Ηλεκτρονικός Θόρυβος

Electronic NOISE

Θόρυβος υπάρχει παντού σε όλα τα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα

στο ραδιόφωνο : hiss

Στο τηλέφωνο : σκρατς

στην τηλεόραση : χιόνι

ΘΟΡΥΒΟΣ

- ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ
- ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ

ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ

- ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΣ
- ΕΞΩΓΗΙΝΟΣ
- ΚΟΣΜΙΚΟΣ
- ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΣ

- ΣΤΑΤΙΚΟΣ
- ΘΟΡΥΒΟΣ ΣΤΗ ΛΗΨΗ ΒΡΑΧΕΩΝ
- ΚΑΤΩ ΑΠΟ 30 ΜΗΖ
- LINE-OF-SIGHT 80 KM
- VHF : OXI

ΕΞΩΓΗΙΝΟΣ

- ΗΛΙΑΚΟΣ 11ΕΤΗΣ ΚΥΚΛΟΣ 100ΕΤΗΣ ΚΥΚΛΟΣ Κ.ΛΠ
- ΚΟΣΜΙΚΟΣ – ΓΑΛΑΚΤΙΚΟΣ ΚΑΣΣΙΟΠΕΙΑ, ΚΥΚΝΟΣ
- 8 MHZ - 1.43 GHZ Υδρογόνο
- 20-120 MHZ ισχυρος
- ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑ ΚΟΒΕΙ < 20MHZ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

- 1-600 MHZ
- ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ γραμμές, γεννήτριες, κινητήρες
- ΑΝΑΦΛΕΞΕΙΣ
- ΛΑΜΠΕΣ ΑΕΡΙΟΥ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ

- ΘΕΡΜΙΚΟΣ
- SHOT
- TRANSIT TIME
- ΑΛΛΟΙ (FLIKER, INTERNAL RESISTANCE OF TRANSISTORS)

Thermal Noise Θερμικός Θόρυβος

- **Johnson-Nyquist noise** (sometimes **thermal noise**, **Johnson noise** or **Nyquist noise**) is the noise generated by the equilibrium fluctuation of the electric current inside an electrical conductor, which happens regardless of any applied voltage, due to the random thermal motion of the charge carriers (the electrons).

Thermal Noise Θερμικός Θόρυβος

- It was first measured by J.B. Johnson at Bell Labs in 1928. He described his findings to H. Nyquist, also at Bell Labs, who was able to explain the results by deriving a fluctuation-dissipation relationship.

Thermal Noise Θερμικός Θόρυβος

Thermal noise is to be distinguished from shot noise, which consists of additional current fluctuations that occur when a voltage is applied and a macroscopic current starts to flow. For the general case, the above definition applies to charge carriers in any type of conducting medium (e.g. ions in an electrolyte).

Thermal Noise Θερμικός Θόρυβος

- The thermal noise power, P, in watts, is given by $P = 4kBT\Delta f$, where kB is Boltzmann's constant in joules per kelvin, T is the conductor temperature in kelvins, and Δf is the bandwidth in hertz. Thermal noise power, per hertz, is equal throughout the frequency spectrum, depending only on kB and T. It is white noise, in other words.

Thermal Noise Θερμικός Θόρυβος

- In communications, noise power is often used. Thermal noise at room temperature can be estimated in decibels as:
- $P = -174 + 10log(\Delta f)$
- Where P is measured in dBm (0 dBm = 1 mW) and Δf is bandwidth in Hz

Thermal Noise Θερμικός Θόρυβος

- **Bandwidth Power**

- 1 Hz -174 dBm
- 10 Hz -164 dBm
- 1000 Hz -144 dBm
- 5 kHz -137 dBm
- 1 MHz -114 dBm
- 6 MHz -106 dBm

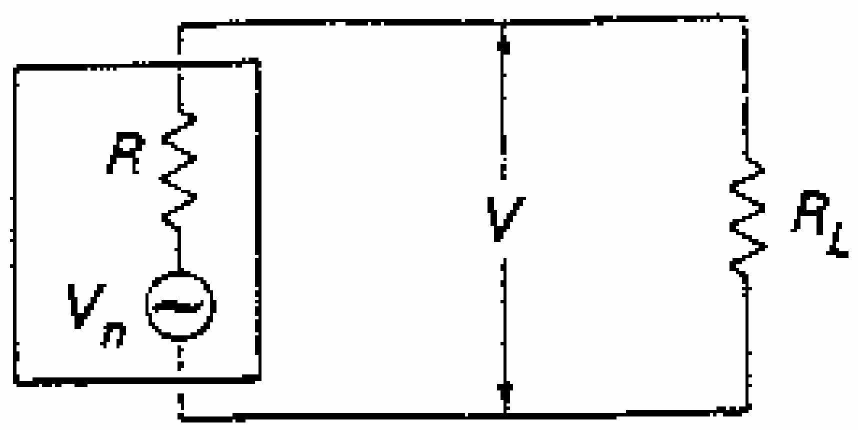
Thermal Noise Θερμικός Θόρυβος

- Electronics engineers often prefer to work in terms of noise voltage across the resistor (vn) and noise current (*in*) going through the resistor. These also depend on the electrical resistance, R, of the conductor:

$$v_n = \sqrt{4k_B T R \Delta f} \qquad i_n = \sqrt{\frac{4k_B T \Delta f}{R}}$$

•Thermal noise is intrinsic to all resistors and is not a sign of poor design or manufacture, although resistors may also have excess noise.

Αντίσταση ως γεννήτρια θορύβου



Παράδειγμα

Παράδειγμα 2-1 Ένας ενισχυτής που λειτουργεί στις συχνότητες από 18 ως 20MHz έχει αντίσταση εισόδου 10ΚΩ. Ποια είναι η rms τιμή του θορύβου τάσης στην είσοδο του ενισχυτή αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 27 ^{0} C;

$$V_n = \sqrt{4kT\delta f R}$$
$$= \sqrt{4 \times 1.38 \times 10^{-23} \times (27+273) \times (20-18) \times 10^{6} \times 10^{4}}$$
$$= \sqrt{4 \times 1.38 \times 3 \times 2 \times 10^{-11}} = 1.82 \times 10^{-5}$$
$$= 18.2\ \mu V$$

Με το παράδειγμα αυτό μπορούμε να δούμε ότι θα ήταν μάταιο να περιμέναμε ο ενισχυτής να χειρίζεται σήματα εκτός και αν αυτά ήταν αισθητά μεγαλύτερα από 18.2μV. Μια χαμηλή τάση στην εισοδο του ενισχυτή θα είχε καλυφθεί από τον θόρυβο και τις απώλειες

References

1. J. Johnson, "Thermal Agitation of Electricity in Conductors", Phys. Rev. 32, 97 (1928), (the experiment).

2. H. Nyquist, "Thermal Agitation of Electric Charge in Conductors", Phys. Rev. 32, 110 (1928), (the theory).

Shot Noise

Shot noise consists of random fluctuations of the electric current in an electrical conductor, which are caused by the fact that the current is carried by discrete charges (electrons). The strength of this noise increases for growing magnitude of the average current flowing through the conductor. Shot noise is to be distinguished from current fluctuations in equilibrium, which happen without any applied voltage and without any average current flowing. These equilibrium current fluctuations are known as Johnson-Nyquist noise.

Shot Noise

- Shot noise is important in electronics, telecommunication, and fundamental physics.
- Shot noise is a Poisson process and the charge carriers which make up the current will follow a Poisson distribution. The strength of the current fluctuations can be expressed by giving the variance

$$\left\langle \left(I - \langle I \rangle\right)^2 \right\rangle$$

Shot Noise

of the current *I*, where <*I*> is the average ("macroscopic") current. However, the value measured in this way depends on the frequency range of fluctuations which is measured ("bandwidth" of the measurement): The measured variance of the current grows linearly with bandwidth. Therefore, a more fundamental quantity is the noise power, which is essentially obtained by dividing through the bandwidth (and, therefore, has the SI units ampere squared divided by hertz). It may be defined as the zero-frequency Fourier transform of the current-current correlation function:

Shot Noise

$$S(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\langle I(t) I(0) \rangle - \langle I(0) \rangle^2 \right) dt$$

Note: This is the total noise power, which includes the equilibrium fluctuations (Johnson-Nyquist noise). Some other commonly employed definitions may differ by a constant pre-factor.

Note: There is often a minor inconsistency in referring to shot noise in an optical system: many authors refer to shot noise loosely when speaking of the mean square shot noise current (amperes squared) rather than noise power (watts).

Shot Noise

Space charge

Low noise active electronic devices are designed such that shot noise is suppressed by the electrostatic repulsion of the charge carriers. Shot noise in optical devices is called quantum noise. Space charge limiting is not possible in photon devices.

Pink noise -flicker noise

Pink noise, also known as **1/f noise**, is a signal or process with a frequency spectrum such that the spectral energy density is proportional to the reciprocal of the frequency. Sometimes pronounced as **one over f noise**, it is also called **flicker noise**.

Pink noise -flicker noise

- There is equal energy in all octaves. In terms of power at a constant bandwidth, 1/f noise falls off at 3 dB per octave.

- The human auditory system, which uses a roughly logarithmic concept of frequency approximated by the Bark scale, does not perceive with equal sensitivity all audible frequencies. However, humans may still differentiate between white noise and pink noise with ease.

Pink noise -flicker noise

Graphic equalizers also divide signals into bands logarithmically and report power by octaves; audio engineers put pink noise through a system to test whether it has a flat frequency response in the useful spectrum.

Pink noise -flicker noise

From a practical point of view, producing *true* pink noise is impossible, since the energy of such a signal would be infinite. That is, the energy of pink noise in any frequency interval from $f1$ to $f2$ is proportional to $\log(f2 / f1)$ and if $f2$ is infinity, so is the energy.

Pink noise -flicker noise

Practically, pink noise is only pink over a certain frequency interval. The same is true of white noise which is usually used to produce pink noise by filtering to remove more and more energy at succesively higher frequencies (about 3 dB per octave).

White Noise

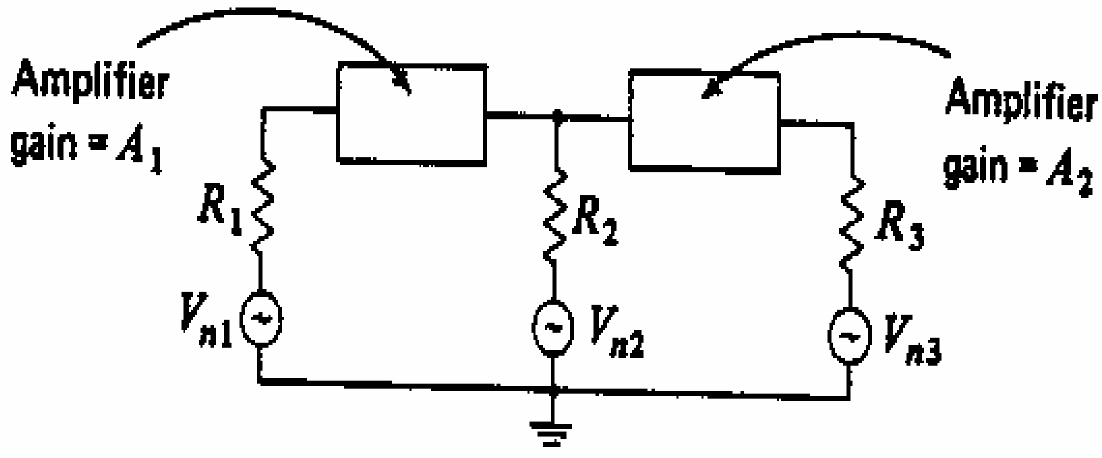
- **White noise** is a random signal (or process) with a flat power spectral density. In other words, the signal's power spectral density has equal power in any band, at any centre frequency, having a given bandwidth.
- An infinite-bandwidth white noise signal is purely a theoretical construct. By having power at all frequencies, the total power of such a signal is infinite. In practice, a signal can be "white" with a flat spectrum over a defined frequency band.

Cosmic (galactic) noise

Random noise that originates outside the Earth's atmosphere. (15 MHz - 1.5 GHz)

Cosmic noise characteristics are similar to those of thermal noise. Cosmic noise is experienced at frequencies above about 15 MHz when highly directional antennas are pointed toward the Sun or to certain other regions of the sky such as the center of the Milky Way Galaxy.

Θόρυβος από τα διάφορα στάδια ενίσχυσης σε σειρά



Παράδειγμα 2-3: Το πρωτο στάδιο από ένα ενισχυτή δύο σταδίων έχει μία ενίσχυση (Voltage gain) 10, μία αντίσταση εισόδου με τιμή 600 Ω, μία ισοδύναμη αντίσταση θορύβου με τιμή 1600 Ω και μία αντίσταση εξόδου με τιμή 27 ΚΩ. Για το δεύτερο στάδιο, αυτές οι τιμές είναι 25 ķ 81 ΚΩ,10 ΚΩ και 1 ΜΩ, αντίστοιχα. Υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση θορύβου στην είσοδο αυτού του ενισχυτή των δύο σταδίων.

$$R_1 = 600 + 1600 = 2200\Omega$$

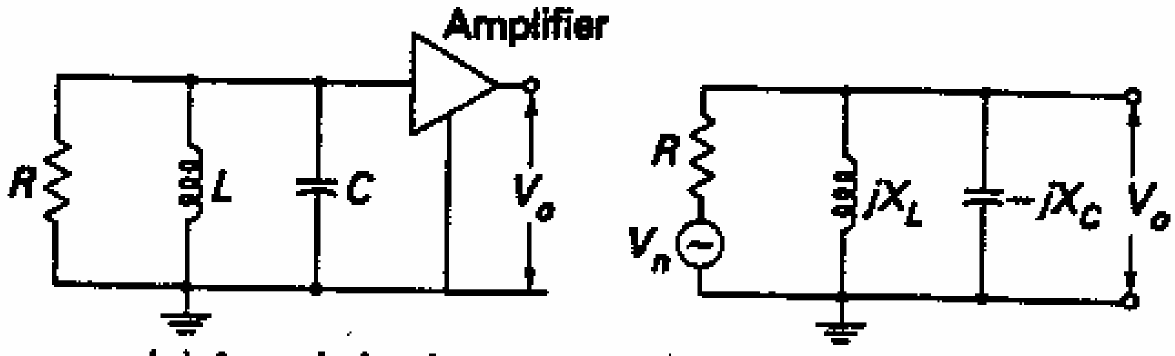
$$R_2 = \frac{27x81}{27+81} + 10 = 20.2 + 10 = 30.2K\Omega$$

$R_3 = 1M\Omega$ (όπως είναι δοσμένο)

$$R_{eq} = 2200 + \frac{30200}{10^2} + \frac{1000000}{10^2 x 25^2} = 2200 + 302 + 16 = 2518\Omega$$

Εδώ αξίζει να σημειώσουμε ότι η αντίσταση εξόδου 1 ΜΩ έχει το ίδιο αποτέλεσμα θορύβου όπως μία αντίσταση 16 Ω στην είσοδο.

Θόρυβος στα συντονισμένα κυκλώματα



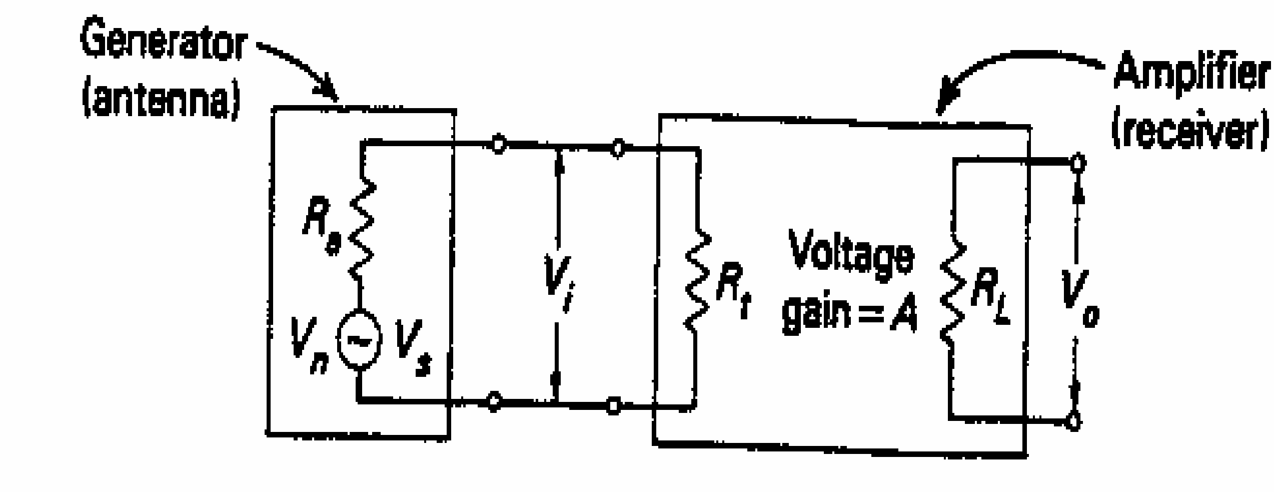
(a) Actual circuit (b) Noise equivalent circuit

SNR και Δείκτης Θορύβου F

$$\frac{S}{N} = \frac{X_s}{X_n} = \frac{V_s^2 / R}{V_n^2 / R} = \left(\frac{V_s}{V_n}\right)^2$$

$$F = \frac{input\, S/N}{output\, S/N}$$

Μπλοκ διάγραμμα για τον υπολογισμό του δείκτη του θορύβου



- Καθορίζουμε την ισχύ του σήματος εισόδου Psi (2-12, 2-13).
- Καθορίζουμε την ισχύ του θορύβου εισόδου Pni (2-14, 2-15).
- Υπολογίζουμε την αναλογία σήματος προς θόρυβο της εισόδου S/Ni από τον λόγο των Psi και Pni (2-16).
- Καθορίζουμε την ισχύ του σήματος εξόδου Pso (2-17).
- Γράφουμε Pno για την ισχύ του θορύβου εξόδου το οποίο θα καθοριστεί αργότερα (2-18).
- Υπολογίζουμε την αναλογία σήματος προς θόρυβο της εξόδου S/No από το λόγο των Pso και Pno (2-19).
- Υπολογίζουμε τον γενικευμένο τύπο του δείκτη θορύβου από τα βήματα 3 και 6 (2-20).

- Υπολογίζουμε το Pno από την Req εφόσον είναι δυνατό (2-21,2-22), και αντικαθιστούμε στην γενική εξίσωση για το F για να πάρουμε την ακριβή σχέση (2-23, 2-24) ή να προσδιορίσουμε το Pno από μέτρηση (2-3, 2-25,2-26), και αντικαθιστούμε για να πάρουμε τη σχέση για το F (2-27,2-28,2-29).

$$V_{si} = \frac{V_s R_t}{R_a + R_t} \qquad \textbf{(2-12)}$$

$$V_{si} = \frac{V_{si}^2}{R_t} = \left(\frac{V_s R_t}{R_a + R_t}\right)^2 \frac{1}{R_t} = \frac{V_s^2 R_t}{(R_a + R_t)^2} \qquad \textbf{(2-13)}$$

Με παρόμοιο τρόπο, η τάση κα η ισχύς εισόδου του θορύβου θα είναι

$$V_{ni}^2 = 4kT\delta f \frac{R_a R_t}{R_a + R_t} \qquad \textbf{(2-14)}$$

$$P_{ni} = \frac{V_{ni}^2}{T_t} = 4kT\delta f \frac{R_a R_t}{R_a + R_t} \frac{1}{R_t} = \frac{4kT\delta f R_a}{R_a + R_t} \qquad \textbf{(2-15)}$$

Η αναλογία του σήματος προς το θόρυβο στην είσοδο θα είναι

$$\frac{S}{N_i} = \frac{P_{si}}{P_{ni}} = \frac{V_s^2 R_t}{(R_a + R_t)^2} \div \frac{4kT\delta f R_a}{R_a + R_t} = \frac{V_s^2 R_t}{4kT\delta f R_a (R_a + R_t)} \qquad \textbf{(2-16)}$$

Η ισχύς του σήματος στην έξοδο θα είναι

$$P_{so} = \frac{V_{so}^2}{R_L} = \frac{(AV_{si})^2}{R_L}$$

$$= \left(\frac{AV_s R_t}{R_a + R_t}\right)^2 \frac{1}{R_L} = \frac{A^2 V_s^2 R_t^2}{(R_a + R_t)^2 R_L} \qquad \textbf{(2-17)}$$

Η ισχύς εξόδου του θορύβου μπορεί να είναι δύσκολο να υπολογιστεί, και προς στιγμή μπορεί να γραφτεί με απλό τρόπο σαν

P_{no}=ισχύς εξόδου του θορύβου **(2-18)**

Έτσι, η αναλογία του σήματος προς το θόρυβο στην έξοδο θα είναι

$$\frac{S}{N_o} = \frac{P_{so}}{P_{no}} = \frac{A^2 V_s^2 R_t^2}{(R_a + R_t)^2 R_L P_{no}} \qquad \textbf{(2-19)}$$

Τελικά, η γενική έκφραση για το δείκτη θορύβου είναι

$$F = \frac{S/\ N_i}{S/\ N_o} = \frac{V_s^2 R_t}{4kT\delta f R_a (R_a + R_t)} \div \frac{A^2 V_s^2 R_t^2}{(R_a + R_t)^2 R_L P_{no}}$$

$$= \frac{R_L P_{no} (R_a + R_t)}{4kT\delta f A^2 R_a R_t} \qquad \textbf{(2-20)}$$

Μέτρηση δείκτη θορύβου