

AMPLIFICATOARE DE PUTERE DE BANDA LARGA
PENTRU, EMITATOARE CU BANDA LATERALA UNICA
(B.L.U.)

TEZA DE DOCTORAT

ing. DAN PUPEZA

CONDUCTOR STIINTIFIC

Prof. dr. ing. MUGUR SAVESCU



712 672.080/99 ✓

621.375.121 (043)

CUPRINS

1.	Introducere.....	4
1.1.	Semnalul cu bandă laterală unică (B.L.U.).....	4
1.2.	Condițiile ce se impun amplificatorului de putere pentru emițătoarele cu B.L.U.....	5
2.	Principiile teoretice de realizare a condițiilor impuse amplificatorului de putere pentru emițătoarele cu B.L.U.....	7
2.1.	Determinarea impedanței de intrare a dispozitivului activ de putere.....	7
2.1.1.	Calculul direct al impedanței de intrare a dispozitivului activ, utilizând circuitul său echivalent.....	7
2.1.2.	Determinarea impedanței de intrare a dispozitivului activ prin măsurarea la semnal mare.....	12
2.2.	Proiectarea unei rețele de adaptare cu câștig impus pentru intrarea dispozitivului activ.....	15
2.2.1.	Metodă de proiectare bazată pe impedanța de intrare și câștigul dispozitivului activ, cunoscute în puncte discrete din banda de frecvențe utilă.....	15
2.2.2.	Metodă de proiectare bazată pe sinteza unei rețele de adaptare de bandă largă utilizând impedanța de intrare în dispozitivul activ modelată printr-o rețea RLC.....	29
2.3.	Modelarea impedanței de intrare în dispozitivul activ.....	32
2.3.1.	Metodă bazată pe sinteza dispozitivului pornind de la dipolul RC pasiv.....	34
2.3.2.	Metodă aproximativă pornind de la o rețea pasivă dată.....	36
2.4.	Adaptarea ieșirii dispozitivului activ de putere...	40
2.5.	Efectele neliniarităților în amplificatoarele de putere.....	44
2.5.1.	Efectul neliniarităților pentru semnale cu puteri sub puterea maximă la vîrf de envelopă (P.E.P.)....	44
2.5.2.	Efectul neliniarităților pentru semnale cu puteri în vecinătatea puterii maxime la vîrf de envelopă (P.E.P.).....	57
2.5.3.	Influențe de circuit asupra neliniarităților.....	70
3.	Realizări practice și verificări experimentale.....	76
3.1.	Proiectarea unei rețele de adaptare de bandă largă pentru impedanța de intrare a unui tranzistor de putere.....	76
3.1.1.	Determinarea impedanței de intrare a unui tranzistor de putere prin măsurare directă.....	76
3.1.2.	Modelarea impedanței de intrare a unui tranzistor de putere cu o rețea RLC.....	79
3.1.3.	Proiectarea unei rețele de adaptare urmărind caracteristica maxim - plată pentru câștig.....	84
3.1.4.	Proiectarea rețelei de adaptare urmărind o caracteristică de câștig cu abateri egale în toată banda de frecvență.....	87
3.2.	Exemple de amplificatoare de putere proiectate și realizate.....	89
3.2.1.	Amplificator de 10W alimentat la 12V în banda 1,5MHz la 12MHz.....	89
3.2.2.	Amplificator de 20W alimentat la 28V în banda 1,5MHz la 30MHz.....	94
3.2.3.	Preamplificator de 30W alimentat la 28V în banda 1,5MHz la 30MHz.....	100
3.2.4.	Amplificator de 600W alimentat la 50V în banda 1,5MHz la 30MHz.....	106
3.3.	Măsurarea distorsiunilor de intermodulație.....	109

CUPRINS

1.	Introducere.....	4
1.1.	Semnalul cu bandă laterală unică (B.L.U.).....	4
1.2.	Condițiile ce se impun amplificatorului de putere pentru emițătoarele cu B.L.U.....	5
2.	Principiile teoretice de realizare a condițiilor impuse amplificatorului de putere pentru emițătoarele cu B.L.U.....	7
2.1.	Determinarea impedanței de intrare a dispozitivului activ de putere.....	7
2.1.1.	Calculul direct al impedanței de intrare a dispozitivului activ, utilizând circuitul său echivalent.....	7
2.1.2.	Determinarea impedanței de intrare a dispozitivului activ prin măsurarea la semnal mare.....	12
2.2.	Proiectarea unei rețele de adaptare cu câștig impus pentru intrarea dispozitivului activ.....	15
2.2.1.	Metodă de proiectare bazată pe impedanța de intrare și câștigul dispozitivului activ, cunoscute în puncte discrete din banda de frecvențe utilă.....	15
2.2.2.	Metodă de proiectare bazată pe sinteza unei rețele de adaptare de bandă largă utilizând impedanța de intrare în dispozitivul activ modelată printr-o rețea RLC.....	29
2.3.	Modelarea impedanței de intrare în dispozitivul activ.....	32
2.3.1.	Metodă bazată pe sinteza dispozitivului pornind de la dipolul RC pasiv.....	34
2.3.2.	Metodă aproximativă pornind de la o rețea pasivă dată.....	36
2.4.	Adaptarea ieșirii dispozitivului activ de putere...	40
2.5.	Efectele neliniarităților în amplificatoarele de putere.....	44
2.5.1.	Efectul neliniarităților pentru semnale cu puteri sub puterea maximă la vîrf de anvelopă (P.E.P.)....	44
2.5.2.	Efectul neliniarităților pentru semnale cu puteri în vecinătatea puterii maxime la vîrf de anvelopă (P.E.P.).....	57
2.5.3.	Influențe de circuit asupra neliniarităților.....	70
3.	Realizări practice și verificări experimentale.....	76
3.1.	Proiectarea unei rețele de adaptare de bandă largă pentru impedanța de intrare a unui tranzistor de putere.....	76
3.1.1.	Determinarea impedanței de intrare a unui tranzistor de putere prin măsurare directă.....	76
3.1.2.	Modelarea impedanței de intrare a unui tranzistor de putere cu o rețea RLC.....	79
3.1.3.	Proiectarea unei rețele de adaptare urmărind caracteristica maxim - plată pentru câștig.....	84
3.1.4.	Proiectarea rețelei de adaptare urmărind o caracteristică de câștig cu abateri egale în toată banda de frecvență.....	87
3.2.	Exemple de amplificatoare de putere proiectate și realizate.....	89
3.2.1.	Amplificator de 10W alimentat la 12V în banda 1,5MHz la 12MHz.....	89
3.2.2.	Amplificator de 20W alimentat la 28V în banda 1,5MHz la 30MHz.....	94
3.2.3.	Preamplificator de 30W alimentat la 28V în banda 1,5MHz la 30MHz.....	100
3.2.4.	Amplificator de 600W alimentat la 50V în banda 1,5MHz la 30MHz.....	106
3.3.	Măsurarea distorsiunilor de intermodulație.....	109

3.3.1.	Determinarea prin calcul a distorsiunilor de intermodulație.....	109
3.3.2.	Măsurarea punct cu punct a DIM prin metoda generatorului cu 2 tonuri.....	109
3.3.3.	Măsurarea distorsiunilor de intermodulație prin vobulare în întreaga bandă de lucru.....	109
4.	Concluzii.....	112
4.1.	Originalitatea lucrării.....	112
4.2.	Posibilități de aplicare și extindere ale lucrării în alte domenii.....	113
5.	Bibliografie.....	114

Anexa 1 : Program optimizare

Anexa 2. Brevete

1. INTRODUCERE

1.1. Semnalul cu bandă laterală unică

Semnalul cu bandă laterală unică - BLU rezultă prin translatarea semnalului purtător de informație (canal telefonic sau de date) din banda de joasă frecvență în banda de înaltă frecvență ce urmează a fi radiată în spațiu.

Din punct de vedere al modulației, semnalul BLU se poate considera un caz aparte al semnalului modulat în amplitudine MA. Dacă un semnal de joasă frecvență modulează în amplitudine o purtătoare de radio-frecvență rezultă un spectru cu două benzi laterale : banda laterală inferioară ELI și banda laterală superioară ELS ca în figura 1.

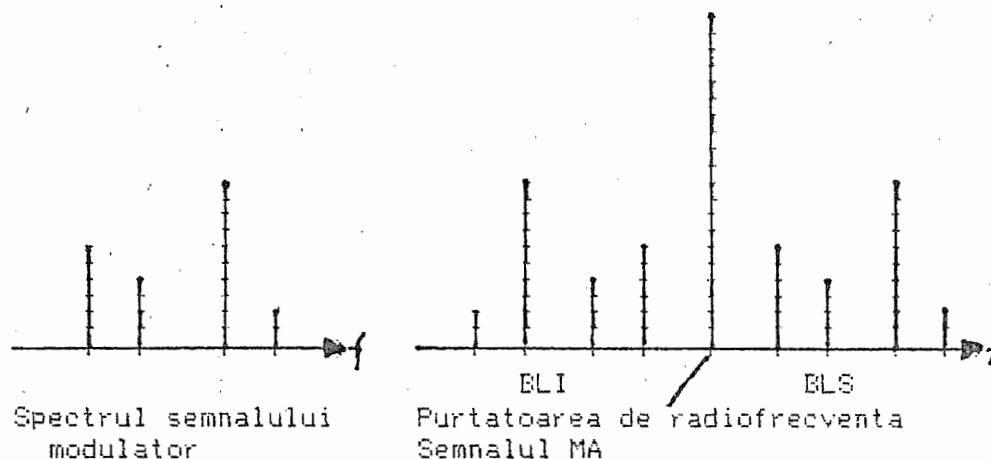


Fig. 1

Informația transmisă este identică în ambele benzi laterale, relația de frecvență în ELI fiind inversată față de semnalul modulator.

Semnalul cu BLU rezultă prin suprimarea uneia din benzile laterale și a purtătoarei, întreaga energie radiată în spațiu fiind purtătoare de informație. De aici rezultă principalele avantaje cât și domeniile de utilizare ale acestui tip de comunicații.

Comparând, de exemplu, din punct de vedere al randamentului energetic, modul de lucru MA cu dublă bandă laterală și purtătoare cu modul de lucru cu BLU, în condițiile unei recepții echivalente (cu același raport semnal/zgomot) rezultă [76] :

- puterea purtătoarei față de puterea la vîrf de modulație (PEP) mai mare cu 3dB
- puterea medie de ieșire mai mare cu 4,8 dB
- amplitudinea de vîrf a tensiunii atinse pe etajul final mai mare cu 9 dB

Rezultate foarte interesante se obțin dacă se analizează bilanțul energetic al unei legături radio realizată în trei moduri diferite de lucru : MA, BLU sau MF, utilizînd aceeași putere a purtătoarei și grad de modulație de 100% pentru MA și MF, iar în cazul BLU, puterea la vîrf de modulație egală cu purtătoarea din celelalte două cazuri.

În figura 2 se prezintă raportul semnal/zgomot (S/Z) la ieșirea demodulatorului, în funcție de semnalul de intrare, în toate cele 3 moduri de lucru.

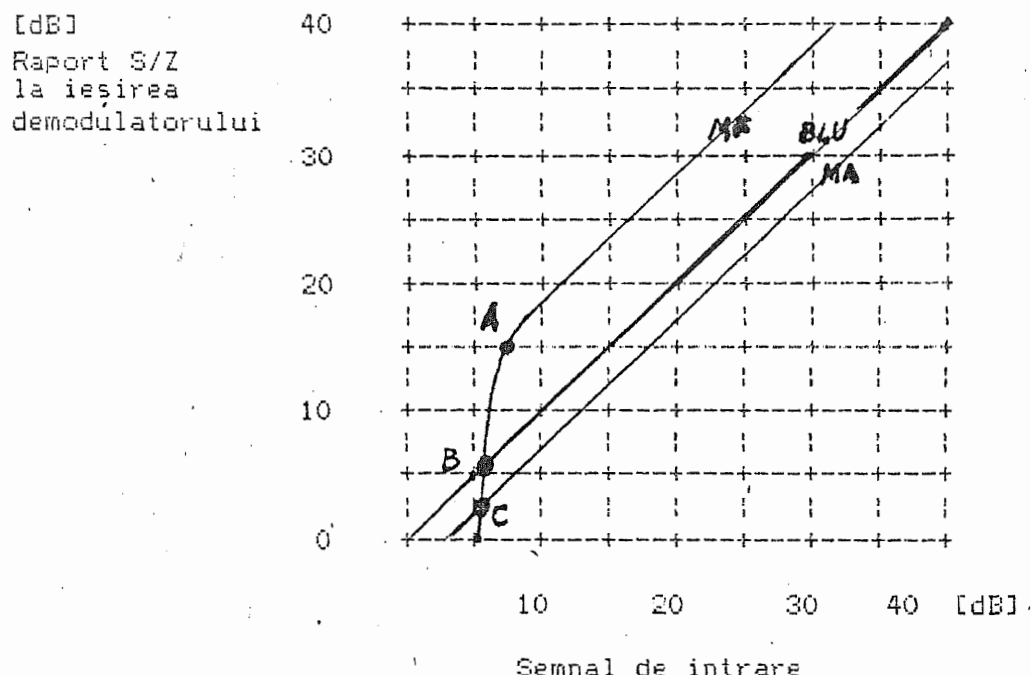


Fig. 2

Se observă că pentru semnale de intrare care depășesc pragul de demodulare MF (pct. A), sistemul MF este superior cu 10,8 dB celui MA și cu 7,8 dB celui BLU. Însă pentru semnale de intrare mici raportul S/Z la ieșire se înrăutățește rapid. Astfel la rapoarte S/Z mai mici de 6 dB, (pct. B) sistemul MF devine inferior sistemului BLU, iar la rapoarte sub 3 dB (pct. C) el este inferior ambelor sisteme.

Rezultă că în condiții la limită, modul de lucru BLU este singurul acceptabil. De exemplu, în cazul unui semnal recepționat care asigură la ieșirea demodulatorului BLU un raport S/Z de 5 dB, un sistem MA ar putea asigura numai 2 dB, iar un sistem MF ar deveni inutilizabil, raportul S/Z realizat fiind negativ.

Din aceste considerente se deduce că domeniul principal de utilizare al echipamentelor cu BLU este acela al aparaturii de comunicații care trebuie să lucreze cu un consum cât mai mic de energie și să realizeze legături în condiții de propagare situate aproape de limita posibilităților de demodulare a semnalului recepționat. Acesta este cazul echipamentelor portabile și mobile de comunicații radio în unde scurte [98].

1.2. Condițiile ce se impun amplificatorului de putere pentru emițătoarele de B.L.U.

Comunicațiile mobile și fixe, la distanțe mari depășind linia orizontului, se fac astăzi fie în US folosind unda indirectă reflectată de straturile superioare ale ionosferei, fie în microunde folosind sateliți artificiali ai Pământului ca relee intermediare. În cazul echipamentelor portabile de comunicații la distanțe mari, utilizarea sateliților este extrem de costisitoare, comunicațiile fiind realizate în cea mai mare parte, în US.

Alte moduri de comunicații la mare distanță cum ar fi cele troposferice sau cele prin reflexii pe perdele de meteoriți, au un domeniu foarte restrâns de utilizare.

Domeniul US acoperă banda de frecvență de la 1.5 MHz la 30 MHz, echipamentele de comunicații asigurând puteri de emisie de max. 30W în cazul echipamentelor portabile, max. 1 KW în cazul echipamentelor mobile și de ordinul kilowaților în cazul echipamentelor fixe (nu se includ echipamentele fixe de radiodifuziune) [64], [65].

Toate aceste echipamente de comunicații sînt realizate astăzi cu BLU.

Amplificatoarele de putere pentru emițătoarele acestor echipamente trebuie să îndeplinească o serie de condiții specifice care vor fi tratate în lucrare și anume :

- Păstrarea performanțelor în toată banda de lucru (aproape 5 octave) fără utilizarea circuitelor de acord. Aceasta pentru a permite schimbarea foarte rapidă a frecvenței de lucru, cerință obligatorie pentru toate stațiile moderne, modul de lucru cu salt de frecvență impunându-se tot mai mult. O consecință imediată este necesitatea adaptării în toată banda de lucru a dispozitivului semiconductor utilizat. Pentru obținerea acestui deziderat este necesară punerea la un punct a unei metodologii de determinare a parametrilor dispozitivului semiconductor (la puteri mari) și de proiectare a unor circuite de adaptare de bandă largă, bazate pe parametrii determinați anterior.

- Una dintre caracteristicile esențiale ale semnalului BLU este aceea că un canal acoperă în radiofrecvență o lărgime de bandă egală cu lărgimea canalului modulator. Domeniul de frecvență poate fi extrem de eficient utilizat, dar numai cu condiția ca semnalele parazite generate de emițător să nu perturbe spectrul util de RF [83]. Aceste semnale parazite se datoresc neliniarităților caracteristicii emițătorului și se pot grupa în două categorii : distorsiuni armonice care se pot înlătura prin filtrare, fiind situate departe de frecvența canalului utilizat și distorsiuni de intermodulație - DIM - care cad peste semnalul util și nu se pot filtra cu nici un mijloc. O cerință extrem de importantă a amplificatoarelor de putere pentru emițătoarele cu BLU este diminuarea pe cît posibil a DIM. Aceasta se face prin asigurarea unei caracteristici suficient de liniare a amplificatorului de putere.

- Progresale tehnologice realizate în ultimul timp în domeniul dispozitivelor semiconductoare de putere (sute de wați și frecvențe de tăiere ridicate (peste 200MHz) fac posibilă realizarea amplificatoarelor de putere pentru emițătoare de US, complet tranzistorizate pîna la puteri de ordinul kilowaților. Pentru aceste amplificatoare trebuie elaborate circuite adecvate de alimentare și cuplare cu sarcina, ținîndu-se seama și de clasa de funcționare aleasă pentru dispozitivul semiconductor.