

Telefonia și telegrafia multiplă prin ajutorul curenților de înaltă frecvență

I. CONSTANTINESCU

Inginer al Poștelor și Telegrafelor

Dacă considerăm debitul unei linii telegrafice măsurat de ex. în litere pe minut, vom constata că el este foarte variabil, după natura aparatelor de transmisie și recepție întrebuințate. Pentru a mări debitul acolo unde este nevoie, se întrebuințează aparate rapide. Există aparate rapide cari ating limita puterii de transmisie a liniilor pe care lucrează. Pentru a se putea trage maximum de profit de pe o linie, care în general este destul de scumpă, s'a ajuns prin anumite dispozitive ca pe acelaș circuit să se poată suprapune două comunicații, una telegrafică și alta telefonică. Deasemenea pe două circuite se pot realiza trei comunicații telefonice și una telegrafică. Aceste dispozitive se realizează cu ajutorul unor transformatori diferențiali și se găsesc în exploatarea curentă deja de mai multă vreme.

O altă inovație, care merge și mai departe pe această cale, constă în utilizarea curenților de înaltă frecvență întrebuințându-i ca vehicul pentru atâtea transmisiuni telegrafice și telefonice făcute pe aceiași linie câți vehiculi alegem.

Ideea aceasta nu este nouă, căci existența ei datează chiar dela primele experiențe de telegrafie multiplă, bazate pe fenomene de rezonanță mecanică care au condus mai pe urmă la invenția telefonului.

Realizarea practică a acestei ingenloase idei ¹⁾ însă nu s'a

1) Primul experimentator care a utilizat în mod efectiv curenții de

putut face decât în ultimul timp în urma descoperirii tuburilor amplificatoare cu vid, acest instrument simplu și în același timp miraculos, care este în tehnica curentului slab ceea ce ar fi în medicină un remediu universal.

Prima încercare reușită de telegrafie și telefonie multiplă a fost anunțată în Decembrie 1918 de către D-l Theodore N. Vall, președintele societății American Telegraph and Telephone Company.

Pe un circuit între Baltimore și Pittsburg s'au putut schimba patru conversații telefonice simultane în afară de comunicația normală făcută prin metodele ordinare. Deasemenea pe un circuit telegrafic s'au putut obține până la 8 comunicații simultane.

Încercări de aceeași natură au fost făcute și în Germania și publicate de către profesorul Karl Willy Wagner în *Telegraphen und Fernsprechtechnik* din Iunie 1919.

În momentul de față se găsesc în Germania date în exploatarea curentă următoarele circuite.

1. Un circuit Berlin-Hanovra (300 km.) și un circuit Berlin Frankfurt pe Main (600 km.), servind fiecare pentru comunicații telefonice triplex.

2. O linie Berlin-Magdeburg (150 km.) pe care se pot scurge o comunicație telefonică normală și două transmisiuni telegrafice cu înaltă frecvență, utilizându-se aparate Hughes.

3. Un circuit Berlin-Frankfurt pe Main pe care se pot obține șase comunicații telegrafice cu înaltă frecvență. Fiecare din aceste comunicații fiind exploatate cu aparate rapide Siemens s'a putut ajunge pe această linie la randamentul enorm de 4000 li-tere pe minut.

Aplicarea acestor metode tinde acum să se generalizeze acolo unde întrebuințarea lor se arată avantajoasă din punct de vedere economic.

Înaltă frecvență pentru transmisiunile telegrafice și telefonice și a obținut rezultate oarecum satisfăcătoare a fost Maiorul *Geo O. Squier* din corpul de semnalizare al armatei americane în anul 1911.

Ideea a fost însă preconizată anterior de mai mulți autori printre care putem cita:

D-l *A. Maior* actualmente profesor la universitatea din Cluj în mai multe articole din *Electrotechnische Zeitschrift* anii 1908, 1909.

D-l *N. Vasilescu-Karpen* Directorul Școalei Politehnice București într-o notă din *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences* anul 1919.

În principiu un sistem de comunicații multiple cu ajutorul curenților de înaltă frecvență, pare a fi la prima vedere foarte simplu.

Pentru fiecare transmisie telegrafică sau telefonică se alege ca vehicul un curent alternativ de frecvență convenabilă.

Amplitudinea acestui curent vehicul sau purtător este modulată la stația de origine după forma de undă a curentului telefonic sau telegrafic transmis. La stațiunea de recepție acești curenți purtători sunt separați cu ajutorul unor circuite selective și conduși în alte circuite independente, unde acești curenți de înaltă frecvență sunt detectați și simplificați, fiind astfel readuși la forma de undă originală care a fost transmisă.

Vom examina acum mai de aproape care sunt mijloacele prin care se pot obține rezultatele de mai sus. Cum elementul esențial în o asemenea instalație este tubul cu trei electrozi vom începe cu o scurtă descriere a modului său de funcționare. Un astfel de tub (fig. 1) se compune din :

1. Un filament care se poate încălzi la roșu alb cu ajutorul unei baterii C de aproximativ 6 volți.

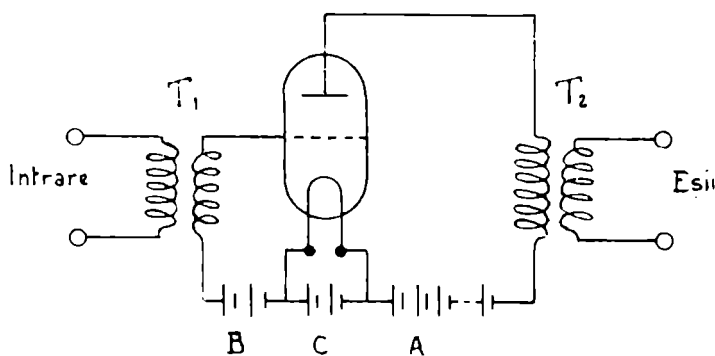


Fig 1

2. O placă anod căreia i se dă cu ajutorul bateriei A un potențial pozitiv în raport cu filamentul cuprins după caz între 100 și 600 volți.

3. Un grătar interpus între placă și filament și căruia i se dă cu ajutorul bateriei B un potențial negativ convenabil sub 12 volți, în raport cu filamentul. Totul se găsește într'un tub de sticlă în care s'a făcut un vid cât se poate de complet.

Filamentul încălzit emite electroni adică niște încărcări negative foarte mici. Acești electroni fac în general parte integrantă din atomi, dar un mare număr dintre ei circulă liberi printre atomii oricărui metal. În condițiunile ordinare ei nu es din metal căci încărcarea superficială pozitivă care ar resulta prin plecarea lor, iar împiedica să se îndepărteze, însă o încălzire energetică poate favoriza emisiunea lor către exterior. Fenomenul acesta a fost descoperit de O. W. Richardson, se găsește la baza modului de funcționare a tuburilor sau lămpilor cu 2 sau 3 electrozi.

Electronii emiși de către filament se dirijează cu o viteză vertiginoasă în sensul câmpului electric ce ia naștere între placă și filament prin diferența de potențial ce există între ele. Ei transportă deci, mici încărcări negative dela filament la placă și servesc de suport unui curent care ia naștere în circuitul plăcii.

Sensul deplasării lor este invers aceluia pe care de obicei îl numim sensul curentului și care corespunde în mod convențional la un transport de electricitate pozitivă.

Se înțelege că curentul care ia naștere în modul acesta în circuitul plăcii este constant atâta timp cât nu intervine potențialul negativ al grătarului. Cu cât însă potențialul negativ al grătarului crește cu atât curentul din circuitul plăcii scade de oarece repulsiunea ce o exercită grătarul negativ asupra electronilor devine din ce în mai mare. Grătarul lucrează deci ca un robinet care regulează trecerea curentului în circuitul filament placă.

Dacă prin urmare reprezentăm pe o axă orizontală potențialul grătarului, iar pe o axă verticală curentul din circuitul plăcii, vom obține atuncea curba caracteristică a tubului cu trei electrozi, fig. 2.

Examinând această caracteristică observăm că ea are o porțiune rectilinie pe care lampa funcționează ca amplificator după cum vom vedea imediat. Pe porțiunea curbilinie lampa funcționează ca detector sau supapă. Să considerăm primul caz și să presupunem că potențialul negativ fix oa dat de bateria B, îl suprapunem o mică tensiune alternativă bc cu ajutorul transformatorului de intrare T_1 , care primește curentul ce trebuie amplificat (fig. 1) În acest caz curentul care ia naștere în circuitul plă-

cei are o amplitudine cu mult mai mare decât tensiunea aplicată, din cauza înclinării pe care o are caracteristica. Pe de altă parte forma de curent nu este deformată fiindcă în această regiune caracteristica este rectilinie. Avem deci în acest caz amplificarea

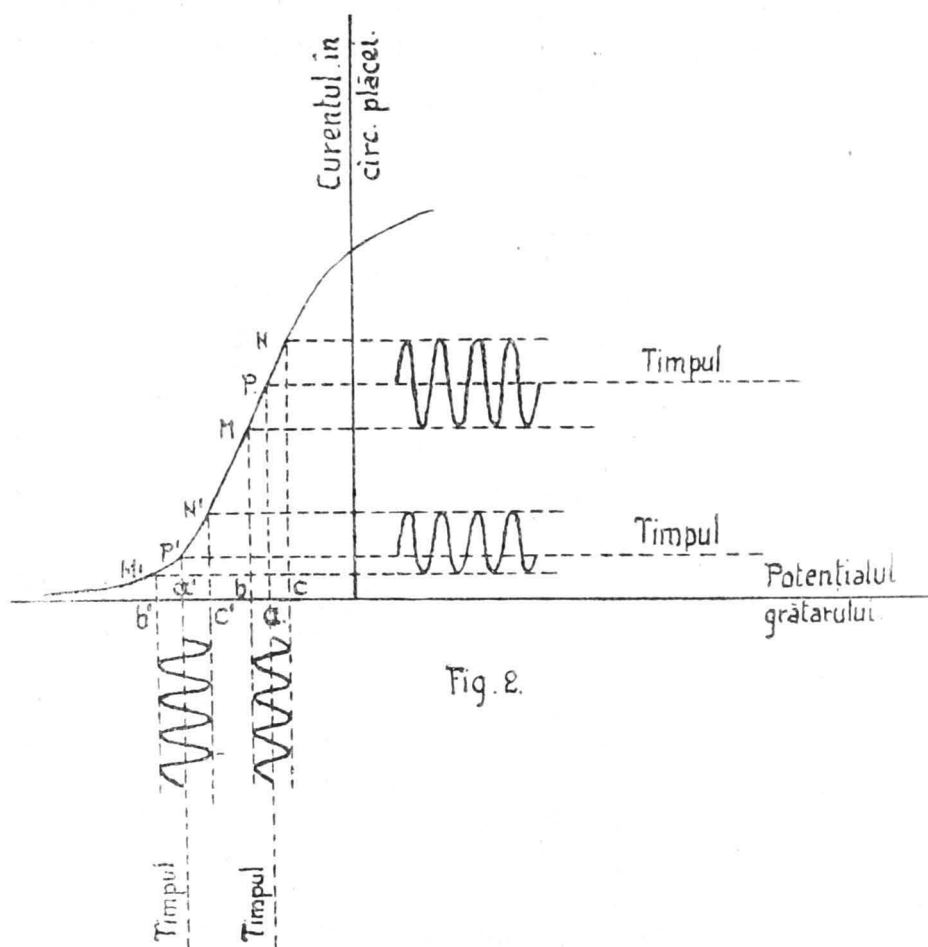


Fig. 2.

fără deformațiune. Curentul slab intră prin T_1 iar curentul amplificat este prin T_2 .

Să considerăm acum cazul în care potențialul negativ, fix al grătarului cade în oa' pe porțiunea curbilinie a caracteristicii.

Se vede în acest caz că tensiunea aplicată nu mai este reprodusă fidel de oarece numai amplitudinile pozitive $a'c'$ sunt favorizate fiind reproduse oarecum amplificate, pe când amplitudinile negative $a'b'$ sunt practic suprimate. În această regiune

lampa funcționează ca detector sau redresor de curent permițând numai amplitudinilor pozitive să fie reproduse în circuitul plăci.

Un montaj de asemenea uzitat pentru detecțiunea curenților este cel arătat în fig. 3. În acest montaj bateria negativă a grătarului este suprimată, însă grătarul fiind legat prin rezistența R la polul negativ al bateriei C păstrează cu toate acestea un mic potențial negativ față de filament.

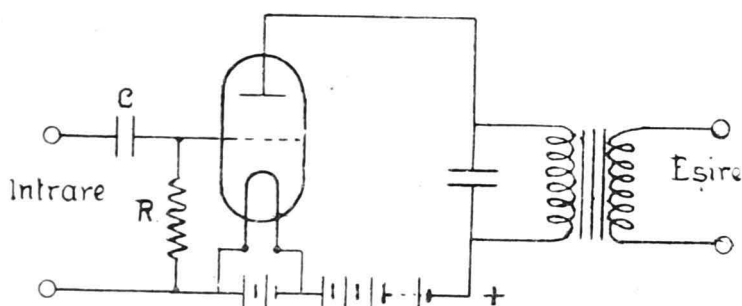


Fig. 3

Ca și în precedent o semiundă negativă micșorează curentul în circuitul plăci. De asemenea semiunda pozitivă următoare mărește curentul în acest circuit, dar în acelaș timp mărește și încărcarea negativă a grătarului, căci rezistența R fiind foarte mare nu toți electronii opriți de grătar se pot întoarce la filament. Prin urmare fiecare semiundă negativă găsește grătarul ceva mai negativ decât era în semiunda negativă precedentă. Rezultă de aici că valoare mijlocie a potențialului grătarului crește cu numărul oscilațiilor deci curentul mijlociu din circuitul plăci descrește. În particular o tensiune cu amplitudini variabile aplicată grătarului va da naștere în circuitul plăci unui curent a cărui valoare mijlocie va reproduce legea de variațiune a acelor amplitudini.

O altă funcțiune importantă a lămpei cu trei electrozi este aceea de generator de curenți de înaltă frecvență. Se înțelege că dacă înlesnim o reacțiune a circuitului de eșire T_2 asupra circuitului de intrare T_1 , lampa se poate autoexcita producând oscilațiuni electrice întreținute cu o frecvență care depinde de constantele celor două circuite.

Unul din montajele întrebuintate pentru a obține curenți de înaltă frecvență este arătat în fig. 4.

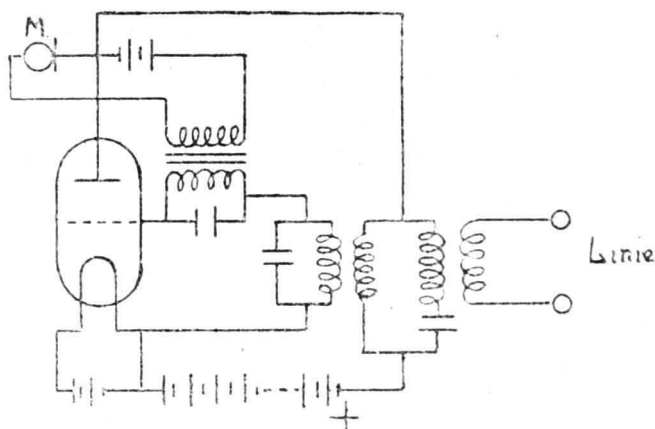


Fig. 4.

Se vede că circuitul grătarului și circuitul plăci sunt cuplate prin inducțiune. Circuitele oscilante din circuitul grătarului și circuitul plăci sunt acordate pentru o anumită frecvență așa că acea frecvență este întreținută prin reacțiunea ce se produce între cele două circuite.

Într'un alt montaj arătat în fig. 5 cuplajul este oudin sau în derivație.

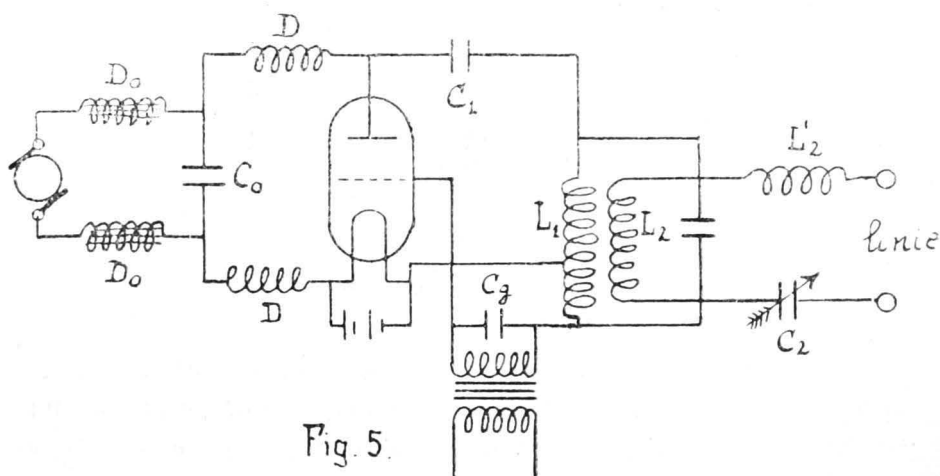


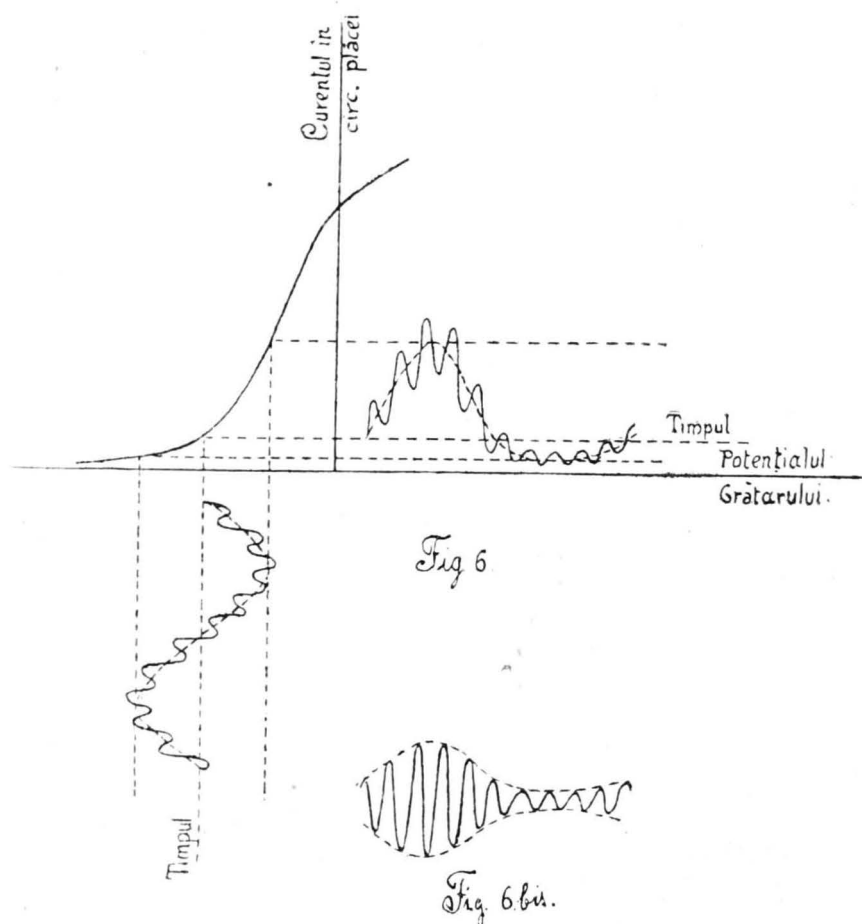
Fig. 5.

Potențialul pozitiv al plăci este produs de o mică mașină de curent continuu de 600 volți. Selfurile D_0 și condensatorul

C_0 servesc ca să absoarbă armonicile colectorului, iar selfuriile D împiedică curenții de înaltă frecvență să pătrundă în circuitul de alimentare.

Să presupunem că suprapunem curentului de înaltă frecvență produs de oscilator un curent de conversație produs de un microfon cuplat pe circuitul grătarului fig. 4 și 5.

Vom reprezenta pentru un moment curentul de conversație



printr'o undă sinusoidală. Din suprapunerea curentului de conversație și curentului de înaltă frecvență, rezultă pe grătar un potențial variabil, astfel cum este arătat în fig. 6 pe axa verticală.

Din cauză că în această regiune caracteristica este curbilinie curentul ce ia naștere în circuitul plăci afectează forma arătată pe axul orizontal, fig. 6. Vedem atunci că amplitudinea cu-

rentului purtător se modulează după valoarea instantanee a curentului de conversație. Prin urmare chiar dacă printr'un mijloc oarecare oprim frecvența relativ joasă a curentului de conversație să treacă pe linie, caracteristicile curentului de conversație se păstrează cu toate acestea în amplitudinele modulate ale curentului purtător. Forma acestei unde purtătoare modulate astfel cum este redată în circuitul secundar al transformatorului de eșire este arătată în fig. 6 bis.

Această undă fiind complexă, adică compusă din mai multe elemente simple este bine să vedem care dintre compunătoare sunt absolut indispensabile și cari dintre ele sunt inutile și se pot suprima.

Pentru aceasta să considerăm una din compunătoarele curentului complex de vorbă și fie $\frac{q}{2\pi}$ frecvența acestei compunătoare. Această frecvență va fi bine înțeles coprinsă în scara frecvențelor ce compun vocea, adică între 200 și 2000 perioade pe secundă.

Fie $\frac{p}{2\pi}$ frecvența curentului purtător. Amplitudinea acestui curent purtător, variază aproximativ ca ordonatele unei sinusoide de forma $1+Q \cos qt$, unde Q este proporțional cu amplitudinea unei modulator.

Prin urmare curentul trimis pe linie este dat de ecuațiunea

$$i = P (1 + Q \cos qt) \cos pt.$$

Această ecuație se poate pune sub forma :

$$i = P \cos pt + \frac{PQ}{2} [\cos (p+q) t + \cos (p-q) t]$$

Primul termen este independent de Q și q și deci nu are nici un rol în transportul la distanță al caracteristicilor curentului de vorbă.

Aceste caracteristici sunt conservate în ceilalți doi termeni.

Frecvența lor este suma sau diferența frecvențelor curentului purtător și modulator, iar amplitudinea lor este proporțională cu produsul amplitudinilor acestorași curenți.

Acum dacă în locul unei singure compunătoare a curentului de vorbă considerăm toate frecvențele ce-l compun, coprinse după cum am văzut între 200 și 2000, vedem că pe linie pleacă două.

fășii de frecvență: fâșia superioară cuprinzând frecvențele cuprinse între $\frac{p}{2\pi} + 200$ și $\frac{p}{2\pi} + 2200$ și fâșia inferioară cuprinsă între $\frac{p}{2\pi} - 200$ și $\frac{p}{2\pi} - 2200$.

Să presupunem că una din aceste fășii de ex. cea superioară pleacă singură pe linie împreună cu curentul purtător și ajunge la stațiunea de recepție în circuitul grătarului unui tub cu caracteristica neliniară.

În cazul acesta se va petrece la recepție același lucru ca la emisiune cu alte cuvinte frecuența curentului purtător $\frac{p}{2\pi}$ și una din frecvențele fășii superioare $\frac{p+q}{2\pi}$ vor da naștere la circuitul de eșire al tubului la două frecvențe, una egală cu suma și alta egală cu diferența frecvențelor considerate.

Dacă în particular considerăm diferența dintre ele adică $\frac{p+q}{2\pi} - \frac{p}{2\pi}$ vedem că regăsim frecuența $\frac{q}{2\pi}$ a uneia din compunătoarele curentului de vorbă. Același lucru se va întâmpla cu toate frecvențele fășiei superioare. Deci curentul de vorbă este reconstituit cu toate compunătoarele sale.

Reproducerea curentului de vorbă poate deasemea să rezultă din acțiunea combinată a curentului purtător și frecvențele din fâșia inferioară. Transformarea aceasta de frecvență se numește demodulare.

Din moment ce vocea poate să fie reprodusă cu una sau cealaltă din cele două fășii singure, se vede că nu este necesar să le transmitem pe amândouă pe linie.

Pe de altă parte în orice comunicațiune multiplă (formată din mai multe căi) trebuie ca demodulatorul unei căi determinate să nu primească de pe linie curenții destinați celorlalte căi, iar modulatorul unei căi să nu emită decât curenții cuprinși în fâșia care îi este rezervat.

Lucrul acesta se poate realiza cu ajutorul unor circuite selectoare numite după împrejurări: lanțuri de reactanțe sau filtre, care pot să fie stabilite ca să nu transmită sau să primească de cât o singură fâșie.

Un lanț de reactanțe (fig. 7) se compune din o serie de

elemente. Frecvența proprie a unui element de lanț este după notațiile din figura

$$f_0 = \frac{2}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Lanțul acesta posedă proprietatea de a împiedica trecerea

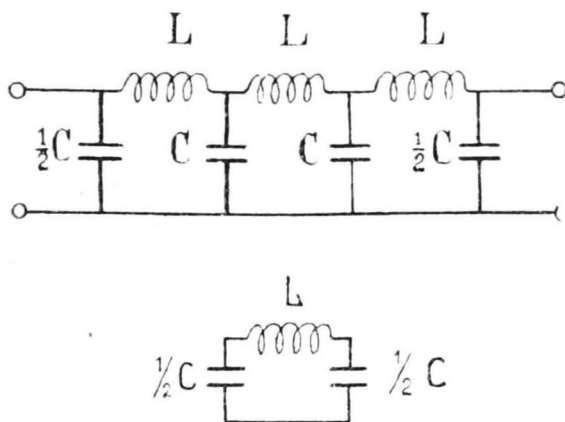


fig. 7.

tuturor frecvențelor superioare lui f_0 cu alte cuvinte că lanțul este permeabil numai pentru curenții de frecvență joasă până la frecvența limitată f_0 .

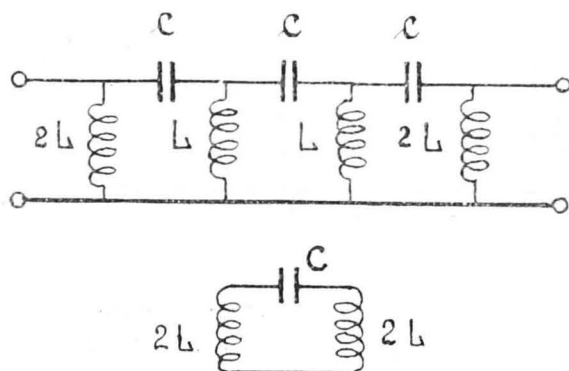


fig. 8.

În fig. 8 se vede un alt tip de lanț de reactanță. Frecvența limită a acestui lanț este

$$f'_0 = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$$

De data aceasta limita este inferioară, cu alte cuvinte că lanțul este permeabil pentru toate frecvențele superioare lui f'_0 , cu alte cuvinte un lanț aplicabil pentru cazul frecvențelor înalte. Deosebirea dintre modul de funcționare al acestor două lanțuri se poate deduce din faptul că reactanța unui self crește cu frecvența pe când din contra reactanța unei capacități descrește când frecvența crește.

Se înțelege că orice lanț de reactanțe dă loc la anumite pierderi de energie care depind de frecvența curentului ce-l străbate.

Dacă reprezentăm pe un ax orizontal frecvența în Kile perioade pe secundă, iar pe un ax vertical pierderile de energie corespunzătoare fiecărei frecvențe, obținem pentru cele două lanțuri considerate două curbe a și b cari în cazul figurei 9 admit o frecvență limită comună, frecvența de 3000 p, s.

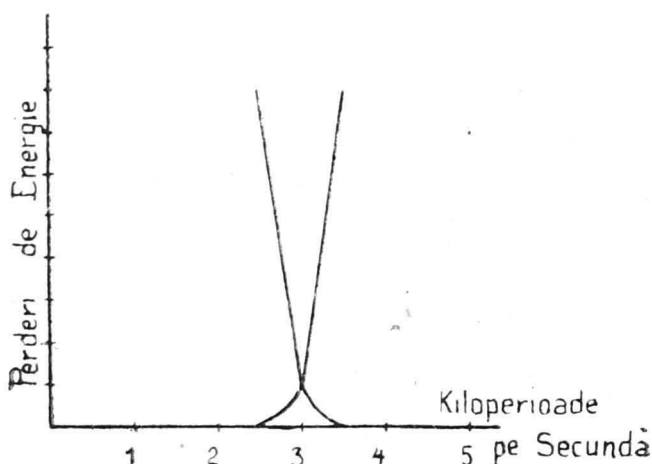


Fig. 9.

Filtre. Se pot deasemenea construi lanțuri de reactanțe cari sunt permeabile numai pentru o anumită fâșie de frecvențe, îndeplinind astfel rolul de filtru.

Cea mai simplă formă de filtru este arătată în fig. 10. Acest filtru permite trecerea unei fâșii de frecvențe cuprinsă între limitele

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LK}} \text{ și } f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LK_1}} \text{ unde } K_1 = \frac{CK}{C+4K}$$

adică capacitatea unui element de lanț.

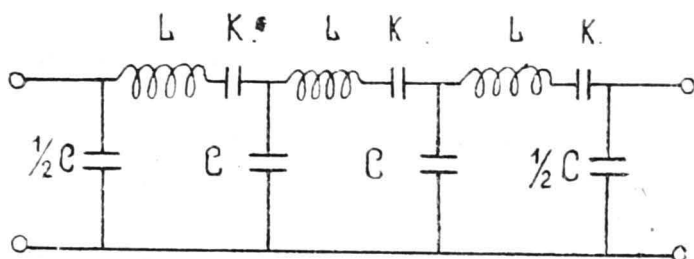


Fig. 10

Curba perderilor în funcțiune de frecvență este arătată în fig. 11 unde se vede că fâșia care poate trece prin filtru este cuprinsă între 9000 și 11000.

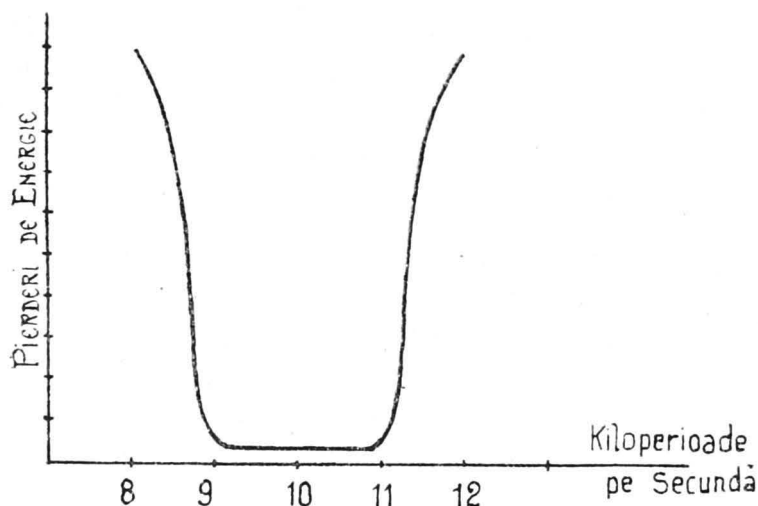


Fig. 11.

Alte forme de filtru au rolul invers putând să fie străbătute de orice frecvență afară de o anumită fâșie de frecvențe.

Cum vedem cu ajutorul lanțurilor de reacțanțe și filtrelor putem să facem toate combinațiile necesare unei comunicații telefonice sau telegrafice multiple.

Montajul unei instalații telefonice multiple. Elementele din

care se compune o instalație multiplă fiind descrise mai sus putem da acum schema unei astfel de instalațiuni.

Figura 12 arată instalația aparatelor la una din extremitățile liniei. Pentru mai multă claritate în afară de dispozitivul ce servește unei comunicații telefonice ordinare nu s'a desemnat decât instalația necesară unei singure comunicații prin curenți de înaltă frecvență.

Pentru celelalte putem să ni le închipuim amenajate exact ca și prima în derivație pe circuitul telefonic.

Dispozitivul de conversație obicinuită este reprezentat în F_1 . Bobinele de self D și condensatorul C împiedică curenții de înaltă frecvență să pătrundă în F_1 . De fapt abonatul din F_1 nu ar fi jenat de curenții alternativi de înaltă frecvență, căci ei nu sunt perceptibili în aparatele ordinare.

Din contra însă curenții de înaltă frecvență ar fi influențați de microfonul din F_1 și conversația ce pleacă din F_1 ar fi primită în toți receptorii cu înaltă frecvență.

Postul abonatului care vorbește prin curenți de înaltă frecvență se găsește în F_2 . Curenții de conversație ce pleacă din F_2 lucrează prin intermediul transformatorului U asupra circuitelor primare ale celor doi transformatori U_1 și U_2 montați în suprafață (sau la serie).

La transmisiune primarul lui U_2 nu are alt rol decât să shunteze curenții de conversație transmiși. Amplificatorul V_1 primește deci curenții de conversație prin transformatorul de intrare U_1 și după amplificare îi trimite mai departe în circuitul grătarului GK al oscilatorului, unde curenții de conversație se suprapun curenților de înaltă frecvență produși de oscilator. La ieșirea SK din oscilator pentru a elimina una din fășiile de frecvență, se pune un lanț de reactanțe.

La recepție curenții de înaltă frecvență ajung în unele cazuri, întâi într'un transformator numit receptor acordat și pe urmă trec printr'un filtru care nu admite decât numai fășa de frecvență care este destinată lui F_2 . Din filtru curenții de înaltă frecvență ajung în demodulator, unde sunt transformați în curenți ordinari de conversație. Aceștia după ce sunt amplificați în V_2 ajung prin transformatorul U_2 și U la abonatul din F_2 .

Telegrafia multiplă. Montajul fig. 13 este mult mai simplu de oarece aceiași instalație poate să servească și la transmisie

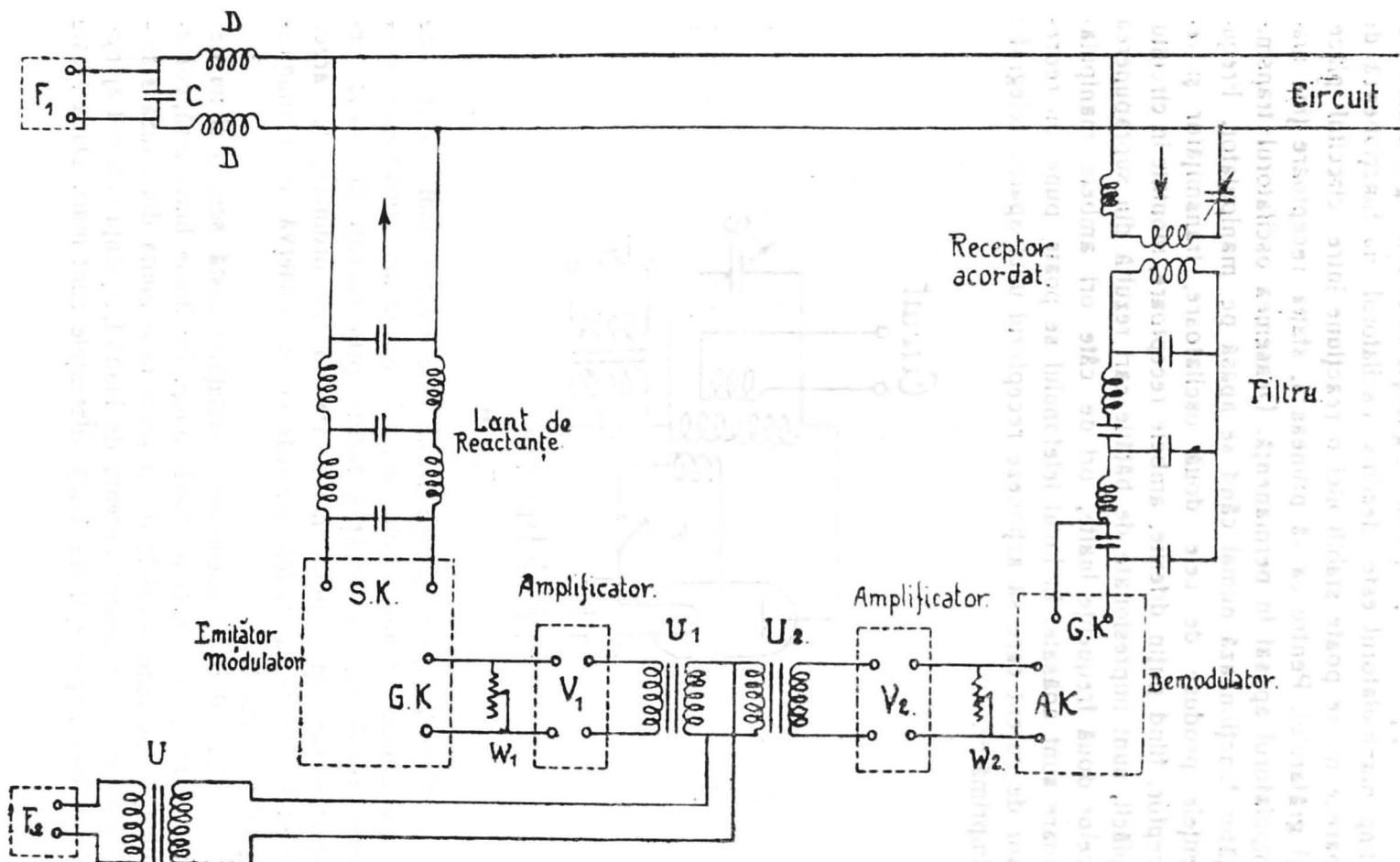


Fig. 12

și la recepție. Manipulatorul se găsește în circuitul grătarului. Când timp manipulatorul este deschis oscilatorul nu funcționează de oarece nu se poate stabili nici o reacțiune între circuitul plăcii și grătarului. Pentru ca să primească, stația receptoare ține manipulatorul apăsător în permanență. Deasemenea oscilatorul transmițător funcționează numai când se apasă pe manipulator. Frecvențele produse de cele două oscilatoare, transmițător și receptor, fiind puțin diferite, ambele receptoare, montate în circuitul plăcii, sunt impresionate de bătăile care rezultă din suprapunerea celor două frecvențe înalte, ori de câte ori ambele manipuloare sunt apăsate. În locul telefonului se poate pune un redresor de curent care să acționeze receptorul unui aparat telegrafic imprimător.

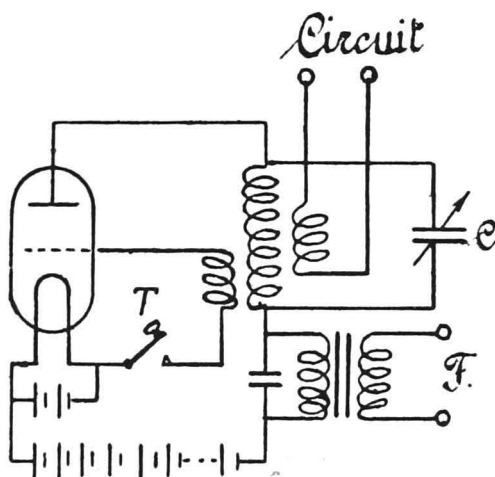


Fig 13

Considerațiuni generale. Din cele arătate mai sus se vede că chestiunea comunicațiilor multiple pe același circuit este complex rezolvată. Conversațiile făcute prin curenți de înaltă frecvență sunt în general mai clare ca cele ordinare, de oarece sunt lipsite de sgomotele parazite ce se observă în comunicațiile ordinare.

Din nefericire asemenea instalațiuni costă scump și nu devin avantajoase decât pe liniile lungi. Pe liniile lungi însă, comunicațiile nu sunt posibile decât până la o limită din cauza slăbirii pe care o încearcă curenții de înaltă frecvență care pot ajunge la valori imperceptibile dacă distanțele sunt mari. Dacă l este

distanța între cele două stații, între curentul i_1 la emisiune și curentul i_2 la recepție, avem relația

$$i_2 = i_1 e^{-\beta l}$$

Valoarea coeficientului β pentru cazul curenților de înaltă frecvență este

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

unde R , L , C , G sunt respectiv rezistența, selful, capacitatea și conductanța între cele două fire ale circuitului luate toate pe unitatea de lungime. Ceiace agravează situația este că rezistența în cazul curenților de înaltă frecvență, are o valoare mult mai mare decât în cazul frecvențelor acustice, din cauza fenomenului cunoscut sub numele de skin effect.

Pe liniile aerlene conductanța între fire nu variază mult cu frecvența. Pe cable însă conductanța între fire crește considerabil cu frecvența. Din acest punct de vedere liniile aeriene sunt preferabile cablelor pentru comunicațiunile multiple cu înaltă frecvență.

Inducția produsă de transmisiunile radio-telegrafice se poate evita prin circuite de descărcare montate la mijlocul sau cele două extremități ale liniei.

Inducțiunea între două circuite paralele exploatate ambele cu curenți de înaltă frecvență, se poate evita prin metoda rotațiunilor, cari trebuiesc făcute cât de dese, d. ex. la fiecare 250 m.

Prin urmare, înainte de instalarea unui sistem multiplu cu înaltă frecvență va trebui să se transforme liniile făcându-se rotațiunile la distanțe mai scurte decât cele normale. Se va evita pe cât este posibil distanțele în cablu, iar dacă nu se poate, cablele vor fi pupinizate, repartizându-se selful necesar din distanță în distanță în general la fiecare 300 m.

Pentru a asigura comunicațiuni pe distanțe mai mari putem în primul rând să mărim puterea transmițătorului, dar acest mijloc nu este de recomandat decât în cazul când pe un traseu există numai un circuit exploatat cu curenți de înaltă frecvență.

În cazul contrariu se va recurge la așa numitele relee amplificatoare intermediare precum și în antilnductarea firelor prin rotațiuni.