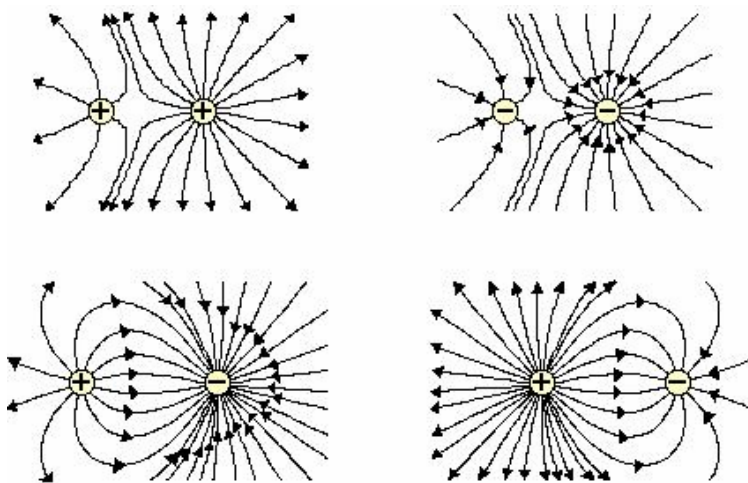


## Detector de mișcare prin perturbarea câmpului electric

Prof. Licu Stana

Școala Gen. Nr. 2 ▪ Ion Heliade Radulescu ▪ Urziceni ▪ Ialomița

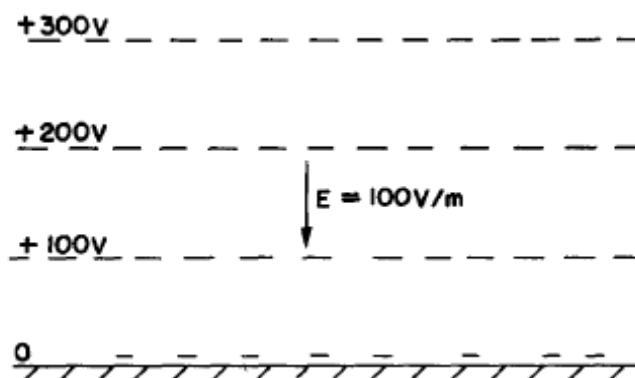
Elevii se întreabă adeseori: De ce sa învățăm asta? Detectorul pe care-l propun, începând cu acest articol, arată aplicația practică a unui fenomen al fizicii în viața de zi cu zi. Pornind de la noțiunea de câmp electric, învățata prima oară în clasa a VIII-a, până la construcția și utilizarea unui dispozitiv construit pentru o aplicație elevul, uneori nu numai el :-), se familiarizează cu o excitantă parte a cunoașterii care nu este nici pe departe atât de aridă cum pare. Deși ofer aproape toate elementele construcției pentru pasionați, aceasta nu este forțată pentru cititor dar lectura poate stabili un obicei de autocontrol când achiziționăm un aparat să-i înțelegem modul de lucru până la principiul teoretic. Va rugăm să ne iertați și micile glume din text, care nu sunt răutăcioase, dar asta ne reamintește că glumind îndreptăm moravuri sau mai bine zis năravuri de elev. În primul rând sa vedem ce este un detector de mișcare. Numele pare îndeajuns dar trebuie să precizăm că sesizează mișcarea unor ființe sau obiecte într-un spațiu delimitat de interesul nostru. Felul obiectului are importanță dacă discutăm despre câmpul electric și este evident ca nu ne interesează corpurile izolatoare care nu interacționează cu câmpul electric, sau prin



poziționarea interioară a sarcinilor electrice influențează prea puțin, ci cele care prezintă o anumită conductivitate, fie cât de mică. Sa ne reamintim perturbația câmpului electric al unui corp produs de altul cu sarcina mai mică prin intermediul desenului alăturat. Prima concluzie pe care o putem trage este ca avem nevoie de 2 surse din care una fixă și pentru mișcare cea de-a doua însăși corpul detectat. Modificarea poziției unui corp schimbă potențialul  $\Delta V = -Ed$  măsurat față de pământ de

exemplu, deci cu un voltmetru foarte sensibil putem detecta mișcarea fiindcă „d” se modifica.

Viteza de variație, respectiv componentele în frecvență pentru acest potențial sunt corelate cu

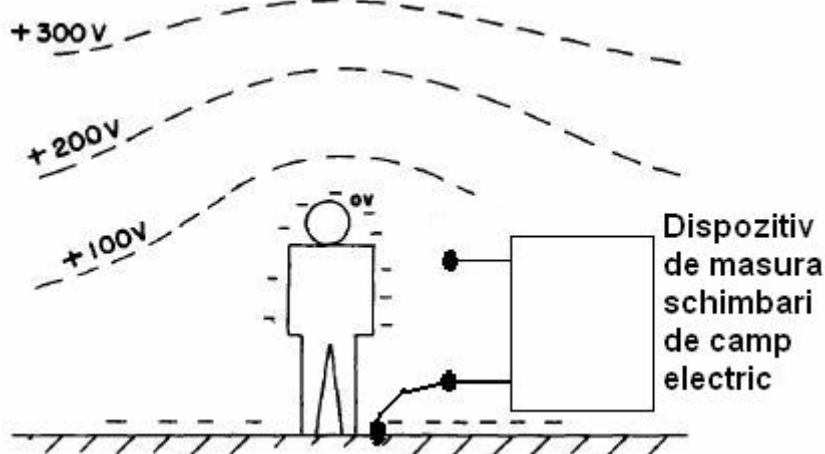


viteza de mișcare, respectiv mărirea corpului în sensul mărimii sarcinii  $E=kQ$  purtate. Sa revenim la sursa fixă necesară. Ce facem, o construim? Dacă suntem buni elevi cititori aflăm, cel mai ușor acum de pe internet, ca planeta pe care trăim are un câmp electric natural (nu numai magnetic după cum știu unii, :-0) dar, atenție mare, de  $\sim 100$  V/m variind pe înălțime față de sol.

Daca nu mă credeți vedeți link-ul

următor: <http://www.feynmanlectures.info/> cu un autor foarte respectat **Richard P. Feynman** laureat al premiului Nobel. Un profan deștept poate să întrebe cum de nu ne ia gaia pe toți cei mai înalți de 0.24 m corespunzând la 24 V cât știm ca se aplică aparatelor pentru siguranța noastră în laborator. Iar un pseudoexpert ar zice lasă-mă d-le cu chestia asta, sunt atâtea câmpuri electrice în jurul nostru de la transmisiile radio, TV si telefonie mobilă ca o se miște tot în spațiul d-tale și în plus la 10.000 m înălțime un avion are 1.000.000 V tocmai buni sa-l dărâme. Primului trebuie să-i spunem ca aerul este foarte puțin conducător de electricitate ca să poată transmite

acest potențial corpului uman iar acesta capătă aproape potențialul solului fiind conductor prin conținutul sau în apă cu săruri, apa aproape 70% , adevărat ca în reclama cu izvorul, că ești ceea ce bei. Din același motiv al conductivității foarte scăzute a aerului nu suferă nici avionul care nu poate suporta 1 mil. V pentru că nu are ca legătură cu pământul decât tot aer și în plus să spunem că cu înălțimea nu se respectă regula 100 V la fiecare metru scăzând valoarea cu înălțimea. Dacă voltmetrul nostru cu o ansă pusă la pământ și una la 1 m arată 100 V și dacă trece un corp uman pe lângă acestea tensiunea scade aproape de 70 V căci „d” al lui „100 V” crește, ansa rămânând la aceeași înălțime, astfel este sesizată prezenta mișcării. Deci dispozitivul nostru se va comporta la fel ca voltmetrul, vedeți figura de mai jos:



O dovadă v-o poate da șoferii care coboară din automobil și ating caroseria metalică simțind o pișcătură pentru ca o „pun la pământ” cu sarcinile electrice acumulate în timpul mersului din frecarea cu aerul. Pentru sesizarea mișcării am ales construirea unui dispozitiv pe baza perturbației câmpului electric mai mult din considerentele didactice. În viața de zi cu zi se poate alege

un alt fenomen în funcție de împrejurări. Pe de altă parte considerând pământul ca sursă fixă demonstrăm existența câmpului electric natural al acestuia. Din acest moment trecem din rândul cititorilor de basme ale fizicii de clasa a VIII-a în rândul electroniștilor, autodidacți din păcate pentru că cercurile de specialitate nu prea mai lucrează, oameni superiori cu viitorul înainte care fac la început și munca de jos adică plăci cablate, cutii, montaje etc. Să spunem că cineva are nevoie să numere spectatorii la un meci, elevii care vin la școală într-o zi, cași și mai ales care întârzie sau lipsesc – nu este o glumă. Trecerea pe lângă antena dispozitivului lasă o adevărată amprentă a formei corpului prin structura semnalului capturat dacă se utilizează componente performante. În desenele de mai sus este reprezentată o secțiune în spațiu, deformarea câmpului la câțiva zeci de cm are forma aproximativă a unei căpițe, apropiindu-ne de corpul uman perturbația se modelează după acesta. Pentru început să stabilim componenta și funcțiile în detaliu ale dispozitivului. Dacă se urmărește și prețul de cost, cum e normal de obicei, intervin criteriile suplimentare de stabilit în construcția dispozitivului. Să începem cu ieșirile, adică ce avem nevoie:

1. O ieșire tampon pentru un sistem de alarmare, numărare etc.
2. O ieșire de vizualizare semnal dacă cercetăm forma corpurilor în mișcare
3. Semnalizare acustică și luminoasă: sonerie intermitentă, 2 leduri pentru nivelul de perturbație crește-scade câmpul electric al colectorului
4. Semnalizare luminoasă de stare și comutator cu reținere pornit-oprit
5. Semnalizare luminoasă a stării sursei de alimentare când este pe baterie într-un montaj exterior să indice scăderea tensiunii de alimentare sub cea minimă cerută de funcționarea sigură a dispozitivului.

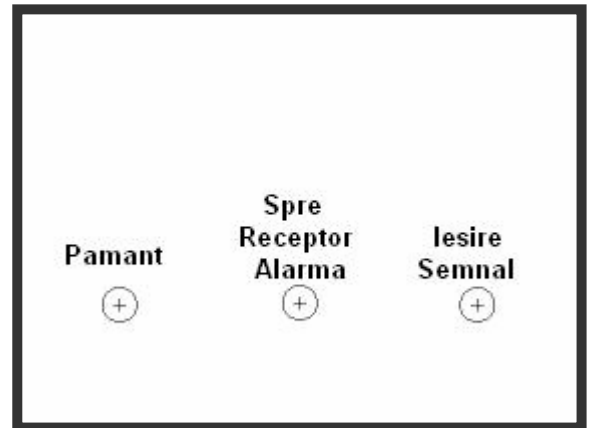
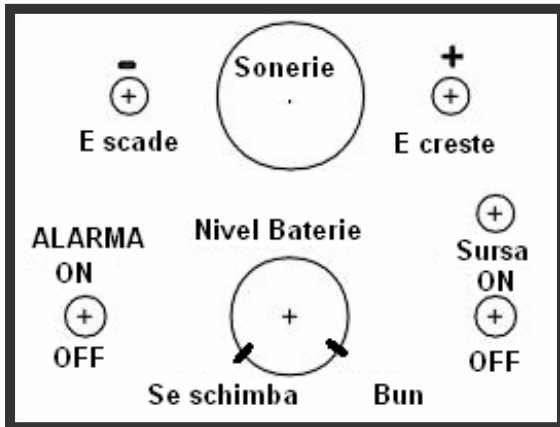
În continuare să stabilim intrările:

1. Un colector de sarcini electrice gen tijă metalică care se încarcă din aer. Pentru a obține un control al sarcinilor preluate din aer, respectiv o reglare a sensibilității dispozitivului este recomandată o tijă telescopică la fel cu cea a aparatelor radio portabile.
2. O priză de pământ cât se poate de bună pentru scurgerea sarcinilor din colector

În continuare vom stabili caracteristicile circuitului de utilizat:

- Funcționare în exteriorul și/sau interiorul unei clădiri
- Sensibilitate pentru cuantificarea numărului de miscari, a formei și dimensiunii corpului și/sau a vitezei de mișcare.

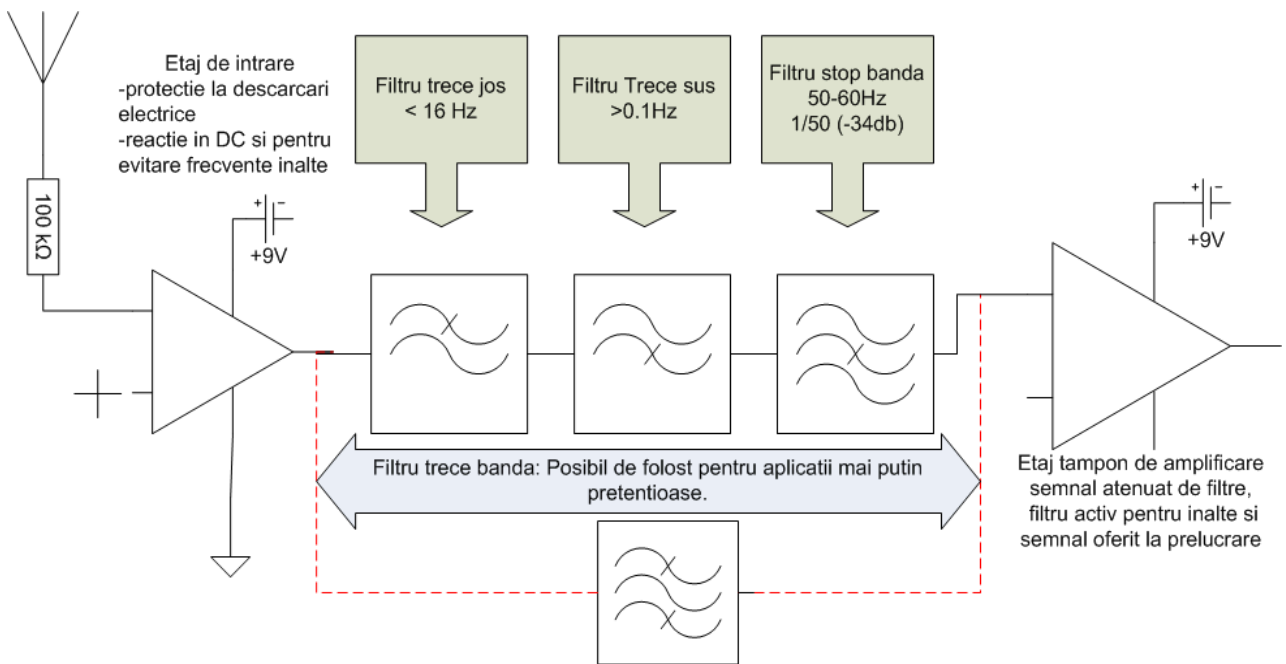
Pentru scopuri didactice și de laborator de studiu a electricității în atmosfera vom încerca să construim cel mai complex dispozitiv care să încorporeze majoritatea caracteristicilor enumerate mai înainte, cu panou și conectări ca în figurile de mai jos:



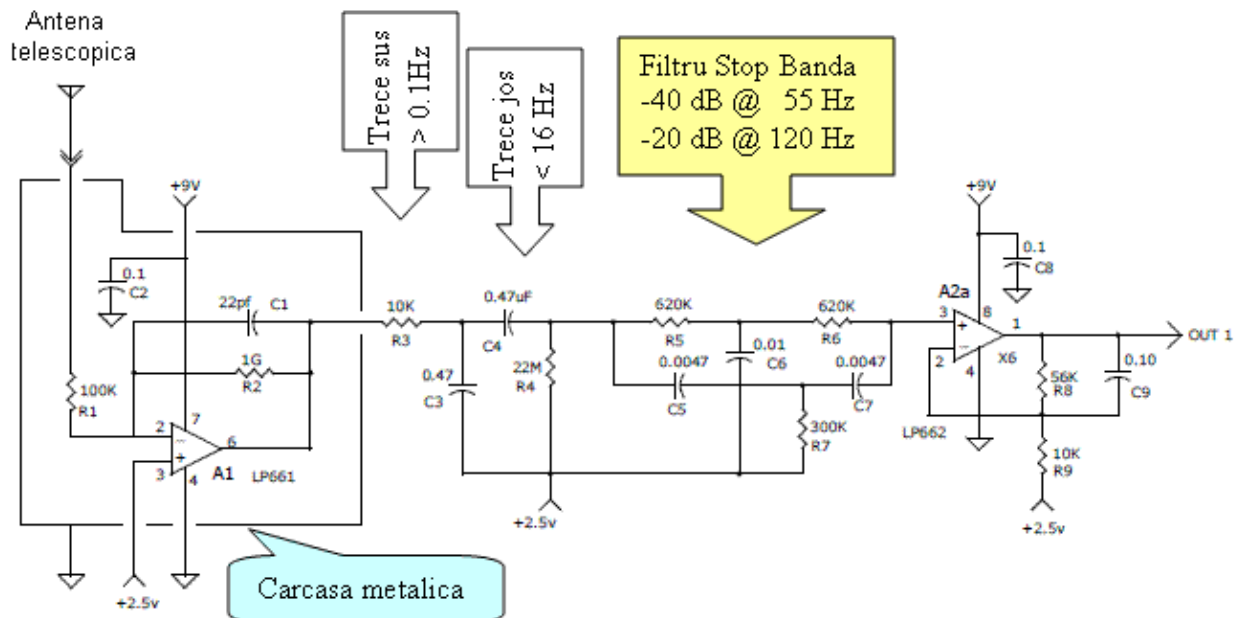
Vom continua cu proiectarea circuitului. Tine-ți cont că avem nevoie de o impedanță mare la intrare, o protecție la intrare împotriva descărcărilor electrice naturale, carcasă metalică, 0.1-15 Hz spectrul de frecvențe la o deplasare umană, evitarea zgomotelor induse de rețeaua electrică 50-60 Hz de alimentare a unei clădiri, sursa o baterie de 9 V și o ieșire pentru sistem de alarmare la distanță max. 100 mA. De asemenea propun un tabel de intrări-ieșiri pentru cablajul imprimat conform tabelului următor:

Intrări	BAT -	SW BAT+	Șasiu GND	ALARM+	ALARM-	ANTENA	
Ieșiri	ALARM-SW	POWER LED	+ LED	- LED	SISTEM ALARM-	Ieșire Semnal	Sonerie

Preocuparea Dv. poate fi pentru o schema bloc sau schema propriu zisă. Se pot căuta pe internet scheme similare. Nu uitați că schema se poate verifica pe ElectronicsWorkbench numit acum [Multisim](#) la LabView. În cazul unor reacții din partea Dv. Vom extinde numărul articolelor pe această temă cu modul de utilizare a acestor programe pentru verificarea schemelor electronice. Acest detector nu a fost reușit din prima încercare deoarece nu se cunoștea prea bine caracteristicile semnalului electric colectat de antenă la trecerea unei ființe în apropiere. Din [1] am aflat natura sarcinilor câmpului electric din aer, în principal ioni de oxigen pozitivi sau negativi după cum au electroni lipsă sau surplus, și măsurarea conductivității aerului care crește cu înălțimea, crescând câmpul electric și densitatea de ioni, respectiv cantitatea de sarcină electrică la un volum dat. Curenții care pot fi măsurați cu un galvanometru sunt de ordinul a  $10 \times 10^{-6}$  A. Frecvențele arătate mai înainte sunt determinate tocmai cu un circuit electronic identic cu cel prezentat aici și propus spre realizare electroniștilor. Împreună cu cerințele aparatului detector s-a urmărit să stimuleze imaginația acestora pentru concepția schemei. Conductivitatea foarte mică, respectiv rezistența (impedanța) mare implică automat un amplificator de impedanță pentru a cerceta semnalul electric cu dispozitive electronice accesibile. Un electronist serios realizează schema bloc și apoi fiecare etaj în parte. Deoarece cum am mai scris în prima parte circuitul trebuie să fie folosit și la cercetarea semnalului am ales schema bloc de mai jos cu trei filtre specializate, mai eficiente decât unul. Să ne închipuim câmpul electric din aer mulându-se în mișcare, pas cu pas, precum ghipsul sau ceara după



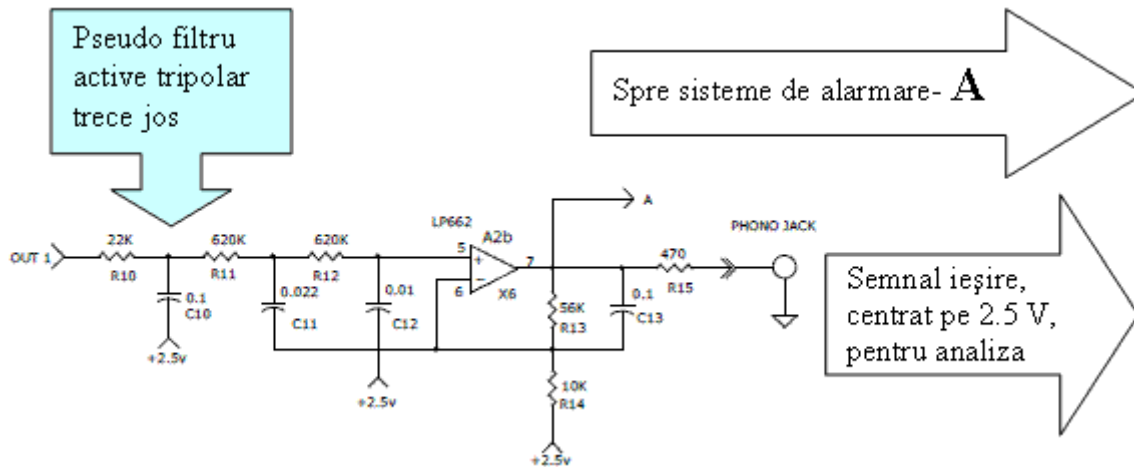
corpul ființei mișcătoare pe lângă antena și va puteți imagina astfel și complexitatea semnalului electric detectat, practic o amprentă a mișcării. Acest semnal este de 1000 de ori mai mic decât cel indus în antenă de prezenta curenților în rețeaua de alimentare a clădirilor și separarea este foarte importanta pentru acuratețea detectării. Puteți observa tot timpul că este necesară o cultură tehnică și o educație adecvată în fizica pentru a realiza detectorul de prezentă în câmpul electric din atmosferă. De asemenea ca electronist introducem rezistența R1 pentru protecția la descărcări electrice după antenă și concepem schema de mai jos. Amplificatorului operațional A1 de intrare rezistența R2 îi oferă o reacție în DC în timp ce condensatorul C1 în paralel cu ea reduce câștigul la frecvențe înalte. Fără el am avea multe perturbații de rețea încă de la intrare. Valoarea de 1 GΩ optimizează răspunsul în frecvență al amplificatorului pentru cercetarea complexității de care am



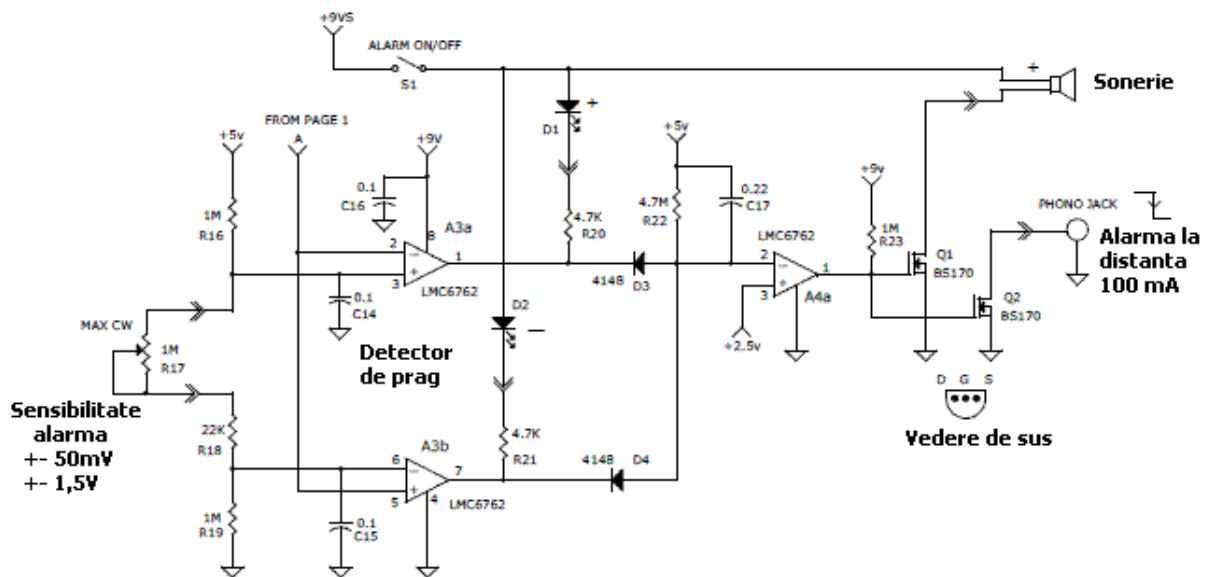
amintit a semnalului.

Mai mare diminuează acest răspuns dar mai mică conduce la creșterea sensibilității la frecvențe mai mari de 16 Hz, sensibilitate pe care ne-am propus s-o evităm. Perturbațiile care au scăpat de etajul de intrare sunt mult reduse cu cele 3 filtre semnalul intrând într-un prim etaj de recuperare a atenuării acestora realizat cu A2a în montaj neinversor și o amplificare de 6 ori față

de intrare, având și o contribuție la tăierea de frecvențe înalte. În continuare în aceeași capsulă A2b cu filtrul activ fals tripolar-trece jos taie ultimele ramăsite ale frecvențelor înalte nedorite conform schemei de mai jos separată doar pentru aceasta prezentare de cea de mai sus.

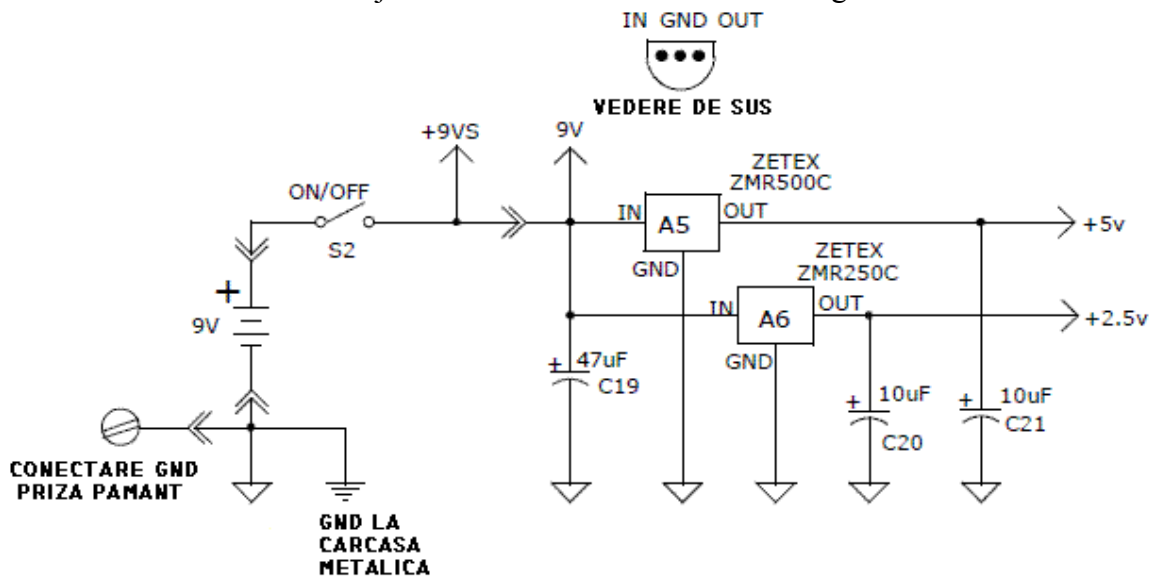


Acest etaj dublu A2 aduce un câștig de 36 de ori (+31 dB). Deja ați observat din notații că intrările operaționale sunt la 2.5 V, valoare pe care este centrat semnalul nostru. O analiză atentă a frecvențelor semnalului poate duce la identificarea indivizilor, animale, până la insecte chiar. Ieșirea prin jack cu cablu ecranat se conectează la un procesor de semnal sau la calculator printr-un convertor analog digital tot pentru procesare. Se memorează anumite caracteristici ca o trecere martor a individului și la orice mișcare este identificat. Binenteles că acest lucru se poate face fără ca el s-o știe. E acum hilar să ne imaginăm cum poate fi prins un lucrător dintr-un abator care fură carne. Mai puțin spectaculos dar nu mai puțin eficient este un sistem de alarmă pentru a detecta mișcare într-un sistem de depozitare, numărarea persoanelor la o adunare etc. Un exemplu de circuit de alarmă conectat la circuitul detector de intrare este dat în schema de mai jos. Când semnalul depășește un anumit prag se marchează evenimentul. Circuitul are un detector de prag construit tot din amplificatoare operaționale în aceeași capsulă A3. Primul A3a are intrarea fixată mai sus de 2.5 V iar A3b mai jos. Cele două lucrează când semnalul se ridică deasupra respectiv coboară, adică depășește pragurile fixate.

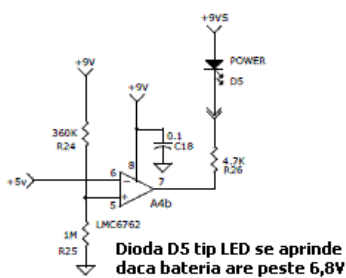


Cu potențiometrul R17 se reglează sensibilitatea simultan pentru ambele operaționale. O variație de tensiune mai mare decât cea reglată acționează pe A4a care acționează pe Q1 și Q2, acesta din urmă poate acționa un relee la distanță. Alarmă locală reprezentată prin sonerie piezoelectrică, de

exemplu, și led-urile D1 și D2 poate fi întreruptă cu S1, toate sunt montate pe panou conform temei din Partea 1. Sursa montajului este cu 2 stabilizoare ca în figura următoare:



Monitorizare voltaj baterie



Dioda D5 tip LED se aprinde dacă bateria are peste 6,8V

Bateria este monitorizată cu un circuit de supraveghere a tensiunii generate, reprezentat la stânga. Este folosit A4b în capsulă dublă. În scheme sunt reprezentați conectorii care-ți dau informații și despre montajul care va fi descris în Partea a 3-a. Consumurile sunt foarte mici deci reglatoarele A5, pt. 5V folosiți la alarmă locală, și A6, pt. 2.5V la intrările operaționale, sunt de putere mică. În continuare vom prezenta lista cu materiale și potențiali furnizori precum și indicații de montaj. În cazul când vor fi interesați voi prezenta și cablajul și utilizarea programului electronic cu care se obține acesta, precum

și de verificare a schemei.

La început am arătat fenomenul fizic pe care se bazează concepția detectorului iar apoi am explicat schema electronică.

Montajul componentelor electronice se realizează într-o cutie metalică. Cel mai ușor se confecționează din două table în formă de U din care una acoperă pe cealaltă. Partea acoperitoare este practic șasiul plăcii electronice, invers decât suntem obișnuiți, asta pentru a cabla și antena mai ușor. Antena telescopică va avea lipită o bornă de conectare, banana, care poate fi introdusă într-o mufă mama, jack, la partea superioară a cutiei, șasiul, un motiv al inversării construcției fiind și poziționarea antenei pe aceeași parte cu componentele de panou. Ansamblul cutie-antena în poziție verticală colectează sarcini ale câmpului electric din aer. Cutia este practic un condensator plan cu arie transversală mare și constituie masa montajului. În timp ce antena conduce sarcinile colectate la intrarea amplificatorului cutia metalică le pune la pământ, normal, fiind izolate galvanic. Masa plăcii cu componente electronice se leagă într-un singur punct la cutie, același cu cel al prizei de pământ. Amplificatorul de impedanță de la intrare este individual plasat în carcasa metalică, lipită pe aceeași placă la masa, prin care trec conexiunile spre restul componentelor, așa cum este reprezentat în schemă. Aceasta ecranare suplimentară este pentru a stopa influențele celorlalte componente ale montajului asupra amplificatorului de impedanță. Cablajul imprimat, placa cu electronice, se montează suspendat, atârnat, prin 4 distanțiere înalte de 20-25 mm de șasiu. Înălțimea carcasei metalice a amplificatorului de impedanță este tot de 20-25 mm fata de placă pe partea cu componente și 10 mm față de partea opusă, practic două capace cu margini răsfrânte. Partea acoperită și liberă de piese a cutiei metalice trebuie prevăzută cu legătura la montajul pe un trepied. Panoul frontal și posterior trebuie să arate ca în tema din prima parte a acestei expunerii, vedeți desenele de poziționare a componentelor exterioare plăcii

cablate. Pentru antena poate fi practicată gaura prin placă a conductorului de legătură la jack. Toate conexiunile la panou și în spate trebuie executate cu conductor ecranat și ecranul legat la un singur capăt de masă.

În final detectorul va arăta ca un aparat de radio portabil cu suprafața de sprijin pe trepied cea mai mare a părții acoperite.

Lista cu componente:

<b>Lista materiale detector</b>						
<b>Nr. crt.</b>	<b>Buc.</b>	<b>Simbol in schema</b>	<b>Producător Furnizor</b>	<b>Descriere</b>	<b>Preț/buc</b>	<b>Total</b>
1	1			Cutie~125x100x75 mm		
2	1			Cablaj imprimat 100x90 mm		
3	1	BPR 1		Sonerie Piezo		
4	3	D1,D2,D5		LED		
5	2	S1, S2		Comutator cu reținere		
6	1			Buton potențiomtru		
7	2			Jack, banana		
8	1			Jack, banana priza pamant		
9	1			Jack antena		
10	1			Antena		
11	4			Distanțier metalic 25 mm		
12	1			Suport baterie 9V		
13	1	B1		Baterie 9V sau acumulator 9V		
14	1			Adeziv pt. lipit suport		
15	1			Banana pt. lipit terminal antena		
16	1			Carcasa metalica amplificator A1		
17	1			Conector baterie		
18	1			Piulița		
19	8			Șurub pt. distanțier		
20	1	A1		Amplificator operațional LPC661		
21	1	A2		Amplificator operațional LPC662		
22	2	A3, A4		Comparator LMC6762		
23	1	A5		Regulator tensiune ZMR500C		
24	1	A6		Regulator tensiune ZMR250C		
25	2	D3, D4		Diode, semnal, 1N41448 or 1N914		
26	2	Q1, Q2		MOSFET BS170		
27	1	C19		Condensator, electrolitic, 47uF, 15v, RSU 11935202		
28	2	C20, C21		Condensator, electrolitic, 10uF, 15v RSU 11296852		
29	2	C3, C4		Condensator, milar, 0.47uF, 50v		
30	1	C17		Condensator, milar, 0.22uF, 50v		
31	3	C9,C10,C13		Condensator, milar, 0.10uF, 50v		
32	1	C11		Condensator, milar, 0.022uF, 50v		
33	2	C6, C12		Condensator, milar, 0.01uF, 50v		
34	2	C5, C7		Condensator, milar, 0.0047uF, 50v		
35	6	C2,8,14,15,16,18		Condensator, ceramic, 0.10uF, 50v		



36	1	C1		Condensator, ceramic, 22pF, 50V		
37	1	R17		Rezistor variabil, 1M panou		
38	1	R2		Rezistor, 1000M, 1/4 watt, 20% carbon film		
39	1	R4		Rezistor, 22M 1/4 watt 5% carbon film		
40	1	R22		Rezistor, 4.7M 1M 1/4 watt 5% carbon film		
41	2	R5, R6, R11, R12		Rezistor, 620K 1/4 watt 5% carbon film		
42	1	R24		Rezistor, 360K 1/4 watt 5% film carbon		
43	1	R7		Rezistor, 300K 1/4 watt 5% film carbon		
44	1	R1		Rezistor, 100K 1/4 watt 5% film carbon		
45	2	R8, R13		Rezistor, 56K 1/4 watt 5% film carbon		
46	3	R3, R9, R14,		Rezistor, 10K 1/4 watt 5% film carbon		
47	3	R20, R21, R26		Rezistor, 4.7K 1/4 watt 5% film carbon		
48	4	R16, R19, R23, R25		Rezistor, 1M 1/4 watt 5% film carbon		

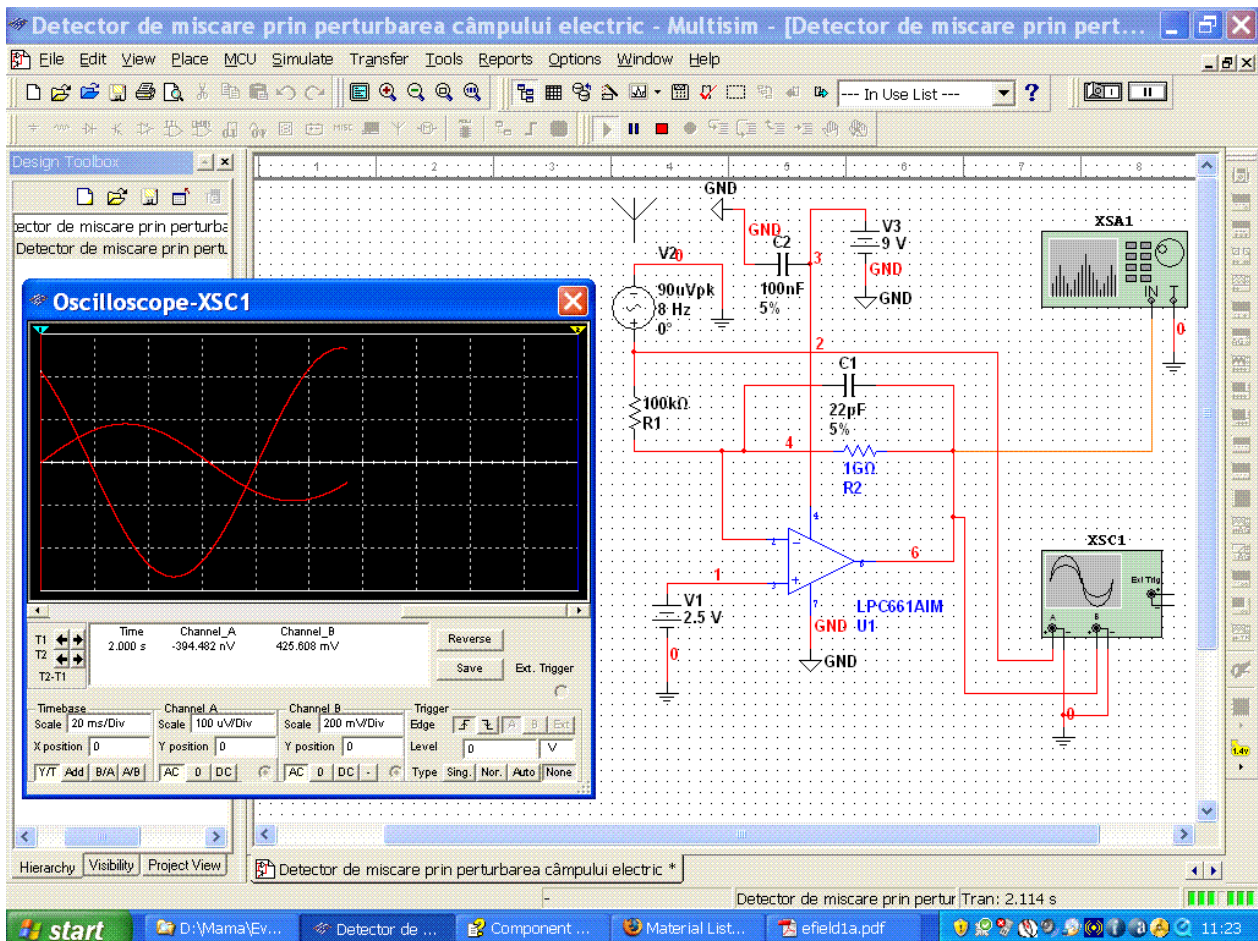
Dv. alegeți furnizorul, eu recomand <http://www.metrafo.ro/produse.html> . Am lăsat libere spații pt. a nu mai face reclamă și puteți alege echivalenți la codurile de referință indicate.

Utilizarea detectorului dă cele mai bune rezultate cu detectorul montat pe un trepied metalic iar dacă nu avem și folosim unul de lemn sau alt material izolator să nu uităm un fir conector la priza de pământ. Utilizat afară putem confecționa o priză cu un șurub vechi cablat și introdus ~ 0.5 m în pământ sau chiar o șurubelnița mai lungă înfiptă cu mâna cu partea metalică în contact cu pământul. În interior folosim priza de pământ a locuinței sau rețeaua de țevi dacă este conectată la aceasta. Poate lucra și fără împământare dar cu o lipsă importantă de sensibilitate la frecvențe joase adică la mișcările mai lente ale un corp în câmpul electric. Ca numărător de treceri e foarte bun. Pentru cercetarea semnalului este indicat să plasați detectorul în mediu uscat pentru că aerul umed este mai conductiv, cu mai puține sarcini prezente, decât cel uscat și mult mai puține sarcini ajung pe antenă. Răspunsul în frecvență al detectorului se prelungește în jos la schimbări foarte mari de câmp văzute, inclusiv la pornire-alimentare montaj, deci alarma va suna câteva secunde chiar dacă avem un câmp electric stabil în care nu mișcă nimeni.

După ce ai terminat montajul cu comutatorul de sursă deschis introduci bateria și așezi detectorul pe un raft. Reglează potențimetrul la minim, comută alarma și sursa pe pornit ON și te depărtezi cam 6 pași unde aștepti nemișcat încetarea alarmei de pornire câteva secunde. Faci un pas spre detector și observi că un led se aprinde și soneria se aude. La următorii pași led-urile se aprind alternativ pe piciorul stâng și drept.

Schema am găsit-o la <http://www.imagineeringezine.com/e-zine/efield-1.htm> de unde am preluat și desene. Ca de obicei am verificat-o cu Multisim vezi o fereastră luată cu Print Screen ca mai jos. În loc de antenă aici este un generator de semnal sinusoidal:





În fereastră este reprezentat numai amplificatorul de impedanță de tip invertor, în tehnologie CMOS, de la colectarea semnalului. Schema este tip indicată și de furnizorul componentei la: [http://www.stanford.edu/class/ee122/Parts\\_Info/datasheets/LPC661.pdf](http://www.stanford.edu/class/ee122/Parts_Info/datasheets/LPC661.pdf). Printul a fost făcut în timpul simulării etajului. Recomand cu căldura acest program de la <http://www.ni.com/multisim/>. Poate fi utilizat pentru lecțiile de fizică, electricitate, pentru un singur utilizator, varianta student, nu costa prea mult. Aștept reacțiile Dv. prin intermediul sitului ca să public un articol sau mai multe pe tema utilizării acestui program în școala atât pentru lecții cat si pentru cercuri de electroniști.

### Bibliografie:

1. Lectures on Physics, RICHARD P. FEYNMAN, Williams College, Williamstown, Mass, 1961-1962 SUA
2. Electronica energointensiva prin aplicații CMOS, Gheorghe Sandulescu și Mihai Petre, Editura Militara, București, 1987

Manualul muncitorului electronist, I. Ristea și alții, Editura Tehnica, București, 1980