

# *Decybel, bit, bajt i inne jednostki miar stosowane w telekomunikacji*

*Zdzisław Kuśmirek*

*W artykule przedstawiono wielkości, jednostki miar, ich nazwy, symbole (oznaczenia), przedrostki i definicje, stosowane w telekomunikacji, nauce i technice informacyjnej. Szczegółowo rozpatrzono logarytmiczne wielkości stosunkowe ich specjalistyczne jednostki, oznaczenia i definicje. Ponadto przedstawiono nowe nazwy i ich oznaczenia, przyjęte w normach ISO/IEC i EN, binarnych wielokrotności używanych w elektryce, głównie w technice przetwarzania i transmisji danych.*

*wielkości, jednostki miar, poziom mocy, dziesiętne i binarne prefiksy, telekomunikacja*

## **Wprowadzenie**

W telekomunikacji, podobnie jak w innych dziedzinach nauki, techniki i handlu, powszechnie znanymi jednostkami miar są metr – jednostka długości i kilogram – jednostka masy. Stanowiły one podstawę systemu metrycznego jednostek miar, przyjętego w 1875 r. w wyniku podpisania Konwencji Metrycznej przez 17 państw. Polska przystąpiła do Konwencji w 1925 r. Obecnie Konwencja liczy 51 państw członkowskich i 20 państw stowarzyszonych.

## **Międzynarodowy Układ Jednostek Miar**

Międzynarodowy Układ Jednostek Miar, w skrócie układ SI <sup>①</sup>, opiera się na siedmiu jednostkach podstawowych. Są to: metr (m), kilogram (kg), sekunda (s), amper (A), kelwin (K), mol (mol) i kandela (cd).

Z iloczynów podstawowych jednostek tworzy się pochodne jednostki miar, np.: radian (rad), herc (Hz), niuton (N), paskal (Pa), wat (W), wolt (V), om ( $\Omega$ ), stopień Celsjusza ( $^{\circ}\text{C}$ ), tesla (T), henr (H) i inne. Służą one do wyrażania miar wielu wielkości fizycznych bezpośrednio zależnych od wielkości podstawowych, zgodnie z prawami nauki.

Wymienione jednostki układu SI nie wystarczają jednak do opisu wszystkich występujących zjawisk, dlatego stosuje się również inne wybrane jednostki miar nie należące do układu SI. Są nimi, np.: hektar (ha), milimetr słupa rtęci (mmHg), watogodzina (Wh), neper (Np), bel (B) itp.

Te trzy wskazane grupy jednostek oraz ich dziesiętne podwielokrotności i wielokrotności tworzą zestaw legalnych jednostek miar dopuszczonych do stosowania w aktach oraz czynnościach urzędowych i zawodowych w Polsce [1], [2].

<sup>①</sup> SI (*Système International d'Unités*) – obowiązuje w Polsce od 1967 r.

Wielokrotności i podwielokrotności jednostek miar układu SI są tworzone w systemie dziesiętnym (tabl. 1). Nazwa (oznaczenie) przedrostka jest dołączana do nazwy (oznaczenia) jednostki miary i umieszczana bezpośrednio przed nią bez spacji.

**Tabl.1. Przedrostki do tworzenia dziesięciokrotnych wielokrotności i podwielokrotności jednostek miar układu SI**

Przedrostek		Mnożnik	Przedrostek		Mnożnik
nazwa	oznaczenie		nazwa	oznaczenie	
jotta	Y	$10^{24}$	decy	d	$10^{-1}$
zetta	Z	$10^{21}$	centy	c	$10^{-2}$
eksa	E	$10^{18}$	mili	m	$10^{-3}$
peta	P	$10^{15}$	mikro	$\mu$	$10^{-6}$
tera	T	$10^{12}$	nano	n	$10^{-9}$
giga	G	$10^9$	piko	p	$10^{-12}$
mega	M	$10^6$	femto	f	$10^{-15}$
kilo	k	$10^3$	atto	a	$10^{-18}$
hekto	h	$10^2$	zepto	z	$10^{-21}$
deka	da	$10^1$	jokto	y	$10^{-24}$

Do nazwy oznaczenia jednostki dołącza się tylko jeden przedrostek, np.  $10^{-9}$  F = 1 nF, a nie 1 m $\mu$ F. Mnożnik wyrażony nazwą (oznaczeniem) przedrostka odnosi się więc do jednostki miary w potęgde pierwszej. Wykładnik potęgowy odnoszący się do jednostki miary dotyczy również mnożnika wyrażonego przedrostkiem, np.  $1 \text{ km}^2 = (10^3 \text{ m})^2 = 10^6 \text{ m}^2$ .

W wyjątkowy sposób tworzy się dziesiętne wielokrotności i podwielokrotności jednostki masy – kilograma. Przedrostki oznaczające wielokrotności dołącza się do słowa „gram” (oznaczenia „g”) np.:  $10^3 \text{ kg} = 10^6 \text{ g} = 1 \text{ Mg}$ .

Nie tworzy się dziesiętnych wielokrotności i podwielokrotności jednostek miar spoza systemu dziesiętnego, dotyczy to jednostek: czasu (minuty, godziny, doby), kąta płaskiego (stopnia, minuty, sekundy), ciśnienia (mm słupa rtęci) i stopnia Celsjusza.

Do nazw liczb wielkich (wielokrotności) stosuje się „zasadę szóstki” – dzieli się liczbę wielką na grupy sześciocyfrowe, wówczas nazwy od miliona kończą się na *-lion*, a zaczynają łacińską nazwą potęgi:  $(10^6)^2$  – bilion,  $(10^6)^3$  – trylion. Nazwy liczb (wielokrotności) pośrednich, będących tysiąc razy większymi od wymienionych, od miliarda kończą się na *-liard*, np.:  $(10^{15})$  – biliard,  $10^{21}$  – tryliard. Nazwy liczb ułamkowych (podwielokrotności) tworzy się jako części jedności: dziesiąta, setna, tysięczna, milionowa, miliardowa, bilionowa itd. Powszechnie są znane specjalne nazwy dla części: setnej – procent (%) i tysięcznej – promil (‰). W metrologii przyjęto dla podwielokrotności: milionowej ( $10^{-6}$ ) skrót ppm (*parts per milion*) oraz bilionowej ( $10^{-12}$ ) ppb (*parts per billion*), jednak używanie oznaczeń podwielokrotności większych od milionowej jest nie wskazane [3], zależnie bowiem od języka publikacji może mieć różne znaczenie.

Zastosowanie logarytmów do określenia parametrów środowiska, urządzeń lub dróg przesyłowych różnorodnych sygnałów przyczyniło się do powstania i rozwoju wielu specyficznych wielkości (tzw. wielkości logarytmicznych) oraz ich jednostek miar, takich jak neper, bel, oktawa, dekada, bit, bajt, erlang itp., definiowanych przez międzynarodowe organizacje normalizacyjne (ISO, ITU, IEC, ETSI) [2], [4] – [8]. Nazwy i oznaczenia tych jednostek miar powstawały w różny sposób, często od nazwisk odkrywców oraz naukowców z danej dziedziny nauki i techniki.

## Wielkości logarytmiczne stosowane w telekomunikacji

Do opisu stanu otaczającej nas przestrzeni lub parametrów urządzeń występujących w technice wykorzystuje się tzw. wielkości stosunkowe (bezwymiarowe, ściśle o wymiarze równym jedności). Jednostki miary tych wielkości czasem mają nazwy i oznaczenia podobne do siebie. Bardzo często jest to powodem trudności ze zrozumieniem opisów technicznych (głównie instrukcji).

W telekomunikacji, z powodu występującej dużej dynamiki zjawisk oraz logarytmicznej skali czułości zmysłów ludzkich, są powszechnie stosowane logarytmiczne wielkości i ich specyficzne jednostki miar. Wielkości te wykorzystuje się przy określaniu wartości wielkości proporcjonalnych do przesyłanej energii (wielkości mocy) lub wielkości polowych (których kwadrat jest proporcjonalny, np. do mocy).

**Wielkość logarytmiczna  $a$**  jest zapisywana jako iloczyn logarytmu (przy podstawie  $b$ ) stosunku dwu wielkości  $A_1/A_2$  i współczynnika  $K$ :

$$a = K \log_b \frac{A_1}{A_2}. \quad (1)$$

Wielkość logarytmiczna jest to wielkość określana jako stosunek dwu wartości wielkości fizycznych, które powinny być ściśle sprecyzowane zarówno pod względem charakteru, jak i sposobu ich wyznaczenia.

Wielkość fizyczna  $A$ , zależnie od jej relacji do strumienia przesyłanej energii, jest wprost proporcjonalna do tej energii (np. do mocy elektrycznej) i wówczas jest nazywana wielkością energetyczną lub wielkością mocową  $W$ . Jeżeli zaś jest proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z niej (np. do napięcia lub prądu elektrycznego), wtedy jest nazywana wielkością polową  $F$ .

Dla układów liniowych, każdą wielkość mocową  $W$  można przedstawić jako iloczyn dwu wielkości polowych, np.  $F_a$  i  $F_b$  lub jako kwadrat jednej z nich. W tym ostatnim przypadku w równościach występują odpowiednie stałe  $C_a$  lub  $C_b$ :

$$W = F_a F_b = C_a F_a^2 = C_b F_b^2. \quad (2)$$

W związku z powyższym, dla wielkości logarytmicznych energetycznych (mocowych)  $a_W$  i polowych  $a_F$  otrzymuje się następujące zależności:

$$a_W = K_W \log_b \frac{W_1}{W_2} = 2K_W \log_b \frac{F_1}{F_2} + K_W \log_b \frac{C_1}{C_2}, \quad (3)$$

$$a_F = K_F \log_b \frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{2} K_F \log_b \frac{W_1}{W_2} - \frac{1}{2} K_W \log_b \frac{C_1}{C_2}, \quad (4)$$

$$a_W = a_F, \text{ gdy } C_1 = C_2 \text{ i } K_W = (1/2)K_F.$$

Wartość dowolnej wielkości energetycznej (mocowej) lub polowej można określić przez podanie liczby, stanowiącej również miarę wielkości logarytmicznej, zwanej **poziomem bezwzględnym lub absolutnym** (oznaczanym najczęściej  $p$  lub  $L$ ).

**Poziom bezwzględny** jest wyrażany przez logarytm stosunku wartości wielkości  $A$  do wartości znamionowej tej wielkości  $A_n$  przyjętej za wartość odniesienia:

$$p = K \log_b \frac{A}{A_n}. \quad (5)$$

Biorąc pod uwagę zależności (5) i (1) można dowolną wielkość logarytmiczną  $a$  określić (wyznaczyć) przez podanie różnicy poziomów  $\Delta p$ :

$$a = K \log_b \frac{A_1}{A_n} - K \log_b \frac{A_2}{A_n} = p_1 - p_2 = \Delta p, \quad (6)$$

gdzie:  $p_1$  i  $p_2$  – bezwzględne poziomy wielkości  $A_1$  i  $A_2$ .

Przyjmując poziom  $p_2 = p_0$ , gdzie  $p_0$  jest poziomem odniesienia, np. dla drogi przesyłowej sygnałów elektrycznych, otrzymuje się następujący rodzaj wielkości logarytmicznej, tzw. **poziom względny (relatywny)  $p_r$** :

$$p_r = p_1 - p_0. \quad (7)$$

Wartości poziomów, obliczane według zależności (5), (6) i (7), będą poprawne, jeżeli wartości wielkości mocy lub napięć (w liczniku i mianowniku) będą wyznaczone (zmierzone) w taki sam sposób.

Zależnie od rodzaju zastosowanych logarytmów, tj: naturalnych (o podstawie  $e$ ), dziesiętnych (o podstawie 10) lub binarnych (o podstawie 2), otrzymuje się odpowiednio jednostki miar wielkości logarytmicznych: neper (Np), bel (B) i dekada oraz oktawa.

**Neper**<sup>①</sup> (Np) jest logarytmem naturalnym stosunku dwu wielkości energetycznych (mocowych):

$$a_W = K_W \log_e \frac{W_1}{W_2} = 1\text{Np}, \quad (8)$$

gdy  $W_1 / W_2 = e^2 = 7,3886\dots$ , wówczas  $K_W = 1/2$ .

**Bel**<sup>②</sup> (B) jest logarytmem dziesiętnym stosunku dwu wielkości energetycznych (mocowych):

$$a_W = K_W \log_{10} \frac{W_1}{W_2} = 1\text{B}, \quad (9)$$

gdy  $W_1 / W_2 = 10$ , wówczas  $K_W = 1$ .

① Na cześć Johna Napiera (1550–1617) matematyka szkockiego, twórcy logarytmów naturalnych.

② Od nazwiska Aleksandra Grahama Bella (1847–1922), wynalazcy telefonu.

W praktyce stosuje się dziesiątą podwielokrotność bel – **decybel** (dB), co oznacza, że dla wielkości mocowych  $W_1/W_2 = 1,2589\dots$

**Oktawa** jest logarytmem binarnym stosunku dwu częstotliwości:

$$a_f = K_f \log_2 \frac{f_2}{f_1} = 1 \text{ oktawa} , \quad (10)$$

gdy  $f_2/f_1 = 2$  , wówczas  $K_f = 1$ .

**Dekada** jest logarytmem dziesiętnym stosunku dwu częstotliwości:

$$a_f = K_f \log_{10} \frac{f_2}{f_1} = 1 \text{ dekada} , \quad (11)$$

gdy  $f_2/f_1 = 10$ , wówczas  $K_f = 1$ .

### **Bel, decybel i ich zastosowanie**

**Bel** (B) określa stosunek dwu wielkości mocy, wyrażony jako dziesiętny logarytm tego stosunku. Jednostka ta jest rzadko używana ze względu na to, że odpowiada stosunkowi 10 : 1. W praktyce jest stosowany **decybel**, będący dziesiątą częścią bel (podwielokrotność decy-), 1 dB = 0,1 B, co odpowiada stosunkowi 1,2589 : 1.

**Decybel** (dB)<sup>①</sup> jest najczęściej używany do wyrażania stosunku dwu wielkości polowych (takich jak napięcie lub prąd elektryczny, ciśnienie akustyczne, natężenie pola elektrycznego itp.), których kwadrat w liniowych systemach jest proporcjonalny do mocy. Aby otrzymać taką samą wartość liczbową stosunku tych wielkości jak dla stosunku mocy, należy pomnożyć logarytm stosunku wielkości polowych przez współczynnik 20, przy założeniu, że impedancje w obu punktach systemu są sobie równe. Stosunek logarytmiczny dwu wielkości polowych 1 dB odpowiada stosunkowi liniowemu 1,1220 : 1.

Relacja między wartością stosunku prądu lub napięcia a odpowiadającą im wartością stosunku mocy zależy od impedancji, na których one występują. Dlatego użycie decybela w przypadku gdy impedancje nie są sobie równe, jest niecelowe bez określenia tych impedancji, np. jeśli:

$P_1$  i  $P_2$  reprezentują dwie moce, to ich logarytmiczny stosunek w decybelach wynosi:

$$10 \lg (P_1 / P_2), \quad (12)$$

$P_1$  i  $P_2$  są to moce wydzielane przez prądy  $I_1$  i  $I_2$  na impedancjach  $R_1$  i  $R_2$ , to:

$$10 \lg (P_1 / P_2) = 10 \lg ((I_1^2 R_1) / (I_2^2 R_2)) = 20 \lg (I_1 / I_2) + 10 \lg (R_1 / R_2). \quad (13)$$

Dla przypadku gdy są określone napięcia  $U_1$  i  $U_2$  na impedancjach  $R_1$  i  $R_2$ , stosunek mocy wynosi:

$$10 \lg (P_1 / P_2) = 10 \lg ((U_1^2 / R_1) / (U_2^2 / R_2)) = 20 \lg (U_1 / U_2) + 10 \lg (R_2 / R_1). \quad (14)$$

Decybel jest także jednostką tłumienia (tłumiennoci lub strat) – zmniejszenia mocy elektrycznej, elektromagnetycznej lub akustycznej między dwoma punktami toru (układu lub ośrodka). Konieczne przy tym jest podawanie precyzyjnej definicji stosunku mocy (oraz impedancji, warunków otoczenia

<sup>①</sup> W literaturze anglosaskiej decybel jest oznaczany niekiedy symbolem db.

i pomiaru itp.). Jest on też jednostką wzmocnienia (wzmocności) – zwiększenia mocy elektrycznej, elektromagnetycznej lub akustycznej, między dwoma punktami toru (układu, systemu lub ośrodka). W tym przypadku również jest konieczne podawanie precyzyjnej definicji stosunku mocy (oraz impedancji, warunków otoczenia i pomiaru itp.).

Decybel jest także jednostką poziomu danej wielkości wyrażaną przez logarytm stosunku jej wartości liczbowej do wartości przyjętej za wartość odniesienia, inaczej mówiąc, przez porównanie jej w skali logarytmicznej z wielkością przyjętą za odniesienie. Porównywane mogą być jedynie wielkości jednorodne (tzn. określane w ten sam sposób i mające ten sam wymiar fizyczny). Mogą to być wielkości pojedyncze (proste), jak moc  $P$ , lub złożone, jak np. stosunek mocy  $P$  do pola powierzchni  $s$  ( $P/s$ ).

W przypadku gdy odniesienie ma stałą wartość, jak np. 1 W, 1 mW, 1  $\mu$ W, 1 V, 1  $\mu$ V, 1  $\mu$ W/m<sup>2</sup>, 20  $\mu$ Pa, 1  $\mu$ V/m, jest ono bezwzględny (absolutny) poziom odniesienia. Wówczas do oznaczenia dB jest dodawana dodatkowa informacja (jako przyrostek) o wielkości odniesienia – jej wartości i jednostce, umieszczana w nawiasie bezpośrednio dB (1 W). W skrótowym zapisie 1 oraz nawias są pomijane i pozostaje dBW. Dla przypadku dB (1 mW), powszechnie stosowanego do oznaczania bezwzględnych (absolutnych) poziomów mocy (elektrycznej lub optycznej) w telekomunikacji, pozostaje jedynie przyrostek m (dBm).

W celu uściślenia różnych warunków odniesienia i pomiarów, w opisie relacji wielkości mocy (elektrycznej) występujących wzdłuż drogi transmisji, przyrostek m zwiększa swoją długość, a decybel otrzymuje nowe znaczenia i oznaczenia, np.: dBm0, dBm0p, dBm0s.

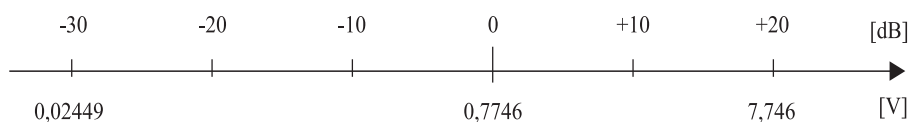
Podobnie zmieniają się oznaczenia bezwzględnego poziomu napięcia (względem napięcia odniesienia): dB(1 V) – dBV, dB(1  $\mu$ V) – dB $\mu$ , dB( $\sqrt{0,6}$  V) – dBu, w którym napięcie  $\sqrt{0,6}$  V = 0,7746 V jest nominalnym napięciem odniesienia w pasmie akustycznym, praktycznie niezależnym od częstotliwości, występującym na obciążeniu 600  $\Omega$ , w którym rozpraszana jest moc 1 mW.

Wartości odniesienia napięć i prądów odpowiadających nominalnej wartości mocy 1 mW dla typowych wartości rezystancji (impedancji) systemów telekomunikacyjnych podano w tabelicy 2.

**Tabl. 2. Wartości napięć i prądów na obciążeniu dla mocy odniesienia 1mW**

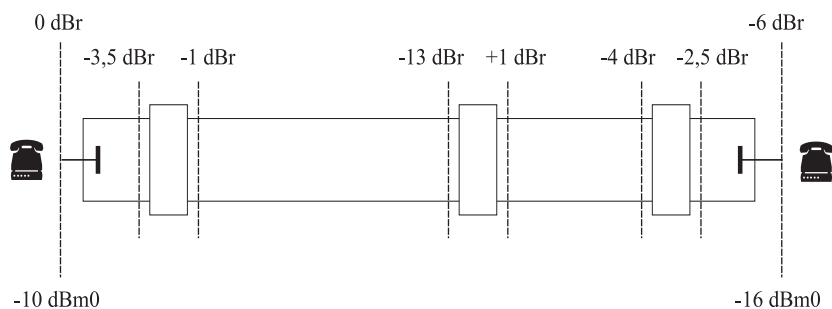
Wartość odniesienia	na rezystancji [ $\Omega$ ]						
	50	75	100	124	135	150	600
Napięcia [mV]	223,6	273,9	316,2	352,1	367,4	387,3	774,6
Prądu [mA]	4,472	3,651	3,162	2,840	2,722	2,582	1,291

**Poziom bezwzględny** danej wielkości (mocy i napięcia elektrycznego) określa jej wartość podawaną w sposób pośredni w mierze logarytmicznej (rys. 1). Wartość poziomu bezwzględnego równa 0 dBm (0 dBu) oznacza zrównanie wartości danej wielkości z jej wartością odniesienia (*u – untermimated*). Ujemne wartości poziomów bezwzględnych oznaczają, że określana wartość wielkości jest mniejsza od wartości odniesienia, natomiast dodatnie wartości poziomów – wartości wielkości większe od wartości odniesienia.



Rys. 1. Skala wartości napięcia: logarytmiczna (dB) i liniowa (V)

**Poziom względny (relatywny)** danej wielkości (mocy lub napięcia elektrycznego) określa w mierze logarytmicznej (w dB), stosunek mocy w danym punkcie układu (systemu telekomunikacyjnego) względem mocy w punkcie przyjętym za punkt odniesienia. Poziom względny w punkcie odniesienia jest równy 0 dB. Ujemne wartości poziomów względnych oznaczają zmniejszanie wartości (mocy lub napięcia elektrycznego), natomiast dodatnie wartości – zwiększanie (względem jej wartości w punkcie odniesienia) przy rozpatrywaniu przebiegu sygnałów wzdłuż systemu telekomunikacyjnego (rys. 2).



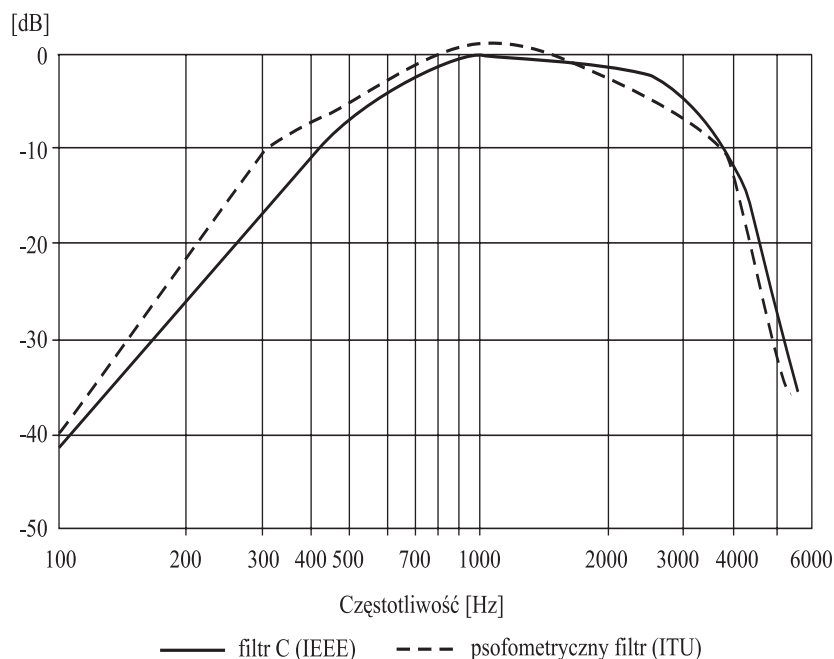
Rys. 2. Poziomy względne (relatywne) w dB i zredukowane w dBm0 na planie drogi przesyłowej (przykład)

**Poziom zredukowany** danej wielkości (mocy lub napięcia elektrycznego) określa poziom bezwzględny (mocy w dBm0 lub napięcia w dBu0) w danym punkcie (miejscu) układu (systemu telekomunikacyjnego) odniesiony do poziomu bezwzględnego w punkcie układu o poziomie względnym równym 0 dB.

Decybel bez dodatkowych przyrostków jest używany także do wyrażania różnicy dwóch poziomów mocy lub stosunku dwóch mocy, bądź dwu gęstości mocy lub dwu innych wielkości wprost proporcjonalnych do mocy.

**Odstęp poziomów (różnica dwóch poziomów)** jest to algebraiczna różnica poziomów mocy dwóch przebiegów (sygnałów) w określonym miejscu (punkcie) drogi przesyłowej lub ośrodka.

W przypadku gdy sygnał badany jest szumem (zakłóceniem) występującym na drodze przesyłowej użytecznych sygnałów transmisji głosowej (telefonicznej lub radiowej), wyznacza się **bezwzględny poziom mocy psfometrycznej lub napięcia psfometrycznego**. Do tego celu wykorzystuje się psfometr, który jest woltomierzem z wbudowanym filtrem psfometrycznym, umożliwiającym „zważenie” stopnia oddziaływania zakłóceń na sygnał użyteczny w funkcji częstotliwości w pasmie akustycznym (rys. 3) względem częstotliwości odniesienia 800 lub 1000 Hz. Obecnie stosowane są dwa rodzaje psfometrycznych filtrów do oceny zakłóceń w kanałach telefonicznych, których charakterystyki są kształtowane zgodnie z zaleceniem ITU-T [6] lub normą IEEE [7].



Rys. 3. Porównanie charakterystyk filtrów wazących szumy mierzone psfometrem wedlug normy IEEE [7] i zalecenia ITU-T O.41 [6]

Jednostki bezwzględnego poziomu mocy (napięcia) mają dodatkowe litery p (psfometrycznie), q (wartości quasiszczytowe napięć) oraz s (dla transmisji radiofonicznej) dodawane w przyrostku do jednostki głównej dBm (dBu).

#### Przykłady oznaczeń jednostek dB stosowanych w literaturze [4]-[8]

- dBW – jednostka bezwzględnego poziomu mocy odniesionej do mocy 1 W
- dBm – jednostka bezwzględnego poziomu mocy odniesionej do mocy 1 mW
- dBk – jednostka bezwzględnego poziomu mocy odniesionej do mocy 1 kW
- dBm0 – jednostka bezwzględnego poziomu mocy odniesionej do mocy 1 mW zredukowanego względem punktu o poziomie względnym mocy 0 dBr
- dBm0p – jednostka bezwzględnego poziomu mocy psfometrycznej (ważonej dla transmisji telefonicznej wg ITU-T [6]) odniesionej do mocy 1 mW, zredukowanego względem punktu o poziomie względnym mocy 0 dBr
- dBm0s – jednostka bezwzględnego poziomu mocy odniesionej do 1 mW, zredukowanego względem punktu o poziomie względnym mocy 0 dBr, dla transmisji radiofonicznej
- dBm0ps – jednostka bezwzględnego poziomu mocy psfometrycznej (ważonej wg ITU-T [6]) odniesionej do 1 mW, zredukowanego względem punktu o poziomie względnym mocy 0 dBr dla transmisji radiofonicznej



- dBV – jednostka bezwzględnego poziomu napięcia odniesionego do napięcia 1 V
- dB $\mu$ V – jednostka bezwzględnego poziomu napięcia odniesionego do napięcia 1  $\mu$ V
- dBu – jednostka bezwzględnego poziomu napięcia odniesionego do napięcia 0,7746 V
- dBu0 – jednostka bezwzględnego poziomu napięcia odniesionego do napięcia 0,7746 V, zredukowanego względem punktu o poziomie względnym 0 dBr
- dBu0s – jednostka bezwzględnego poziomu napięcia odniesionego do napięcia 0,7746 V, zredukowanego względem punktu o poziomie względnym 0 dBrs, dla transmisji radiofonicznej
- dBqps – jednostka bezwzględnego poziomu napięcia psfometrycznego odniesionego do napięcia 0,7746 V, dla transmisji radiofonicznej
- dBq0ps – jednostka bezwzględnego poziomu napięcia psfometrycznego odniesionego do napięcia 0,7746 V, zredukowanego względem punktu o poziomie względnym 0 dBrs, dla transmisji radiofonicznej
- dBq0s – jednostka bezwzględnego poziomu napięcia nieważonego odniesionego do napięcia 0,7746 V, zredukowanego względem punktu o poziomie względnym 0 dBrs, dla transmisji radiofonicznej
- dBr – jednostka względnego poziomu (mocy lub napięcia)
- dBrs – jednostka względnego poziomu (mocy lub napięcia), dla transmisji radiofonicznej
- dBA – jednostka bezwzględnego poziomu ciśnienia akustycznego ważonego (filtr A) odniesionego do ciśnienia 20  $\mu$ Pa, obecnie coraz częściej, szczególnie w akustyce (np. normach PN-EN), nie dodaje się przyrostka A
- dBe – jednostka bezwzględnego poziomu natężenia pola elektrycznego odniesionego do natężenia pola 1  $\mu$ V/m
- dBc – jednostka bezwzględnego poziomu mocy sygnału zakłócającego w odniesieniu do mocy sygnału nośnego
- dB<sub>i</sub> – jednostka wzmocnienia anteny względem anteny izotropowej
- dB<sub>d</sub> – jednostka wzmocnienia anteny względem dipola półfalowego.

W USA do oznaczeń jednostki poziomu szumów (zakłóceń) są stosowane również inne przyrostki, np.:

- dB<sub>rn</sub> – jednostka bezwzględnego poziomu szumów, odniesionego do mocy 1 pW
- dB<sub>rnC</sub> – jednostka bezwzględnego poziomu szumów ważonych (filtr C wg [7]), odniesionego do mocy 1 pW
- dB<sub>rap</sub> – jednostka bezwzględnego poziomu natężenia dźwięku, odniesionego do natężenia 1 pW/m<sup>2</sup>.

Przy pomiarze napięć szumów występujących w technice radiowej, w zapisie dźwięków i transmisji radiofonicznej wykorzystuje się układy pomiarowe z filtrami ważącymi, które mierzą wartości „quasi” (prawie) – szczytowe napięć, w odniesieniu do wartości napięcia 0,7746 V dla 1 kHz na 600  $\Omega$ , a ich poziomy są wyrażane w jednostkach dBqps.

### **Inne specjalistyczne jednostki stosowane w telekomunikacji i informatyce**

**Bit** (bit) jest podstawową jednostką ilości informacji. Każdy bit zapisuje („pamięta”) jeden z dwóch możliwych stanów 0 lub 1, włączone lub wyłączone, odpowiedzi na jedno pytanie *tak* lub *nie*. Bit jest akronimem słów *binary digit* – cyfra binarna (dwójkowa).

**Bit** (bit) jest również logarytmiczną jednostką pojemności pamięci, równą logarytmowi o podstawie 2 (logarytm binarny – lb) z liczby możliwych stanów tej pamięci lub liczby miejsc składowania (przechowywania) danych. Jeśli dane są przechowywane w postaci binarnej, dla miejsca (komórki) przechowywania 8-bitowego może zachodzić  $2^8$  stanów, a więc jej pojemność wyniesie lb  $2^8 = 8$  bitów. W przypadku gdy miejsce tej pamięci przechowuje (zapamiętuje) jedną literę, może mieć 26 różnych stanów, tzn. pojemność takiej pamięci wynosi lb  $26 = 4,7004$  bitów.

Pamięć można zatem scharakteryzować za pomocą liczby składowanych w niej elementów: prostych – cyfr binarnych – bitów lub elementów złożonych z: 8 bitów – bajtów (oktetów), 16, 32 lub 64 bitów – słów (maszynowych).

**Bajt** <sup>①</sup> (B) – ang. byte - *binary term* (element binarny) – jest jednostką zapisu danych („porcji” informacji) w pojemności pamięci (reprezentujących pojedynczy znak, taki jak litera, cyfra lub znak przestankowy), składającą się z 8 bitów.

**Słowo maszynowe** (*word*) – jest jednostką zapisu (składowania) danych na danej maszynie (komputerze) i określa największą porcję informacji (ilości danych), jaka może być przetworzona przez mikroprocesor w jednej operacji. Definiuje zwykle „szerokość” magistrali danych w komputerze.

W literaturze dotyczącej parametrów komputerów do 1998 r. były używane dziesiętne wielokrotności jednostek pojemności pamięci. Było to niewłaściwe, gdyż dotyczyło wielkości z natury niedziesiętnych, bowiem: 1 kilobit =  $2^{10}$  bit = 1024 bit, zamiast 1000 bit (przyjmowano skrótowy zapis oznaczenia kilo przez K), 1 Kbit = 1024 bit.

Podobnie zapisywano wielkości pamięci komputerów, stosując większe dziesiętne wielokrotności bajta (B) – kilobajt (KB), megabajt (MB) i gigabajt (GB):

$$1 \text{ B} = 2^3 \text{ bit} = 8 \text{ bit},$$

$$1 \text{ KB} = 1024 \text{ B} = 8192 \text{ bit} = 2^{13} \text{ bit},$$

$$1 \text{ MB} = 1\,048\,576 \text{ B} = 8\,388\,608 \text{ bit} = 2^{23} \text{ bit},$$

$$1 \text{ GB} = 1\,073\,741\,824 \text{ B} = 8\,589\,934\,592 \text{ bit} = 2^{33} \text{ bit}.$$

Mimo podobnych nazw i oznaczeń przedrostków (kilo-, mega- i giga-) jak w systemie SI, wielokrotności te nie określają dokładnie wartości tysięcy, milion czy bilion razy większych. Dlatego też Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (International Electrotechnical Commission – IEC) zaproponowała nowe przedrostki dla wielokrotności potęgi 2, a następnie razem Międzynarodową Organizacją Normalizacyjną (International Organization for Standardization – ISO) [8] je wprowadziła (tabl. 3) jako normę europejską EN 80000-13.

<sup>①</sup> Bajt (synonim oktetu), oznaczenie B, nie jest oznaczeniem międzynarodowym i może być mylone z belem (B).

Tabl. 3. Przedrostki binarnych wielokrotności [8]

Mnożnik binarny	Przedrostek binarny <sup>*)</sup>			Przedrostek dziesiętny	
	nazwa	wymowa	oznaczenie	nazwa	mnożnik
$2^{80} = (2^{10})^8$	jottabinarnie	jobi	Yi	jotta	$10^{24} = (10^3)^8$
$2^{70} = (2^{10})^7$	zettabinarnie	zebi	Zi	zetta	$10^{21} = (10^3)^7$
$2^{60} = (2^{10})^6$	eksabinarnie	eksbi	Ei	eksa	$10^{18} = (10^3)^6$
$2^{50} = (2^{10})^5$	petabinarnie	pebi	Pi	peta	$10^{15} = (10^3)^5$
$2^{40} = (2^{10})^4$	terabinarnie	tebi	Ti	tera	$10^{12} = (10^3)^4$
$2^{30} = (2^{10})^3$	gigabinarnie	gibi	Gi	giga	$10^9 = (10^3)^3$
$2^{20} = (2^{10})^2$	megabinarnie	mebi	Mi	mega	$10^6 = (10^3)^2$
$2^{10} = (2^{10})^1$	kilobinarnie	kibi	Ki	kilo	$10^3 = (10^3)^1$

<sup>\*)</sup> Proponowane nazwy i wymowa w języku polskim (norma EN80000-13 nie została przetłumaczona).

Jednostki związane z wielkością dotyczącą informacji – ilością informacji ( $H_0$ ) można podawać trzema sposobami, zależnie od zastosowanego logarytmu (binarnego, naturalnego lub dziesiętnego). Każdemu sposobowi przypisano własną jednostkę (Sh – shannon, nat – *natural unit*, Hart – Hartley).

**Shannon**<sup>①</sup> (Sh) – jest jednostką ilości informacji, stosowaną w teorii informatyki i telekomunikacji. Jej definicja opiera się na rozważaniu, jaka wiadomość ma większą wartość informacyjną, czy mało prawdopodobna, czy też wielce prawdopodobna, np. jeśli erupcja wulkanu występuje rzadko, to czy wiadomość o tym, że nastąpiła erupcja, ma większe znaczenie informacyjne niż wiadomość, że nie ma erupcji.

Jeśli wiadomość odebrana ma prawdopodobieństwo  $p$ , to jej wartość informacyjna (ilość informacji) w shannonach (Sh) jest równa  $\log_2 p$ . Na przykład, jeśli wiadomość składa się z 10 liter, a możliwość wystąpienia każdej z 26 liter (abecadła) jest jednakowo prawdopodobna, wówczas prawdopodobieństwo jej wystąpienia w każdej wiadomości wyniesie  $1/26^{10}$ , informacja zaś ma wartość  $10 \lg 26 = 47,004$  Sh.

**Naturalna jednostka informacji** (nat) jest jednostką ilości informacji, definiowaną podobnie jak shannon, z tym, że zastosowano w niej logarytm naturalny zamiast binarnego. Jeśli prawdopodobieństwo odebranej wiadomości jest równe  $p$ , to ilość informacji wynosi  $\log_e p$ . Na przykład, jeśli wiadomość składa się z 5 liter lub cyfr, których kombinacja jest dowolna, prawdopodobieństwo ich wystąpienia wynosi  $1/36^5$ , a ilość informacji tej wiadomości jest równa  $5 \ln 36 = 17,9176$  nat.

<sup>①</sup> Claude Elwood Shannon (1916–2001) amerykański matematyk i inżynier, współtwórca teorii informacji.

**Hartley**<sup>①</sup> (Hart) – jest to jednostka ilości informacji, definiowana podobnie jak shannon, z tym, że zastosowano w niej logarytm dziesiętny zamiast binarnego. Rozpatrując wyżej podane przykłady, otrzymuje się  $H_0 = 10 \lg 26 = 14,1497$  Hart zamiast 47,004 Sh bądź  $5 \lg 36 = 7,7815$  Hart zamiast 17,9176 nat.

Zależności między ww. jednostkami są następujące:

1 nat =  $\lg e = 1,442\ 695$  Sh lub  $\lg e = 0,434\ 294$  Hart,

1 Sh =  $\lg 2 = 0,301030$  Hart lub  $\ln 2 = 0,693147$  nat,

1 Hart =  $\lg 10 = 3,321928$  Sh lub  $\ln 10 = 2,302585$  nat.

**Bod**<sup>②</sup> (Bd) jest jednostką prędkości modulacji telegraficznej (przepływności kanału), stosowaną w telegrafii i powolnej transmisji danych (po analogowych łączach telefonicznych), równą odwrotności jednostkowego odstępu czasowego (szerokości impulsu elementarnego w sekundach).

**Bit na sekundę** (bit/s) jest jednostką przepływności cyfrowej (binarnej prędkości transmisji), wielkości określającej zdolność kanałów transmisji do przesyłania danych. Jest wyrażana stosunkiem logarytmu binarnego z liczby możliwych stanów w danym przedziale czasu do tego przedziału. W przypadku sygnałów binarnych (z cechowaniem pełnym) przepływność cyfrowa (binarna) wyrażona w bit/s jest liczbowo równa szybkości modulacji wyrażonej w bodach (Bd).

**Erlang**<sup>③</sup> (E) jest jednostką miary natężenia ruchu połączeniowego definiowaną dla godziny największego ruchu (GNR), wybranej z okresu 1 doby, składającej się z czterech kolejnych kwadransów (okresów pomiarowych ruchu), dla których łączne natężenie ruchu obserwowane na danym zbiorze elementów połączeniowych jest największe. W skrócie erlang jest jedną połączenie-godziną w GNR, tzn. że natężenie ruchu równe 1 E odpowiada 1 połączeniu w ciągu 1 godziny (GNR) lub 20 połączeń 3-minutowych. Wielkość ruchu w dowolnym okresie doby poza GNR podaje się w połączenie-godzinach (PG) lub w połączenie-minutach (pm).

## Bibliografia

- [1] *Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. „Prawo o miarach”*. Dz. U., 2001, nr 63, poz. 636
- [2] *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 listopada 2006 r. w sprawie legalnych jednostek miar*. Dz. U., 2006, nr 225, poz.1638
- [3] *The International System of Units (SI)*, 8th ed. Sévres: BIPM, 2006
- [4] ITU-T Rec. B. 12 (11/1988): *Use of the decibel and the neper in telecommunications*
- [5] ITU-T Rec. G.100 (03/1993): *Definitions used in recommendations on general characteristics of international telephone connections and circuits*
- [6] ITU-T Rec. O. 41. (10/1994): *Psophometer for use on telephone – type circuits*

<sup>①</sup> *Ralph Hartley (1888–1970) amerykański inżynier elektryk i wynalazca.*

<sup>②</sup> *Emile Baudot (1845–1903) francuski wynalazca pierwszego telegrafu pisaćcego.*

<sup>③</sup> *Agner Krarup Erlang (1878–1929), duński matematyk, twórca teorii ruchu telefonicznego.*

- [7] IEEE Std 743-1995: *IEEE Standard Equipment Requirements and Measurement Techniques for Analog Transmission Parameters for Telecommunications*
- [8] PN-EN 80000-13:2008 *Wielkości i jednostki – Część 13. Informatyka i technika* (w jęz. angielskim EN 80000 *Quantities and units. Part 13: Information science and technology*)

### Zdzisław Kuśmirek



Inż. Zdzisław Kuśmirek (1940) – absolwent Wieczorowej Szkoły Inżynierskiej w Warszawie (1963), wieloletni (1960–1993) pracownik: techniczny, inżyniersko-techniczny i naukowy, Instytutu Łączności, współorganizator Telekomunikacyjnej Służby Pomiarowej (TSP), kierownik Pracowni Pomiarów Teletransmisyjnych (1965–1985) Centralnej Izby Pomiarów Telekomunikacyjnych (CIPT) a następnie p.o. Kierownika CIPT. W latach 1994–2007 nadzorował merytorycznie działalność TSP pracując w Zarządzie Telekomunikacji Polskiej S.A (TP SA). Prowadził w IŁ prace naukowo-badawcze z dziedziny metrologii telekomunikacyjnej pod kierunkiem prof. dr Jerzego Dudziewicza, konstruując wzorce i wzorcowe stanowiska do sprawdzania i legalizacji przyrządów pomiarowych stosowanych w technice przewodowej w telekomunikacji (TP SA i fabryki kabli) w zakresie częstotliwości do 100 MHz. W latach dziewięćdziesiątych zainicjował przy współpracy z Głównym Urzędem Miar i Ośrodkiem OTO w Lublinie prace nad metodyką badań przyrządów stosowanych w technice światłowodowej oraz stworzeniem niezbędnych do tego celu wzorców. Autor i współautor kilkudziesięciu artykułów oraz norm z dziedziny pomiarów telekomunikacyjnych.