollerului Fujitsu care influențează negativ precizia măsurătorilor. Metoda statică de testare a constatat din măsurări succesive a semnalului furnizat de convertor cu intrarea lui analogică conectată la masă și trimiterea datelor la calculator pentru analiză. Interfațarea cu calculatorul s-a realizat prin standardul

serial RS232, datele fiind primite de un program specializat de citire a portului serial. Și la microcontrollerul Atmel s-a păstrat modul de lucru în faze, gen *sample-hold-send*, practic se iau câte 1000 de eșantioane în lipsa conexiunii cu calculatorul, după care se realizează conexiunea către calculator după care se realizează transmisia datelor. După preluare datele sunt salvate într-un fișier text și pot fi reprezentate grafic.

Analiza semnalului analogic furnizat de senzor arată că zgomotul apărut la intrarea convertorului poate fi micșorat prin ecranarea traseului de intrare. Se constată că mărimea și frecvența impulsurilor nedorite este mult redusă. Așezarea în imediata vecinătate a traductorului este esențială în acest tip de aplicație.

Ca și filtrări software, cea mai simplă este filtrarea prin mediere care constă în eșantionarea semnalului cu o frecvență mărită și calcularea eșantionului curent prin medierea mai multor eșantioane preluate timp de o milisecundă.

$$y_j = (x_{j*N+1} + x_{j*N+2} + x_{j*N+3} + \dots + x_{j*N+N}) / N$$

Unde :

N – numărul eșantioanelor luate timp de o milisecundă

Y – semnalul de ieșire din filtrul de mediere

X – semnal de intrare în filtru

Semnalul de ieșire este calculat din N eșantioane luate anterior, prin efectuarea unei medieri aritmetice asupra lor. La valori mari ale N algoritmul necesită putere mare de procesare. De exemplu pentru valoarea N=50 rezultatele sunt prezentate în figura 8.18, rata erorilor fiind mult redusă, doar 4-5 eșantioane eronate. Sigur această performanță poate fi atinsă doar la folosirea la maxim a resurselor sistemului de procesare, lucru care este inacceptabil în majoritatea aplicațiilor, sistemul având și alte taskuri de executat în paralel. Pentru aplicații diferite se pot lua în considerare metode diferite de eliminare a zgomotului. De exemplu la achiziția semnalelor de la traductoare de Radon prin metoda integrării se pot face medieri software pentru că achiziția se face doar la sfârșitul perioadei de integrare. Se poate spune că principiul de măsurare prin integrare este superior din punctul de vedere antiperturbativ și prin faptul că permite o achiziție lentă și prin urmare microcontrollerul are timp să efectueze operația de mediere.

Un avantaj din punctul de vedere al zgomotului introdus de măsurătoare este ca traductorul să fie în apropierea sistemului de măsură. În cazul aparatului propus apropierea este realizată pentru camera de detecție care este montată în interiorul carcasei. Camera de ionizare fiind de mari dimensiuni este montată în exterior și semnalul este preluat cu cabluri ecranate. Este posibil ca să fie nevoie să se monteze partea analogică direct pe camera de ionizare.

Valorile achiziționate pentru un semnal constant la ieșire sunt în cazul unui microcontroller Fujitsu date în figura 8.18.

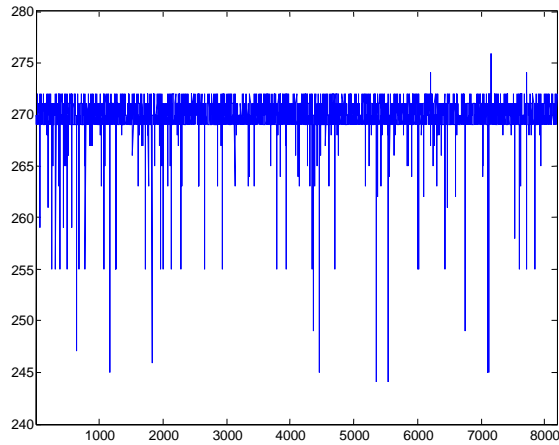


Figura 8.18: Valorile eșantionate pentru o tensiune continuă constantă la intrare (MB90F352S) (8000 de eșantioane)

Pentru un microcontroller Atmega16 valorile achiziționate sunt date în figura 8.19.

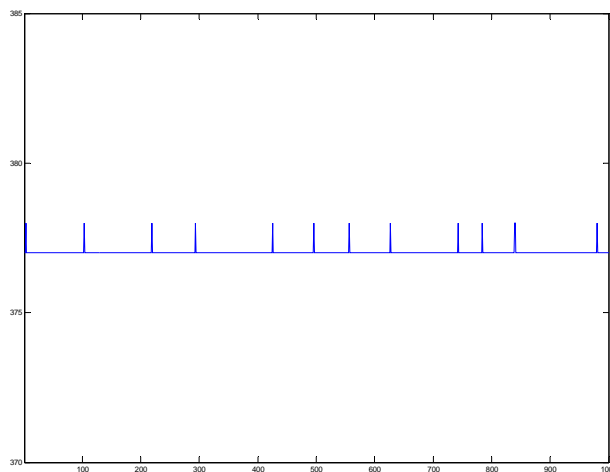


Figura 8.19: valorile eșantionate pentru o tensiune continuă constantă la intrare (Atmega16) (1000 de eșantioane)

Dacă la Fujitsu erorile erau de 4 biți, la Atmega16 erorile sunt de 1 bit, ceea ce justifică alegerea familiei ATMEL. Folosind o mediere software erorile scad, doar 4 eșantioane eronate din 3000. Dezavantajul medierii este creșterea timpului de achiziție.

8.4.2. Schema electrică

Unitatea centrală cu microcontroller este o unitate cu structură clasică, în care, în afară de microcontroller sunt prevăzute generatorul de tact, circuitul de RESET și circuitul de modificare de nivel MAX232 pentru interfața serială RS232 la care se vor conecta modulele GPRS, GPS și modemul de linie telefonică. Pe placă este prevăzut un conector pentru

programarea microcontrollerului ISP (In System Programming) și condensatori pentru atenuarea variațiilor tensiunii de alimentare.

Implementarea interfeței sistem - utilizator s-a realizat cu un afișaj grafic cu cristale lichide suficient de mare pentru vizualizarea în mod grafic și în mod text a meniurilor de lucru și a rezultatelor. Pentru implementare s-a ales modulul DEM128064ASYH-LY care dispune de 128 coloane și 64 de linii și un număr de 8192 pixeli, suficienți pentru aplicația curentă. Afișajul a fost folosit și în alte aplicații prezentate în celelalte capitole. Elementul principal al modulului îl reprezintă panoul cu cristale lichide de dimensiunea 128x64 puncte, acesta fiind controlat de circuitele auxiliare (drivere) KS0107B care controlează liniile, și KS0108B care controlează coloanele. De asemenea modulul dispune de un convertor intern de tensiune pentru generarea unei tensiuni negative necesară funcționării afișajului. Interfața de 14 de pini a modulului este alcătuită din magistrala de date de 8 biți și semnalele de control CS1, CS2, RS, R/W, RSTB și E, conform tabelului următor:

PIN MCU	NUME SEMNAL	DESCRIERE
P40	CS1	semnal de selecție circuit de control segment stânga
P41	CS2	semnal de selecție circuit de control segment dreapta
P65	RS	specifică dacă se transmite o comandă sau date
P4	R/W	semnal de control pentru citire/ scriere
P67	E	semnal de validare
P66	RSTB	semnal de resetare modul
P10-P17	D	Magistrala paralelă de date de 8 biți

Schema electrică a unității centrale cu microcontroller și a interfeței cu afișajul LCD este dată în figura 8.20.

Ciclul de scriere a unei comenzi sau date în modulul LCD începe prin aplicarea la intrarea modulului a semnalelor de selecție CS1 și CS0 precum și a semnalului de R/W care specifică tipul operației. După un timp bine definit se aplică semnalul de validare E, timp în care datele trebuie să fie stabile. Durata ciclului de scriere este bine definită și se găsește în foaia de catalog a modulului LCD. Modulul LCD dispune de un registru de intrare în care se stochează datele primite de la microcontroller înainte să fie afișate. La activarea semnalului E datele se scriu în registrul de intrare, după care printr-o operație internă ele sunt transferate în memoria internă și afișate.

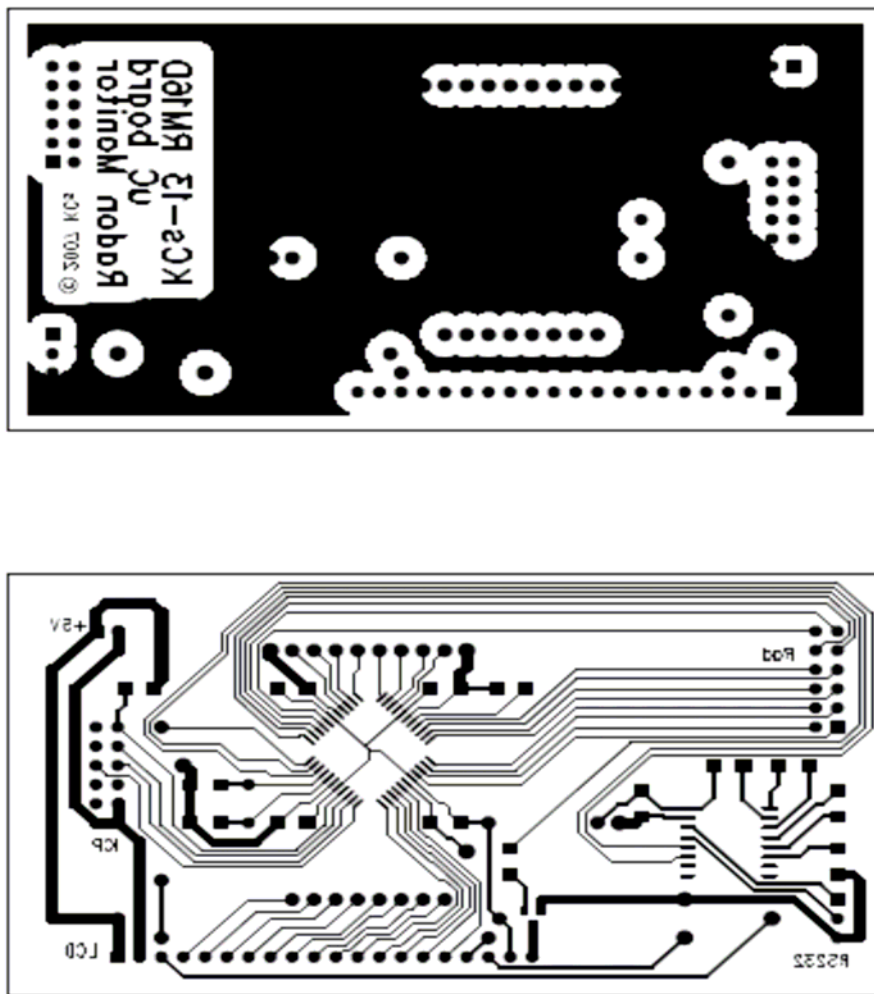


Figura 8.21: Cablajul unității centrale cu microcontroller ATmega16

1. Procedura de numărare a impulsurilor

Impulsurile au o durată și o amplitudine cunoscute pentru descărcarea unei particule de Radon. Microcontrollerul verifică impulsul primit ca durată și îl numără doar dacă durata lui este cea așteptată, între anumite limite, conform diagramei din figura 8.22.

După fiecare incrementare registrul este salvat în EEPROM pentru ca o întrerupere a tensiunii de alimentare să nu afecteze rezultatul măsurătorii. Dacă microcontrollerul are putere de calcul mai redusă salvarea se face doar la sfârșitul unei ore.

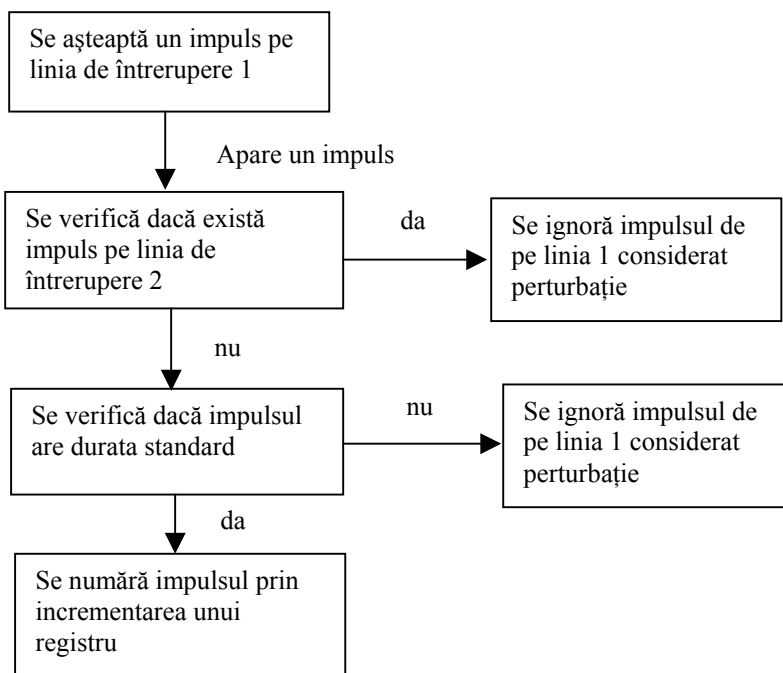


Figura 8.22: Procedura de numărare a impulsurilor

2. Procedura de totalizare și afișare, figura 8.23.

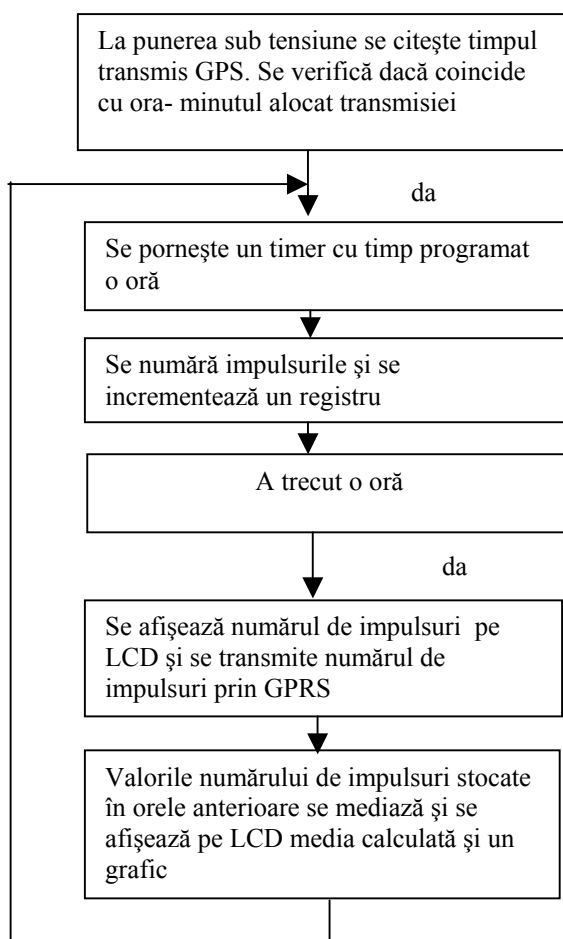


Figura 8.23: Procedura de totalizare și afișare

3. Procedura de atenționare

Procedura de atenționare este implementată pentru a trimite mesaje de avertizare dacă concentrația de Radon în aer depășește repetat valorile anterioare, figura 8.24. Se programează în microcontroller numărul N1 de citiri din care se face media de referință (o medie a concentrației de Radon pe N1 ore), numărul N2 de citiri care depășesc media de referință și D procentul de depășire pentru care se emite avertizarea. N1, N2 și D se stabilesc experimental.

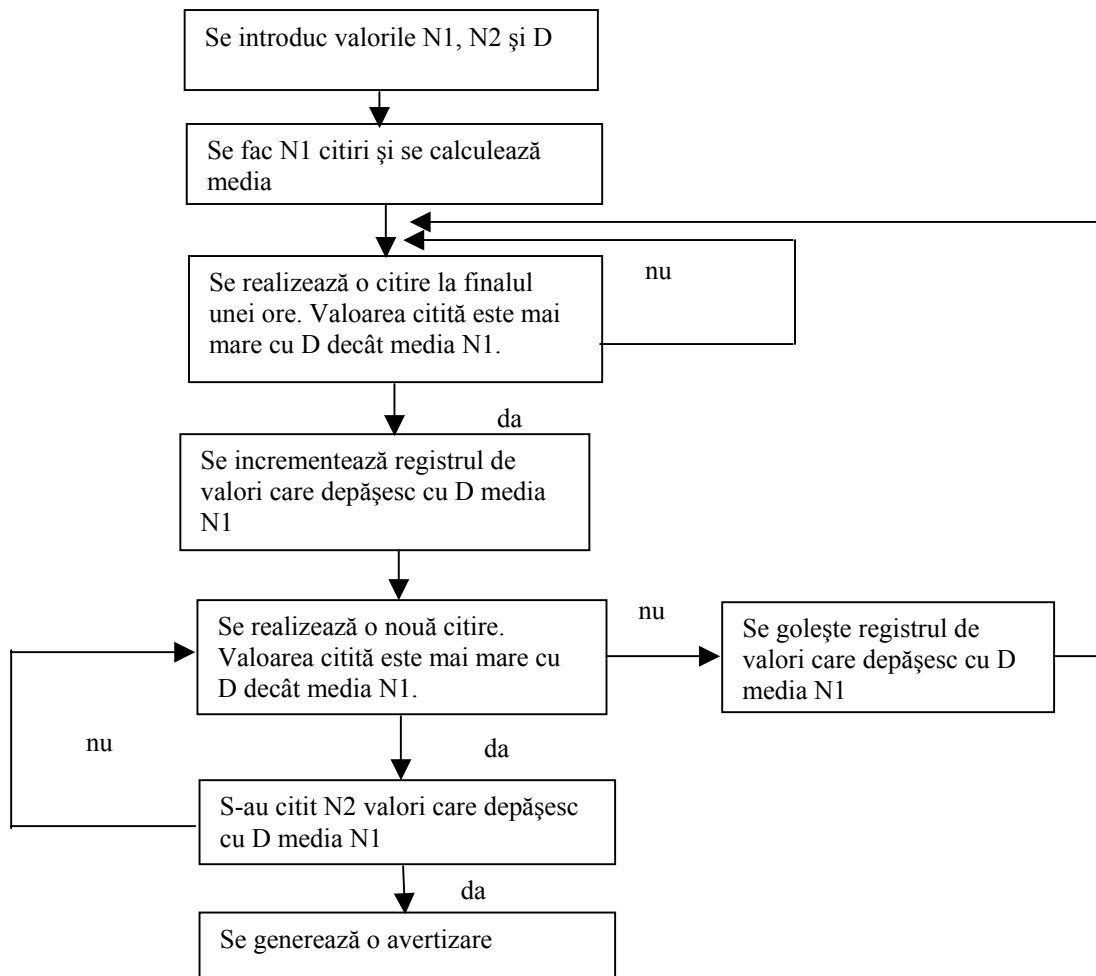


Figura 8.24: Procedura de atenționare

Transmisia la ore exacte poate fi realizată prin folosirea unui timer din microcontroller. În acest caz nu se transmite și poziția aparatului. Poziția și timpul pot fi aflate cu mare exactitate folosind sistemul GPS.

GPS (Global Positioning System) este un sistem de determinare a poziției care se bazează pe recepția unor semnale de la o rețea de 24 de sateliți plasați pe orbită. Acest sistem a fost folosit inițial pentru aplicații militare dar din 1980 s-a putut folosi și în aplicații civile. Receptorul GPS trebuie să recepționeze semnale de la minim 3 sateliți pentru o poziționare 2D (latitudine și longitudine) și de la minim 4 sateliți pentru o poziționare 3D (latitudine,

longitudine și altitudine). Precizia de determinare a poziției este de 10-15m dar există metode de a îmbunătăți precizia până la 2-5m.

Receptorul folosit este EZ10 de la Telit. Câteva dintre caracteristicile tehnice esențiale ale receptorului sunt:

- Acuratețe: în modul autonom de funcționare modulul are o acuratețe de detectare a poziției de 10m, în modul WAAS (Wide Area Augmentation System) acuratețea este sub 5m, iar folosind DGPS (Differential GPS) sub 2,5m.
- Receiverul dispune de 12 canale de recepție, astfel că se pot urmări până la 12 sateliți simultan.
- Rata maximă de înprospătare a informației este de 10Hz.
- Protocolul folosit este NMEA (National Marine Electronics Association)
- Ca ieșire de date modulul folosește o comunicație serială RS232 la 4800 b/s (standard NMEA-0183 versiunea 2.2 [8])

Mesajele NMEA pot fi vizualizate cu orice program standard de comunicație serială, cum ar fi Windows Hyper-Terminal. Modulul transmite cinci tipuri de propoziții: GGA, GSA, RMC, VTG și GSV. Dintre acestea cinci, doar propozițiile GGA și RMC conțin atât date despre timp cât și poziție (latitudine și longitudine).

```
$GPGGA,235948.999,0000.0000,N,00000.0000,E,0,00,50.0,0.0,M,,0000*33  
$GPRMC,235948.999,V,0000.0000,N,00000.0000,E,0.00,,171101,,*05
```

Se poate vedea indicația de timp, achiziția a început la ora 23.59.48,999. Indicația despre poziție nu a fost actualizată pentru că sistemul a fost testat într-o casă unde pereții au ecranat semnalul GPS de poziționare.

Software-ul pentru server a fost realizat de un grup de studenți pasionați condus de dl. Marius Moga. Radon Data Manager este un sistem software care permite preluarea de mesaje predefinite de la echipamentele implicate în măsurarea concentrației de Radon conectate în sistemul GPRS, interpretarea acestora și transmiterea datelor rezultate către un server MySQL, în vederea stocării într-o bază de date. Sistemul software înglobează trei interfețe, interconectate:

- Interfața grafică - permite utilizatorului să comunice cu sistemul software;
- Interfața server (serverul) – reprezintă legătura aplicației cu echipamentele care trimit mesaje predefinite serverului, utilizând stiva de protocoale TCP-IP și diferite tehnologii de acces la internet;
- Interfața client MySQL – asigură înregistrarea și actualizarea datelor în baza de date, prin tranzații între interfață și un server MySQL 5.0 .

Radon Data Manager 1.0 permite la nivel de interfață grafică operațiuni de control al serverului și al conexiunii cu serverul MySQL, gestiunea echipamentelor implicate în procesul de măsurare și supravegherea activității sistemului software prin mesaje furnizate de metodele aplicației.

La nivelul serverului sistemul acceptă orice conexiune TCP-IP adresată acestuia pe un port de comunicație dedicat, care poate fi setat de către utilizatorul sistemului, de regulă pot fi alese porturi cuprinse în intervalul 1024 – 65535, deoarece valorile mai mici de 1024 sunt rezervate pentru servicii predefinite (FTP, HTTP, SMTP, etc.). Conexiunea între client și server poate fi realizată numai dacă respectivul client utilizează același port de comunicație pentru care serverul acceptă conexiuni, astfel încât odată ce este modificat portul de comunicație al serverului, trebuie modificate și porturile de comunicație ale tuturor clienților. În momentul acceptării unei conexiuni, serverul va aștepta sosirea mesajului predefinit. Dacă după stabilirea conexiunii clientul conectat la server nu trimite date sau trimite mesaj incomplet, conexiunea va fi întreruptă după un timp de așteptare care poate fi setat de către utilizatorul sistemului. Întreruperea conexiunii cu respectivul client nu afectează preluarea unei noi conexiuni, iar dacă mai mulți clienți solicită o conexiune la server, serverul va accepta și trata pe rând fiecare conexiune în parte, în ordinea sosirii cererilor, clienții așteptând acceptarea conexiunii. Numărul maxim de cereri de conexiune este fix (nu poate fi modificat de utilizator), cel mult 50 de cereri pot fi stocate în coada de așteptare. Sistemul de operare va respinge oricare a 51-a cerere de conexiune. Un ecran al programului care arată un raport al conexiunilor și datele preluate este capturat în figura 8.25.

The screenshot displays the Radon Data Manager interface, divided into several sections:

- Gestione Echipamente:** A configuration panel for equipment. It includes fields for 'Coduri Echipamente:' (with 'abcd' and 'SWSY' listed), 'Cod echipament:' (set to 'abcd'), 'Tipul datelor transmise:' (radio buttons for 'impulsuri' and 'Bq/m3'), 'Durata între două transmisii succesive:' (set to 60 minutes), 'Coeficient de conversie K:' (set to 3.16), and an 'Observații:' field containing 'echipament de test'. Buttons for 'Adaugă', 'Șterge', and 'Caută' are present.
- Activitate:** A log window showing server activity. It includes a 'Server' dropdown and a 'Mărime text:' field set to 12. The log contains numerous entries such as '01:02:08.449 -> Serverul așteaptă un client.', '01:03:15.449 -> S-a stabilit o conexiune cu: /81.12.224.202', and '01:03:21.746 -> Codul recepționat: ABCD'.
- Date preluate de la echipamente:** A data collection window. It features a 'Cod echipament:' field (set to 'abcd') and a 'Preia înregistrările din baza de date' button. Below is a table with the following columns: 'Nr.crt.', 'Data și ora stocării', 'Coordonatele GPS', and 'Valoarea măsurată'. The table contains 23 rows of data, starting with '23|2008-03-18 00:00:52.0|4538.3949N,02535.4936E|30539' and ending with '51|2008-03-18 01:02:08.0|4538.3887N,02535.4934E|17430'.

Figura 8.25: Date preluate de la echipamente

Clientul MySQL asigură tranzațiile între Radon Data Manager și serverul MySQL utilizând mai multe metode implementate în sistemul software. Autentificarea la serverul MySQL este realizată printr-o metodă complexă ce asigură în același timp crearea bazei de date în cazul în care aceasta nu există, preluarea datelor de autentificare dintr-un fișier binar, permițând astfel autentificarea automată la serverul MySQL în momentul pornirii sistemului software, fără a mai fi necesară intervenția utilizatorului. La prima utilizare a sistemului RadonDataManager, este necesară introducerea de către utilizator a datelor de autentificare. Acestea vor fi stocate în fișierul binar “autentif.bin”, imediat după stocare se va declanșa automat procedura de autentificare pentru verificarea corectitudinii datelor de autentificare, în cazul în care datele sunt incorecte, fereastra pentru setarea datelor de autentificare va rămâne deschisă pentru introducerea altor date.

Pentru funcționarea sistemului este necesar ca aplicația software să ruleze pe un calculator conectat permanent și dedicat la Internet prin diverse tehnologii de acces oferite de furnizorii de servicii. O conexiune dedicată la Internet implică o adresă IP fixă oferită prin contract de către un Internet Service Provider. Conexiunea permanentă poate fi susținută de un serviciu de acces la Internet cu un parametru QoS (Quality of Service) cât mai bun.

8.5. Sursa de alimentare 250V DC

Sursa de alimentare de tensiune mare are rolul de polarizare a camerei de ionizare sau a camerei de detecție. Circuitul integrat care stă la baza acestei aplicații este LM 3524, un generator de semnal PWM. Schema din figura 8.26 arată principiul unui convertor pentru ridicarea tensiunii de alimentare (Step Up) și formele de undă.

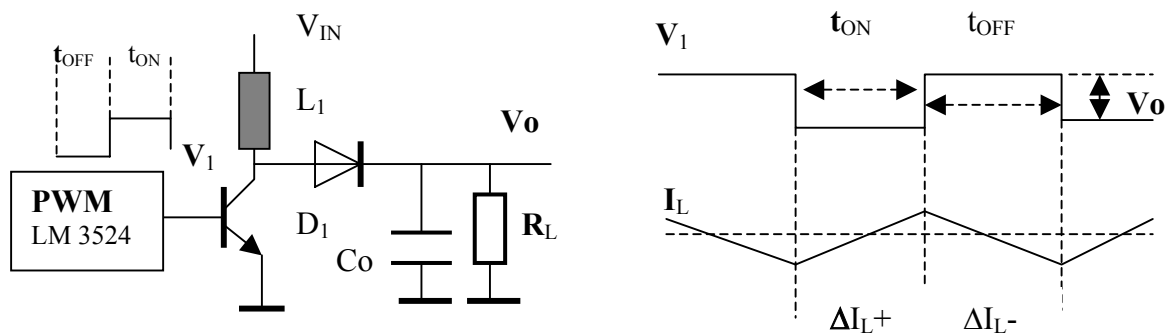


Figura 8.26: Convertor DC DC pentru ridicarea tensiunii de alimentare (Step Up)

$$\Delta I_L = \frac{V_L \cdot T}{L}, \text{ deci } \Delta I_{L+} \cong \frac{V_{IN} \cdot t_{ON}}{L_1} \text{ dacă se neglijează tensiunea de saturație a}$$

tranzistorului Q_1

$$\text{la fel } \Delta I_{L-} \cong \frac{(V_0 - V_{IN}) \cdot t_{OFF}}{L_1} \text{ dacă se neglijează tensiunea pe } D_1$$

$$\Delta I_{L+} = \Delta I_{L-} \text{ deci } V_{IN} \cdot t_{ON} = V_0 \cdot t_{OFF} - V_{IN} \cdot t_{OFF}$$

8.6. Rezultatele măsurărilor. Etalonare și concluzii

Primele măsurători au fost efectuate cu un sistem de achiziții de date National Instruments DAQ USB care constă dintr-un modul DAQ USB și un calculator PC. Cu acest sistem s-au efectuat achiziții ale semnalului analogic furnizat de camera de detecție (după amplificatorul analogic), figura 8.28.

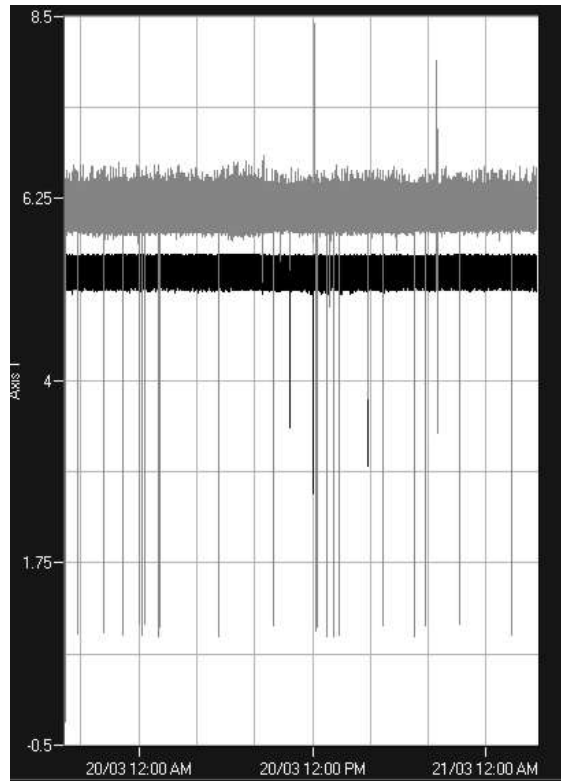


Figura 8.28: Rezultatul achiziției pentru o zi cu camera de detecție realizată cu modulul National Instruments

Impulsurile gri provin de la descărcări ale particulelor de Radon iar impulsurile negre sunt impulsuri de eroare. Se vede din grafic că pe perioada unei zile nu au apărut impulsuri de eroare suficient de mari pentru ca aparatul să semnalizeze o eroare. Viteza convertorului DAQ-USB de 10ks/s nu permite conectarea directă la ieșirea camerei de ionizare /detecție pentru că impulsurile generate sunt prea rapide. Un impuls din graficul din figura 8.28 este prezentat în detaliu în figura 8.29.

Se observă din figură forma dreptunghiulară a impulsului (a cărui energie nu este proporțională cu energia impulsului de intrare) și se mai observă și ieșirea a doua a amplificatorului unde tensiunea variază foarte puțin.

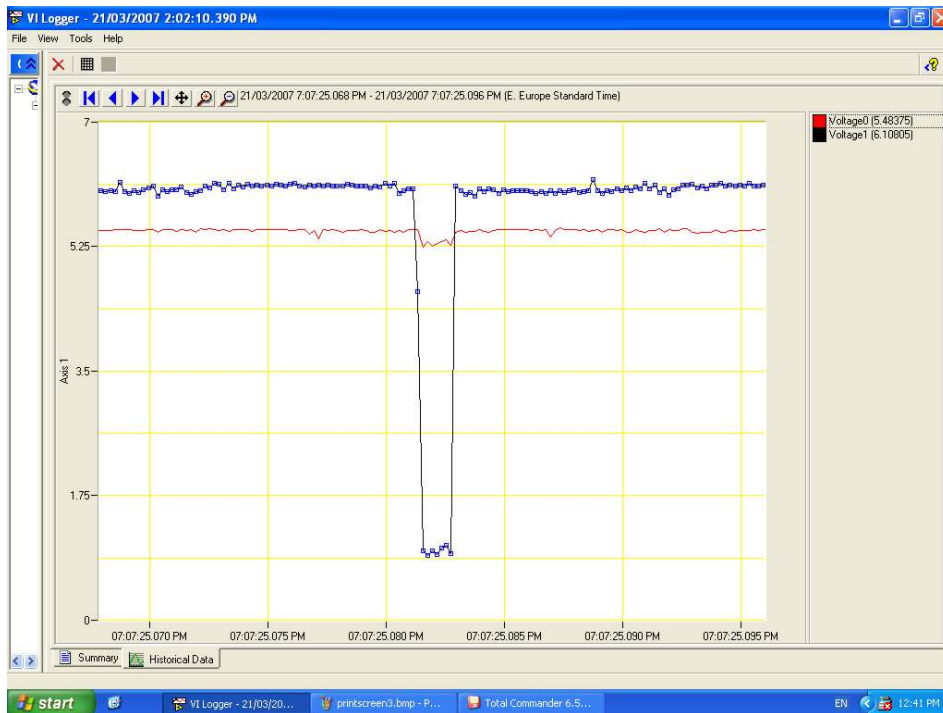


Figura 8.29: Impuls datorat unei particule în camera de detecție

O fotografie cu o vedere de sus a aparatului portabil cu cameră de detecție realizat este dată în figura 8.30.

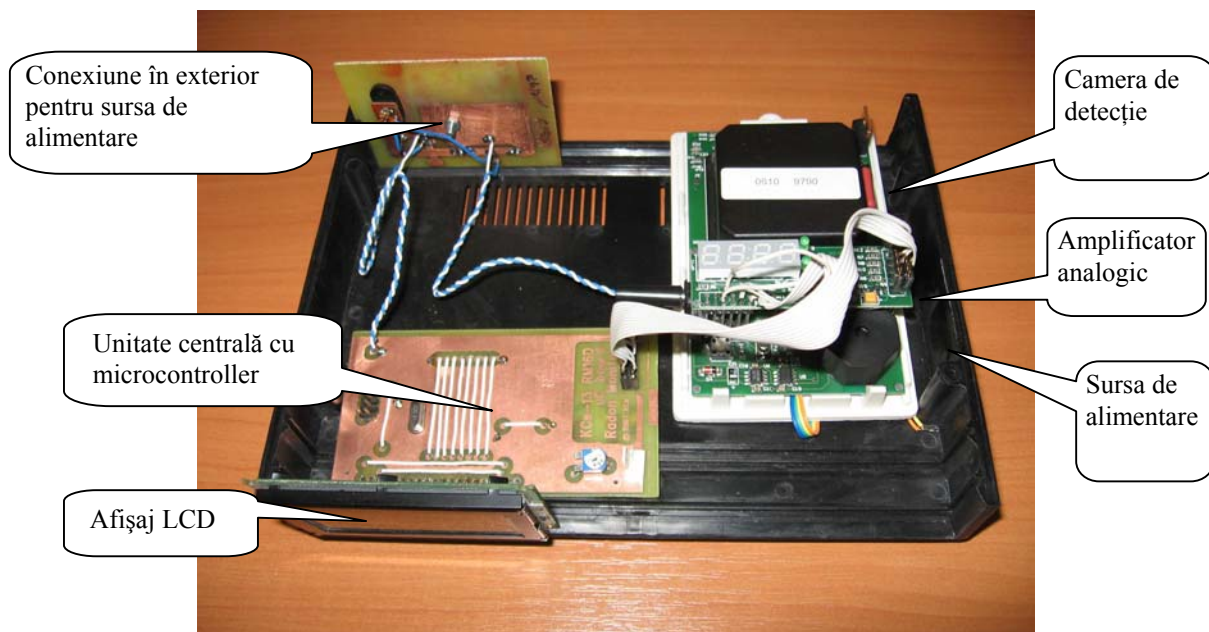


Figura 8.30: Aparatul de măsurare a conținutului de Radon în aer cu cameră de detecție (vedere de sus)

Din fotografie lipsesc modulele opționale: modem-ul GPRS și cel de linie telefonică. O fotografie cu o vedere din față este dată în figura 8.31. Se observă indicația afișajului LCD grafic pe care este afișată concentrația de Radon în aer.

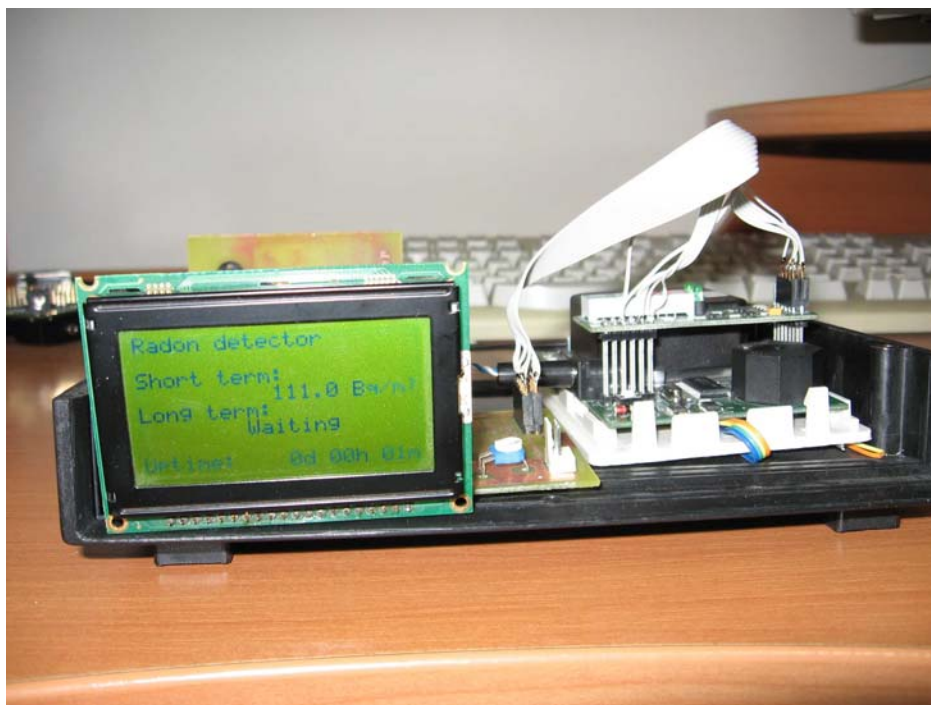


Figura 8.31: Aparatul de măsurare a conținutului de Radon în aer cu cameră de detecție (vedere din față)

Datele transmise de către microcontroller sunt recepționate pe portul serial de la calculator cu ajutorul programului Hyper Terminal. S-a setat Baud rate-ul la 9600 b/s, iar formatul datelor 8-n-1. Pentru recepție s-a folosit portul COM1 de la un PC.

Etalonarea aparatului a fost realizată prin comparație cu aparatul electronic de producție SUA SAFETY SIREN 2. Au apărut 79 de impulsuri în 93 de ore ceea ce înseamnă 0.8494 de impulsuri pe oră. Aparatul SAFETY SIREN 2 a afișat 3.0 pCi/L (111 Bq/m³). Valoarea minimă pe care o poate detecta aparatul este de 0.1 pCi/L sau 3.7 Bq/m³, valoare pentru care corespunde perioada de 0,0283154121 de impulsuri pe oră. Toate valorile concentrației de Radon vor fi exprimate în pCi/L, pentru ca numărul de impulsuri și valoarea concentrației să poată fi reprezentate pe același grafic. Conversia între pCi/L și Bq/m³ se poate face apoi cu relația $1\text{pCi/L}=37\text{Bq/m}^3$

Relația dintre numărul de impulsuri pe oră și valoarea concentrației exprimată în pCi/L este liniară și este reprezentată în graficul din figura 8.32.

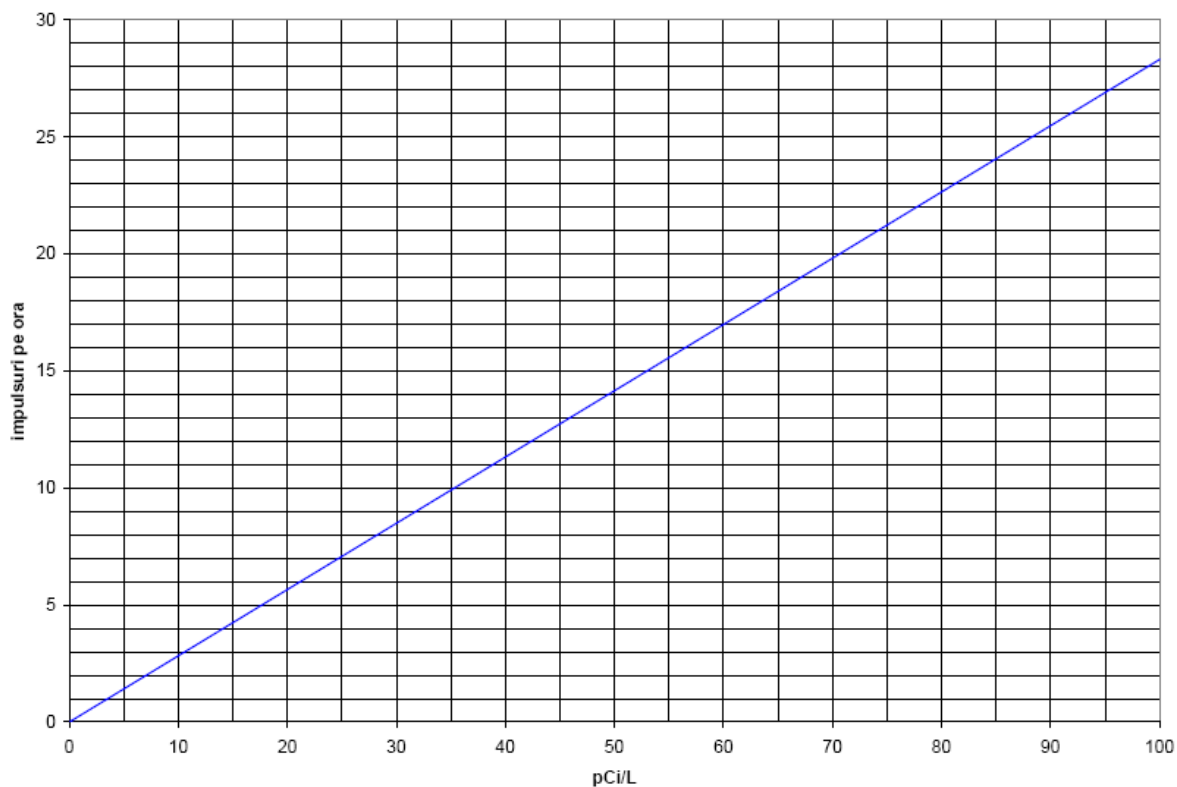


Figura 8.32: Dependenta dintre numărul de impulsuri pe oră și valoarea concentrației Radonului exprimată în pCi/L

Graficul din figura 8.33 arată valoarea concentrației afișate de aparat la o urmărire de 93 de ore cu o mediere la 5 ore, prima valoare a mediei fiind afișată după 5 ore:

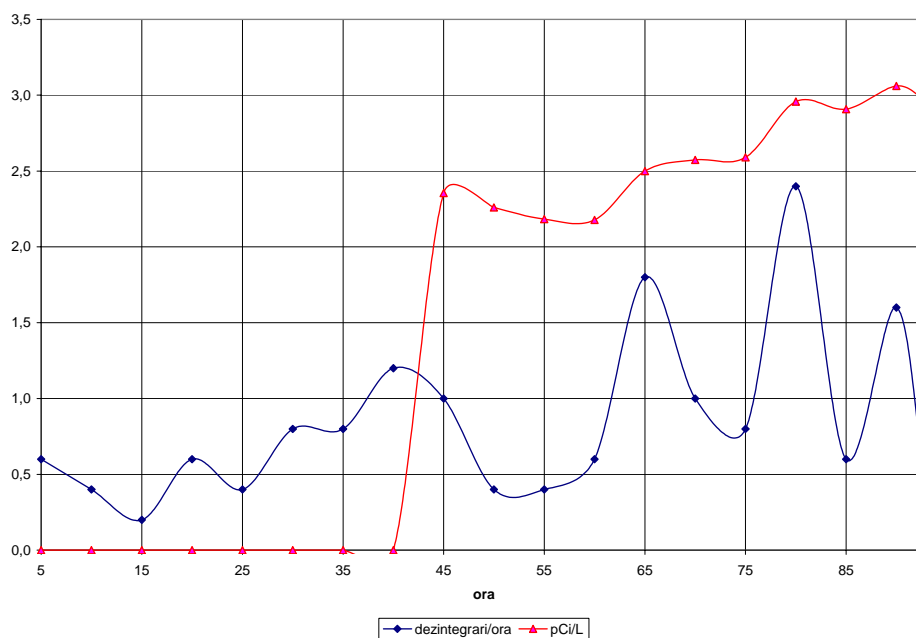


Figura 8.33: Variația în timp a valorii concentrației de Radon și a numărului de impulsuri pe oră, medierea impulsurilor făcându-se pe 5 ore

Prima valoare reală a concentrației este afișată după 5 ore, valorile de mai înainte fiind calculate din prea puține eșantioane.

Cele două variante de aparate realizate sunt prezentate în figura 8.34. Sus stânga este prezentată varianta cu cameră de ionizare (mijloc) în timpul verificării măsurătorilor prin comparație cu SAFETY SIREN 2 (dreapta) și un contor Geiger Muller (stânga). Modemul GPRS/GPS este pus pe aparat. Un detaliu al camerei de ionizare este prezentat în figura 8.34 dreapta. Figura 8.34, jos, arată aparatul cu cameră de detecție montat și echipat cu modemul GPRS/GPS EZ10 și antene.



Figura 8.34: Cele două variante de aparate construite

În acest proiect s-au implicat mai multe colective de studenți și cadre didactice, unul dintre ele condus de dl. conf. dr. ing. Gheorghe Morariu care au elaborat aparatul cu cameră de ionizare pentru care s-a depus o cerere de brevet de invenție și celălalt condus de dl. șef lucrări dr. ing. Kertesz Csaba care s-a ocupat de realizarea aparatului de măsurare a Radonului în aer cu camera de detecție și partea de prelucrare numerică.

Măsurarea prin integrare nu dă rezultatele dorite la concentrații mici de Radon deoarece impulsurile de integrat sunt prea rare (câteva pe zi). Rezultate bune se obțin cu metoda de numărare a impulsurilor. Această concluzie a fost trasă după construirea lanțului analogic, achiziția semnalului și urmărirea lui o perioadă mai lungă cu modulul de achiziții de National Instruments.

Camera de detecție este mult mai mică ca și dimensiuni decât camera de ionizare și în bibliografie se pare că este mai utilizată în aplicațiile moderne. Totuși, un dezavantaj al camerei de detecție este faptul că primele rezultate sunt date cu mai mare întârziere decât camera de ionizare. Dimensiunile fiind mai mici, durează mai mult până aerul intră în incinta de măsurare. Aparatele cu cameră de detecție se pretează la aplicații portabile.

Cu toate că nu există o limită teoretică a sensibilității se apreciază că sensibilitatea este $0,1\text{pCi/l}$ (4Bq/m^3) datorită faptului că nu au existat mijloace tehnice de a verifica aparatul la un conținut mai mic de Radon. În lucrarea [9] se arată un sistem de măsurare a Radonului care detectează și o concentrație de 18mBq/m^3 (o descărcare/24ore) cu o cameră de detecție de 70l polarizată cu 1500V și o fotodiodă PIN. Această lucrare din 2006 arată corectitudinea liniei alese în acest proiect de a insista pe varianta constructivă cu fotoelement.

Concepția de realizare a fost considerată originală, a fost prezentată în [10]. a fost înregistrată o cerere de invenție [11], iar cercetările ulterioare publicate [12].

Bibliografie

- [1] Cosma C., Jurcut T., *Radonul și mediul înconjurător*, Editura Dacia 1996
- [2] Ogrutan P., Documentație proiect CEEEX 747/2006, *Cercetări privind cartarea națională a Radonului (în interior și în diferiți factori de mediu) pentru protecția populației în conformitate cu cerințele normelor internaționale și ale UE*
- [3] Yamamoto, S.; Yamasoto, K.; Iida, T., *Development of a real-time radon monitoring system for simultaneous measurements in multiple sites*, [Nuclear Science Symposium, 1998. Conference Record, 1998 IEEE](#), Volume 2, 8-14 Nov. 1998 Page(s):1052 - 1055 vol.2
- [4] Roca, V.; Boiano, A.; Esposito, A. et all *A monitor for continuous and remote control of radon level and environmental parameters* [Nuclear Science Symposium Conference Record, 2004 IEEE](#), Volume 3, 16-22 Oct. 2004 Page(s):1563 - 1566 Vol. 3
- [5] Noto, N.; Ohsumi, H.; Kobayashi, S.; *Performance of the electrostatic collection type radon and toron detector* [Nuclear Science Symposium Conference Record, 2002 IEEE](#), Volume 1, 10-16 Nov. 2002 Page(s):429 - 434 vol.1
- [6] Radio Communications & Supply SRL, office@rcsco.com, reprezentant TELIT, documentație tehnică TELIT EZ10
- [7] Sandu D. D., *Electronica fizica*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1973
- [8] <http://www.nmea.org>, GPS
- [9] Nachab A., *Radon reduction and Radon Measurements at the Modane Underground Laboratory*, 2nd Workshop in Low Radioactivity Techniques, 2006, Aussois
- [10] Morariu Gh., Ogrutan P., Kertesz Cs., Alexandru M., *A Novel Procedure and Apparatus for Measuring the Radon Concentration in Air*, Proceedings of the 11-th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipments, Brasov, 2008, OPTIM 2008, IEEE Catalog Number 08EX1996C, ISBN1-4244-1545-4
- [11] Purghel L., Morariu Gh., Ogrutan P., Alexandru M., Kertesz Cs., Suciuc L., *Metoda si aparat pentru masurarea concentratiei de Radon in aer si transmiterea datelor la distanta*, cerere nr. OSIM A/00259 9.04.2008
- [12] Ogrutan P., Romanca M., Gerigan C., Morariu Gh., Aciu L.E., *Real Time and Multiple Location Radon (^{222}Rn) Monitoring System*, Advances in Electrical and Computer Engineering, ISSN: 1582-7445, Volume 10, Number 4, 2010, pp. 155 – 160