ZGOMOTE SI PERTURBATII

Cap.3
Parametri de zgomot

Introducere

$$\overline{v_n^2} = 4kTR\Delta f$$

$$\overline{i_n^2} = 4kT\Delta f / R$$

In Cap.2 am vazut cum sa reprezentam zgomotul produs de o rezistenta , fie sub forma unui generator Thevenin, fie sub forma unui generator Norton.

In practica, este convenabil sa reprezentam celelalte categorii de zgomot prin convertire la un zgomot termic echivalent. Aceasta operatie comporta doua posibilitati:

1) In ecuatiile de pe slide mentinem T egal cu temperature fizica a sistemului si modificam R sau G pentru a obtine aceeasi putere de zgomot ca sursa studiata. Astfel se introduce notiunile de *rezistenta (sau conductanta) echivalenta de zgomot*.
2) Pastram R sau G la valoarea lor fizica, si ajustam T. In acest caz ajungem la notiunea de *temperatura echivalenta de zgomot*.

O asemenea descriere impune de a ne asigura in prealabil ca spectrul sursei astfel modelate este de tip alb , ca si zgomotul termic.

O alta abordare consta in a reprezenta zgomotul cu ajutorul densitatilor spectrale. Aceasta metoda se dovedeste mai putin intuitive, chiar incomoda, din cauza valorilor numerice extrem de mici associate generatoarelor.

Din acest motiv preferam in practica utilizarea de parametric cum ar fi rezistenta echivalenta de zgomot, temperature de zgomot sau factorul de zgomot, deoarece acestea sunt mult mai intuitive, poseda valori numerice obisnuite si mai ales sunt strins legate de masuratori.

In acest caz , suntem confruntati cu doua tipuri de dificultati:

1) Pentru fiecare marime exista mai multe definitii (adesea echivalente, dar in anumite conditii, care nu sunt intotdeauna precizate)
2) Toti parametrii de zgomot prezinta o foarte puternica dependent de frecventa. Prin urmare, ei sunt specificati la o frecventa fixa sau prin valori intr-o banda larga (cind se face apel la o tartare statistica).

Notiuni de teoria circuitelor

- **Puteri definite in domeniul timp**

•Puterea instantanee

$$p(t) = v(t)i(t) \quad (3.1)$$

Exemplu

$$v(t) = V\sqrt{2}\cos(\omega t + \theta) \text{ si } i(t) = I\sqrt{2}\cos(\omega t + \theta - \phi)$$

$$p(t) = VI\cos\phi + VI(2\omega t + 2\theta - \phi) \quad (3.2)$$

Notiuni de teoria circuitelor

- **Puteri definite in domeniul timp**

•Puterea activa

$$P_{act} = \frac{1}{T}\int_{0}^{T} p(t)\,dt = VI\cos\phi \quad (3.3)$$

Puterea activa este prin definitie valoarea medie a puterii instantanee.

Notiuni de teoria circuitelor

- **Puteri definite in domeniul timp**

- Puterea fluctuanta

$$p_f\left(t\right) = VI\cos\left(2\omega t + 2\theta - \phi\right) \quad (3.4)$$

Puterea fluctuanta este cantitatea sinusoidala, de pulsatie 2ω, din Expresia (3.2)

Notiuni de teoria circuitelor

- **Puteri definite in domeniul timp**

•Puterea reactiva

$$Q = VI\sin\left(\phi\right) \quad \left(3.5\right)$$

Notiuni de teoria circuitelor

- **Puteri definite in domeniul timp**

•Puterea aparenta

$$S = VI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.6)$$

Puterea aparenta este valoarea maxima a puterii active (pentru cosø = 1).

Notiuni de teoria circuitelor

- **Puteri definite in domeniul frecventa**

- Putere complexa

$$S = VI^* \quad (3.7)$$

$$S = ZII^* = Z\left|I\right|^2 \quad (3.8a)$$

$$S = VY^*V^* = Y^*\left|V\right|^2 \quad (3.8b)$$

Puterea complexa este produsul dintre tensiunea complexa , notate cu V, si valoarea complex conjugate a curentului I.

Notiuni de teoria circuitelor

- **Puteri definite in domeniul frecventa**

  - Putere medie

$$P_m = \Re\left(VI^*\right) = \frac{1}{2}\left(VI^* + V^*I\right) \quad (3.9)$$

Notiuni de teoria circuitelor

- **Puteri definite in domeniul frecventa**

- Putere medie a unui semnal anarmonic

$$P_m = \left\langle I_n(j\omega) I_n(-j\omega) \right\rangle \quad (3.10)$$

$$S(P_m) = \left\langle I_n(j\omega) I_n(-j\omega) \right\rangle = \overline{I_n^2} \quad (3.11)$$

$$S(P_m) = \overline{I_n^2} = 4kTG \quad (3.12)$$

Consideram un current de zgomot In, care ar putea fi exprimat sub forma unei sume infinite de curenti armonici, toti avind frecvente multiple de fundamental.
In acest caz, puterea medie este definite cu ajutorul curentului total In, Eq.(3.10).
Aceasta reprezinta puterea medie normalizata dezvoltata intr-o banda unitara.
Expresia (3.10) este densitatea spectrala de putere medie normalizata, Eq.(3.11).
In cazul zgomotului termic generat de o conductanta G, avem (3.12)

Notiuni de teoria circuitelor

- **Putere disponibila si cistig de putere disponibila**

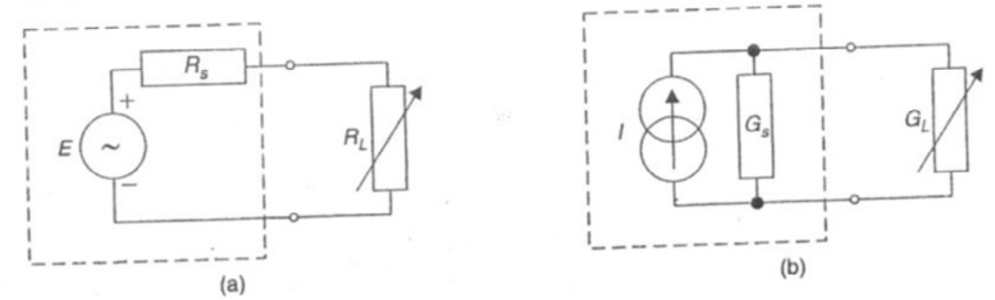


Fig.3.1

$$P_L = \frac{R_L}{\left(R_L + R_S\right)^2} E^2 \quad (3.13a)$$

$$P_a = \max\left(P_L\right) = \frac{E^2}{4R_S} = \frac{I^2}{4G_S} \quad (3.13b)$$

Conditia de adaptare

$$Z_L = Z_S^*$$

Puterea disponibila este definite ca puterea maxima transferata de un dipol spre sarcina, atunci cind sarcina este presupusa reglabila.

Consideram un dipol active de rezistenta interna Rs, care debiteaza pe o sarcina RL, reprezentat prin schema echivalenta Thevenin (fig.3.1a) sau Norton (fig.3.1b). Puterea disipata in sarcina este Eq.(3.13a).

Daca Rs = RL, sarcina se zice adaptata la sursa si jumatate din puterea totala a generatorului trece in sarcina , iar jumatate se disipa pe rezistenta interna proprie. In acest caz, puterea transferata sarcinii este maxima. Si se numeste *putere disponibila* .

Puterea disponibila se noteaza cu Pa si este data de Eq.(3.13b)

Notiuni de teoria circuitelor

- **Generalizare la un dipol oarecare**

$$P_a = \frac{EE^*}{4R} = \frac{EE^*}{2\left(Z+Z^*\right)}, \quad \text{pentru R>0} \quad (3.14)$$

$$P_a = \frac{\overline{EE^*}}{4R} = \frac{\overline{EE^*}}{2\left(Z+Z^*\right)} \quad (3.15)$$

Expresia (3.14) ste dedusa presupunind ca semnnalul livrat de dipol este armonic si de tensiune complexa E.

Daca semnalul livrad de sursa este un zgomot, Eq.(3.14) necesita sa se considere valoarea medie a produsului, Eq.(3.15)

Notiuni de teoria circuitelor

- **Cazuri particulare**

Cazul unei rezistente

$$P_a = \frac{4kTR\Delta f}{4R} = kT\Delta f \ \left[W\right] \quad (3.16)$$

Cazul unei diode

$$P_a = \frac{kT\Delta f}{2} \quad (3.17)$$

Cazul unei rezistente
O rezistenta produce un zgomot termic a arui putere disponibila este Eq.(3.16)

Cazul unei diode
O diode avind o rezistenta de sarcina adaptata la conductanta diferentiala, are o putere de zgomot disponibila data de Eq.(3.17).

Notiuni de teoria circuitelor

- **Cistig in putere disponibila**

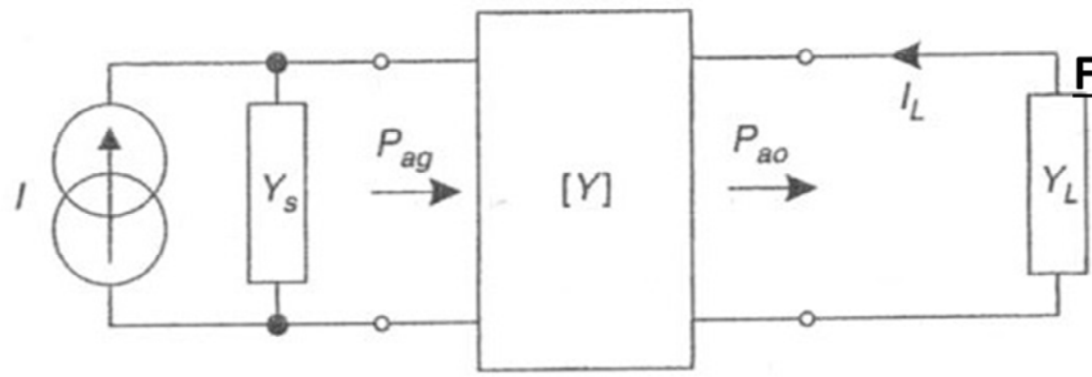


Fig.3.2

$$G_a = \frac{P_{ao}}{P_{ag}} \quad (3.18)$$

Consideram un cuadripol active intercalat intre generatorul de semnal de admitanta interna Ys si sarcina YL, Fig.3.2.
Cistigul in putere disponibila al cuadripolului , notat Ga, este definit ca raportul dintre puterea disponibila la iesire Pao si puterea disponibila a generatorului Pag, Eq.(3.18).

Notiuni de teoria circuitelor

- **Cazul unui cuadripol rezistiv intercalat intr-un circuit rezistiv**

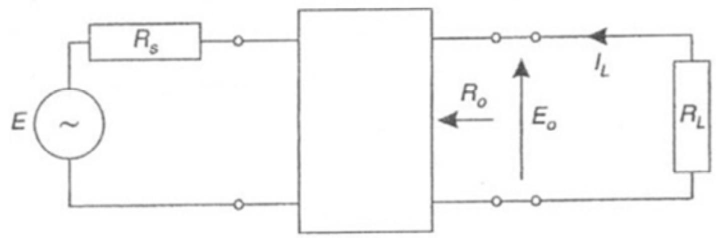


Fig.3.3

$$G_a = \frac{E_o^2 / 4R_o}{E^2 / 4R_S} = \frac{E_o^2 R_S}{E^2 R_o} = A_v^2 \frac{R_S}{R_o} \quad (3.19)$$

$$N_o = \frac{E_o^2}{4R_o} = \frac{\left(A_v v_n\right)^2}{4R_o} = \frac{A_v^2 4kTR_S \Delta f}{4R_o} = G_a kT \Delta f \quad (3.20)$$

Fie un generator sinusoidal de rezistenta interna Rs, si de tensiune electromotoare E care alimenteaza un cuadripol care prezinta la iesirea sa o rezistenta Ro si tensiunea Eo, fig.3.3.
Cistigul in putere disponibila este (3.19), unde Av este cistigul in tensiune, definit in raport cu generatorul. Eq.(3.19) arata ca cistigul in putere disponibila nu depinde de sarcina, ci doar de rezistenta interna a generatorului si de modul in care generatorul este cuplat la sarcina. Prin urmare Ga nu este o caracteristica a cuadripolului , deoarece el el ia in consideratie si generatorul.

Daca presupunem acum ca generatorul de la intrare este un generator de zgomot vn asociat la rezistenta Rs, relatia (3,19) ramine valabila, puterea disponibila la iesire fiind de data aceasta puterea de zgomot No, Eq.(3.20).

De remarcat ca cistigul in putere disponibila ramine valabil oricare ar fi tipul de semnal; din acest motiv acest cistig este potrivit pentru calculele de zgomot.

Notiuni de teoria circuitelor

- **Cazul mai multor etaje in cascada**

$$\left(G_a\right)_t = G_{a1}G_{a2}\ldots G_{aN} = \frac{P_1}{P_a}\frac{P_2}{P_1}\cdots\frac{P_N}{P_{N-1}} = \frac{P_N}{P_a} \quad (3.21)$$

Pk este puterea disponibila la iesirea cuadripolului k si Pa reprezinta puterea disponibila a generatorului.

Notiuni de teoria circuitelor

- **Putere schimbabila**

$$P_a = \frac{1}{4}\frac{I \cdot I^*}{\Re\left(Y_S\right)} \quad pentru \Re\left(Y_S\right) > 0 \quad (3.21a)$$

$$P_e = \frac{1}{4}\frac{I \cdot I^*}{\Re\left(Y_S\right)} \quad pentru \Re\left(Y_S\right) < 0 \quad (3.21b)$$

Fie un generator de semnal sinusoidal , care este modelat printr-o admitanta YS, in parallel cu o sursa de current de valoare complexa I. Puterea disponibila , dupa relatia (3.14) este Eq.(3.21a).
Daca Re(Ys)<0, se introduce puterea interschimbabila Pe ca fiind valoarea maxima (stationara) a fluxului de putere , care intra sau care iese dintr-o poarta, obtinuta pentru o variatie arbitrara a tensiunii sau curentului acestei porti , Eq.(3.21b).
Daca Re(Ys) > 0, valoarea lui Pe este pozitiva si ea se identifica cu puterea disponibila.
Daca Re(Ys) < 0, valoarea lui Pe este negative si ea reprezinta puterea extrasa de o sarcina adaptata Y_S^*.

Notiuni de teoria circuitelor

- **Banda echivalenta de zgomot**

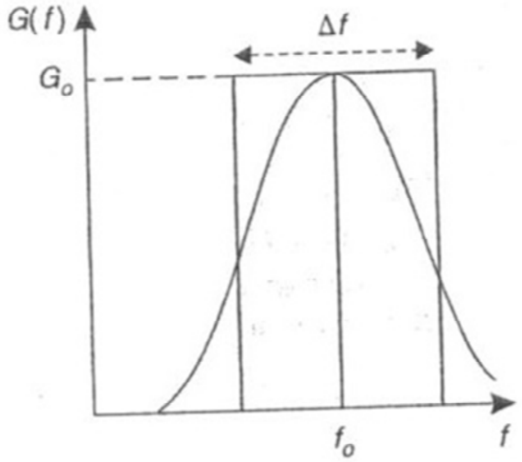


Fig.3.4

$$f_0 = \sqrt{f_b f_h} \quad (3.22)$$

$$f_0 \simeq (f_b + f_h)/2 \quad (3.23)$$

$$P_{tot} = G_0 kT\Delta f = kT\int_0^{+\infty} G(f)\,df \quad (3.24)$$

$$\Delta f = \frac{1}{G_0}\int_0^{+\infty} G(f)\,df \quad (3.25)$$

Deoarece zgomotul este rezultatul unei multimi de semnale aleatorii, suntem obligati sa introducem o alta definitie pentru banda echivalenta de zgomot, care este in mod necesar diferita de banda clasica definite la 3 dB, in cazul semnalelor armonice.

Banda de trecere

Pentru un amplificatory cu un circuit acordat, banda de trecere B este definite ca intervalul de frecvente cuprins intre punctele unde puterea la iesire scada la jumatate din valoarea sa maxima (B = fh-fb). Aceasta micsorare la jumatate a puterii corespunde la reducerea tensiunii de iesire cu 70.7% (sau 3 dB).
In general circuitele acordate au o caracteristica de frecventa simetrica: frecventa centrala f0 este media geometrica a frecventelor de taiere, Eq.(3.22).
Pentru circuite selective cu factor de calitate mare, putem aproxima frecventa centrala prin media aritmetica a frecventelor de taiere, Eq.(3.23).

Banda echivalenta de zgomot.

Notata Δf, banda echivalenta de zgomot este , prin definitie, banda unui circuit ideal (avind caracteristica puterii transmise in functie de frecventa de forma dreptunghiulara), care lasa sa treaca aceeasi putere de zgomot ca si circuitul real. Aceasta situatie este ilustrata in Fig.3.4, unde G(f) reprezinta caracteristica reala a cistigului in putere, cu aceeasi suprafata ca dreptunghiul de inaltime G0 si de latime Δf, care corespunde circuitului ideal.

In acest fel, asiguram egalitatea intre puterea totala de zgomot transmisa in interiorul benzii Δf si puterea totala de zgomot care trece prin circuitul real. Daca zgomotul la intrare este termic si daca circuitul nu adauga zgomot, putem scrie relatia (3.24). , de unde rezulta relatia (3.25).

1) Cistigul in putere considerat in definitie este cistigul in putere disponibila.
2) Eq.(3.25) este conforma cu traditia dupa care banda echivalenta de zgomot este “unilaterala”.
3) Faptul ca echivalenta se face cu un dreptunghi presupune implicit ca am adoptat doar zgomote albe.
4) Daca cistigul este descries printr-o functie de transfer avind frecventa de taiere fc, banda echivalenta de zgomot este $(\pi/2)f_c$.

Notiuni de teoria circuitelor

- **Banda echivalenta de zgomot**

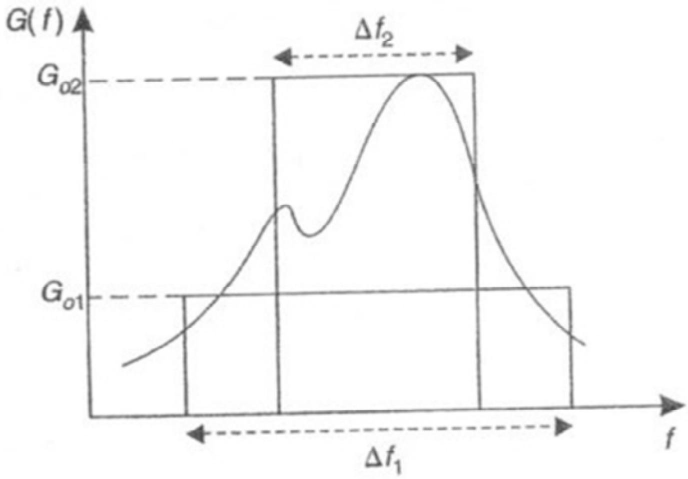


Fig.3.5

1) Daca caracteristica reala G(f) este neregulata, ca in Fig.3.5, este dificil sa definim frecventa centrala (unde se stabileste in mod normal inaltimea dreptunghiului).

Exista mai multe posibilitati, dintre care doua sunt illustrate in Fig.(3.5), pentru a determina banda echivalenta Δf1 sau Δf2 in functie de alegerea cistigului “maxim” (G01 sau G02).

Notiuni de teoria circuitelor

- **Metoda de evaluare**

$$\Delta f = \frac{1}{A_{v0}^2} \int_0^{+\infty} \left| A_v(f)^2 \right| df \quad (3.26)$$

In practica noi inregistram de obicei variatia cistigului in tensiune Av in raport cu frecventa; presupunind ca maximul sau este Av0. Cum cistigul in putere este proportional cu patratul cistigului in tensiune, evem Eq.(3.26).

Notiuni de teoria circuitelor

- **Relatia cu banda de trecere**

$$\Delta f = \frac{B}{\sqrt{2^{1/n}-1}}\int_0^{\infty}\left(\frac{1}{1+x^{2n}}\right)^m dx \quad (3.27)$$

In practica, se cunoaste bine banda la 3dB a unui system (notata cu B) si nu banda echivalenta de zgomot Δf, motiv pentru care adesea exista tendinta sa consideram Δf = B.

Presupunind ca sistemul este format din m etaje identice in cascada, fiecare avind n poli distincti, atunci banda echivalenta de zgomot se poate calcula cu Eq.3.27.

Se constata ca cu cit creste numarul de etaje (sau numarul de poli), cu atit mai mult diferenta dintre banda echivalenta de zgomot si banda la 3 dB, scade.

Zgomotul unui dipol
Parametri de banda ingusta

- **Relatia cu banda de trecere**

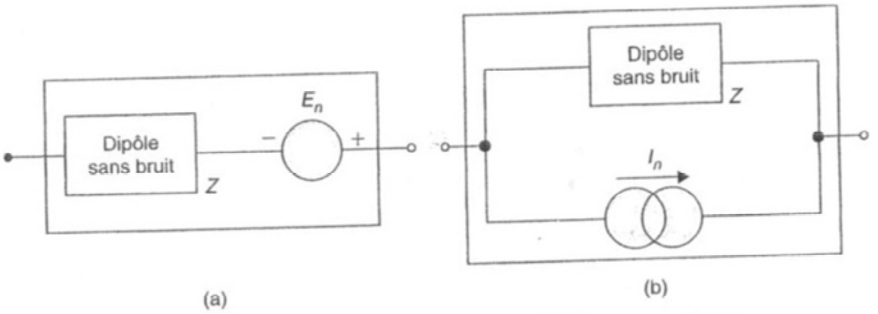


Fig.3.6

$$S(E_n) = |Z|^2 S(I_n) \quad (3.28)$$

$$E_n = Z \cdot I_n \quad (3.29)$$

Remarca peliminara
Parametrii de zgomot de banda ingusta ai unui dipol sau cuadripol, sunt definiti pentru o banda elementara , care in mod normal este 1 Hz.
Din motive de traditie, introducerea definitiilor foloseste puterile in locul densitatilor spectrale de putere. Acest lucru oblige la a se folosi o banda care nu este unitara, dar care este sufficient de mica pentru a respecta spiritual de “banda ingusta”. Aceasta banda va fi notate cu δf, dar ea nu va aparea in expresia finala a parametrului.

Modelarea
Zgomotul unui dipol este reprezentat fie printr-un generator ideal de tensiune, En, plasat in serie cu dipolul presupus fara zgomot (modelul Thevenin) , sau printr-un generator ideal de current, In, plasat in parallel cu dipolul presupus fara zgomot (modelul Norton).

Zgomotul unui dipol
Parametri de banda ingusta

- **Rezistenta echivalenta de zgomot**

$$R_n = \overline{v_n^2} / 4kT_0\Delta f \quad (3.30)$$

$$R_n = \overline{v_n^2} / 4kT\Delta f \quad (3.31)$$

$$R_n = \pi S_v / kT_0 \quad (3.32)$$

$$R_n = \overline{v_n^2} / 4kT_0\Delta f \quad (3.33)$$

Definitia lui Nielsen
Daca un dipol zgomotos este reprezentat prin circuitul echivalent Thevenin, atunci rezistenta echivalenta de zgomot este valoarea unei rezistente ipotetice care, mentinuta la temperature de referinta T0 = 290 K, produce acelasi zgomot (termic) ca si dipolul real, Eq.(3.30).

Definitia lui Savelli
Rezistenta echivalenta de zgomot a unui dipol este rezistenta fictive care, adusa la aceeasi temperature cu dipolul, prezinta la bornele sale aceeasi valoare medie patratica a tensiunii de zgomot ca si cea de la bornele dipolului real, Eq.(3.31).

Definitia IEEE
Rezistenta echivalenta de zgomot este o reprezentare cantitativa, in unitati de rezistenta, a densitatii spectrale Sv a unui generator de tensiune de zgomot , la o frecventa specificata.

1) Relatia dintre rezistenta echivalenta de zgomot si densitatea spectrala Sv a generatorului este Eq.(3.32), unde T0 = 290 K.
2) Rezistenta echivalenta de zgomot in raport cu valoarea patratica medie, $\overline{v_n^2}$, intr-un interval de frecvente Δf, ste Eq.(3.33), ceea ce revine la prima definitie.

Remarci

1) Daca dipolul este el insusi la temperature de referinta de 290 K, atunci prima si a doua definitie coincide.
2) Van der Ziel adopta expresia (3.30) fara a impune valoarea temperaturii de referinta .
3) Nici o definitie nu implica o rezistenta fizica, plasata undeva in interiorul dipolului, de valoare Rn.
4) Foarte probabil, in expresia (3.32) Sv reprezinta densitatea spectrala bilaterala, in raport cu ω.

Conceptul de rezistenta echivalenta de zgomot cere, implicit, ca sursa de zgomot astfel caracterizata, sa furnizeze zgomot alb. Daca acesta nu este cazul, atunci utilizarea notiunii este discutabila.

Zgomotul unui dipol
Parametri de banda ingusta

- **Curent de zgomot echivalent**

$$\overline{i_n^2} = 2qI_D\Delta f \quad (3.34)$$

$$I_n = \overline{i^2}/2q\Delta f \quad (3.35)$$

$$I_n = (2\pi S_i)/q \quad (3.36)$$

Valoarea patratica medie a curentului de zgomot a unei diode cu vid, saturate, este data de relatia (3.34), unde ID este curentul prin diode in sens direct.

Definitia lui Van der Ziel
Curentul diodei saturate echivalente este definit ca fiind curentul unei diode saturate care produce un zgomot avind aceeasi densitate spectrala ca si curentul sursei considerate. Daca sursa considerate produce un current avind valoarea patratica medie $\overline{i^2}$, curentul curentul echivalent al diodei saturate este Eq.(3.35).

Definitia IEEE
Curentul echivalent al diodei saturate este o reprezentare cantitativa, in unitati de current, al densitatii spectrale al generatorului de current de zgomot, la o frecventa specificata.
Forme particulare: relatia dintre curentul de zgomot echivalent In si densitatea spectrala Si, a generatorului de current de zgomot este Eq.(3.36).

Zgomotul unui dipol
Parametri de banda ingusta

- **Temperatura de zgomot**

$$T = \frac{P_e/\Delta f}{k} = 7.25 \cdot 10^{+22}\,\frac{P_e}{\Delta f} \quad (3.37)$$

Puterea disponibila de zgomot produsa de o rezistenta nu depinde de valoarea sa si este data de produsul kTΔf (eq.3.16). Aceasta expresie sugereaza ca se poate caracteriza zgomotul unui dipol cu ajutorul temperaturii T, oricare ar fi originea zgomotului sau (termica sau nu).

Definitia lui Benett
Introducem temperature de zgomot la o poarta (a unui dipol, cuadripol, etc.) , la o frecventa specificata, ca fiind temperature unui system pasiv care furnizeaza o putere disponibila de zgomot, intr-o banda unitara, egala cu cea produsa la poarta considerate.

1) Presupunem ca temperature este uniforma in tot sistemul pasiv.
2) Pentru o rezistenta simpla, temperature de zgomot este egala cu temperature reala la care ea se afla, in timp ce pentru o diode temperature de zgomot poate fi diferita de temperature fizica.
3) Temperatura de zgomot este un parametru care depinde de frecventa.

Temperatura standard de referinta adoptata in toate masuratorile este T0 = 290 K, pentru care kT/q = 25 mV.

Definitia lui Savelli
Temperatura de zgomot este definite ca temperatura Teq la care ar trebui adus dipolul

fictive (cu zgomot exclusive de origine termica) pentru ca el sa prezinte un zgomot identic cu Acela al dipolului studiat, la temperature T, in gama de de frecvente δf.

Definitia IEEE
Se introduce temperature de zgomot masurata in grade Kelvin, la o poarta, ca valoarea raportului dintre densitatea puterii schimbabile si constanta lui Boltzmann, la frecventa considerate.

Temperatura de zgomot T pastreaza semnul lui Re(Z) , Z fiind impedanta de intrare vazuta la poarta considerate.; pentru o poarta spre care se vede o rezistenta negative, rezulta ca T este si ea negative.

Zgomotul unui dipol
Parametri de banda ingusta

- **Temperatura de zgomot**

$$T = \frac{P_e/\Delta f}{k} = 7.25 \cdot 10^{+22}\,\frac{P_e}{\Delta f} \quad (3.37)$$

Puterea disponibila de zgomot produsa de o rezistenta nu depinde de valoarea sa si este data de produsul kTΔf (eq.3.16). Aceasta expresie sugereaza ca se poate caracteriza zgomotul unui dipol cu ajutorul temperaturii T, oricare ar fi originea zgomotului sau (termica sau nu).

<u>Definitia lui Benett</u>
Introducem temperature de zgomot la o poarta (a unui dipol, cuadripol, etc.) , la o frecventa specificata, ca fiind temperature unui system pasiv care furnizeaza o putere disponibila de zgomot, intr-o banda unitara, egala cu cea produsa la poarta considerate.

1) Presupunem ca temperature este uniforma in tot sistemul pasiv.
2) Pentru o rezistenta simpla, temperature de zgomot este egala cu temperature reala la care ea se afla, in timp ce pentru o diode temperature de zgomot poate fi diferita de temperature fizica.
3) Temperatura de zgomot este un parametru care depinde de frecventa.

Temperatura standard de referinta adoptata in toate masuratorile este T0 = 290 K, pentru care kT/q = 25 mV.

<u>Definitia lui Savelli</u>
Temperatura de zgomot este definite ca temperatura Teq la care ar trebui adus dipolul

fictive (cu zgomot exclusive de origine termica) pentru ca el sa prezinte un zgomot identic cu Acela al dipolului studiat, la temperature T, in gama de de frecvente δf.

Definitia IEEE
Se introduce temperature de zgomot masurata in grade Kelvin, la o poarta, ca valoarea raportului dintre densitatea puterii schimbabile si constanta lui Boltzmann, la frecventa considerate.

Temperatura de zgomot T pastreaza semnul lui Re(Z) , Z fiind impedanta de intrare vazuta la poarta considerate.; pentru o poarta spre care se vede o rezistenta negative, rezulta ca T este si ea negative.

Zgomotul unui dipol
Parametri de banda ingusta

- **Temperatura de zgomot a dipolilor interconectati**

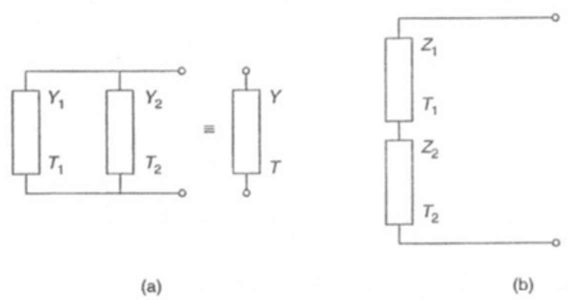


Fig.3.7

$$T = \frac{G_1 T_1 + G_2 T_2}{G_1 + G_2} \quad (3.38) \qquad T = \frac{R_1 T_1 + R_2 T_2}{R_1 + R_2} \quad (3.39) \qquad \frac{1}{T_1} < \frac{1}{T} < \frac{1}{T_2} \quad (3.40)$$

Consideram un dipol constituit din gruparea mai multor dipoli independenti., fiecare fiind caracterizat prin temperatura sa de zgomot. Pentru a gasi temperatura de zgomot a dipolului echivalent, punem conditia ca puterea de zgomot debitata, intr-o banda de 1 Hz, de catre dipol si echivalentul sau, sa fie egale.

Pentru cazul unei frupari in parallel (Fig.3.7a), avem

4kT1G1 + 4kT2G2 = 4kTG, unde Gi=re(Yi), I = 1,2.

Deoarece G = G1 + G2, , avem Eq.(3.38)

Pentru cazul conectarii in serie (Fig.3.7b) avem

4kT1R1 + 4kT2R2 = 4kTR, cu Ri = Re(Zi), i=1,2

Deoarece R = R1 + R2, rezulta Eq.(3.39)

In toate cazurile, si oricare ar fi semnul lui T1, T2 si T, se poate dovedi Eq. (3.40)

Zgomotul unui dipol
Parametri de banda ingusta

- **Raportul de zgomot**

$$N = \frac{\overline{E^2}}{4kTR\Delta f} = \frac{\overline{I^2}}{4kTG\Delta f} = \frac{R_n}{R} \quad (3.41)$$

$$N = \frac{T}{T_r} = \frac{S_p}{kT_r} \quad (3.42)$$

Definitia lui Savelli
Raportul de zgomot N a unui dipol este raportul dintre densitatea spectrala (sau valoarea medie patratica) a generatorului de zgomot a dipolului si aceeasi cantitate relative la un dipol fictive, echivalent dipolului din punct de vedere al impedantei, a carui unica sursa de zgomot ar fi de origine pur termica, Eq.(3.41), unde R si G sunt partea reala a impedantei Z, rspectiv admitantei Y, a dipolului.

Definitia lui Benett
Raportul de zgomot este raportul dintre temperature echivalenta de zgomot T si temperature reala Tr a dipolului, presupus in echilibru termic, Eq.(3.42), unde Sp este densitatea spectrala de putere masurata in unitati kT.

Remarci
1) Daca dipolul este rezistiv, atunci N = 1 si zgomotul termic nu a mai fost marit de dipol.
2) N este de obicei exprimat in decibel (considerind 20 ori logaritm zecimal din raport).
3) Cantitatea (N-1) masoara zgomotul in exces in raport cu zgomotul termic, lund ca unitate zgomotul termic.

Zgomotul unui dipol
Parametri de banda ingusta

- **Raportul semnal/zgomot a unui dipol generator**

$$\frac{S}{N}=\frac{P_{es}}{P_{en}} \quad (3.43)$$

Raportul semnal/zgomot obtinut intr-un unui dipol ideal (fara zgomot) Z', plasat la bornele unui generator este egal cu raportul puterilor schimbabile de semnal si de zgomot ale generatorului, Eq.(3.43), oricare ar fi impedanta pe care masuram semnalul si zgomotul.

Zgomotul unui dipol
Parametri de banda larga

Daca suntem interesati de o banda larga, putem caracteriza zgomotul sistemului in doua maniere diferite:

1) Putem diviza banda in interval elementare δf, sufficient de inguste pentru a justifica aproximarea de parametric constant; apoi, se determina parametrii de zgomot (rezitenta echivalenta de zgomot, temperature echivalenta de zgomot, raport de zgomot) pentru fiecare interval elementar. In final, parametrii sunt exprimati in functie de frecvente.
2) Pentru a dispune de o prezentare concise a parametrilor de zgomot ai dipolului pe intrega banda, este posibil sa avem in vedere calculul valorilor lor medii. Din punct de vedere al notatiei, acesti parametric sunt supraliniati, ca pentru media temporala, dar din punct de vedere a unitatilor de masura, se pastreaza impropriu aceleasi unitati ca pentru parametrii de banda ingusta.

Remarca

Valorile de banda ingusta si de banda larga coincide daca cistigul este constant si sursele de zgomot associate dipolului sunt de tip zgomot alb.

Zgomotul unui cuadripol

- **Zgomot echivalent la intrare**

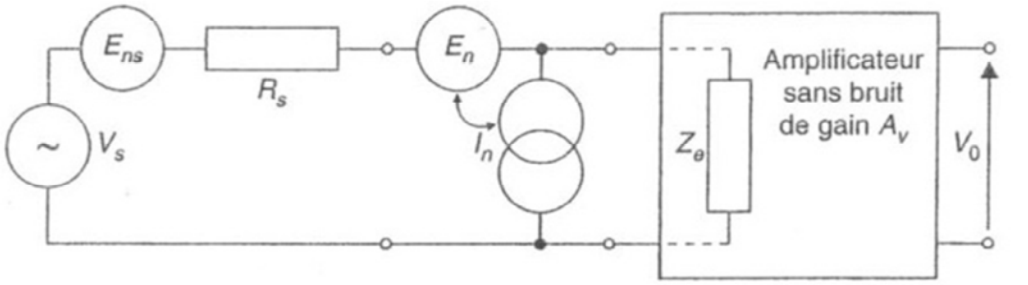


Fig.3.8

$$\overline{E_{ni}^2} = \overline{E_{ns}^2} + \overline{E_n^2} + \overline{I_n^2}R_s + 2C\overline{E_n I_n}R_s \quad (3.44)$$

Zgomotul intern a unui amplificatory este adesea reprezentat sub forma a doua generatoare de zgomot En si In correlate, conectate la intrare (Fig.3.8). Am notat prin indicele "s" parametrii generatorului de la intrare, punind in evidenta zgomotul sau termic.

Formularea problemei

Fiind dat generatorul de intrare si amplificatorul descries prin parametrii sai, cautam sursa de zgomot Eni (numita tensiune echivalenta de zgomot la intrare) care, plasata la nivelul lui Vs, poate inlocui (din punct de vedere al efectelor) toate cele trei surse de zgomot Ens, En, In.

Solutia

Amintindu-ne ca generatorul In reprezinta zgomotul furnizat la exterior de amplificatory (deci el nu poate circula prin Ze), expresia zgomotului echivalent la intrare este Eq.(3.44), unde C este coeficientul de corelatie intre sursele de zgomot En si In.

Rezistenta echivalenta de zgomot

Dupa IEEE, aceasta reprezinta valoarea rezistentei, care aplicata la intrarea unui amplificatory ideal (presupus fara zgomot, dar avind acelasi cistig si aceeasi banda ca amplificatorul real) produce la iesire acelasi zgomot, la T = 290 K.

A nu se uita ca spectrul de zgomot livrat de amplificatory sa fie de tip alb (ceea ce rar este cazul !).

Zgomotul unui cuadripol

- **Raportul semnal / zgomot**

$$\frac{S}{N} = 10\log\left(\frac{\overline{V_s^2}}{\overline{v_n^2}}\right) \quad (3.45)$$

Este de dorit sa obtinem un raport semnal/zgomot cit mai mare la iesirea unui receptor. Totusi, este evident ca un raport semnal/zgomot slab nu inseamna in mod necesar o slaba calitate a receptorului, caci este posibil ca semnalul captat de antenna sa prezinte deja un raport semnal/zgomot mediocru.

Definitia lui Benett

Raportul semnal/zgomot este introdus ca raportul dintre puterea semnalului si puterea de zgomot , intr-un loc precis al circuitului, la o frecventa aleasa, Eq.(3.45).

Remarca

Acest raport este definit fie pe toata banda, fie la o frecventa anume. In primul caz, el este exprimat in raport cu zgomotul total N; in al doilea caz , el este exprimat in raport cu densitatea spectrala, ceea ce conduce la un raport semnal/zgomot normalizat. Este important sa se specific si banda semnalului, deoarece raportul semnal/zgomot cade atunci cind banda de calcul creste dincolo de banda semnalului (deoarece circuitul continua sa adauge zgomot, in timp ce puterea de semnal este constanta).

Definitia IEEE

Raportul semnal/zgomot este raportul intre semnal si zgomot, ambele marimi fiind exprimate identic (amplitudini, valori eficace). De exemplu, raportul semnal/zgomot este adesea calculate ca un raport intre amplitudinile semnalului util si a zgomotului suprapus peste el.

Este preferabila definitia lui Benett deoarece este in concordanta cu definitia factorului de zgomot (care asa cum vom vedea comporta raport de puteri).

Zgomotul unui cuadripol

- **Temperatura echivalenta de zgomot la intrare**

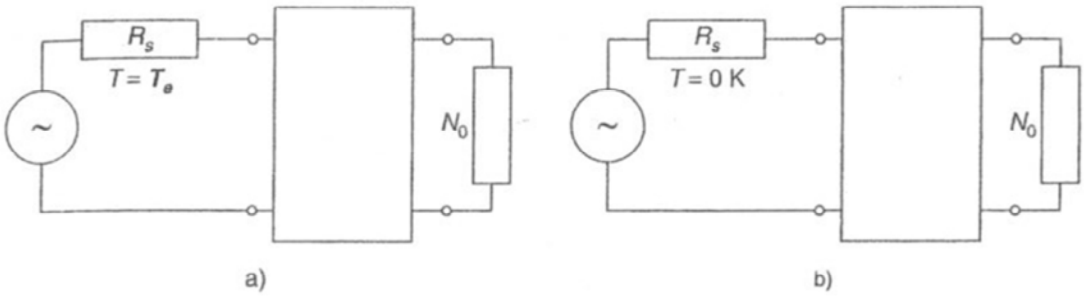


Fig.3.9

Fie un cuadripol alimentat la intrare de un dipol generator de frecventa fs si de rezistenta interna Rs. Se numeste temperature echivalenta de zgomot a intrarii (exprimata in Kelvini), temperatura Te pe care ar trebui sa o aiba dipolul generator pentru a produce la iesirea cuadripolului presupus ideal (Fig.3.9a) aceeasi putere disponibila de zgomot ca si cuadripolul real , excitat la intrare de catre un dipol generator ideal (Fig.3.9b). Prin “ideal” se intelege un cuadripol sau dipol nezgomotos, dar cu aceeasi structura fizica ca circuitul real.

Zgomotul unui cuadripol

- **Temperatura echivalenta de zgomot la intrare**

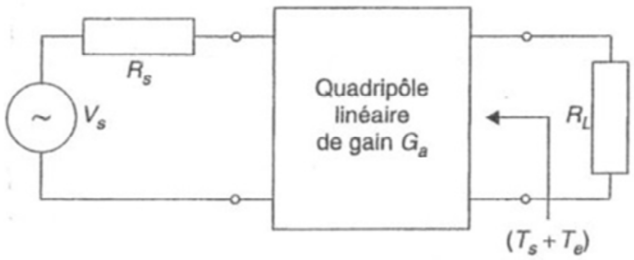


Fig.3.10

$$N_o = (kT_s\delta f)G_a + N_n = (kT_s\delta f)G_a + kT_n\delta f \quad (3.46a)$$
$$N_o = kG_a(T_s + T_n/G_a)\delta f = kG_a(T_s + T_e)\delta f \quad (3.46b)$$
$$T_e = T_n/G_a \quad (3.47)$$

Calcul
Consideram cuadripolul din Fig.3.10, a carui intrare este legata la un generator de putere de zgomot disponibila kTsδf (Ts fiind temperature rezistentei sale interne Rs si δf este o banda elementara centrata pe frecventa de lucru f).
In cazul ideal (cuadripol fara zgomot , dar avind aceeasi structura fizica) , regasim la iesirea cuadripolului puterea (kTsδf)Ga; in realitate, cuadripolul adauga zgomot si in consecinta puterea disponibila de zgomot la iesire este No = (kTsδf)Ga + Nn, unde Nn este *puterea de zgomot in exces* adaugata de cuadripol.
Relatia de mai sus se poate pune sub forma Eq.(3.46a), unde Tn este temperature de zgomot corespunzatoare puterii Nn. De notat ca adunarea puterilor de zgomot este posibila deoarece zgomotele generatorului si cuadripolului nu sunt correlate.
Scotind in factor (kδfGa) , obtinem Eq.(3.46b), unde (3.47) este definitia *temperaturii echivalente de zgomot la intrare*.

Zgomotul unui cuadripol

- **Temperatura echivalenta de zgomot la intrare**

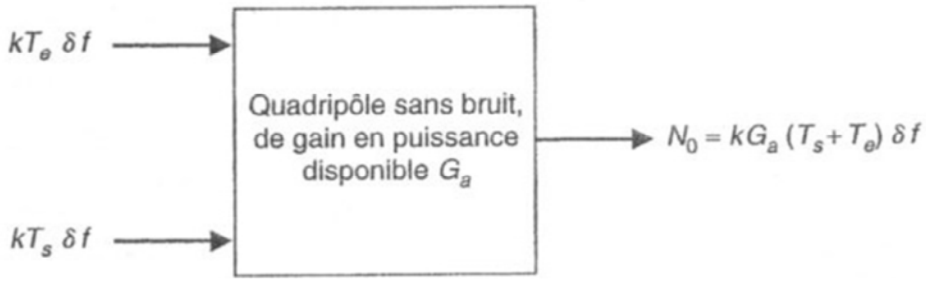


Fig.3.11

Expresia (3.47) conduce la modelul de zgomot din Fig. 3.11, unde puterea de zgomot este pusa sub forma unei sume de doua puteri de zgomot applicate la intrare.

Consecinte

1) Temperatura echivalenta de zgomot la intrare nu depinde de temperature de zgomot a sursei, dar depinde de impedanta interna a sursei.
2) Temperatura de zgomot Te depinde de frecventa
3) In definitia lui Te , sarcina este presupusa ideala, fara zgomot.
4) In cazul cuadripolului neliniar, putem avea mai multe frecvente de intrare corespunzind la o singura frecventa de iesire si vice-versa. In acest caz, pentru fiecare pereche de frecvente intrare-iesire, se defineste o temperature echivalenta de zgomot la intrare.
5) Acest parametru furnizeaza o indicatie pentru a compara doi cuadripoli diferiti: cel ce poseda cea mai mica temperature de zgomot la intrare adauga mai putin zgomot la semnalul care trece prin el.
6) Avantajul caracterizzarii prin temperature echivalenta de zgomot sta in faptul ca temperaturile de zgomot sunt additive. De exemplu, daca sursa are o temperature de zgomot Ts iar amplificatorul este caracterizat de o temperature echivalenta de zgomot in intrare Tamp, atunci temperature echivalenta de zgomot a ansamblului ste : Teq = Ts + Tamp.

Remarca

Prin acest artificiu, separam zgomotul cuadripolului de circuitul sau electric, in acelasi fel cum am facut pentru o rezistenta (vezi Fig. 2.1) , cind am plasat un generator de zgomot in serie sau in parallel cu rezistenta R, presupusa ideala.

Zgomotul unui cuadripol

- **Conectarea in cascadda a cuadripolilor**

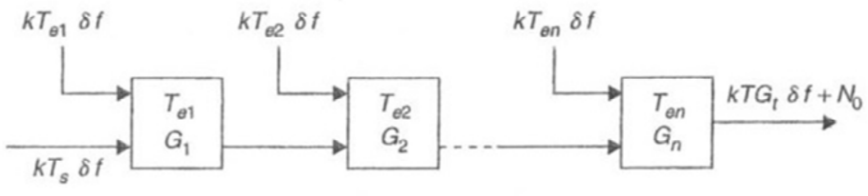


Fig.3.11

$$\left(\left(kT_{e1}G_1G_2\ldots G_n\right)+\left(kT_{e2}G_2\ldots G_n\right)+\left(kT_{en}G_n\right)\right)\delta f \quad (3.48)$$

$$G_t = G_1G_2\ldots G_n \quad (3.49)$$

$$T_{et} = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{G_1} + \frac{T_{e3}}{G_1G_2} + \cdots + \frac{T_{en}}{G_1G_2\cdots G_{n-1}} \quad (3.50)$$

Consideram mai multi cuadripoli conectati in cascada, ca in Fig.3.12. , fiecare fiind caracterizat prin temperature sa Tei si cistigul in putere disponibil Gi. Vrem sa calculam temperature echivalenta de zgomot la intrare a ansamblului, notate Tet.
Zgomotul in exces adaugat de cuadripoli este Eq.(3.48).
Cistigul total in putere este Eq.(3.49), cu precizarea ca, cistigul disponibil al etajului i este masurat cu un generator avind ca rezistenta interna, rezistenta de iesire a etajului (i-1).

Utilizind acelasi rationament ca pentru deducerea Eq.(3.46b) , temperature echivalenta de zgomot la intrare , a lantului, este obtinuta impartind relatia (3.48) prin kGtδf.
Obtinem (3.50).
Rezultatul obtinut demonstreaza ca daca cistigul primului etaj este important (G1 >>1) , atunci contributiile etajelor care urmeaza pot fi neglijate (cu exceptia cazului cind unul dintre etaje este attenuator).

Zgomotul unui cuadripol

- **Temperatura efectiva de zgomot**

$$\frac{N_{oL}}{G_t} = kT_{op}$$

$$T_{op} = \frac{N_{oL}}{kG_t} \quad (3.51)$$

$$\frac{S_o}{N_{0L}} = \frac{S_o/G_t}{N_{oL}/G_t} = \frac{S_i}{kT_{op}} \quad (3.51a)$$

$$T_{op} = T_e + T_s \quad (3.52)$$

Expresia (3.46b) arata ca zgomotul la iesirea cuadripolului depinde de Te si de Ts. In anumite cazuri, putem controla Te, dar in majoritatea cazurilor, noi nu avem nici un control asupra zgomotului care ajunge la intrarea cuadripolului. Din aceasta cauza, pare interesant sa dispunem de un parametru unic care caracterizeaza global zgomotul in conditii reae, considerind ambele temperature Te si Ts, in acelasi timp. Acest parametru unic este temperature efectiva de zgomot, notate Top, si masurata in grade Kelvin.

Definitie
Dupa IEEE, performanta de zgomot a unui system oarecaare poate fi evaluate in functie de raportul semnal/zgomot observant la iesirea sa. Fie S0 puterea de iesire a semnalului intr-o banda unitara si Si puterea disponibila la intrare a semnalului. Este evident ca So = Si*Gt, unde Gt este cistigul transductic in putere.

Asemanator, puterea totala de zgomot la iesire N0L, intr-o banda unitara, poate fi transpusa la intrare impartind-o prin Gt; ea serveste pentru a introduce temperature efectiva de zgomot cu relatia (3.51).
In acest caz, raportul semnal/zgomot la iesire este dat de relatia (3.51a)

Consecinte
1) Pentru un cuadripol linear adaptat la sarcina, temperature efectiva de zgomot este Eq.(3.52).

2) Componentele puterii totale de zgomot la iesire NoL sunt:

- Zgomotul sursei de semnal (modelat prin Ts) care este transmis la iesire
- Zgomotul generat in cuadripol (modelat prin Te) transmis la iesire
- Zgomotul generat in sarcina, care este transmis spre cuadripol si care este reflectat din nou spre sarcina datorita dezadaptarii.

Zgomotul unui cuadripol

- **Factorul de zgomot**

$$F = \frac{P_{ano}}{P_{an}} = \frac{P_{Rs} + P_Q}{P_{Rs}} = 1 + \frac{P_Q}{P_{Rs}} \quad (3.53)$$

Definitie
Temperatura echivalenta de zgomot Te este un parametru util pentru a caracteriza zgomotul termic. In acelasi timp, pentru a estima raportul semnal/zgomot la iesirea unui cuadripol , avem nevoie sa cunoastem atit zgomotul livrat de sursa cit si cistigul disponibil si banda de frecventa echivalenta a cuadripolului. In aceste conditii, se constata ca temperature de zgomot ca parametru unic nu tine seama de influenta cuadripolului asupra semnalelor care-l traverseaza. Pentru a elimina acest inconvienent se face apel la factorul de zgomot F.

Aproximarea clasica
Notiunea de factor de zgomot se introduce in mod natural cind toate elementele zgomotoase (adica resistive) ale cuadripolului sunt la aceeasi temperature T0, care este, in general, temperature ambianta.
In aceste conditii, vom compara cuadripolul real cu un cuadripol fictive, cu structura fizica identica, a carui elemente de circuit (rezistente, tranzistoare, diode, etc.) sunt presupuse fara zgomot.
Aplicind mereu acelasi zgomot la intrare putem compara puterea disponibila de zgomot la iesire Pano, observata in realitate, cu Pan care ar fi disponibila la iesirea cuadripolului ideal, fara zgomot, daca acesta ar fi realizabil (in acest din urma caz, estimarea zgomotului la iesire se face prin calcul, folosind regulile calculului de circuit). Factorul de zgomot se defineste atunci cu relatia (3.53), unde:

P_Rs – puterea de zgomot la iesire, generate de rezistenta Rs, a sursei de semnal si amplificata de cuadripolul presupus nezgomotos
P_Q – puterea de zgomot la iesire, furnizata unic doar de cuadripol (presupus inchis la intrare pe o rezistenta Rs nezgomotoasa).

Zgomotul unui cuadripol

- **Proprietatile Factorul de zgomot**

1)Factorul de zgomot este independent de rezistenta de sarcina
2)Valoarea lui F depinde de rezistenta sursei de semnal
3)Un cuadripol ideal (fara zgomot) are un F = 1
4)Un cuadripol real adauga intotdeauna propriul zgomot la cel pe care-l primeste de la sursa si acest aport este masurat prin cantitatea (F-1).

Zgomotul unui cuadripol

- **Definitia lui North pentru Factorul de zgomot**

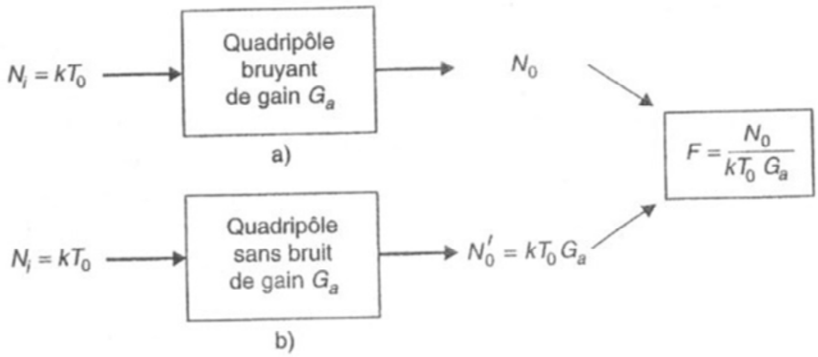


Fig.3.12

$$F = \frac{N_o}{N_o'} = \frac{N_o\left(\text{pentru T} = 290\text{ K}\right)}{kT_0 G_a} = 1 + \frac{N_n}{kT_0 G_a} > 1 \quad (3.54)$$

Este definitia adoptata si de IEEE
La o frecventa data, factorul de zgomot F a unui cuadripol este raportul dintre urmatoarele doua cantitati:

1) Puterea disponibila de zgomot la iesire No, intr-o banda unitara situate la frecventa de lucru, atunci cind temperature de zgomot a dipol-generatorului conectat la intrare este mentinuta constanta si egala cu temperature de referinta T0 = 290 K, Fig.3.12a ;
2) Partea din (a) (notate cu No’), produsa exclusive de dipolul generator conectat la intrare, la frecventa de lucru, daca temperature de zgomot a acestui dipol este mentinuta la T0 = 290 K si cuadripolul este ideal , Fig.3.12b.

Putem exprima F sub forma Eq,(3.54), unde Nn este puterea de zgomot adaugata de cuadripol si Ga reprezinta cistigul disponibil in putere al cuadripolului.

Zgomotul unui cuadripol

- **Definitia lui Friis pentru Factorul de zgomot**

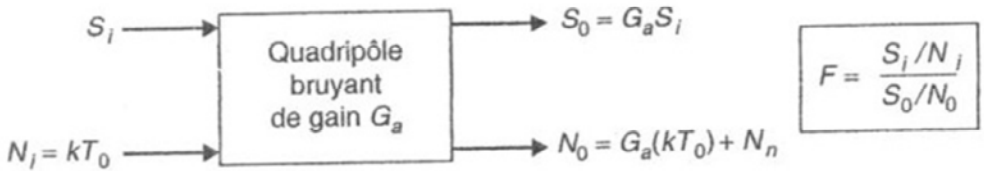


Fig.3.13

$$F = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} = \frac{S_i/kT_0}{S_o/N_o} = \frac{1}{G_a}\frac{N_o}{kT_0} \quad (3.55)$$

Definitie

Factorul de zgomot F a unui cuadripol este raportul, la o frecventa specificata, dintre:

1) Raportul semnal/zgomot disponibil la bornele generatorului (in conditiile in care temperature echivalenta de zgomot a generatorului este T0 = 290 K si banda este limitata de insusi cuadripolul)
2) Raportul semnal zgomot la iesirea cuadripolului.

Aceasta definitie este ilustrata in Fig.3.13. In spiritual acestei definitii, factorul de zgomot este o masura a deteriorarii raportului semnal/zgomot provocata de cuadripol.
Definitia lui Friis presupune o adaptare la intrarea cuadripolului, ceea ce nu este presupus si la iesire.
Astfel avem relatia (3.55), unde Si, So sunt puterile disponibile de semnal (intr-o banda unitara) la intrare si iesire, iar No si Ni = kT0 reprezinta puterile disponibile de zgomot la intrare si la iesire (sarcina nu este considerate) , intr-o banda unitara.

Remarca

In cazul cuadripolilor neliniari , unde exista mai multe frecvente de iesire pentru o frecventa de intrare, suntem obligati sa consideram cite un factor de zgomot pentru fiecare perece de frecvente.
Mai mult, puterea disponibila de zgomot la iesire nu trebuie sa ia in consideratie contributiile frecventelor-imagine.

Comentarii

1) Notiunea de factor de zgomot caracterizeaza un cuadripol doar daca ea este acompaniata de informatii privitoare la impedanta interna a sursei care a servit in masuratoare.
2) Factorul de zgomot poate fi exprimat fie ca un raport fara dimensiune, fie in decibel (dB).
3) Factorul de zgomot este definit la o temperature de zgomot de referinta (care este de obicei egala cu 290 K).

Limitari

1) Daca impedanta interna a sursei este pur reactiva, zgomotul ei este nul si factorul de zgomot resultant este infinit
2) Daca zgomotul adaugat de cuadripol nu este semnificativ fata de cel al sursei, factorul de zgomot ar aparea ca raportul dintre doua cantitati aproape egale. In acest caz erorile de calcul sunt inacceptabile.
3) Factorul de zgomot depinde de frecventa, de polarizare, de temperature si de rezistenta sursei de semnal. Comparatia dintre doi factori de zgomot nu are sens daca aceste conditii nu sunt identice.

Zgomotul unui cuadripol

- **Relatia dintre F si Te**

$$F = \frac{1}{G_a}\frac{N_o}{kT_0\delta f} = \frac{N_n + kT_0 G_a \delta f}{G_a kT_0 \delta f} = 1 + \frac{N_o/G_a}{kT_0\delta f} \quad (3.56)$$

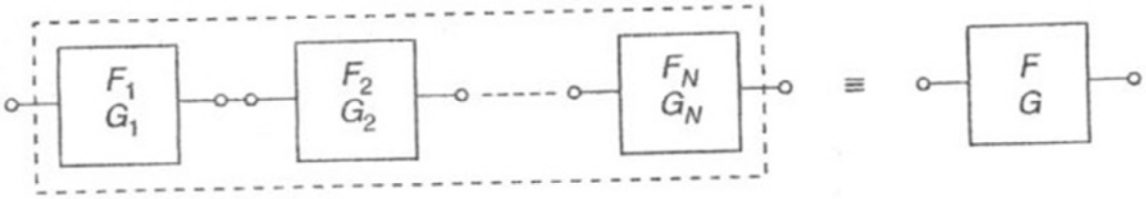
$$F = 1 + \frac{kT_n\delta f/G_a}{kT_0\delta f} \quad (3.56a)$$

$$F = 1 + \frac{T_e}{T_0} \quad (3.57) \qquad T_e = T_0(F-1) \quad (3.58)$$

Dupa definitia IEEE, pentru o banda elementara δf se poate scrie Eq.(3.56).
Dupa Eq.(3.46a) avem Nn = kTnδf, de unde Eq.(3.56a)
In acest caz factorul de zgomot se pune sub forma Eq.(3.57)., unde ne amintim ca Te este temperature echivalenta de zgomot la intrare. Sub o forma echivalenta, aceasta relatie se poate scrie sub forma (3.58).

Zgomotul unui cuadripol

- **Cascada de cuadripoli**



$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \ldots + \frac{F_N - 1}{G_1 G_2 \ldots G_{N-1}} \quad (3.59)$$

In cazul a N etaje conectate in cascada (Fig.3.14) , pentru care se cunoaste factorul de zgomot individual, este util sa se calculeze factorul de zgomot global.
Aceasta problema are o mare importanta practica, deoarece zgomotul etajului de intrare al unui amplificatory are o mare importanta pentru zgomotul de la iesire.
Daca inlocuim in Eq.(3.50) temperature de zgomot prin expresia sa (3.58), obtinem formula lui Friis (3.59).

Eq.(3.59) este valabila in urmatoarele conditii:

1) Factorii de zgomot Fi trebuie sa fie evaluate considerind impedanta de iesire a etajului (i-1) ca impedanta interna a generatorului care alimenteaza etajul I
2) Toti cuadripolii trebuie sa fie liniari
3) Fiecare cuadripol trebuie sa aiba partea reala a impedantei de iesire pozitiva
4) Fiecare cuadripol trebuie sa adauge zgomot sistemului.

Zgomotul unui cuadripol

- **Factor efectiv de zgomot**

$$F_{op} = \frac{N_o}{G\left(kT_0\delta f\right)} = \frac{T_{op}}{T_0} \quad (3.60)$$

Expresia (3.46b) arata ca zgomotul la iesirea cuadripolului depinde de Te si Tn. In anumite cazuri putem controla pe Tn, dar in majoritatea cazurilor nu putem controla zgomotul care ajunge la intrarea cuadripolului. In acest caz este util sa dispunem de un parametru unic care sa caracterizeze global zgomotul in conditii reale , considerind ambele temperature Te si Tn simultan. Acest parametru este temperature efectiva de zgomot, notate cu Top , masurat in Kelvin.

Definitie
Factorul efectiv de zgomot Fop este definit ca raportul dintre urmatoarele cantitati:
1) Puterea disponibila de zgomot la iesire, intr-o banda elementara de frecvente δf, la temperature normal de lucru
2) Puterea disponibila de zgomot la iesire, datorata doar generatorului de la intrare considerat la temperature de referinta.

Avem astfel Eq.(3.60), unde Top este temperature efectiva de zgomot a cuadripolului si T0 = 290 K.

Singura diferenta fata de definitia factorului de zgomot classic (data de North) este aceea ca de data aceasta nu se mai impune cuadripolului de a fi la temperature de referinta T0.

Zgomotul unui cuadripol

- **Factor de zgomot: definitia extinsa**

$$F_e = \frac{N_{en}}{G_e\left(kT_0\delta f\right)} \quad (3.61)$$

Definitia factorului de zgomot data de North si adaptata apoi de IEEE, nu ridica nici o problema atita timp cit rezistenta dipolului generator este rezistenta de iesire a cuadripolului pasiv. In acelasi timp, in multe din situatiile practice se poate intilni situatia in care rezistenta de iesire sa fie negative, ca de exemplu in cazul amplificatorului cu diode tunel.
In ceea ce priveste rezistenta generatorului, apriori ea este totdeauna pozitiva, dar este sufficient sa consideram cazul unei cascade de mai multi cuadripoli, unde rezistenta de iesire a etajului I devine rezistenta generatorului pentru etajul (i+1), pentru a ne da seama ca aceasta presupunere nu este o regula absoluta. Atunci pare logic de a lua in considerare posibilitatea de a avea valori negative atit pentru rezistenta de iesire cit si pentru cea a generatorului.

In cazul cind avem valori negative pentru aceste rezistente, nu mai putem utiliza , in definitia factorului de zgomot, notiunea de putere disponibila. Asa cum s-a discutat intr-un slide anterior in acest capitol, este evident ca trebuie sa inlocuim puterile disponibile cu puterile schimbabile. Puterea schimbabila ofera avantajul de a se identifica cu puterea disponibila in cazul rezistentelor positive, dar in cazul celor negative, ea devine negative, valoarea sa extrema pastrind aceeasi valoare absoluta, finite.

Definitie
Factorul de zgomot extins , notat cu Fe, este introdus prin relatia (3.61), care este

similara cu definitia clasica , cu exceptia faptului ca acum Nen reprezinta puterea schimbabila de zgomot la iesire, cu generatorul de la intrare mentinut la temperature de referinta T0 = 290 K si Ge este cistigul in putere schimbabila.

Zgomotul unui cuadripol

- **Masura de zgomot**

$$M = \frac{F - 1}{1 - 1/G} \quad (3.62)$$

Definitia lui Van der Ziel

Masura de zgomot, notate cu M, a unui cuadripol avind factorul de zgomot F si cistigul disponibil in putere G, este introdus prin Eq.(3.62).