



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2013 00748

(22) Data de depozit: 17/10/2013

(41) Data publicării cererii:  
30/03/2016 BOPI nr. 3/2016

(71) Solicitant:  
• DOMOKOS ȘTEFAN,  
ALEEA PIETROASELE, BL. D3, SC. C,  
AP. 6, ET. 2, BUZĂU, BZ, RO

(72) Inventatori:  
• DOMOKOS ȘTEFAN,  
ALEEA PIETROASELE, BL. D3, SC. C,  
AP. 6, ET. 2, BUZĂU, BZ, RO

(54) TRANZISTOR CU GRAFEN DE RADIOFRECVENȚĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de determinare a frecvenței de tăiere a amplificării de curent a unui FET de RF din grafen, destinată a fi utilizată în domeniul tranzistoarelor. Metoda conform invenției constă din etapa de polarizare a FET-ului într-un circuit de amplificare având o frecvență variabilă, care se poate mări, pentru obținerea frecvenței  $F_T$ , etapa de determinare a caracteristicii curentului de drenă  $I_D$  în funcție de tensiunea de pe drenă  $V_D$ , prin montarea în circuit a unui ampermetru - între rezistența de la drenă la poartă și poartă, a unui ampermetru - între sursă și masă, și a unui voltmetru - între drenă și masă.

Revendicări: 6  
Figuri: 2

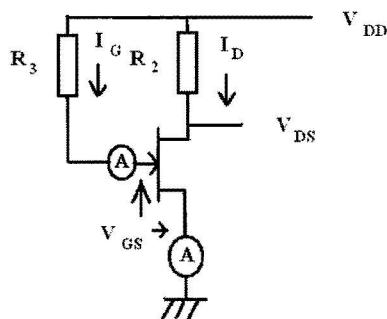


Fig. 1



48

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI M. Cerere de brevet de invenție Nr. <i>a 2013 0748</i> Data depozit <i>1.7.10.2013</i>
--

## DESCRIEREA INVENTIEI

Instrumentele matematice folosite in aceasta cerere de brevet de invenție sunt din cartile din bibliografie de la punctele [3], [7-9].

In articolul din bibliografie de la punctul [1] este aratat ca grafenul este o forma cristalina a carbonului, alaturi de diamant, grafit, nanotuburi de carbon si fullerenes. In acest material atomii de carbon sunt aranjati intr-o retea regulata hexagonala [1]. Grafenul este excelent conductor de electricitate [1].

Efectul de camp puternic asupra mobilitatii electronilor in grafen, care rezulta din mobilitatea intrinseca ridicata a purtatorilor si operarea demonstrata cu efect de camp, il face un material de mare interes pentru aplicatii de frecventa mare [2]. Tranzistoarele produc amplificarea unui semnal variabil [3-5]. FET-urile au doua moduri de operare [5] (1) controlul unui camp electric reduce numarul de purtatori disponibili pentru curent (2) aplicarea unui camp electric produce cresterea densitatii purtatorilor majoritari in regiunile conductoare din tranzistor [5]. Intr-adevar, s-a aratat ca tranzistoarele cu grafen de radio frecventa (RF) opereaza la frecvente de taiere a curentului ( $f_T$ ) se sute de gigahertzi [2]. O valoare mare a frecventei  $f_T$  poate duce la aplicatii ca mixere de frecventa si multiplicatoare [2]. O caracteristica importanta in aceasta problema este frecventa maxima a oscilatiilor ( $f_{max}$ ), care este frecventa la care castigul de putere scade la unitate [2].

Relatia dintre  $f_T$  si  $f_{max}$  poate fi aproximata prin ecuatia [2]

$$f_{max} \approx \frac{f_T}{\sqrt{\alpha + \beta f_T}} \quad (1.1)$$

unde  $\alpha = 4g_d(R_S + R_G)$ ,  $\beta = 8\pi C R_G$ ,  $C$  este capacitatea poarta-drena,  $R_S$  este rezistenta sursa,  $R_G$  este rezistenta poarta,  $g_d = dI_D/dV_D$  este conductanta de iesire,  $I_D$  este curentul de dreana, si  $V_D$  este tensiunea de dreana [2]. Din aceasta ecuatie se poate observa ca maximul frecventei  $f_{max}$  se poate obtine minimizand  $\alpha$  si  $\beta$  [2]. Grafenul nu are banda interzisa [2] spre deosebire de oxidul de indiu si  $Ge$  [6], si deoarece nici metalele nu au banda interzisa si din cauza aceasta sunt bune conductoare [3], insemana ca este conductor ca metalele. In articolul de la punctul [2] din bibliografie s-a demonstrat ca maximul frecventei  $f_{max}$  se obtine pentru minimul rezistentei  $R_G$ .

Intr-un MOSFET electrodul poarta este izolat de canalul conductor al potrii printr-un strat izolator de  $SiO_2$  [5].

Deoarece pe canalul poarta se depun un strat de  $NO_2$  si un strat de  $HfO_2$  care sunt straturi izolatoare, peste care se depun electrozii poarta [2], rezulta ca FET-ul realizat in articolul de la punctul [2] din bibliografie este un MOSFET.

Intr-un MOSFET tensiunea aplicata pe poarta induce un canal conductor in semiconductor si moduleaza conductivitatea acestuia [5].

Presupunem ca nu este aplicata nici o tensiune pe poarta [5]. Dupa cum se vede din figura din cartea de la punctul [5] din bibliografie si conform zonei de sarcina spatiala produsa intr-o jonctiune pn prin recombinarea purtatorilor majoritari prezentata in cartea de la punctul [3] din bibliografie, la drena, unde este o zona de tip  $N$  conectata la electrodul drena, exista o jonctiune cu zona de tip  $P$  al substratului si se produce o zona de sarcina spatiala cu o sarcina pozitiva in zona de tip  $N$  si cu o sarcina negativa in zona de tip  $P$ . Electrodul sursa, cum se vede tot in figura din bibliografie de la punctul [5], este conectat tot la o zona de tip  $N$ , care este in contact cu zona de tip  $P$  al substratului, si la acest contact se produce tot o zona de sarcina spatiala. Pe drena se aplica o tensiune pozitiva si sursa se conecteaza la masa [5]. In acest caz jonctiunea  $PN^+$  de la drena este polarizata invers, deoarece in zona de tip  $N$  de la drena se injecteaza goluri si creste sarcina spatiala pozitiva din aceasta zona [5]. Jonctiunea  $N^+P$  de la sursa este polarizata direct deoarece in zona de tip  $N^+$ , la care este conectat electrodul sursa, se injecteaza electroni, care vin de la masa, si neutralizeaza sarcinile pozitive ale ionilor din zona de sarcina spatiala, ionii pozitivi din aceasta zona fiind de exemplu atomi cu valenta 5 care au un electron nelegat in plus, deoarece au 4 vecini de  $Si$  cu valenta 4 fiecare, si pot dona usor electronul in plus, si cand nu este tensiune pe drena si sursa electronii excedentari difuzeaza in zona de tip  $P$  lasand in zona parazita o sarcina spatiala pozitiva de la nucleu, iar cand pe drena este un potential pozitiv si sursa se leaga la pamant atunci electronii care vin de la pamant anihileaza sarcinile pozitive ale ionilor pentavalenti si astfel anihileaza sarcina spatiala pozitiva ca in cartea de la punctul [3] din bibliografie. Rezulta ca nu este curent de drena [5]. Presupunem ca pe poarta se aplica o tensiune pozitiva mica  $+V_G$  [5]. Tensiunea pozitiva deasupra stratului dielectric de  $SiO_2$  va induce sarcini negative sub acest strat [5]. Astfel sub poarta se produc ioni negativi ca rezultat al ionilor acceptori cu valenta 3 din zona de tip  $P$  [5]. Daca tensiunea de pe poarta creste atunci sub poarta se formeaza un strat de sarcini negative constituind un canal, numit canal indus [5]. Odata canalul indus intre sursa si drena, electronii curg prin acest canal, si ca rezultat se produce un curent de drena [5]. Cresterea tensiunii  $V_G$  pe poarta, produce cresterea curentului de drena  $I_D$  [5]. Dupa cum se poate observa in graficul curentului de drena  $I_D$  in functie de tensiunea drena sursa  $V_{DS}$  din bibliografie de la punctul [5], la o anumita tensiune  $V_P$  a tensiunii drena-sursa curentul de drena  $I_D$  nu mai creste chiar daca se creste tensiunea drena-sursa  $V_{DS}$  in continuare.

S-a demonstrat in articolul din bibliografie de la punctul [2] ca relatia intre  $f_T$  si  $f_{max}$  depinde de rezistenta electrodului poarta pentru FET-uri de RF din grafen [2]. Tot in articolul de la acest punct din bibliografie s-a demonstrat ca  $f_{max}$  creste relativ la  $f_T$  cand aceasta rezistenta descreste [2]. In articolul din bibliografie de la punctul [2] este prezentat ca descresterea acestei rezistente nu produce schimbari in  $f_T$ , dar produce o crestere in  $f_{max}$ . Tot in articolul amintit este prezentat ca o imbunatatire suplimentara a  $f_{max}$  se poate realiza prin atingerea curentului de saturatie, in care conductanta de iesire este substantial micorata.

In aceasta cerere de brevet de inventie revendicam o metoda de determinare a frecventei de taiere a amplificarii de curent a unui FET de RF din grafen,  $f_T$ , prin care FET-ul este polarizat cu intr-un circuit de amplificare cu sursa comuna ca in articolul din bibliografie de la punctul [4,5] in care sursa are fecventa variabila, care se poate mari pentru obtinerea frecventei  $f_T$ , conform cu Figura 1, in care se monteaza un ampermetru intre rezistenta de la dreana la poarta si poarta, si un ampermetru intre sursa si masa. In aceasta figura am adaptat amplificatorul cu emitor comun de la tranzistorul jonctiune din cartea din bibliografie de la punctul [4] la FET-uri [5], si am adaptat ecuatiile din cartea de la punctul [4] din bibliografie la FET-uri

$$R_3 = \frac{V_{DD} - V_{GS}}{I_G} \quad (2.1)$$

$$R_2 = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{I_D} \quad (2.2)$$

$$\beta = \frac{I_D}{I_G} \quad (2.3)$$

In lumea reala, in lumea macroscopica, amplitudinea pendulului gravitacional descreste in timp [3]. Acest fenomen este datorat de exemplu fortei de frecare a pendulului cu aerul [3].

Din an n-le ciclu de oscilatii amortizate rezulta [1]

$$\frac{1}{2} m \omega^2 A_n^2 - \frac{1}{2} m \omega^2 A_{n+1}^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 (A_n + A_{n+1})(A_n - A_{n+1}) = \int_{ciclu} dL$$

Daca consideram ca schimbarea in amplitudine este mica in comparatie cu amplitudinea, adica [3]

$$A_n - A_{n+1} \ll A_n$$

atunci, considerand ca pe fiecare sfert de perioada se disipa aceasi energie, obtinem [3]

$$\frac{1}{2} m \omega^2 (2A_n)(A_n - A_{n+1}) = -4 \int_0^{A_n} F_d dx \quad (3.47)$$

Un exemplu de astfel de miscare este miscarea orizontala prin alunecare a unui corp pe un plan orizontal [3]. In acest caz forta de frecare a corpului cu planul orizontal este constanta si rezultat ca  $F_d = -\alpha$ , si rezulta ca [3]

$$m \omega^2 A_n (A_n - A_{n+1}) = -4 \int_0^{A_n} (-\alpha) dx = 4\alpha A_n \quad (4.48)$$

Rezulta ca in acest caz amplitudinea descreste liniar pe fiecare perioada [3].

Rezulta ca [3]

$$A_{n+1} = A_n - \frac{4\alpha}{m\omega^2} \quad (4.49)$$

Amortizarea liniara a unei oscilatii data de ecuatie  $x(t) = \left(1 - \frac{1}{5}t\right) \sin(2\pi t)$  si dreapta  $x(t) = 1 - \frac{1}{5}t$ , pe care se gasesc valorile amplitudinii, este sunt reprezentate in Figura 2.

Fora de frecare in miscarea intr-un fluid, in care viteza nu este prea mare, este o fora de amortizare, se poate descrie printr-o fora proportionala cu viteza  $v$ , aceasta fora se numeste fora de amortizare aerodinamica liniara, si este data de ecuatie [3]

$$F_a = -bv \quad (4.50)$$

in care  $b$  este o constanta pozitiva numit coeficientul de amortizare.

Daca in ecuatie (3.47) inlocuim fora data de ecuatie (4.50) obtinem ecuatie care ne da descresterea amplitudinii [3]

$$m\omega^2 A_n (A_n - A_{n+1}) = -4 \int_0^{A_n} (-bv) dx = 4b \int_0^{T/4} v \frac{dx}{dt} dt = 4b \int_0^{T/4} v^2 dt \quad (4.51)$$

Daca aplicam dezvoltarea in serie Taylor prezentata in bibliografie la numarul [3] si dezvoltam amplitudinea  $A(t)$  in serie Taylor obtinem

$$A(t + \Delta t) = A(t) + \frac{\partial A}{\partial t} \Delta t + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} (\Delta t)^2 + \dots \quad (5.52)$$

Daca pastram primii doi termeni in aceasta dezvoltare obtinem

$$A\left(t + \frac{T}{4}\right) = A(t) + \frac{\partial A}{\partial t} \frac{T}{4} \quad (5.53)$$

Rezulta ca

$$A_{n+1} = A_n + \frac{\partial A_n}{\partial t} \frac{T}{4} \quad (5.54)$$

Rezulta ca

$$A_n - A_{n+1} = -\frac{\partial A_n}{\partial t} \frac{T}{4} \quad (5.55)$$

Daca inlocuim ecuatie (5.55) in ecuatie (5.51) obtinem

$$-m\omega^2 \frac{1}{2} \frac{\partial A_n^2}{\partial t} \frac{T}{4} = 4b \int_0^{T/4} v^2 dt \quad (5.56)$$

Daca presupunem ca variatia amplitudinii intr-un ciclu este mica, si inlocuim elongatia si viteza nemodificate fata de cazul neamortizat, obtinem [3]

$$\begin{aligned} m\omega^2 A_n (A_n - A_{n+1}) &= 4b\omega^2 A_n^2 \int_0^{T/4} \cos^2(\omega t) dt = 4b\omega A_n^2 \int_0^{T/4} \cos^2(\omega t) d(\omega t) \\ &= 4b\omega A_n^2 \int_0^{\pi/2} \cos^2 \theta d\theta \quad (5.57) \end{aligned}$$

Deoarece  $\int \cos^2 \theta d\theta = \frac{1}{2}(\theta + \sin \theta \cos \theta)$  rezulta ca [3]

$$A_n - A_{n+1} = \frac{4b}{m\omega} A_n \left[ \frac{1}{2}(\theta + \sin \theta \cos \theta) \right]_0^{\pi/2} = \frac{\pi b}{m\omega} A_n \quad (5.58)$$

Rezulta ca [3]

$$A_{n+1} = A_n - \frac{\pi b}{m\omega} A_n \quad (5.59)$$

Aceasta descrestere a amplitudinii este o descrestere de tip exponential [3].

Daca folosim ecuatia (5.56) si (5.57) obtinem

$$-m\omega^2 \frac{1}{2} \frac{\partial A_n^2}{\partial t} \frac{T}{4} = 4b\omega A_n^2 \int_0^{\pi/2} \cos^2 \theta d\theta \quad (5.60)$$

Rezulta ca

$$-m\omega^2 \frac{1}{2} \frac{\partial A_n^2}{\partial t} \frac{T}{4} = 4b\omega A_n^2 \left[ \frac{1}{2}(\theta + \sin \theta \cos \theta) \right]_0^{\pi/2} = \pi b\omega A_n^2 \quad (5.61)$$

Rezulta ca

$$\frac{1}{A_n^2} \frac{\partial A_n^2}{\partial t} = -\frac{8\pi b}{m\omega T} \quad (5.62)$$

Integrand in functie de timp aceasta ecuatie rezulta

$$\ln A_n^2 - \ln A_0^2 = -\frac{8\pi b}{m\omega T} t \quad (5.63)$$

Rezulta ca amplitudinea in functie de timp este data de ecuatia

$$A(t) = A_0 e^{-\frac{4\pi b_1}{m\omega T}t} \quad (5.64)$$

Stiva metalica a portii, presupunem ca inaltimea stratului metalic al portii, realizata in articolul de la punctul [2] din bibliografie a fost de  $1 \text{ nm Ti} / 20 \text{ nm Pd} / 40 \text{ nm Au}$ , adica daca noi calculam inaltimea totala a stivei metalice a portii obtinem  $61 \text{ nm}$ . Tot in articolul de la punctul [2] din bibliografie se prezinta ca in FET-ul de RF realizat latimea portii a fost de  $20 \mu\text{m}$  si lungimile portii ( $L_G$ ) au fost de  $400 \text{ nm}$ ,  $700 \text{ nm}$  si  $1000 \text{ nm}$ . Aceste dimensiuni ale portii sunt utile pentru a putea fabrica dispozitive FET de RF pentru experimente sau pentru exploatare industriala si fabricarea in serie.

Desi am aratat mai inainte ca grafenul, daca nu are banda interzisa, se comporta ca un metal, deoarece in articolul de la punctul [2] din bibliografie se prezinta ca dispozitivul realizat in acest articol, FET-ul de RF, prezinta un comportament de semiconductor de tip n, asa cum este asteptat pentru grafenul epitaxial, rezulta ca in dispozitiv exista semiconductor de tip n. In concluzie noi presupunem ca grafenul epitaxial este un semiconductor de tip n. Cu aceste cunostinte din articolul din bibliografie de la punctul [2] noi nu putem sa apreciem ce reprezinta banda interzisa pentru grafen din lisa de cunoastere a termenilor, deoarece se prezinta in articolul amintit ca banda interzisa nu exista la grafen si ca grafenul epitaxial este semiconductor de tip n, adica are banda interzisa.

Am prezentat mai sus ca grafenul are o structura cristalina. In continuare prezentam legaturile chimice in moleculele din solide, si in cristale [3]. Cu descresterea temperaturii unui sistem de atomi sau molecule, ei se aranjeaza intr-o maniera in care se minimizeaza energia totala a sistemului [3]. Cand doua particule legate intre ele prin forte atractive, de tipul fortei de atractie universala sau de tipul fortei electrostatice, sunt apropiate atunci energia potentiala a sistemului scade [3]. Un exemplu este si cazul fortei de greutate, care pentru inaltime mica este constanta, si daca energia potentiala se alege 0 la suprafata Pamantului, si are valoarea  $E_p(h) = mgh$  la inaltimea  $h$ , atunci observam ca energia potentiala scade cand inaltimea scade [3]. Astfel, pentru a minimiza energia totala, atomi si moleculele se aranjeaza pe ele inele astfel incat sa mareasca fortele atractive dintre ele [3]. Aranjamentul rezultat in care fiecare atom sau molecula este tinuta rigid prin legaturile sale cu vecinii, este numit un solid [3]. Daca sistemul este racit rapid, ordonarea moleculelor este de scurta distanta – se extinde numai pe cativa atomi pentru a forma un solid amorf cu este de exemplu sticla [3]. Daca sistemul este racit incet, ordonarea poate fi de raza lunga, extinzanduse peste mii de atomi pentru a forma un cristal [3].

Exista 5 tipuri generale de legaturi intre atomi, fiecare avand originea in interactiunea Coulombiana intre sarcinile electrice [3]. In sistemele reale legatura implica de obicei o mixtura a acestor mecanisme [3].

Electronul exterior al unui atom alcalin este legat doar slab de atom [3]. De exemplu, o energie de  $5.1 \text{ eV}$  este suficienta pentru a scoate electronul  $3s$  din atomul de sodiu [3]. In contrast, atomii halogeni din grupa a VII – a au o afinitate electronica mare, cea ce inseamna ca

se elibereaza energie cand se capteaza un electron astfel incat un atom de halogen este mai stabil cand a achizitionat un electron aditional pentru a completa subpatura exterioara [3]. Clorul, de exemplu, care are configuratia subpaturii exterioare  $3p^5$ , este mai stabil cand a capturat al saselea electron pentru aceasta subpatura; in acest proces este eliberata o energie de  $3.6 \text{ eV}$  [3].

Astfel, prin furnizarea unei energii nete de  $5.1 - 3.6 = 1.5 \text{ eV}$ , un electron poate fi transferat de la un atom de sodiu la un atom de clor pentru a forma ionii liberi de  $Na^+$  si  $Cl^-$  [3]. Cand ionii de  $Na^+$  si  $Cl^-$  sunt apropiati atunci minimul energiei potentiale se obtina la distanta de  $r = 0.25 \text{ nm}$  [3]. De acea aceasta este pozitia de echilibru a sistemului [3]. La aceasta valoare a distantei dintre ioni energia sistemului este cu  $4.9 \text{ eV}$  mai mica decat energia sistemului cand cei doi ioni sunt complet separati [3].  $4.9 \text{ eV}$  este substantial mai mare decat, necesara pentru transferarea unui electron de al  $Na$  la  $Cl$ , astfel incat daca distanta dintre cele doua nuclee devine  $0.25 \text{ nm}$ , este favorabil in termeni de energie ca un electron sa se transfere de la un atom de  $Na$  la un atom de  $Cl$  [3]. In aceasta situatie ionii sunt legati impreuna – se formeaza o legatura ionica [3]. Energia totala eliberata, cand un atom de  $Na$  si un atom de  $Cl$ , neutrii, schimba un electron sa formeze o legatura ionica, este  $4.9 - 1.5 = 3.4 \text{ eV}$  [3]. Aceasta energie se numeste energia de disociere a  $NaCl$  [3].

Revendicam o metoda de masurare a energiei de disociere a  $NaCl$  in ioni prin care se foloseste un volum de apa cunoscut, se adauga cantitatea de  $NaCl$  corespunzatoare saturatiei, care se determina anterior prin dizolvarea unei cantitati cunoscute de  $NaCl$  pana la saturatie si masurarea masei de  $NaCl$  nedisociat, dupa eliminarea solutiei saturate, si masurarea scaderii de temperatura cu un termometru intr-un calorimetru, si folosirea ecuatiei pentru caldura absorbita [3]

$$Q = mc\Delta T$$

Aparitia minimului potentialului la aceasta distanta se explica prin faptul ca la distanta mare cei doi ioni se pot considera ca sarcini punctuale, si energia potentiala este atunci [3]

$$U(r) = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Daca distanta dintre cele doua nuclee descreste atunci distributiile de sarcina incep sa se suprapuna si apare cresterea energiei sistemului [3].

Intr-o molecula ionica, cum este  $NaCl$ , electronii in ionii componentii sunt toti in subpaturi complete si au distributii cu simetrie sferica [3].

Legatura covalenta, care apare in semiconductori, apare cand atomii pun in comun electroni pentru a produce o subpatura completa [3].



Scriem ecuatia (1.1) in functie de  $R_G$  folosind valorile date mai sus pentru  $\alpha$  si  $\beta$  si obtinem ecuatia

$$f_{max} \approx \frac{f_T}{\sqrt{4g_d R_S + (4g_d + 8\pi C f_T) R_G}} \quad (6.1)$$

Folosind notatiile

$$a = f_T \quad (6.2)$$

$$b = 4g_d R_S \quad (6.3)$$

$$c = 4g_d + 8\pi C f_T \quad (6.4)$$

scriem ecuatia (6.1) sub forma

$$f_{max} \approx \frac{a}{\sqrt{b + c R_G}} \quad (6.5)$$

Scriem ecuatia (6.5) sub forma

$$f(x) = \frac{a}{\sqrt{b + cx}} \quad (6.6)$$

unde am notat  $x = R'_G$ . Notand  $x_0 = R_G$ , aceasta functie se poate dezvolta in serie Taylor conform formulei [7-9]

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!} (x - x_0)^n \quad (6.7)$$

Deoarece [7-9]

$$f^{(n)}(x_0) = (-1)^n \frac{1}{2^n} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n - 1) \frac{a}{(b + cx_0)^{\frac{2n+1}{2}}} c^n, n \geq 1 \quad (6.8)$$

rezulta ca

$$f(x) = \frac{a}{\sqrt{b + cx_0}} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} (-1)^n \frac{1}{2^n} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n - 1) \frac{a}{(b + cx_0)^{\frac{2n+1}{2}}} c^n (x - x_0)^n \quad (6.9)$$

Astfel, pentru mici descresteri ale variabilei  $x$  fata de  $x_0$  putem sa obtinem valoarea functiei  $f(x)$  pastrand doar primii termeni semnificativi. Valoarea minima a lui  $x$  este determinata din punct

de vedere tehnologic si este valoarea minima permisa de metoda tehnologica de realizare a portii dispozitivului.

Prin inlocuirea coeficientilor din ecuatiile (6.2) – (6.4) obtinem ecuatia

$$\begin{aligned}
 f_{max}(R'_G) &= \frac{f_T}{\sqrt{4g_d R_S + (4g_d + 8\pi C f_T) R_G}} \\
 &+ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} (-1)^n \frac{1}{2^n} 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \\
 &\cdot (2n - 1) \frac{f_T}{(4g_d R_S + (4g_d + 8\pi C f_T) R_G)^{\frac{2n+1}{2}}} (4g_d + 8\pi C f_T)^n (R'_G - R_G)^n \\
 &= f_{max0} \\
 &+ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} (-1)^n \frac{1}{2^n} 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \\
 &\cdot (2n - 1) \frac{f_T}{(4g_d R_S + (4g_d + 8\pi C f_T) R_G)^{\frac{2n+1}{2}}} (4g_d + 8\pi C f_T)^n (R'_G - R_G)^n \quad (6.9)
 \end{aligned}$$

Revendicam o metoda pentru evaluarea eficientei scaderii rezistentei portii FET-ului de RF din grafen produce o marire semnificativa a frecventei  $f_{max}$  prin care prin folosirea ecuatiei (6.9), in care pastram primii termeni semnificativi, putem evalua daca o scadere a rezistentei portii  $R_G$  produce o variatie semnificativa fata de  $f_{max0}$ .

Revendicam o metoda prin care valoarea minima a rezistentei portii  $R_G$  este determinata din punct de vedere tehnologic si este valoarea minima permisa de metoda tehnologica de realizare a portii dispozitivului.

Derivand functia data de ecuatia (6.6) obtinem o valoare minima a lui  $x_0$  pentru care scaderea lui  $x$  produce o marire semnificativa a functiei. Pentru valori mai mici ale lui  $x_0$  prin variatia lui  $x$  nu se mai obtine o variatie semnificativa a functiei. Derivata functiei (6.6) este [7-9]

$$f^{(1)}(x) = -\frac{1}{2} \frac{a}{(b + cx)^{3/2}} c \quad (6.10)$$

Astfel, pentru o variatie a variabilei  $\Delta x$  rezulta o variatie a functiei care se poate aproxima prin  $\Delta f(x) = \Delta f^{(1)}(x) \Delta x$  [7-9]. Astfel putem calcula variatia frecventei  $f_{max}$ , folosind  $\Delta R_G = R'_G - R_G$  cu formula

$$\Delta f_{max} = \Delta f_{max}^{(1)}(R_G) \Delta R_G = -\frac{1}{2} \frac{a}{(b + cR_G)^{3/2}} c \Delta R_G \quad (6.11)$$

Revendicam o metoda prin care folosind derivata frecventei  $f_{max}$  in functie de rezistenta  $R_G$  in punctul  $R_G$  calculam variatia acestei frecvente folosind ecuatia (6.11) pentru a evalua daca aceasta variatie este semnificativa.

## REVENDICARI

1.Revendicam o metoda de determinare a frecventei de taiere a amplificarii de curent a unui FET de RF din grafen,  $f_T$ , prin care FET-ul este polarizat cu intr-un circuit de amplificare cu sursa comuna ca in articolul din bibliografie de la punctul [4,5] in care sursa are fecventa variabila, care se poate mari pentru obtinerea frecventei  $f_T$ , conform cu Figura 1, in care se monteaza un ampermetru intre rezistenta de la drena la poarta si poarta, un ampermetru intre sursa si masa, si un voltmetru intre drena si masa pentru a determina si caracteristica curentului de drena,  $I_D$ , in functie de tensiunea de pe drena,  $V_D$ .

2.Revendicam o metoda de demonstrare a variatiei exponentiale a amplitudinii unui oscilator asupra caruia actioneaza o forta de amortizare proportionala cu viteza conform demonstratiei de mai sus prin care folosind dezvoltarea in serie Taylor am obtinut ecuatia (5.62) si variatia exponentiala a amplitudinii in functie de timp si masurand amplitudinea dupa multiplii intregi ale perioadei unui pendul gravitacional sau a unui resort prin filmarea cu camera digitala, si un trepied pentru fixarea camerei digitale in timpul filmarii, si observarea cadru cu cadru a aplitudinilor maxime verificam dupa multiplii intregi ale perioadei relatia

$$\frac{1}{A_n^2} \frac{A_n^2 - A_{n+1}^2}{T} = -\frac{8\pi b}{m\omega} \frac{1}{T}$$

si in care in spatele pendulului gravitacional se pune o scala gradata in unghiuri cu varfurile in punctul de suspensie al pendulului iar in spatele resortului se pune o scala gradata liniar, si in cazul in care resortul este vertical, liniile corespunzatoare diviziunilor se traseaza orizontal.

3.Revendicam o metoda pentru evaluarea eficientei scaderii rezistentei portii FET-ului de RF din grafen produce o marire semnificativa a frecventei  $f_{max}$  prin care prin folosirea ecuatiei

$$\begin{aligned} f_{max}(R'_G) - f_{max0} &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} (-1)^n \frac{1}{2^n} 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \\ &\cdot (2n-1) \frac{f_T}{(4g_d R_S + (4g_d + 8\pi C f_T) R_G)^{\frac{2n+1}{2}}} (4g_d + 8\pi C f_T)^n (R'_G - R_G)^n \end{aligned}$$

in care pastram primii termeni semnificativi, putem evalua daca o scadere a rezistentei portii  $R_G$  produce o variatie semnificativa fata de  $f_{max0}$ .

4.Revendicam o metoda prin care valoarea minima a rezistentei portii  $R_G$  este determinata din punct de vedere tehnologic si este valoarea minima permisa de metoda tehnologica de realizare a portii dispozitivului.

5.Revendicam o metoda prin care folosind derivata frecventei  $f_{max}$  in functie de rezistenta  $R_G$  in punctul  $R_G$  calculam variatia acestei frecvente folosind ecuatia

$$\Delta f_{max} = \Delta f_{max}^{(1)}(R_G)\Delta R_G = -\frac{1}{2} \frac{a}{(b + cR_G)^{3/2}} c\Delta R_G$$

pentru a evalua daca aceasta variatie este semnificativa.

6.Revendicam o metoda aproximativa de masurare a energiei de disociere a  $NaCl$  in ioni prin care se foloseste un volum de apa cunoscut, se adauga cantitatea de  $NaCl$  corespunzatoare saturatiei, care se determina anterior prin dizolvarea unei cantitati cunoscute de  $NaCl$  pana la saturatie si masurarea masei de  $NaCl$  nedisociat, dupa eliminarea solutiei saturate, si masurarea scaderii de temperatura cu un termometru intr-un calorimetru, si folosirea ecuatiei pentru caldura absorbita [3]

$$Q = mc\Delta T$$

unde  $m$  este masa,  $c$  este caldura specifica, si  $\Delta T$  este variatia temperaturii solutiei in timpul dizolvarii pana la dizolvarea totala, si aceasta caldura se imparte la numarul de molecule de  $NaCl$  disociate.

DESENE EXPLICATIVE

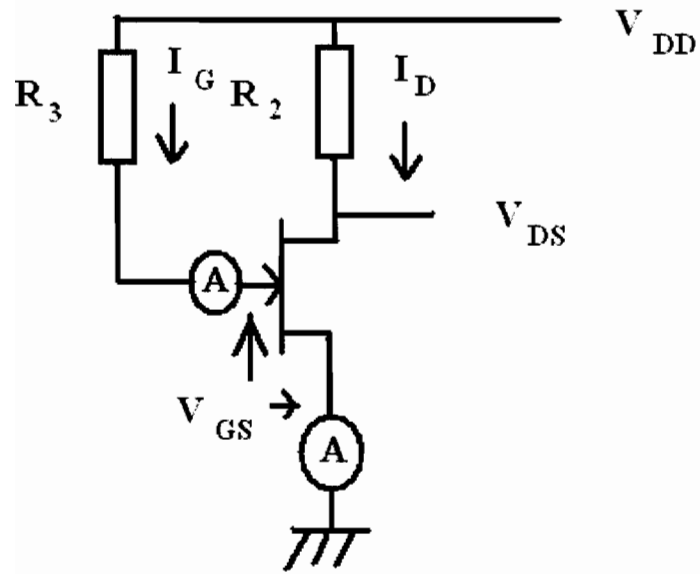


Figura 1.

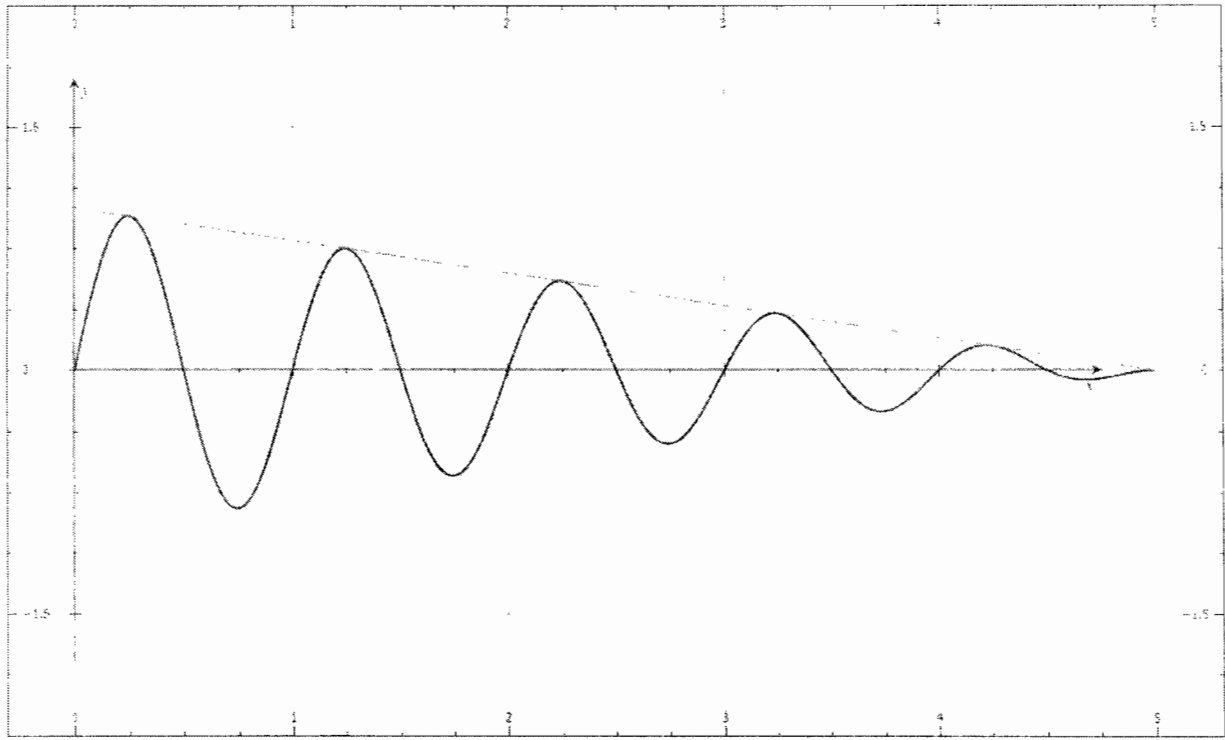


Figura 2.