

Scurt istoric al echipamentelor de radiocomunicații

Pentru a aprecia progresul uriaș pe care l-au făcut disponibil tehnologii ca aceea a prelucrării numerice a semnalelor este potrivit să fie revăzute primele emițătoare și receptoare precum și tehnicile fundamentale care au permis radioului să prospere în timp, mai întâi ca serviciu de radiodifuziune iar mai târziu ca sisteme de comunicații publice portabile.

Primele radioreceptoare de la începutul secolului XX erau compuse dintr-o antenă acordată și un mic tub de sticlă umplut cu pilitură metalică (*coherer* [1]) fiind capabile să pună în evidență scînteile generate prin activarea emițătorului. Figura 1 ilustrează un astfel de circuit pentru primele emisiuni telegrafice "fără fir". Distanța acoperită de aceste transmisiuni, atunci cînd Guglielmo Marconi (1874-1937) începea șirul său de experiențe și demonstrații, era scurtă (sute de metri pînă la kilometri) fiind limitată de energia necesară întreținerii scînteilor la emisie (transferată de la baterii prin intermediul unei bobine de inducție înseriată cu un contact vibrator) și relativa insensibilitate a detectorului de la recepție, bazat pe proprietatea de neliniaritate a aglomerărilor de particule metalice (fier sau amestecuri de nichel și argint a căror rezistență electrică scade brusc în prezența unui cîmp electric). Ea a crescut progresiv (în special pe seama emițătoarelor) ajungîndu-se ca în 1901 semnalele lui Marconi să traverseze oceanul Atlantic.

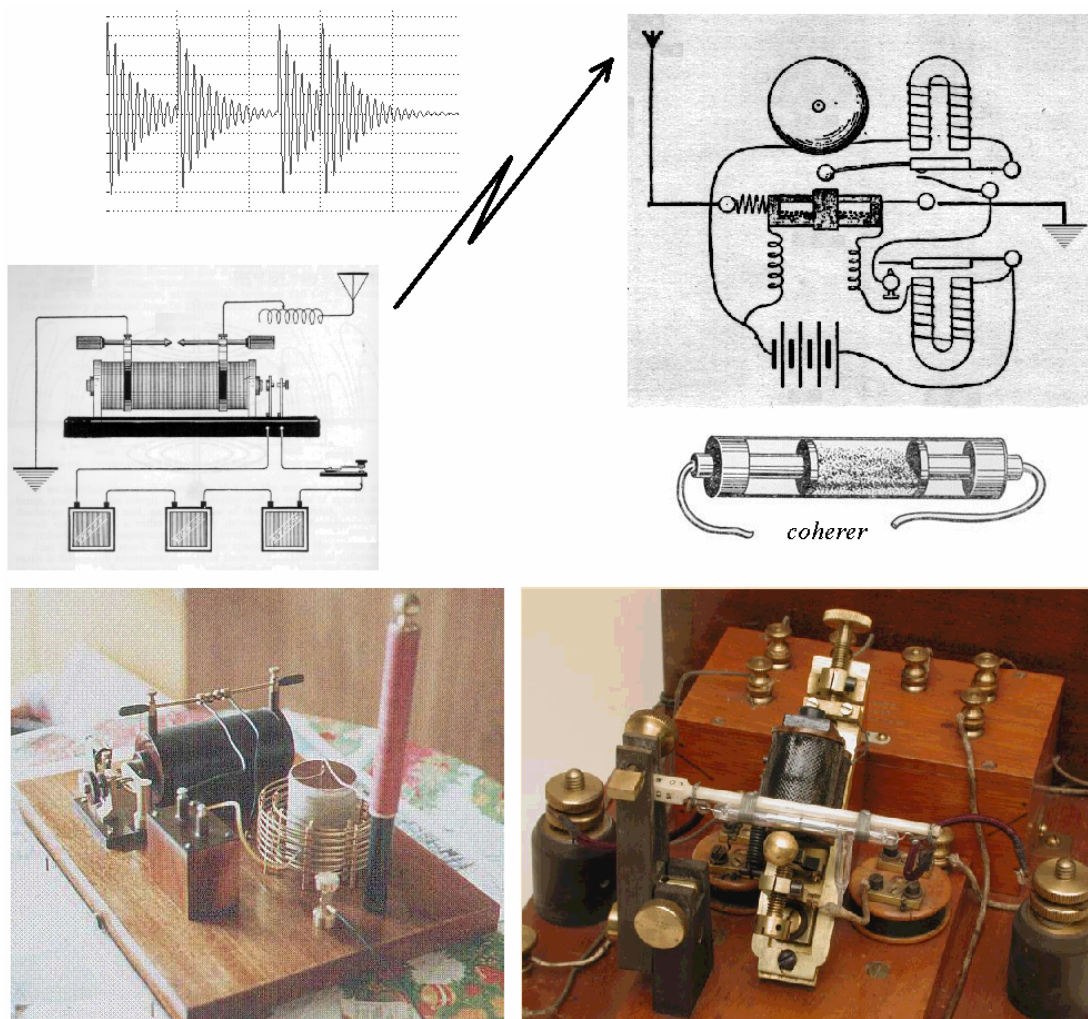


Figura 1

Situația s-a ameliorat pe de o parte prin inventarea generatoarelor de curent alternativ cu puteri de peste 10kW și frecvențe de pînă la 100kHz care au permis obținerea undelor radio în regim continuu și prin urmare modularea în amplitudine cu semnale audio (Reginald A. Fessenden în anul 1906), iar pe de altă parte prin înlocuirea *coherer*-ului cu detectoare cu cristal (o aplicație timpurie a semiconductorilor). Schema de principiu din figura 2 indică plasarea microfonului cu cărbune direct în circuitul de antenă (sau prin transformatoare separatoare), fiind dimensionat pentru a prezenta o rezistență nominală cît mai apropiată de rezistența de radiație a antenei și trebuind să suporte prin urmare curenți cu valori efective de mulți amperi (un sistem auxiliar asigură răcirea microfonului cu apă!). Modificările rezistenței microfonului sub influența presiunii sonore conducea pentru o tensiune dată de generator la variații ale rezistenței totale a circuitului de antenă și în consecință a amplitudinii curentului și a puterii radiate. Pentru eficiență maximă frecvența de rezonanță a antenei (naturală sau datorată unor încărcări reactive) trebuie să fie cît mai apropiată de aceea a tensiunii de la bornele generatorului, condiție care conducea la dimensiuni foarte mari. Creșterea de cîteva ori a frecvenței de emisie peste limitele impuse de tehnologia alternatoarelor de mare putere (cu consecința micșorării dimensiunilor antenelor) se realiza prin interpunerea între generatoare și antene a unor multiplicatoare de frecvență pasive, din bobine cu miezuri saturate de înfășuări străbătute de curent continuu.

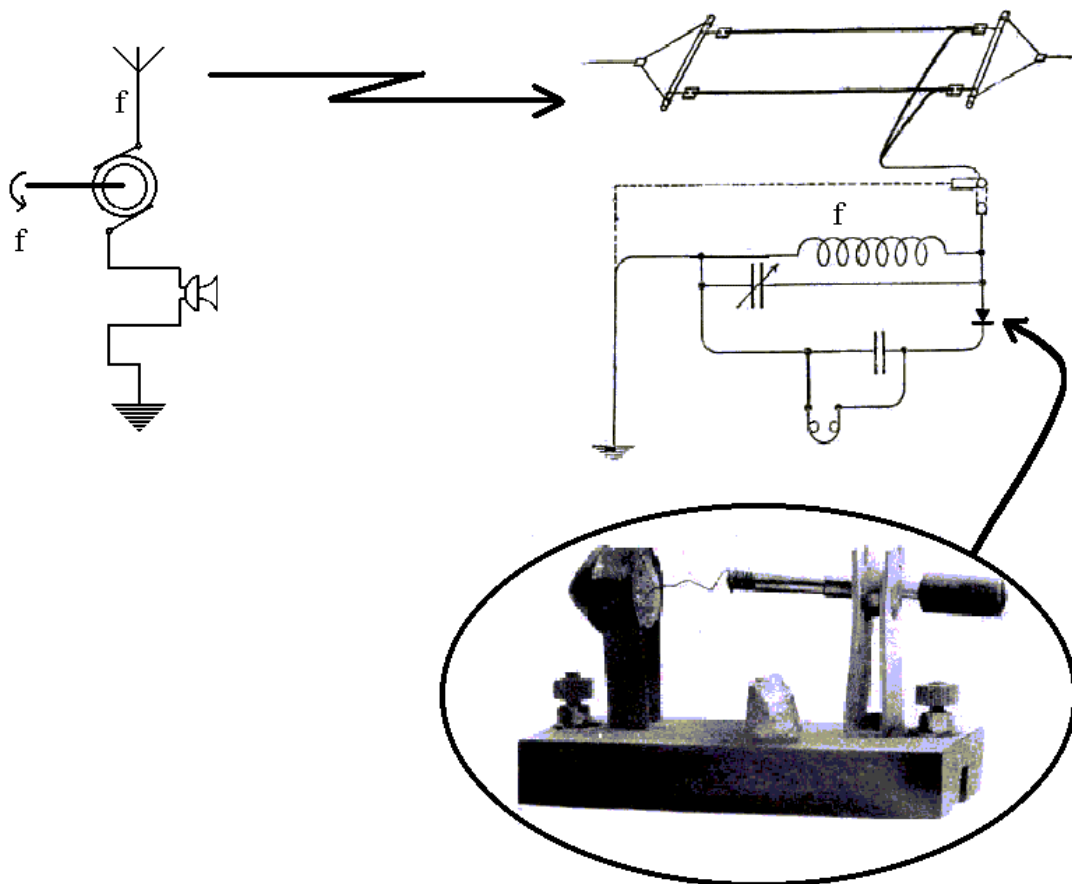


Figura 2

Un receptor simplu conținea pe lângă detectorul cu cristal o antenă, un circuit de intrare acordat, o cască și un condensator de decuplare. La acea vreme, detectorul

cu cristal (în esență o joncțiune redresoare) consta dintr-o bucată de minereu (zincăți, silicați, sulfăți, carburi) pe suprafață căruia era presat prin intervenția manuală a operatorului un electrod metalic subțire ([2]). Zona de contact trebuia explorată iterativ (operație însoțită uneori de deteliorarea fizică a cristalului) pînă la obținerea sensibilității maxime care permitea recepționarea stațiilor de radiodifuziune în gamele de unde lungi și medii (sub 1MHz) la distanțe de peste 100km. Înmulțirea stațiilor de emisie a arătat însă în scurt timp că, chiar măbind numărul de circuite acordate între antenă și detector, receptoarele cu cristal erau departe de asigurarea unui optim de sensibilitate și selectivitate.

Pasul mare înainte avea să fie făcut după apariția tuburilor electronice cu vid. Toate formele de detectori (coherer, cristale, electroliti) utilizate pînă atunci au fost "detronate" de *dioda* concepută de John Ambrose Fleming (1849-1945) în anul 1904. Fleming era entuziasmat de posibilitatea utilizării efectului Edison la redresarea semnalelor radio. Tubul de sticlă vidat conținând un filament de carbon (catodul) înconjurat de un cilindru subțire metalic (anodul), care atrăgea electronii din norul creat în jurul filamentului încălzit atunci cînd avea un potențial relativ pozitiv și îi respingea cînd potențialul devenea negativ, s-a dovedit capabil să transforme chiar cei mai mici curenți alternativi în curenți unidirecționali. Figura 3 redă aspectul unuia dintre primele tuburi diodă la 1904 ([2]), alături de receptorul "226B" produs de Marconi și echipat atît cu detector cu cristal cît și cu tub.

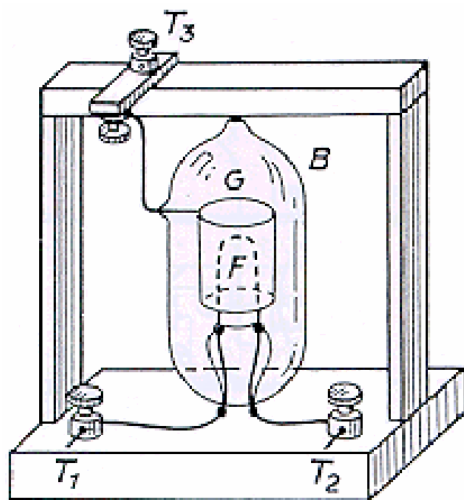


Figura 3

În 1906, Lee de Forest (1873-1961) face primele experiențe cu un electrod, *grila de control*, introdus într-o diodă pentru a influența fluxul de electroni. Apare astfel în arenă *trioda* ([6], denumită inițial de inventator *Audion*), la care potențialul negativ al grilei față de catod reduce curentul anodic prin respingerea electronilor iar cel pozitiv crește același curent prin atragerea unui număr mai mare de electroni în flux evidențiindu-se astfel efectul de amplificare a semnalelor electrice, efect care începe să fie apreciat și exploatat începînd cu anul 1912. Cam în aceeași perioadă s-a evidențiat și faptul că trioda poate fi folosită la generarea oscilațiilor continue de radiofrecvență și, mai mult, că aceste oscilații pot fi ușor modulate în amplitudine. În anul 1914 Marconi a utilizat oscilatoare cu schema de bază din figura 4, alăturată primei pagini a brevetului de invenție a triodei și imaginilor unora dintre primele tuburi comerciale, pentru transmisii radiotelefonice regulate pe o distanță de 110km.

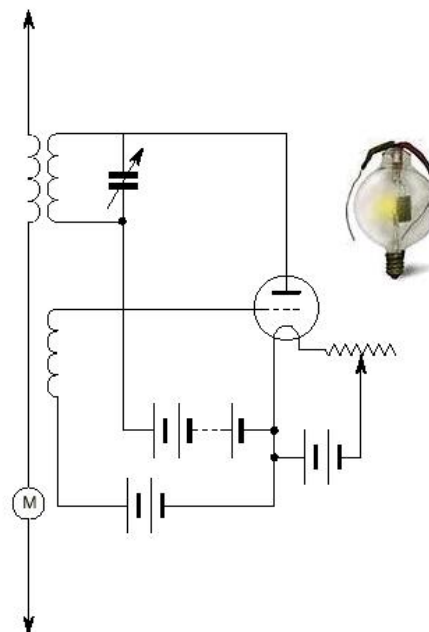
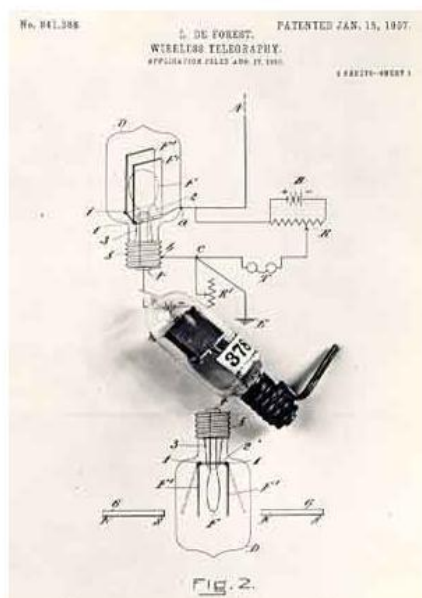


Figura 4

După apariția tuburilor cu vid receptoarele s-au îmbunătățit prin adăugarea etajelor preamplificatoare de radiofrecvență acordate care odată cu mărirea nivelului semnalului izolu detectorul de antenă și furnizau o selectivitate globală mărită. Amplificatoarele post-detector au mărit nivelul semnalului audio astfel încât a devenit posibilă audiția în difuzor, colectivă. Așa cum se reiese din figura 5 aceste radioreceptoare erau la început relativ complicat de operat datorită condensatoarelor variabile care trebuiau manevrate individual.

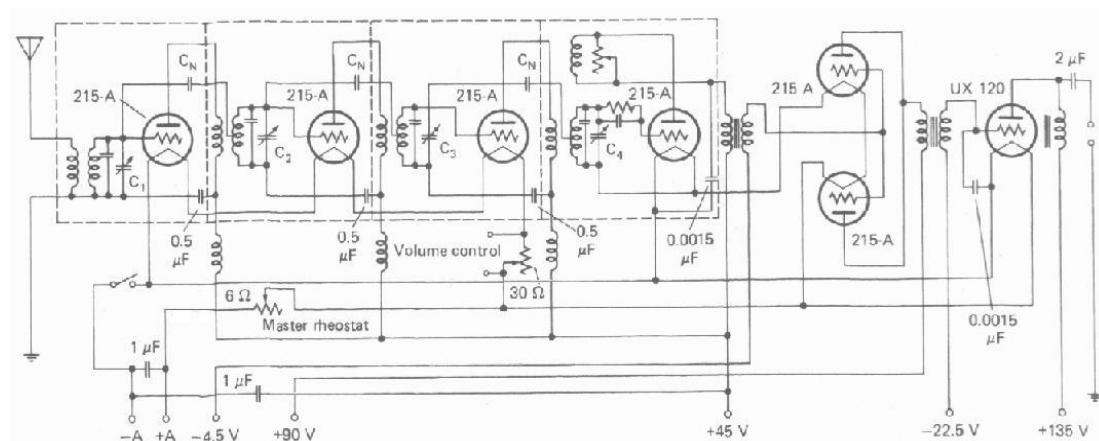


Figura 5

Instabilitatea montajelor cu triodă, a dat pe de o parte bătaie de cap proiectanților care trebuiau să dimensioneze corect compensarea externă a capacității mari dintre anod și grila de comandă (prin condensatoarele de *neutrodinare* C_N din figura 5), iar pe de altă parte a condus la descoperirea faptului că atunci când etajul amplificator de radiofrecvență era în apropierea condițiilor de intrare în oscilație amplificarea și selectivitatea sa creșteau în mod spectaculos, pe seama însumării unei părți din energia semnalului amplificat la ieșirea sa cu a celui de la intrare. Rezultatul reacției pozitive consta în apariția unei rezistențe negative în circuitul de intrare, rezistență care compensa o parte din rezistența de pierderi care micșora în mod normal

factorul de calitate al circuitului selectiv lărgindu-i banda. Exploatarea reacției introdusă sub controlul direct al operatorului la detectorul cu triodă a condus noul tip de *detector cu reacție*, utilizat de asemenea la receptorul din figura 5.

Detectorul cu reacție și etajele amplificatoare cu triode au deschis drumul experimentelor de comunicații la mare distanță în gama de unde scurte. Când reacția pozitivă era crescută peste pragul de intrare în oscilație, detectorul producea semnale tonale audibile în ritmul emisiunilor în cod Morse, dacă era ușor dezacordat față de frecvența emițătorului.

În urma experiențelor făcute cu detectoarele cu reacție, Edwin H. Armstrong (1890-1954) inventează *detectorul cu superreacție* ([4],[5]), sperând în principal la o demodulare mai eficientă a emisiunilor modulate în frecvență (care pînă atunci se demodulau prin conversie MF-MA în demodulatoare de anvelopă dezacordate). Alegerea adecvată a constantei de timp a circuitului de grilă la un detector cu reacție, ca în figura 6-(a), produce un efect de blocare prin care circuitul devine un oscilator pe două frecvențe. Inițial, datorită reacției pozitive puternice, amplificarea crește extrem de mult pînă cînd se amorsează oscilația de radiofrecvență în prezența semnalului pe care a cărui frecvență este acordat circuitul selectiv al detectorului. Însă, după un scurt timp, redresarea care are loc în circuitul grilei detectorului produce o tensiune de polarizare negativă care blochează oscilația de radiofrecvență. După scăderea naturală a tensiunii de polarizare a grilei, procesul se repetă. Reglînd constanta de timp, frecvența oscilației de relaxare se plasează în zona supraaudibilă (peste 20kHz).

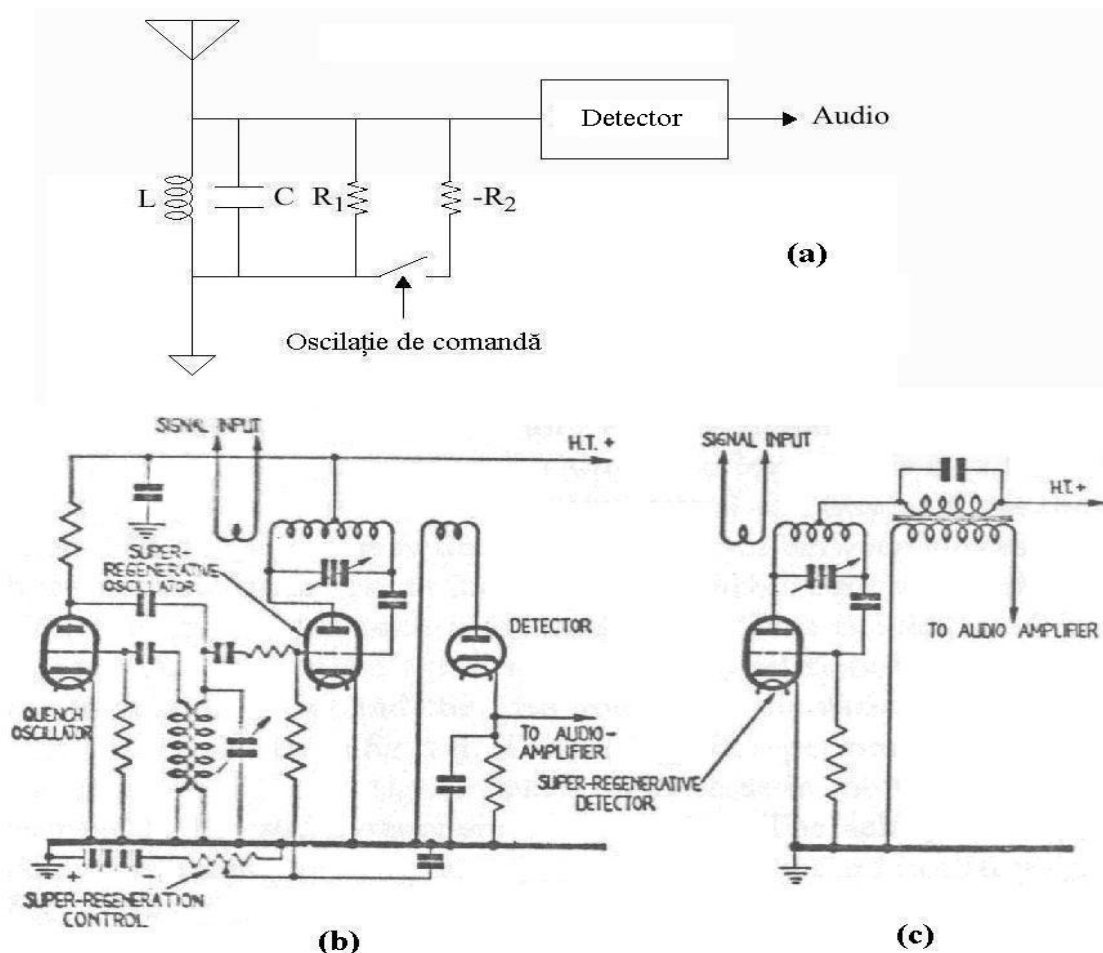


Figura 6

Practic au fost utilizate atât detectoare la care blocarea se realiza prin mecanismul oscilatorului de relaxare, ca în figura 6-(c), cât și prin acțiunea unui oscilator auxiliar, ca în figura 6-(b). Viteza de amorsare a oscilației de înaltă frecvență și gradul de depășire a condiției de oscilație depind de intensitatea semnalului recepționat și de dezacordul circuitului detectorului. Prin ajustarea parametrilor detectorului se pot demodula atât emisiuni cu modulație de frecvență cât și de amplitudine, însă selectivitatea sa este foarte redusă și în plus produce o radiație parazită inacceptabil de mare dacă nu este izolat de antenă prin cel puțin un etaj amplificator (în caz contrar se generează puternice interferențe între receptoare învecinate).

În strânsă legătură cu receptorul cu reacție, radiotehnicienii englezi au dezvoltat în jurul anului 1932 un nou tip de receptor denumit *homodină*. Ideea era simplă: un oscilator și un mixer erau urmate imediat de un amplificator de audiofrecvență, ca în figura 7. Atunci când semnalul modulat în amplitudine din antenă se mixează cu oscilația locală avînd exact aceeași frecvență și fază, se obține un produs de audiofrecvență identic cu semnalul modulator de la emisie. Dificultatea majoră legată de menținerea sincronismului între oscilația locală și cea recepționată a propulsat cercetările în domeniul sistemelor analogice de reglaj automat al fazei. După anii '80 acest principiu va reveni în atenție, însă pe un alt palier tehnologic.

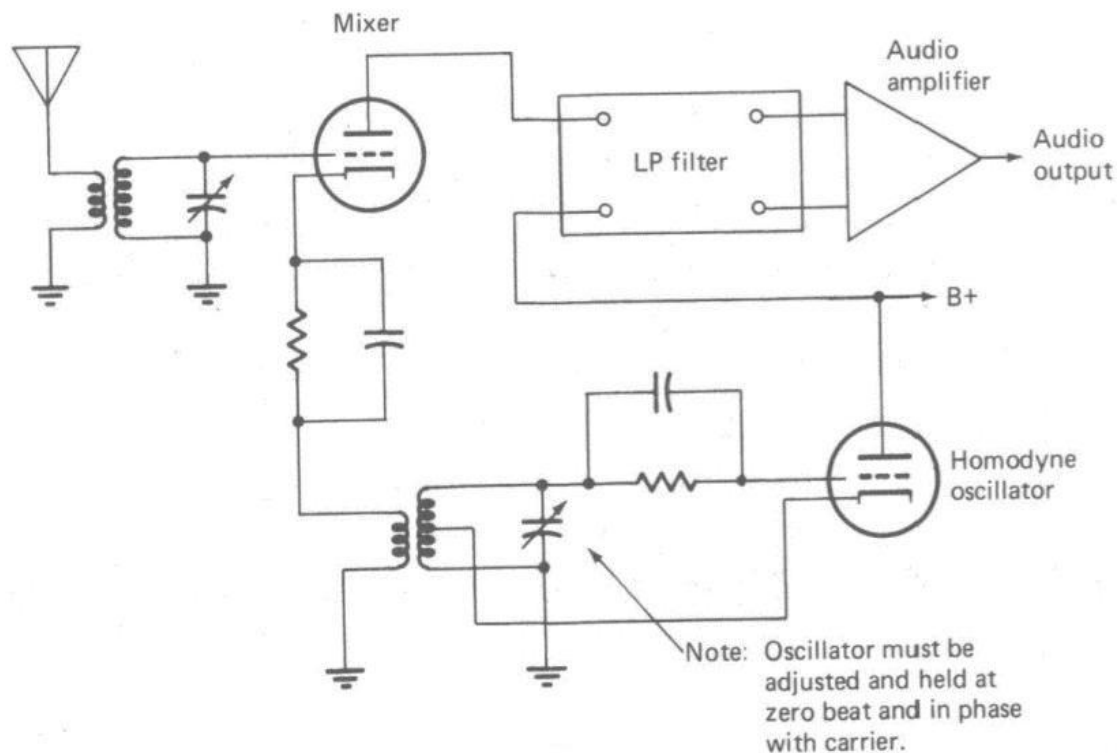
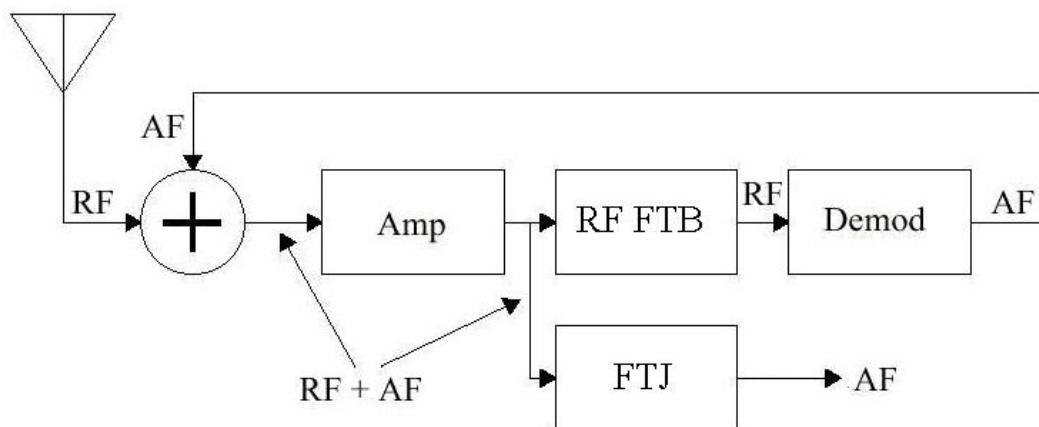


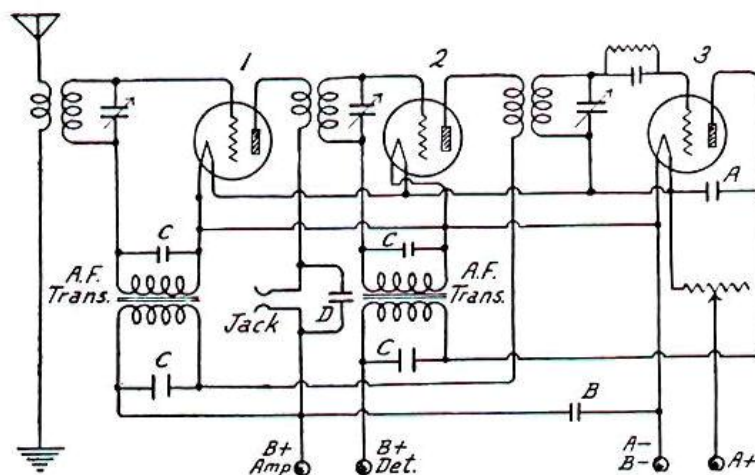
Figura 7

Un alt principiu interesant aplicat la receptoare începînd din aceeași perioadă (1920) a fost acela al *receptoarelor reflex*. Deși el a fost mai răspîndit în rîndul experimentatorilor individuali decît în domeniul producție comerciale, idea aflată în spatele acestor receptoare, ilustrată de figura 8-(a), este frumoasă și subtilă: după ce semnalul de radiofrecvență captat prin antenă trecea prin unul sau mai multe amplificatoare era demodulat iar apoi semnalul de audiofrecvență era adus la intrarea acelorași etaje amplificatoare. Un tub electronic amplifică astfel simultan atât un semnal de radiofrecvență cât și unul de joasă frecvență rezultînd de aici o economie de

componente (deci și un cost mai redus), dimensiuni mai mici și o reducere a consumului (consecință importantă în cazul alimentării de la baterii). În exemplul din figura 8-(b) semnalul de radiofrecvență este selectat și amplificat în două etaje realizate cu tuburile triodă 1 și 2. Cel de al treilea tub, 3, este detectorul, iar semnalul de audiofrecvență din circuitul său anodic este injectat printr-un transformator de joasă frecvență în circuitul de grilă al tubului 2 (ce joacă acum rolul de preamplificator de joasă frecvență) iar din circuitul anodic al acestuia în circuitul de grilă al tubului 1 care este de data asta amplificatorul de putere pentru audiția în cască. Condiția pe care trebuie să o îndeplinescă un montaj *reflex* pentru a fi avantajos este ca produsul amplificărilor de radiofrecvență și audiofrecvență să fie mai mare decât suma lor ([4]).



(a)



(b)

Figura 8

Capacitatea mare dintre anodul triodei și grila sa, care a fost cauza multor probleme pentru experimentatorii vremii, a fost redusă de aproape o sută de ori după introducerea unei a doua grile, așa numita *grilă ecran*, care prevenea influențarea potențialului grilei de comandă de către variațiile tensiunii anodice. *Tetroda* a oferit mai multă libertate de proiectare dar căutările au continuat și au condus la *pentodă*, prin adăugarea celei de a treia grile denumită *grilă supresoare*, și așa mai departe. Pe

lîngă creșterile de amplificare și eficacitatea sporită ca detectoare, cu aceste dispozitive s-au îmbunătățit și soluțiile de generare controlată a oscilațiilor în emițătoare și receptoare.

Înmulțirea emițătoarelor radio și creșterea selectivității receptoarelor (ce includeau mai multe etaje amplificatoare acordate sincron) a crescut pretențiile de stabilitate pe termen mediu și lung asupra frecvenței oscilatoarelor. S-au fundamentat regulile generale pentru obținerea unui oscilator stabil: un factor de calitate maxim pentru circuitul oscilant, un cuplaj cît mai redus cu elementul sau elementele active, un regim termic cît mai stabil. Un exemplu de aplicare a acestor reguli îl constituie oscilatorul din figura 9 realizat după 1920 pentru echipamentele de unde scurte ale firmei Marconi, și denumit după inventatorul său *oscilatorul Franklin*. Amplificarea mare a celor două tuburi V_1 și V_2 în cascadă permite o excepțional de redusă influență asupra circuitului oscilant LC prin condensatoarele de cuplaj C_1 și C_2 cu valori în jur de 1pF.

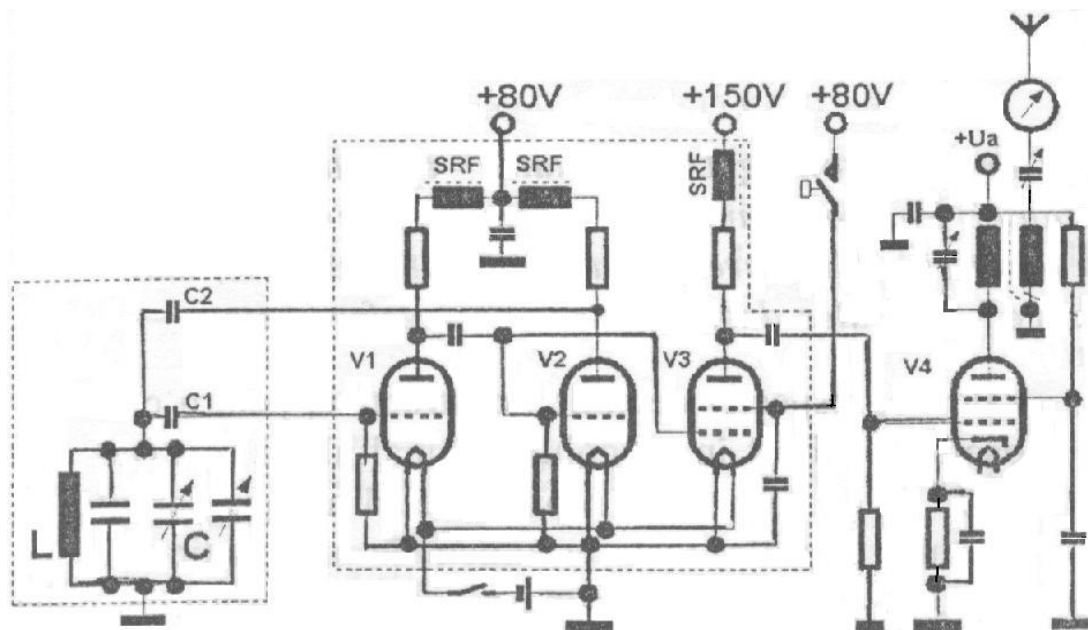
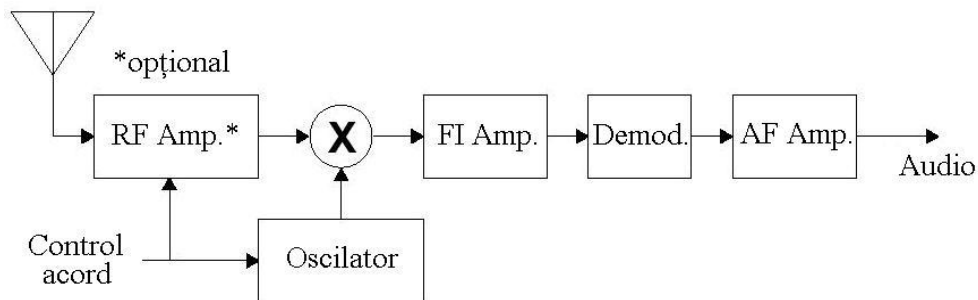


Figura 9

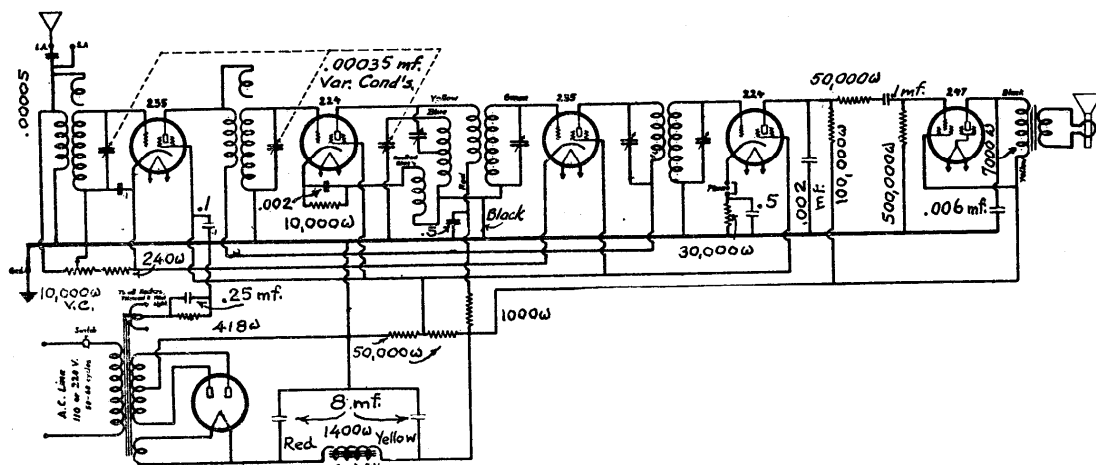
În anul 1917, Armstrong care urmărea să realizeze un receptor cit mai sensibil, capabil să detecteze (!) radiația electromagnetică parazită a sistemelor de aprindere ale motoarelor cu explozie de la avioanele aflate în zbor, obține patent pentru sistemul denumit de el "*superheterodină*", deschizînd drumul dominant pe care proiectarea și industria radiotehnică îl va urma zeci de ani. Într-o *superheterodină* avînd schema bloc ca în figura 10-(a) semnalul de radiofrecvență este convertit într-unul de frecvență mai joasă și fixă, denumită frecvență intermediară, unde suferă cea mai mare parte a amplificării și filtrării (care se menține acum la aceeași valoare a lărgimii de bandă indiferent de mărimea gamei de frecvențe acoperită de receptor). Receptoarele construite pe principiul superheterodinei au ajuns repede la sensibilități atît de ridicate încît factorul limitativ a devenit zgomotul extern receptorului (atmosferic și artificial).

Pe lîngă puțința de a atinge sensibilități foarte mari în condiții de stabilitate, superheterodina a adus cu ea și noi probleme. În primul rînd, dispozitivul nelinier utilizat pentru schimbarea frecvenței (mixerul) genează aceeași frecvență intermediară atît pentru semnale de intrare cu frecvențe mai mici decît cea a oscilatorului local cît

și atunci când frecvența semnalului de intrare este mai mare, iar în plus există multe alte produse parazite (datorită mixărilor de ordin superior). Numai o filtrare eficientă în fața mixerului, așa cum o realizează cele două circuite acordate ale amplificatorului de radiofrecvență din figura 10-(b), poate împiedica suprapunerea semnalului util la nivelul frecvenței intermediare cu cele nedorite. O altă dificultate o constituie nevoia de monocomandă, adică de a asigura sincronizarea acordului circuitelor selective ale amplificatorului de radiofrecvență cu cel al oscilatorului local, atunci când limitele gamelor de frecvențe recepționate sînt largi (chiar pînă la un raport de 3:1).



(a)



(b)

Figura 10

După cele de al doilea război mondial, dezvoltarea comunicațiilor militare în special, dar și piața de aparatură pentru radioamatori, au validat progresul superheterodinei prin variantele cu două sau chiar trei schimbări de frecvență (avînd combinații de oscilatoare locale cu frecvență variabilă sau fixă cu cuarț), introducerea filtrelor de frecvență intermediară de bandă îngustă cu cuarț sau electromecanice (pentru noile tipuri de emisiuni cu modulație de amplitudine și bandă laterală unică) și echiparea cu demodulatoare multiple.

La sfârșitul anului 1947, mai precis pe data de 23 Decembrie, în laboratoarele Bell s-a petrecut evenimentul care a fost cunoscut de multe lume drept cel mai important eveniment al secolului XX. John Bardeen (1908-1991) și Walter Brattain (1902-1987) au inventat *tranzistorul cu contact punctiform* ([7]). Două contacte foarte apropiate din folie de aur, presate ușor pe suprafața unui cristal de germaniu așezat pe o placă metalică legată la o sursă de tensiune, ca în figura 11-(a) și (b), au format primul

amplificator cu semiconductor (cînd un curent mic era injectat prin unul dintre contactele aurite un altul mult mai intens circula prin celălalt).

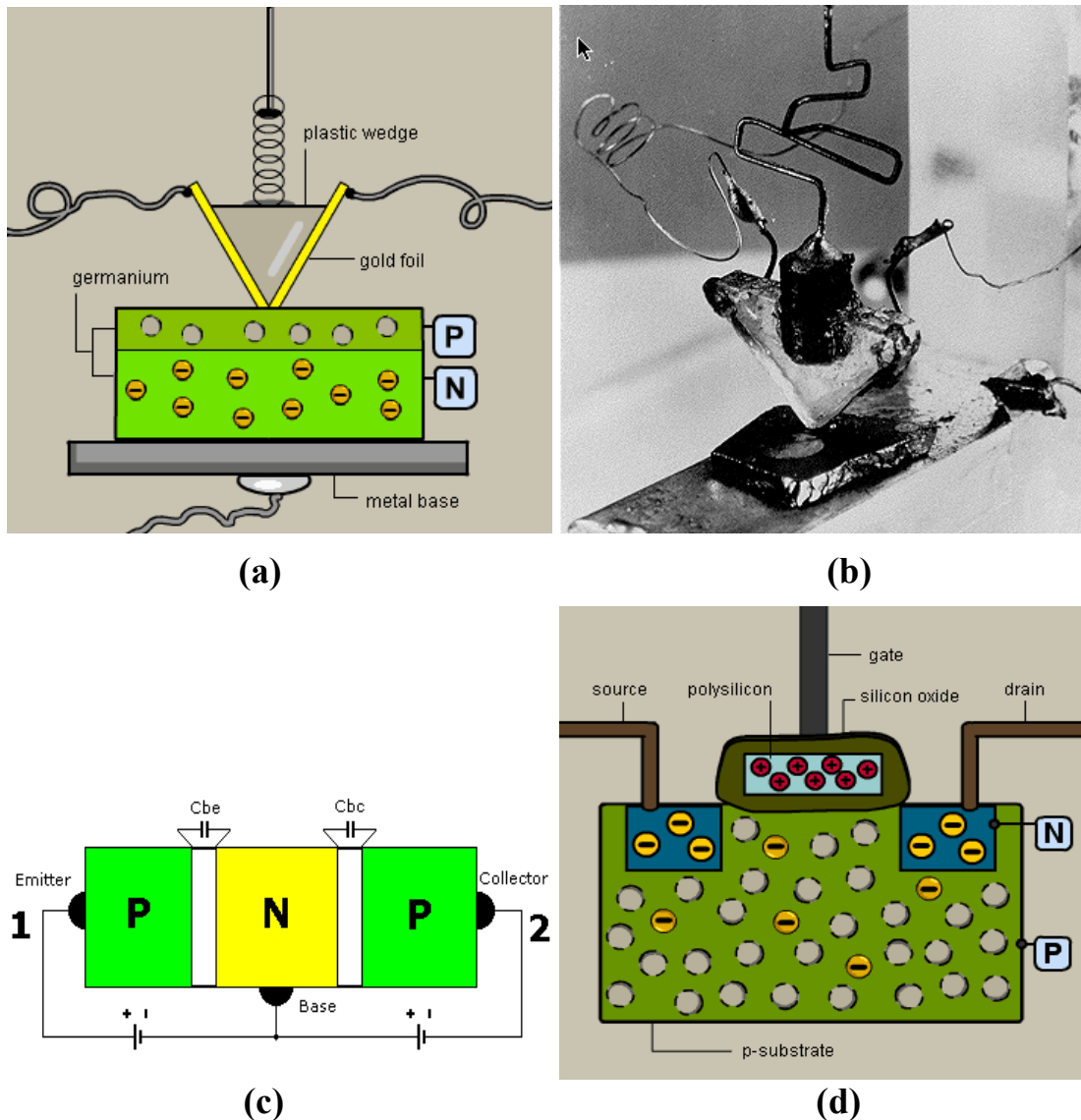


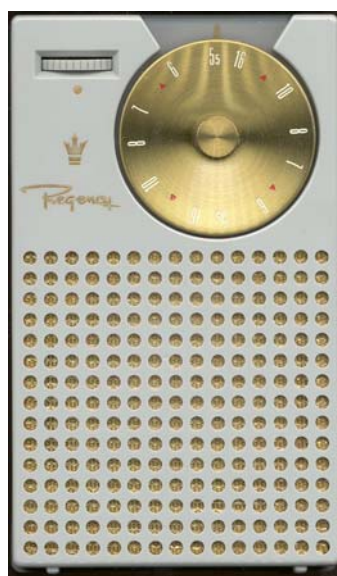
Figura 11

Pe lângă faptul că erau puțin fiabile, primele tranzistoare punctiforme s-au dovedit totodată și zgomotoase. De aceea cercetările au continuat, iar în luna Iulie 1951 laboratoarele Bell au anunțat inventarea unui *tranzistor cu joncțiune*, cu o structură asemănătoare unui "senșiș" de zone semiconductoare de germaniu diferit impurificate, ca în figura 11-(c), mult mai eficient și mult mai puțin zgomotos (deci capabil de a amplifica semnale mai slabe) însă cu un comportament nesatisfăcător la temperaturi înalte. Dezavantajul curenților reziduali mari și a sensibilității termice accentuate au dispărut practic trei ani mai târziu, în 1954, cînd la firma Texas Instruments au fost produse primele tranzistoare cu joncțiune din siliciu, ca urmare a perfecționării tehnicii de creștere a cristalelor foarte pure.

În anul 1960, tot în laboratoarele Bell, avea să apară *tranzistorul cu efect de câmp* avînd structura din figura 11-(d), astfel denumit întrucît un semnal electric slab aplicat unui electrod grilă creează un câmp electric în restul tranzistorului, iar prin intermediul polarității acestuia controlează valoarea curentului electric prin ceilalți doi electrozi. La sfîrșitul deceniului '60 industria circuitelor integrate (în 1958 a fost

inventat *circuitul integrat*) a adoptat această structură în defavoarea circuitelor bazate pe tranzistoarele cu joncțiune.

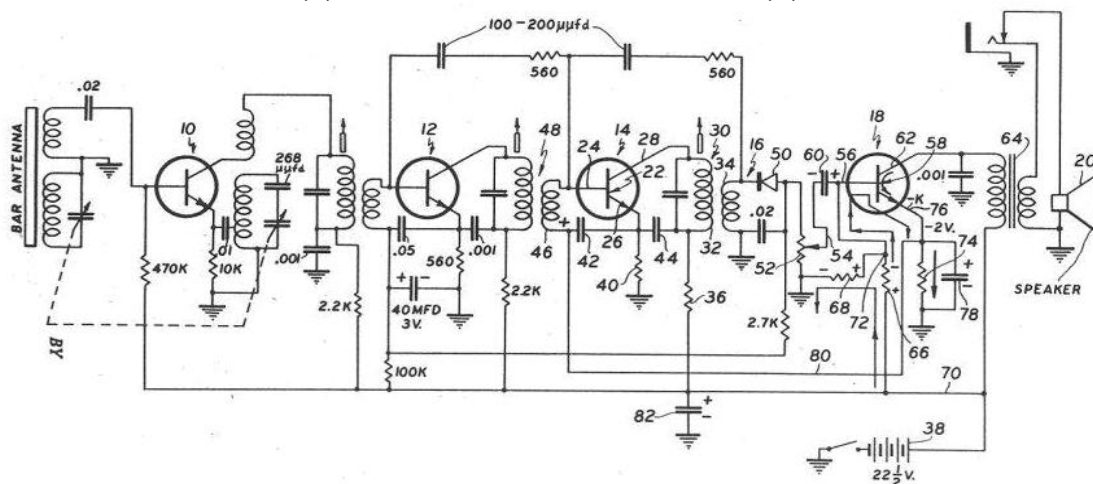
Imediat după inventare, tranzistoarele nu au atras atenția în mod special producătorilor de aparatură electronică. În domeniul non-militar ele au fost cu predilecție utilizate la realizarea protezelor auditive, pînă în anul 1954 cînd compania americană *Regency Division of Industrial Development Engineering Associates* din Indianapolis a avut inițiativa de a patenta schema din figura 12-(c), apoi de a proiecta și fabrica primul radioreceptor cu tranzistoare. Denumit comercial "*TR-1*", receptorul cu numai patru tranzistoare de germaniu cu joncțiune era de tip superheterodină și acoperea gama undelor medii. Aspectul său exterior din figura 1.12-(a) egalează în eleganță dispunerea în interiorul din figura 12-(b) a primelor componente electronice miniatură, special produse pentru prima dată în lume (de remarcat valoarea mare a tensiunii de alimentare, de 22,5V).



(a)



(b)



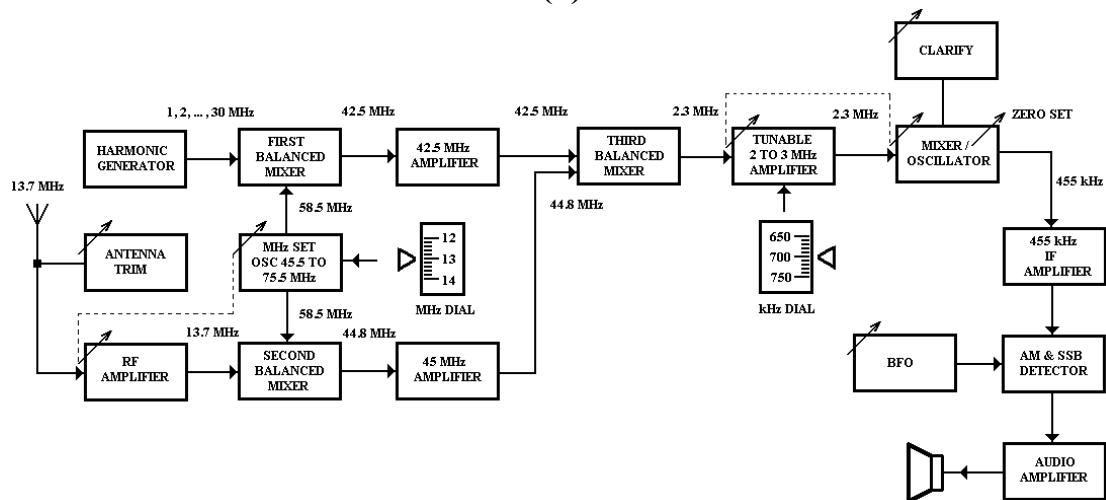
(c)

Figura 12

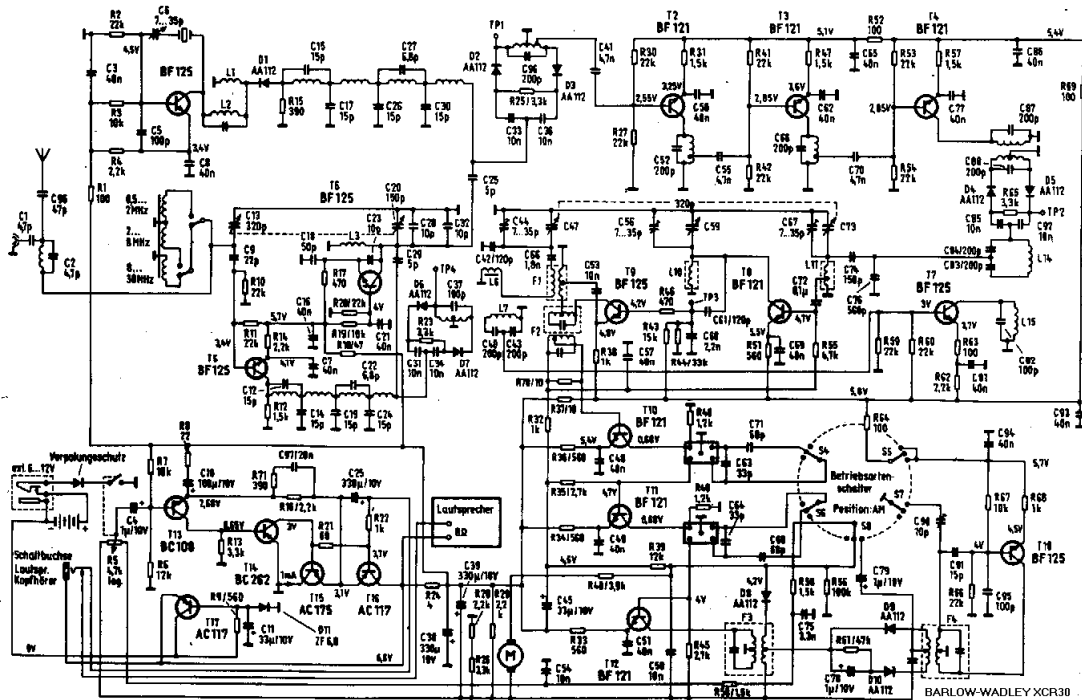
Tranzistoarele au dat posibilitatea proiectării unor noi structuri de echipamente de radiocomunicații, măsură și control. Numărul etajelor și funcțiunile lor nu mai avea



(a)



(b)

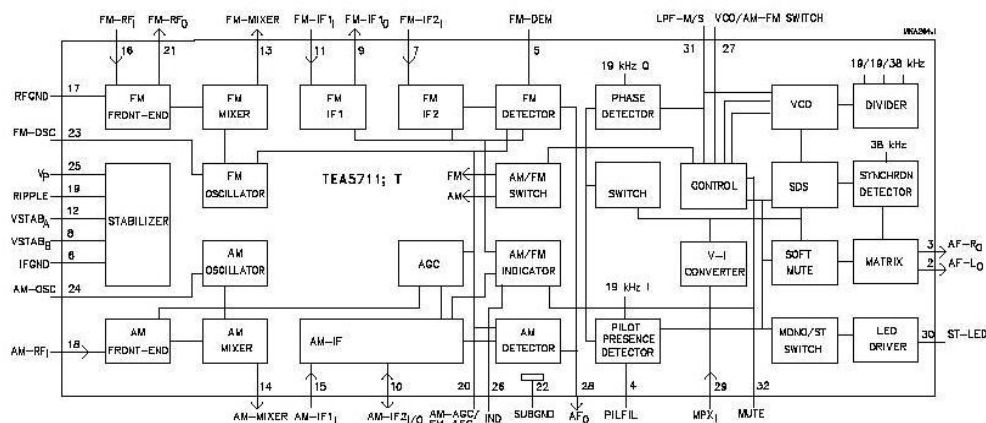


(c)

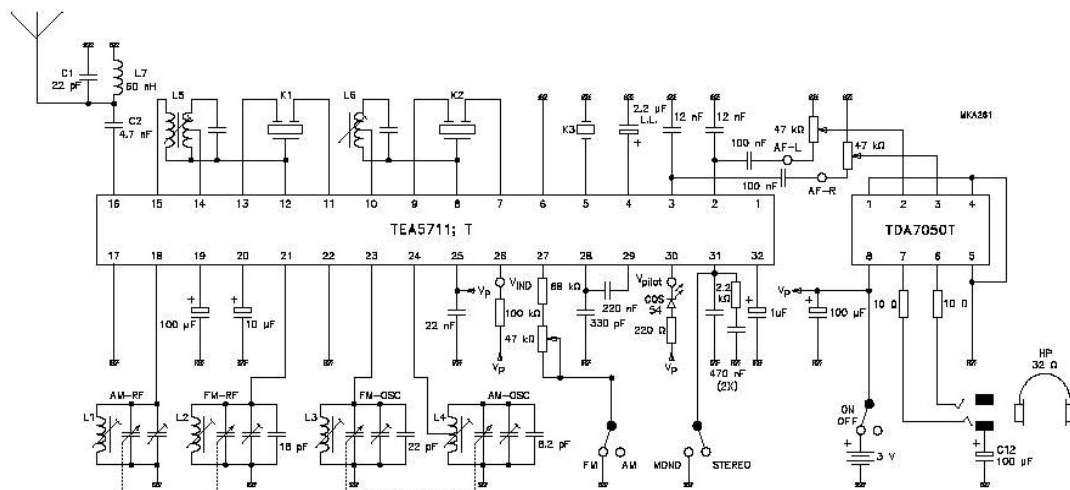
Figura 13

de acum limitările tehnologiei bazate pe tuburi electronice, iar idei mai vechi erau reluate și dezvoltate.

Un bun exemplu în acest sens îl constituie aplicarea principiului de *compensare automată a instabilității primului oscilator local* (inventat la începutul anilor '50 de sud-africanul Trevor Wadley) la cel dinții radioreceptor cu sinteză de frecvență destinat publicului larg. În spatele aspectului atrăgător din figura 13-(a) al aparatului "XCR-30" ([8]), produs în 1972, stă schema bloc din figura 13-(b) și cea de principiu din figura 13-(c). Receptorul folosește un singur oscilator cu cuarț pentru a genera armonici ale frecvenței de 1MHz și un oscilator variabil între 45,5MHz și 75,5MHz într-un dublu proces de mixare (unul cu componentele armonice iar celălalt cu semnalul recepționat), pentru a acoperi în 30 de subbenzi întreaga gamă de frecvențe de la 500kHz la 30MHz. Produsele primului mixer (42,5MHz) și a celui de al doilea (45MHz cu o bandă de 1MHz) sînt amplificate și mixate în cel de al treilea, al cărui semnal de ieșire este centrat pe frecvența de 2,5MHz într-o bandă de 1MHz. Acest semnal, cu frecvența între 2 și 3MHz, este la rîndul lui amplificat, filtrat și convertit la ultima frecvență intermediară de 455kHz, unde este demodulat.



(a)



(b)

Figura 14

Drumul către echipamentele de radiocomunicații cu grad înalt de integrare a fost deschis.

Combinarea funcțiilor circuitelor analogice, iar ulterior cu cele numerice, a scurtat foarte mult timpul dintre inițierea unui proiect și apariția produsului pe piață, cu impact major asupra scăderii prețurilor.

Ca exemplu, se prezintă în figura 14 o realizare a firmei PHILIPS și anume circuitul integrat TEA5711 care înglobează toate etajele necesare îndeplinirii funcției de receptor pentru emisiuni cu modulație de amplitudine și de frecvență stereo. Tensiunea de alimentare între 2,1V și 12V precum și consumul de maxim 16mA recomandă circuitul pentru aplicații portabile. Segmentul pentru modulația de amplitudine încorporează un mixer dublu echilibrat, un oscilator diport cu rezistență negativă (până la 30MHz), un amplificator de frecvență intermediară cu selectivitate distribuită și un mecanism de control automat al amplificării cu indicație a nivelului semnalului recepționat. Semnalele modulate în frecvență trec mai întâi printr-un amplificator acordat, ca mai apoi un mixer dublu echilibrat să le transpună la frecvența intermediară unde filtre ceramice asigură selectivitatea de canal. Un alt rezonator ceramic este utilizat de către demodulatorul de frecvență în cuadratură. Cele două canale audio sînt extrase din semnalul demodulat de un decodor stereo PLL.

Nu numai receptoarele au fost puternic integrate dar s-a mers pînă la integrarea în același circuit a unui ansamblu emițător-receptor. În figura 15 este prezentată o astfel de exemplu din partea firmei MAXIM, și anume circuitul MAX2424 pentru lucrul în banda de 900MHz. Pentru a reduce costul filtrelor, receptorul utilizează un mixer cu rejecția frecvenței imagine (atenuată cu peste 35 dB), care împreună cu amplificatorul de radiofrecvență asigură un factor de zgomot de numai 4dB unui punct de interceptare a intermodulațiilor de ordin trei de +2dBm. Emițătorul constă dintr-un mixer/modulator urmat de un etaj amplificator/preamplificator cu o putere de ieșire de pînă la 1mW. Oscilatorul comun receptorului și emițătorului poate fi lăsat cu frecvența liberă sau poate fi inclus într-o schemă de sintetizor PLL, caz pentru care în circuitul integrat este deja inclus un circuit divizor cu două grade de divizare (64 și 65). Se pot genera emisiuni cu modulație de frecvență (direct pe oscilator sau în bucla sintetizorului) sau amplitudine, analogică sau numerică.

Astăzi domeniul radiocomunicațiilor se împletește în tot mai mare măsură cu elementele de tehnologie a informațiilor, și prin urmare suferă influențe greu de anticipat în urmă cu 15 sau 20 de ani. Debutînd mai întâi în zona interfeței cu utilizatorul (comanda sintetizoarelor de frecvență, automatizări și telecomenzi) iar mai apoi chiar în lanțul de prelucrări pe care le suferă semnalele radio recepționate (așa cum se va arăta în capitolele următoare), circuitele, tehnicile numerice și programarea în diverse limbaje cîștigă teren. Integrarea pe scară largă pare să nu aibe limite și noutățile anunțate de fabricanții de componente se succed la intervale de timp atît de mici încît presiunea asupra proiectanților de echipamente a crescut enorm, existînd riscul ca performanțele unui circuit ales pentru un aparat anume să fie depășite în momentul intrării acestuia în producție de alte circuite noi.

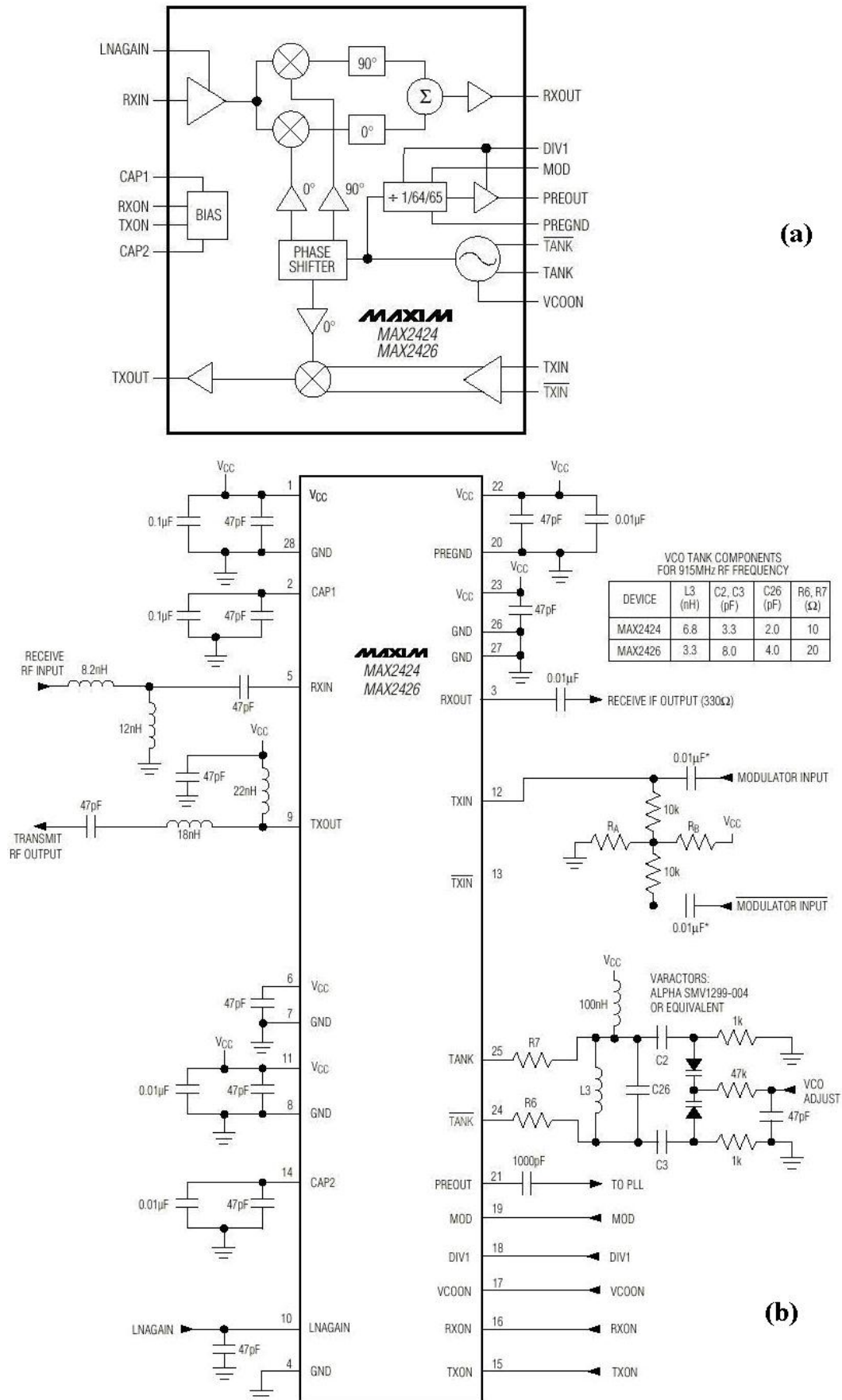


Figura 15

BIBLIOGRAFIE

- [1] - http://people.seas.harvard.edu/~jones/cscie129/nu_lectures/lecture6/coherers/coherer.html
- [2] - M. Lemme, R. Menicucci, "*From the coherer to DSP*", EBU Technical Review, 1995, http://www.ebu.ch/trev_263-lemme.pdf
- [3] - www.marconicalling.com
- [4] - T.H. Lee, "*A Nonlinear History of Radio*", Cambridge University Press, 1998
- [5] - J. R. Whitehead, "*Super-Regenerative Receivers*", Cambridge University Press, 1950
- [6] - www.leedeforest.com
- [7] - www.pbs.org/transistor
- [8] - <http://www.barlowwadley.it/>