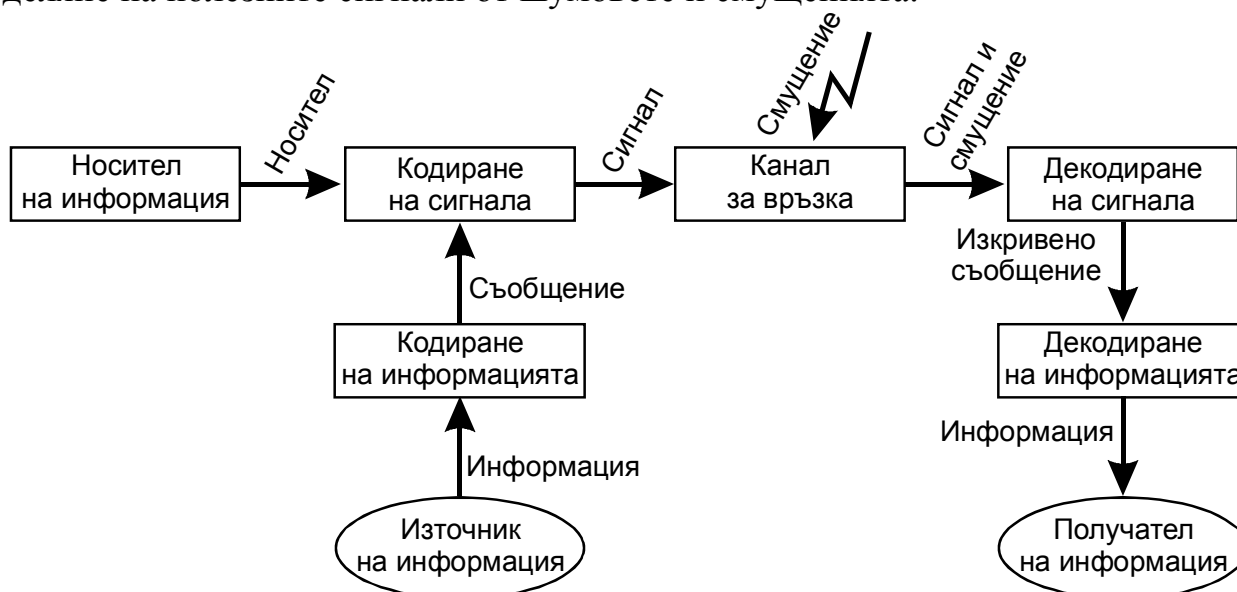


ПРЕОБРАЗУВАНЕ И ПРЕДАВАНЕ НА ИНФОРМАЦИЯТА

Основни понятия

Всеки обект или процес поражда *събития*, а те пораждат *съобщения*. Съобщението съдържа някакво сведение за дадено събитие. Например: сведение за стойността на напрежението, сведение за положението на определен прекъсвач; сведение за решението на оператора да се включи даден прекъсвач и др. Онази част от съобщението, която е нова за получателя (намалява съществуващата преди това неопределеност – ентропия), се нарича *информация*. За да се повиши сигурността при предаването на информацията, в съобщението се въвежда *излишък на информация*. Например: частта от съобщението, която съдържа информацията, се повтаря два пъти. След приемането на първата част втората част не съдържа новост и тя представлява излишък на информация. При грешно приемане на първата част втората част ще представлява новост за получателя. Информацията не може да се съхранява и предава без материален *носител на информация*, но тя не зависи от вида на носителя. Една и съща информация може да се съдържа в буквен текст, разпределение на намагнитеността на магнитен носител, разпределение на отразителната способност на оптически носител, в невроните на мозъка и т.н. За пренасянето на информация се използва физически процес, който се разпространява в пространството и си променя някои от характеристиките под въздействието на съобщението – например някои от параметрите на електромагнитни, светлинни, акустични или друг тип трептения. Преносителят на информация заедно с нанесеното върху него съобщение се нарича *сигнал*. Процесът на генериране на сигналите се нарича *кодиране*, а обратният процес – *декодиране*. Предаването на разстояние се извършва по *канал за връзка*, като нивото и видът на сигналите не играят съществена роля. Важно е интензитетът им да е достатъчен за надеждното отделяне на полезните сигнали от шумовете и смущенията.



Фиг. 2-1

На фиг. 2-1 е показана опростена структурна схема на предаване на информация от източника на информация до получателя на информация. Информацията се извлича от източника, като към нея се добавя излишък на информация и тя се кодира в съобщение. В зависимост от съдържанието на съобщението се изменят характеристиките на носителя на информация и се генерира сигнал, който се подава към канала за връзка. В канала за връзка върху излъчения сигнал действат различни смущаващи фактори, които изменят големината и формата му. Ще приемем, че в канала за връзка се получават смущаващи сигнали, които се сумират с полезния сигнал. В приемната страна сумарният сигнал (полезният заедно със смущенията) се декодира – отделя се съобщението от носителя на информация. Вследствие на смущенията съобщението може да е изменено. Наличието на достатъчен излишък на информация позволява в устройството за декодиране да се възстанови информацията в първоначалния обем.

Количество информация

Количеството информация е свързано с вероятността за получаване на едно или друго съобщение. Известните предварително съобщения съдържат нулево количество информация. Сигналите, носещи различно от нула количество информация, имат случаен, предварително неизвестен за получателя характер.

Вероятността p_{ike} да се случи определено събитие е равна на отношението на броя n_k на появяванията на събитието към общия брой n наблюдавани събития:

$$p_k = n_k / n .$$

Количеството информация I , съдържащо се в предаваното съобщение, зависи от вероятността p_1 да се получи точно това съобщение:

$$I = - \log_2 p_1 .$$

Колкото е по-малка вероятността или колкото е по-голяма неопределеността (ентропията) да се случи дадено събитие, толкова по-голяма ще бъде информацията, която се получава след приемане на съобщението за него.

Ако две събития са с еднаква вероятност, вероятността да се получи съобщение за едно от тях е $p_1 = 1/2$, а количеството информация, която се пренася, ще бъде

$$I = - \log_2 (1/2) = \log_2 2 = 1[\text{bit}] .$$

Приема се, че това е възможното най-малко количество информация и е равно на един **бит [bit]**.

Ако напрежението в дадена верига се изменя от 0 до 255V, при измерването му с точност 1V вероятността да се измери определена стойност е $p_1 = 1/256$. Количеството на информацията, която се получава след измерването ще бъде

$$I = - \log_2 (1/256) = \log_2 256 = 8 [\text{bit}] .$$

Аналогови и дискретни сигнали

Сигналите $s(t)$, с които се пренасят съобщенията, могат да бъдат аналогови и дискретни. Аналоговите сигнали са непрекъснати – между две съседни

моментни стойности винаги може да се измери или определи стойността на трета меж-динна стойност. Дискретните сигнали имат импулсен характер и могат да приемат ограничен брой различни стойности. Този брой стойности N_d е равен на броя на символите, с които се кодират съобщенията. При предаване на цифрови данни най-често се използва сигнал с две нива, с които се кодират цифрите **1** и **0**.

Количеството информация, която може да се пренесе с един аналогов сигнал, зависи от диапазона S на изменение на сигнала ($S = S_{\max} - S_{\min}$) и възможностите за разграничаване на отделните моментни стойности при приемането им – чувствителността или дискретността ΔS :

$$I = \log_2 [(S_{\max} - S_{\min}) / \Delta S] \text{ [bit]}.$$

При аналоговите сигнали смущенията изменят силно моментните стойности на сигнала и за да се ограничат възможностите за грешка, се увеличава стойността на ΔS (избира се да бъде значително по-голяма от амплитудата на смущенията). Това води до намаляване на количеството информация, което може да се пренесе.

При дискретните сигнали количеството информация е

$$I = \log_2 N_d \text{ [bit]}.$$

Дискретните сигнали се предпочитат поради по-голямата шумоустойчивост, простотата при тяхното преобразуване и обработка и запазването на точността при пренасянето на съобщенията.

Скорост на предаване на информацията

Скоростта на предаване на информацията се определя от количеството информация, което се предава по канала за връзка за 1s. Измерва се в [bit/s]. Тя зависи от редица фактори като характеристиките на канала за свързка, наличието на изкривявания и смущения, техническите характеристики на предаващата и приемащата апаратура и др. При предаване на дискретна информация, за да се характеризира бързодействието на приемо-предаващата апаратура, се използва понятието ***техническа скорост на предаване***. Стойността ѝ V се определя от броя на импулсите или времевите интервали, през които параметрите на сигнала са неизменни, изработени за единица време, и се измерва в бодове [Baud]:

$$V = 1/\tau \text{ [Baud]}, \text{ където } \tau \text{ е продължителността на един импулс.}$$

Ако броят на нивата на сигнала е N_d , скоростта на предаване на информацията V_I е

$$V_I = V * \log_2 N_d \text{ [bit/s]}.$$

При двоичен код скоростта на предаване на информацията V_I е равна на техническата скорост на предаване V .

Електрически характеристики на сигналите

Нива по напрежение и мощност – често нивата на сигналите вместо с абсолютните стойности (U_s , I_s , P_s) на напрежението, тока или мощността се оценяват със стойността на отношението на тези величини към някаква стойност, приета за стандартна, в логаритмичен мащаб.

За стандартна мощност е приета $P_O = 1 \text{ mW}$. Тогава

$$N_p \text{ [dBmW]} = 10 \cdot \log P_s / P_o = 10 \cdot \log P_c / 0.001 .$$

Единицата [dBmW] означава, че нивото е определено спрямо 1mW. Ако P_o е каква да е друга стойност, тогава N_p се нарича **относително ниво по мощност**.

Относителното ниво по напрежение е

$$N_U \text{ [dB]} = 20 \cdot \log U_s / U_o .$$

Ако относителното ниво по напрежение се определя спрямо стойност на напрежението $U_o = 0,775 \text{ V}$ и ако съпротивлението на товара, върху който се измерва напрежението, е $R_T=600\Omega$, стойностите на нивата по мощност и по напрежение ще са равни.

При някои случаи се избира за стандартна стойност $U_o = 1 \mu\text{V}$. Тогава

$$N_p \text{ [dB}\mu\text{V]} = 20 \cdot \log U_s / U_o = 10 \cdot \log U_s / 0.000001$$

Динамичен обхват на сигнала D_s – определя се като отношение между максималната P_{\max} и минималната P_{\min} моментна мощност на сигнала:

$$D_s \text{ [dB]} = 10 \lg P_{\max} / P_{\min} .$$

Пикфактор на сигнала Q – определя се чрез отношението между максималната мощност P_{\max} и средната мощност P_{cp} на сигнала:

$$Q_s \text{ [dB]} = 10 \lg P_{\max} / P_{cp} .$$

В реалните комуникационни системи нивата на сигналите по мощност са около 0 dB. Динамичният обхват на речевите сигнали е $D_c=20-35 \text{ dB}$; на музикални сигнали е $D_c>75-80 \text{ dB}$; на телевизионни сигнали $D_c= 40 \text{ dB}$. Пикфакторът за речеви сигнали е $Q=14-18 \text{ dB}$; за телевизионни сигнали $Q=4,8 \text{ dB}$.

Спектър на сигналите

Най-простият тип аналогов сигнал е периодичният сигнал, чиито моментни стойности са синусоидална (косинусоидална) функция на времето. Тя се представя аналитично в следния вид:

$$s(t) = S_m \sin (\omega t + \varphi_0) = S_m \cos (\omega t + \varphi_0 - 90^\circ) ,$$

където S_m е амплитудата на сигнала; φ_0 – началната фаза, $\omega = 2\pi f$ – кръгова-та честота, f – честотата на сигнала, а $T = 1/f$ – периодът на сигнала.

Всеки периодичен несинусоидален сигнал може да се представи като сума от безкраен ред синусоидални сигнали (хармоници) с различни амплитуди A_n и честоти, кратни на честотата ω_1 на несинусоидалния сигнал:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \cos(n\omega_1 t - \varphi_n) \text{ или}$$

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cdot \cos n\omega_1 t + b_n \cdot \sin n\omega_1 t) , \text{ където } n = 1, 2, 3, 4 \text{ и т.н.};$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}; \quad \text{tn } \varphi_n = b_n/a_n ;$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) dt; b_0 = 0;$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cdot \cos n\omega_1 t dt; (n = 0, 1, 2, \dots);$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cdot \sin n\omega_1 t dt; (n = 1, 2, \dots);$$

Множеството от амплитудите A_n се нарича **амплитуден спектър** $S(\omega)$ на **сигнала** $s(t)$. С увеличаване на честотата на хармоника амплитудата му намалява. Спектрите на периодичните несинусоидални сигнали се различават по обвивката на спектъра – зависимостта на намаляване на амплитудите от номера на хармоника или честотата му.

В повечето случаи несинусоидалният сигнал се представя като сигнал $S_N(t)$, който е сума от краен брой хармоници. Това се основава на факта, че приносът на хармоничните $[s(t) - S_N(t)]$ над определена честота ω_{max} в точността на представяне на несинусоидалния сигнал е незначителен и те могат да се пренебрегнат.

За неперидични сигнали се въвежда понятието **спектрална плътност** :

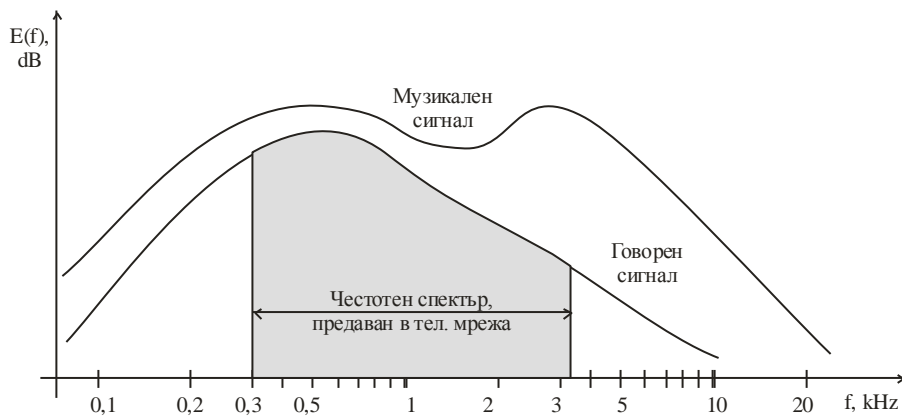
$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot \exp(-j\omega t) dt .$$

Графичната зависимост на $|S(\omega)|$ от честотата е амплитудният спектър на неперидичния сигнал. За ширина на спектъра на неперидичния сигнал се приема честотният интервал, в който е съсредоточена по-голямата част от мощността му (например 90%, 95% или 99%) или честотният интервал, в който модулът на спектралната плътност $S(\omega)$ е не по-малък от предварително зададена стойност – например интервалът, в който модулът се изменя от $|S_{max}|$ до $0,1 |S_{max}|$.

Периодичният сигнал има дискретен спектър, а неперидичният – непрекъснат спектър. Във връзка с това, че плътността на спектъра намалява с увеличаване на честотата, реалният спектър на гармоничните на даден неперидичен сигнал се ограничава до определена честота ω_{max} или f_{max} , която за импулсен сигнал с продължителност $t_{и}$ се определя от израза $\omega_{max} * t_{и} / 2 = \pi$ или $f_{max} * t_{и} = 1$. От този израз следва изводът, че колкото по-тесен е импулсът, толкова спектърът му е по-широк. Например спектралната плътност на правоъгълен импулс $s(t)$ с амплитуда U и продължителност $t_{и} = t_2 - t_1$, разположен симетрично спрямо момента $t = 0$ ще бъде

$$S(\omega) = \frac{2U}{\omega} \sin \frac{\omega - t_{и}}{2}, \text{ като спектралната плътност за нулевата честота е}$$

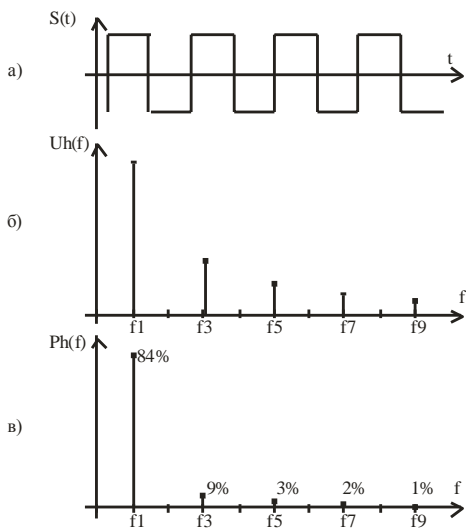
$$S(0) = U \cdot t_{и} .$$



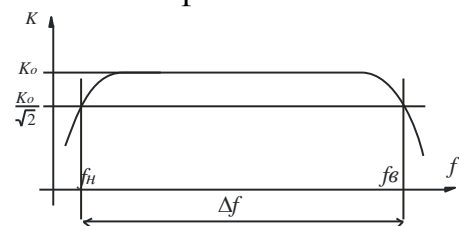
фиг. 2-2

На фиг. 2-2 са показани енергийните спектри на речеви и музикален сигнал. **Ефективна ширина на спектъра** или **честотна лента на сигнала** Δf_{eff} се нарича лентата от честоти, в която се разполага основната част (например 90% или 99%) от енергията на сигнала. Често в комуникационната техника сигналите се разделят на теснолентови и широколентови. Точна граница за такова разделяне трудно може да бъде поставена, но обикновено за разграничителна стойност за ширината на честотната лента се приема стойността 100kHz. Съгласно препоръките на междуна-родните стандартизационни организации за речеви сигнал при приемлива разбирае-мост честотната лента е $\Delta f_{\text{eff}} = 0.3\text{kHz} \div 3.4\text{kHz}$ (може от 0.4kHz до 1.1 или 1,8kHz, но без да се различават индивидуалните гласови особености). За музика честотната лента е $\Delta f_{\text{eff}} = 20\text{Hz} \div 20\text{kHz}$. За телевизия $\Delta f_{\text{eff}} = 50\text{Hz} \div 6\text{MHz}$.

Влияние на характеристиките на канала за връзка



фиг. 2-3

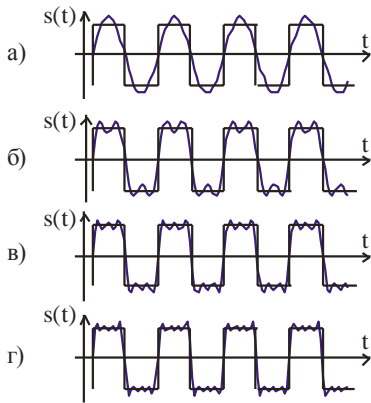


фиг. 2-4

На фиг.2-3б е даден спектърът на последователност от импулси с две нива (+U, -U), като на фиг. 2-3а са изобразени амплитудите, а на фиг. 2-3в - енергията на на хармоничните до 9-тата. Вижда се, че основната част от енергията на сигнала (84%) е съсредоточена в първата хармонична, а приносът на всяка следваща намалява силно с увеличаването на честотата.

Възможностите на канала за връзка се оценяват с честотната лента на сигналите, които могат да преминат през него. Тя се определя от честотната зависимост на коефициента на предаване на канала за връзка

$K = U_o / U_i$, където U_o е напрежението на входа на канала за връзка, а U_i – това на изхода му. Долната - f_n и горната f_g гранична честота (фиг. 2-4) са честотите, при които коефициентът на предаване спада на ниво 0,7 от този при средни честоти. Честотната лента Δf_g на пропускане на канала ще бъде $\Delta f_k = f_g - f_n$.



фиг. 2-5

Ако честотната лента на канала пропуска всички хармонични от спектъра на сигнала, той ще премине през канала без изкривявания. На фиг. 2-5 е показано изменението на формата на сигнала, ако се пропуска само първата хармонична (2-5а), само хармоничните до 3-тата (2-5б), само до 5-тата (2-5в) и само до 7-мата (2-5г). При предаване на импулсния сигнал със скорост $V[\text{Bd}]$ за f_1 (честотата на първата хармонична) се получава

$$f_1 = V / 2, [\text{Hz}].$$

За запазване на формата на сигнала е прието да

се предава спектърът до третата хармонична на сигнала. Тогава за честотната лента на канала се получава

$$\Delta f_k = f_3 = 3 \cdot V / 2, [\text{Hz}].$$

Ако е известна честотната лента на канала Δf_k и броят на нивата M , с които се кодира пренасяната информация, по формулата на Найкуист се определя теоретичната възможна скорост на пренасяне на информацията по дадения канал:

$$V_I = 2 \cdot \Delta f_k \cdot \log_2 M, [\text{bit/s}].$$

Смущенията в канала за връзка се оценяват с отношението сигнал/шум на входа на приемника – P_S/P_N , където P_S е мощността на полезния сигнал, а P_N е мощността на смущенията. При наличието на смущения в канала теоретичната възможна скорост на пренасяне на информацията се определя по формулата на Хартли и Шенън:

$$V_I = 2 \cdot \Delta f_k \cdot \log_2 (1 + P_S/P_N), [\text{bit/s}].$$