

$$(9.6.7) \quad NF_{\min} = 1 + \frac{\bar{E}_n \bar{J}_n}{2kT}.$$

Primer 9.7

Naći optimalnu vrednost R_g na sobnoj temperaturi za pojačavač čiji je šum prikazan na Sl. 9.4.2. Neka je frekvencija na kojoj se izračunava amplituda spektra šuma $f=1$ kHz.

Rešenje:

Iz Sl. 9.4.2 čitamo približne vrednosti $\bar{E}_n=9$ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ i $\bar{J}_n=0.8$ pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$. Smenom ovih veličina i stavljanjem $kT=25$ meV, iz (9.6.6) dobijamo $R_{g\text{opt}}=1.125$ k Ω , a iz (9.6.7), $NF_{\min}=1.9$ ili $NF_{\min}[\text{dB}]=2.8$ dB.

U slučajevima kada i vrednost struja u mirnoj radnoj tački i vrednost otpornosti generatora nisu raspoloživi za optimizaciju, sugerise se ugradnja transformatora između generatora i pojačavača. Ovakva situacija prikazana je na Sl. 9.6.2a. Ona sugerise da pogodan izbor odnosa transformacije transformatora može da doprinese smanjenju ukupnog šuma u sistemu. U narednom izlaganju biće određena takva vrednost odnosa transformacije.

Otpornost primarnog namotaja kola sa Sl. 9.6.2 obeležena je sa R_1 , a otpornost sekundarnog sa R_2 . Sa R_u obeležena je ulazna otpornost pojačavača, a sa \bar{E}_n i \bar{J}_n ekvivalentni napon i struja šuma istog. Generatori šumova na mestu nastajanja prikazani su na Sl. 9.6.2b, a Sl. 9.6.2c predstavlja postupak transformacije strujnog generatora ekvivalentne stuje šuma pojačavača. Na Sl. 9.6.2d svi šumovi su prevedeni na ulaz. Ukupni ekvivalentni napon šuma dat je sa

$$(9.6.8) \quad \bar{V}_N^2 = 4kT(R_g + R_1 + R_2/n^2) + [n \cdot (R_g + R_1) + R_2/n]^2 \bar{J}_n^2 + \bar{E}_n^2/n^2.$$

Faktor šuma ovog kola je

$$(9.6.9) \quad NF = \bar{V}_N^2 / (4kTR_g).$$

Diferenciranjem ovog izraza po odnosu transformacije n , i izjednačavanjem izvoda sa nulom dobija se vrednost n koja vodi ka minimumu šuma

$$(9.6.10) \quad n_{\text{opt}} = 4 \sqrt{\frac{4kTR_2 + \bar{E}_n^2 + R_2^2 \bar{J}_n^2}{(R_1 + R_g)^2 \bar{J}_n^2}}.$$

U specijalnom slučaju kada se otpornosti namotaja transformatora zanemaruju ($R_1=R_2=0$) dobija se

$$(9.6.11) \quad n_{\text{opt}} = \sqrt{\bar{E}_n / (R_g \bar{J}_n)}.$$

Primer 9.8

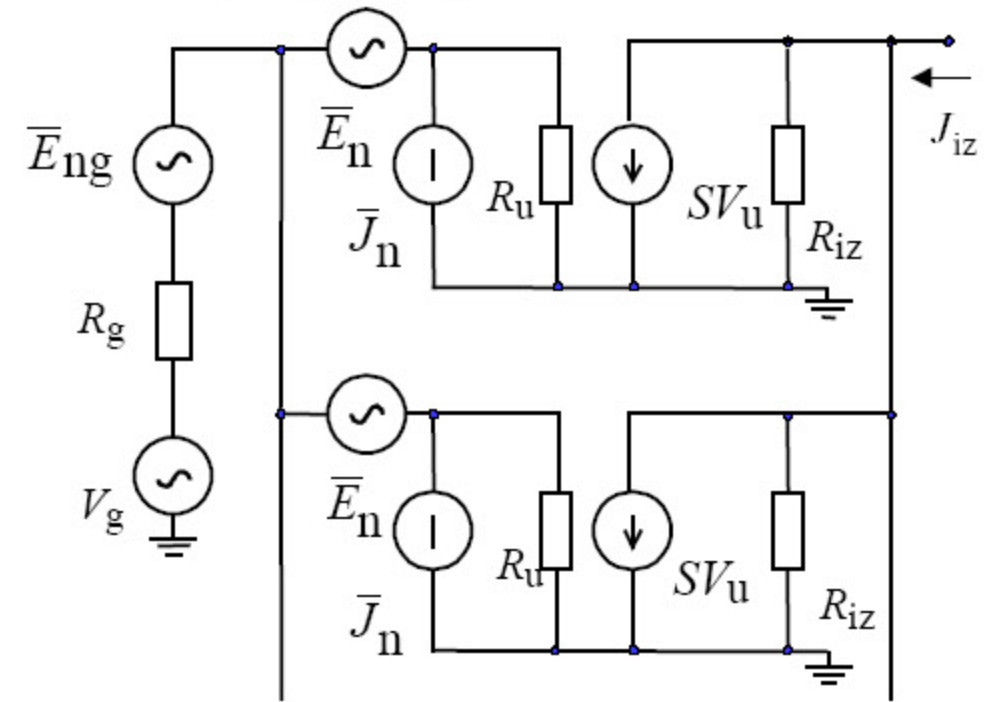
Za jedan pojačavač je dato $\bar{E}_n = 10$ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ i $\bar{J}_n = 1$ pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$. Odrediti optimalnu vrednost R_g kada se ne koristi transformator za minimizaciju šuma, a zatim odrediti optimalnu vrednost odnosa transfor-

macije transformatora ako je $R_g = 50 \Omega$. Smatrati da su otpornosti namotaja zanemarive.

Rešenje:

Iz (9.6.6) dobija se $R_{g\text{opt}} = \bar{E}_n / \bar{J}_n = 10$ k Ω , a iz

$$(9.6.11) \quad n_{\text{opt}} = \sqrt{\bar{E}_n / (R_g \bar{J}_n)} = \sqrt{200} \approx 14. \quad \checkmark$$



Slika 9.6.3 Paralelna veza identičnih pojačavača radi minimizacije šumova

Na osnovu brojnih vrednosti iz prethodnog primera može da se zaključi da je potrebna vrednost unutrašnje otpornosti generatora koja minimizuje šum znatno veća od otpornosti sa kojima se obično srećemo. S druge strane, polazeći od (9.6.5) zaključujemo da bi bilo veoma pogodno kada bi ulazna otpornost pojačavača bila smanjena. Na osnovu toga nastala je ideja da se ulazna otpornost smanji tako što će se više identičnih pojačavača poveže paralelno. Manja ulazna otpornost će voditi ka manjem šumu. Ekvivalentno kolo skupa od m paralelno povezanih identičnih pojačavača prikazano je na Sl. 9.6.3. Na slici su dati i šumovi pojedinih pojačavača u obliku ekvivalentnog napona i ekvivalentne struje šuma.

Biće pokazano (Vidi rešenje zadatka Z.9.19) da je ukupni ekvivalentni napon šuma paralelne veze dat sa

$$(9.6.12) \quad \bar{V}_N^2 = 4kTR_g + \bar{E}_n^2/m + mR_g^2 \bar{J}_n^2.$$

Optimalna vrednost broja potrebnih stepena da bi šum bio minimalan je

$$(9.6.13) \quad m_{\text{opt}} = \bar{E}_n / (R_g \bar{J}_n).$$

Iz ovog izraza zaključujemo da kada R_g raste vrednost m se smanjuje i da kada je R_g veliko, nemamo potrebu za paralelnim stepenima.

9.7 ZADACI

Zadatak 9.1. Na Sl. Z.9.1.1 prikazan je razdelnik struje. Ako se zanemari višak šuma otpornika, naći:

- amplitude spektara struja šuma R_1 i R_2 ,
- amplitudu spektra ekvivalentnog napona šuma,
- ekvivalentni napon šuma ako je propusni opseg šuma $B=100$ Hz,