

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

BIULETYN

INFORMACYJNY

13 (164)
1977

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

BIULETYN INFORMACYJNY

ROK 17

WARSZAWA 1977

NR 13/164/

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej .

Redakcja Biuletynu Informacyjnego

Redaktor Maczelny - prof. mgr inż. Lesław Kędzierski
Z-ca Redaktora Maczelnego - dr Inż. Krystyn Plewko

Redaktorzy działów:

mgr inż. Władysław Cetner, doc. mgr Inż. Adam Moniuszko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 680. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 22.08.1977 r.
Druk ukończono w październiku 1977 r.

Zdzisław Kuśmirek

WYBRANE JEDNOSTKI MIAR WIELKOŚCI STOSOWANYCH W TELEKOMUNIKACJI

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	1
2. Jednostki miar międzynarodowego układu SI	1
3. Legalne jednostki miar nie należące do układu SI	3
4. Zasady tworzenia wielokrotnych i podwielokrotnych jednostek miar	4
5. Wielkości logarytmiczne stosowane w telekomunikacji i ich jednostki	6
5.1. Podstawowe oznaczenia i definicje	6
5.2. Bel i neper - jednostki wielkości transmisyjnych	9
5.2.1. Tło historyczne	9
5.2.2. Zastosowanie podstawowe jednostek decybel i neper	12
5.2.3. Dodatkowe przykłady zastosowań jednostki decybel	21
5.3. Podsumowanie i wnioski	24
6. Wykaz literatury	25

WYBRANE JEDNOSTKI MIAR WIELKOŚCI STOSOWANYCH W TELEKOMUNIKACJI

1. WSTĘP

Artykuł niniejszy jest publikacją popularyzującą międzynarodowy układ jednostek miar SI /Systeme International d'Unités/ przyjęty w 1960 r. przez XI Generalną Konferencję Miar i obowiązujący obecnie w większości krajów na świecie. Układ SI jest niejako ukoronowaniem działalności naukowo-badawczej w zakresie ujednoczenia jednostek miar rozpoczętej już w 1875 r. przez przyjęcie Konwencji Metrycznej w Paryżu /18 państw przyjęło jednostkę długości metr i jednostkę masy kilogram, wprowadzając podział dziesiętny - Polska przystąpiła do Konwencji Metrycznej w 1926 r./.

W ubiegłym roku minęła również setna rocznica wynalezienia telefonu przez Aleksandra Grahama Bella /1847-1922/. Biorąc pod uwagę powyższe przyczyny oraz wprowadzanie coraz to nowych jednostek miar logarytmicznych stosowanych w telekomunikacji autor poświęcił większą część artykułu jednostce decybel, której obecne znaczenie daleko odbiega od pierwotnie przyjętego w 1927 r. Skracając dość bogaty materiał źródłowy, postanowiono podać podstawowe nazwy, definicje i oznaczenia związane z jednostką decybel, występujące w krajowej i zagranicznej literaturze naukowej i technicznej.

Dziękując doc. dr inż. J. Dudziewiczowi i doc. dr inż. K. Plewce za wiele cennych rad i uwag krytycznych autor wyraża przekonanie, że ta skromna publikacja będzie dobrze służyć czytelnikom w ich pracy naukowej i technicznej.

2. JEDNOSTKI MIAR MIĘDZYNARODOWEGO UKŁADU SI

Obowiązujący w Polsce od 1.01.1967 r. międzynarodowy układ jednostek miar SI opiera się obecnie na siedmiu jednostkach podstawowych /por. tabl. 1, lp od 1 do 7/ i dwu bezwymiarowych jednostkach uzupełniających /por. tabl. 1, lp 8 i 9/.

Z iloczynów i ilorazów jednostek przedstawionych w tabl. 1 powstają jednostki pochodne układu SI przeznaczone do wyrażania wszystkich pozostałych wielkości fizycznych. Definicje, nazwy i oznaczenia jednostek miar ustalone zostały w Zarządzeniu Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacji i Miar z dnia 5 stycznia 1976 r. /Monitor Polski nr 4 poz. 19/. Jednostki pochodne mogą mieć swoje nazwy i oznaczenia inne niż by to wynikało z wyrażenia ich wymiarów za pomocą jednostek podstawowych i uzupełniających. Celowe wydaje się więc podanie jednostek

pochodnych wybranych wielkości najczęściej stosowanych w telekomunikacji i elektronice /por. tabl. 2/.

T a b l i c a 1

Podstawowe jednostki miar układu SI

Lp.	Wielkość	Jednostka miary	
		nazwa	oznaczenie
1	Długość	metr	m
2	Masa	kilogram	kg
3	Czas	sekunda	s
4	Prąd elektryczny	amper	A
5	Temperatura	kelwin	K
6	Liczność materii	mol	mol
7	Światłość	kandela	cd
8	Kąt płaski	radian	rad
9	Kąt bryłowy	steradian	sr

T a b l i c a 2

Pochodne jednostki miar stosowane w telekomunikacji i elektronice

Lp.	Wielkość	Jednostka miary		Relacja między jednostkami
		nazwa	oznaczenie	
1	2	3	4	5
1	Częstotliwość	herc	Hz	$1\text{Hz}=1:/1\text{s}/$
2	Siła	niuton	N	$1\text{N}=1\text{kg}\cdot/1\text{m}/\text{s}^2/$
3	Ciśnienie	paskal	Pa	$1\text{Pa}=1\text{N}/1\text{m}^2/$
4	Energia, praca	dżul	J	$1\text{J}=1\text{N}\cdot 1\text{m}$
5	Moc /strumień energii/	wat	W	$1\text{W}=1\text{J}/1\text{s}/$
6	Gęstość mocy /powierzchniowa, natężenie dźwięku/	wat na metr kwadratowy	W/m^2	$1\text{W}/\text{m}^2=1\text{W}/1\text{m}^2/$
7	Gęstość prądu elektrycznego	amper na metr kwadratowy	A/m^2	$1\text{A}/\text{m}^2=1\text{A}/1\text{m}^2/$
8	Ładunek elektryczny	kulomb	C	$1\text{C}=1\text{A}\cdot 1\text{s}$
9	Napięcie elektryczne, $\text{sem}^1/$, potencjał elektryczny	wolt	V	$1\text{V}=1\text{W}/1\text{A}/$

^{1/}sem - siła elektromotoryczna

1	2	3	4	5
10	Pole elektryczne /natężenie pola elektrycznego/	wolt na metr	V/m	$1V/m=1V:/1m/$
11	Pojemność elektryczna	farad	F	$1F=1C:/1V/$
12	Przenikalność elektryczna /bezwzględna/	farad na metr	F/m	$1F/m= /1C/m^2:/:1V/m/$
13	Opór elektryczny	om	Ω	$1\Omega = 1V:/1A/$
14	Opór elektryczny właściwy	omometr	$\Omega \cdot m$	$1\Omega \cdot m=1\Omega [1m^2:/1m/]$
15	Przewodność elektryczna	simens	S	$1S=1\Omega^{-1}=1:/1\Omega /$
16	Przewodność elektryczna właściwa	simens na metr	S/m	$1S/m=1:/1\Omega \cdot m/$
17	Strumień magnetyczny	weber	Wb	$1Wb=1V \cdot 1s$
18	Indukcja magnetyczna	tesla	T	$1T=1Wb:/1m^2 /$
19	Pole magnetyczne /natężenie pola magnetycznego/	amper na metr	A/m	$1A/m=1A:/1m/$
20	Indukcyjność	henr	H	$1H=1V: [1A: /1s/]$
21	Przenikalność magnetyczna /bezwzględna/	henr na metr	H/m	$1H/m=1T:/1A/m/$
22	Siła magnetyczna, napięcie magnetyczne	amper	A	$1A=1 \cdot 1A$
23	Natężenie napromienienia	wat na metr kwadratowy	W/m^2	$1W/m^2=1W:/1m^2/$

3. LEGALNE JEDNOSTKI MIAR NIE NALEŻĄCE DO UKŁADU SI

Oprócz podanych w punkcie 2 jednostek pochodnych SI spotykamy w praktyce wiele powszechnie stosowanych jednostek nie należących do układu SI. Niektóre z nich są jednostkami legalnymi. Należą do nich w szczególności:

a/ jednostki czasu: minuta /min/, godzina /h/ i doba /d/ oraz jednostki kalendarzowe - dzień, tydzień, miesiąc, kwartał, rok,

b/ jednostka temperatury: stopień Celsjusza /°C/,

c/ jednostki kąta płaskiego: stopień /...°/, minuta /...'/, sekunda /..."/, grad /...°/,

d/ jednostka energii: elektronowolt /eV/, kilowatogodzina /kWh/.

e/ jednostka ładunku elektrycznego: amperogodzina /Ah/

f/ jednostki mocy: woltoamper /VA/, war /var/,

g/ jednostki logarytmiczne stosunku dwu wielkości tego samego rodzaju, jak np.:

- poziom bezwzględny lub względny wielkości elektrycznych, tłumienność lub wzmocność: bel /B/,
- interwał częstotliwości: oktawa i dekada,
- ilość informacji: bit /bit/,
- strumień informacji: bit na sekundę /bit/s/,

h/ jednostki stosunku dwu wartości tej samej wielkości: jedność /1/, procent /%/ , promil /^o/oo/.

Jako legalne dopuszczone są przejściowo do stosowania jednostki miar, które niejako historycznie trwale związane są z techniką i fizyką. Można tu wymienić takie jednostki, jak:

1/ jednostka siły: dyna /dyn/,

2/ jednostka ciśnienia: bar /bar/,

3/ jednostki energii lub pracy: erg /erg/, watosekunda /Ws/,

4/ jednostka strumienia magnetycznego /strumienia indukcji magnetycznej/:
maksweł /Mx/,

5/ jednostka indukcji magnetycznej: gaus /Gs/,

6/ jednostka pola magnetycznego /natężenia pola magnetycznego/: ersted /Oe/,

7/ jednostka siły magnetomotorycznej /napięcia magnetycznego/: gilbert /Gb/,

8/ jednostka ciśnienia akustycznego: dyna na centymetr kwadratowy./dyn/cm²/,

9/ jednostki logarytmiczne stosunku dwu wielkości tego samego rodzaju: poziom bezwzględny /lub względny/ wielkości elektrycznych, tłumienność lub wzmocność - neper /Np/.

4. ZASADY TWORZENIA WIELOKROTNYCH I PODWIELOKROTNYCH JEDNOSTEK MIAR

Wielokrotności i podwielokrotności jednostek miar tworzone są w systemie dziesiętnym przez dodanie do nazw lub oznaczeń jednostek miar przedrostków lub ich oznaczeń wyrażających mnożniki dziesiętne. Zestawienie tych przedrostków i oznaczeń podano w tabl. 3.

Zestawienie oznaczeń wielokrotności i podwielokrotności jednostek miar

Przedrostek	Oznaczenie	Wielokrotność i podwielokrotność /mnożnik/		
eksa	E	10^{18}	1.000.000.000.000.000.000	trylion
peta	P	10^{15}	1.000.000.000.000.000	billiard
tera	T	10^{12}	1.000.000.000.000	billion
giga	G	10^9	1.000.000.000	miliard
mega	M	10^6	1.000.000	million
kilo	k	10^3	1.000	tysiąc
hekto	h	10^2	100	sto
deka	da	10^1	10	dziesięć
jednostka	-	10^0	1	jeden
decy	d	10^{-1}	0,1	dziesiąt- na
centy	c	10^{-2}	0,01	setna
milli	m	10^{-3}	0,001	tysięcz- na
mikro	μ	10^{-6}	0,000.001	milio- nowa
nano	n	10^{-9}	0.000.000.001	miliar- dowa
piko	p	10^{-12}	0,000.000.000.001	bilio- nowa
femto	f	10^{-15}	0,000.000.000.000.001	billiar- dowa
atto	a	10^{-18}	0,000.000.000.000.000.001	trylio- nowa

Do nazwy prostej /oznaczenia/ jednostki miary dołącza się tylko jeden przedrostek, umieszczając go bezpośrednio przed nazwą /oznaczeniem/ tej jednostki, np.:

$$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F, a nie } 1 \text{ }\mu\text{F}$$

Mnożnik wyrażony przedrostkiem /oznaczeniem/ odnosi się do jednostki miary w potęgze pierwszej z wyjątkiem kilograma.

Wielokrotności i podwielokrotności dziesiętne jednostki masy wyraża się przez dołączenie przedrostków /oznaczeń/ do słowa gram /oznaczenia g/, np.:

$$10^{-3} \text{ kg} = 1 \text{ g; } 10^{-2} \text{ kg} = 1 \text{ dag}$$

Podane wyżej zasady mogą być stosowane tylko do niektórych legalnych jednostek miar nie należących do układu SI. Na przykład nie stosują się one do jednostek czasu, jak minuta /min/, godzina /h/, natomiast są stosowane w jednostkach poziomu: decybel /dB/ - $1 \text{ dB} = 10^{-1} \text{ B}$.

5. WIELKOŚCI LOGARYTMICZNE STOSOWANE W TELEKOMUNIKACJI I ICH JEDNOSTKI

5.1. Podstawowe oznaczenia i definicje

Do opisu zjawisk fizycznych występujących w telekomunikacji stosuje się wielkości względne, zwane wielkościami stosunkowymi lub relatywnymi, wyrażające się stosunkiem /relacją/ jednorodnych wielkości fizycznych. Wielkości te są z natury wielkościami rzeczywistymi. W przypadku stosunku wielkości zespolonych /wektorowych/ rozpatrujemy stosunek ich modułów /amplitud/ lub wartości skutecznych. Wielkości fizyczne można, w zależności od ich związku ze strumieniem przesyłanej energii, podzielić na wielkości energetyczne i polowe.

Wielkościami energetycznymi są wielkości wprost proporcjonalne do strumienia energii, takie jak np.: energia, gęstość energii, moc, gęstość mocy itp.

Wielkościami polowymi są wielkości, których kwadraty są proporcjonalne do energii /dotyczy to zjawisk fizycznych zachodzących w układach liniowych/. Są nimi np.: napięcie, prąd, natężenie pola elektrycznego, ciśnienie akustyczne, siła, prędkość itp.

Każdą wielkość energetyczną W można, dla rozpatrywanego liniowego układu, przedstawić jako iloczyn dwu wielkości polowych F_a i F_b lub jako kwadrat jednej z nich. Dla tego ostatniego przypadku występują jeszcze stałe C_a lub C_b .

$$W = F_a F_b = C_a F_a^2 = C_b F_b^2 \quad /1/$$

Na przykład: elektryczna moc pozorna

$$S = UI = YU^2 = ZI^2 \quad /2/$$

Stąd wynika, że związek między stosunkiem wielkości energetycznych i polowych w dwu punktach układu liniowego /indeksy 1 i 2/ jest następujący:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{F_{a1} F_{b1}}{F_{a2} F_{b2}} = \frac{C_{a1} F_{a1}^2}{C_{a2} F_{a2}^2} = \frac{C_{b1} F_{b1}^2}{C_{b2} F_{b2}^2} \quad /3/$$

W szczególności stosunek mocy pozornych

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{U_1 I_1}{U_2 I_2} = \frac{Y_1 U_1^2}{Y_2 U_2^2} = \frac{Z_1 I_1^2}{Z_2 I_2^2} \quad /4/$$

Ze względu na wielką rozpiętość wartości rozpatrywanych stosunków oraz wygodę w obliczeniach przyjęto skalę logarytmiczną. W następstwie wprowadzenia logaryt-

mów, wielkości stosunkowe zyskały nazwę logarytmicznych wielkości stosunkowych, dla których wprowadzono odpowiednio jednostki miar.

Logarytmiczną wielkość stosunkową a można zapisać ogólnie jako iloczyn logarytmu przy podstawie b stosunku wielkości A_1/A_2 i współczynnika K :

$$a = K \log_b \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \quad /5/$$

Odpowiednio do rozpatrywanych wyżej przykładów otrzymujemy następujące związki między logarytmicznymi wielkościami stosunkowymi energetycznymi a_W i połowymi a_F :

$$a_W = K_W \log_b \frac{W_1}{W_2} = 2 K_W \log_b \frac{F_1}{F_2} + K_W \log_b \frac{C_1}{C_2} \quad /6/$$

$$a_F = K_F \log_b \frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{2} K_F \log_b \frac{W_1}{W_2} - \frac{1}{2} K_F \log_b \frac{C_1}{C_2} \quad /7/$$

Jeżeli w szczególności $C_1 = C_2$, to $a_W = a_F$, gdy $K_W = 1/2 K_F$.

Logarytmiczną wielkość stosunkową nazywamy **poziomem bezwzględnym** /a b s o l u t n y m/ L , gdy wielkość stosunkowa oznacza stosunek wielkości energetycznych lub połowych A do odpowiedniej wartości znamionowej tej wielkości A_n przyjętej za wartość odniesienia; zapisujemy to ogólnie w następujący sposób:

$$L = K \log_b \left(\frac{A}{A_n} \right) \quad /8/$$

Uwzględniając /8/ w /5/ otrzymamy nową logarytmiczną wielkość, a mianowicie **różnicę poziomów** D

$$D = K \log_b \frac{A_1}{A_n} - K \log_b \frac{A_2}{A_n} = L_1 - L_2 \quad /9/$$

gdzie: L_1 i L_2 - poziomy bezwzględne wielkości A_1 i A_2 .

Przyjmując poziom $L_2 = L_0$ jako poziom odniesienia dla danego układu^{1/} otrzymamy następną logarytmiczną wielkość, zwaną **poziomem względnym** /r e l a t y w n y m/ i oznaczaną przez L_r .

$$L_r = L_1 - L_0 \quad /10/$$

^{1/} Na przykład drogi przesyłowej sygnałów elektrycznych.

Zależnie od zastosowanych logarytmów - naturalnych, dziesiętnych lub binarnych - otrzymamy nowe jednostki pomiarowe wielkości logarymicznych, jak: neper /Np/ i bel /B/, oktawa i dekada oraz bit.

Neper /Np/ jest logarytmem naturalnym stosunku wielkości połowych zapisanym w następujący sposób:

$$a_F = K_F \ln \frac{F_1}{F_2} = K_F = 1 \text{ Np} \quad /11/$$

gdzie $F_1/F_2 = e = 2,718282\dots$

Bel /B/ jest logarytmem dziesiętnym stosunku wielkości energetycznych zapisanym w następujący sposób:

$$a_W = K_W \lg \frac{W_1}{W_2} = K_W = 1 \text{ B} \quad /12/$$

gdzie $W_1/W_2 = 10$.

W przypadku stosowania decybeli /dB/, co ma na ogół miejsce, $K_W = 10 / 1 \text{ B} = 10 \text{ dB}$.

Oktawa i dekada są jednostkami interwału /przedziału/ częstotliwości.

Oktawa jest logarytmem binarnym stosunku dwu częstotliwości

$$a_f = K_f \log_2 \frac{f_1}{f_2} = K_f = 1 \text{ oktawa} \quad /13/$$

gdzie $f_1/f_2 = 2$.

Dekada jest logarytmem dziesiętnym stosunku dwu częstotliwości

$$a'_f = K'_f \lg \frac{f_1}{f_2} = K'_f = 1 \text{ dekada} \quad /14/$$

gdzie $f_1/f_2 = 10$.

Bit jest jednostką ilości informacji równą logarytmowi binarnemu stosunku prawdopodobieństwa.

$$a_{Pr} = K_{Pr} \log_2 \frac{1}{Pr} = K_{Pr} = 1 \text{ bit} \quad /15/$$

gdzie: $Pr = 1/2$.

5.2. Bel i neper - jednostki wielkości transmisyjnych

5.2.1. Tło historyczne

Zastosowanie i rozpowszechnienie wynalazku Bella - telefonu - stworzyło konieczność znalezienia jednostki miary jakości transmisji. W pierwszych latach XX wieku przyjęto pierwsze jednostki porównawcze, określające zjawisko tłumienia w łącach telefonicznych. W Stanach Zjednoczonych /USA/ i W. Brytanii przyjęto jako wzorzec miary tłumienności odcinek linii kablowej o zadanych parametrach i określonej, przeciętnej dla ówczesnych połączeń, długości równej 1 mili /1609 m/. Jednostkę tę nazywano milą standardowego kabla, w skrócie "/msc"/, lub "standard kabelmiał" [1], w skrócie milą kablową.

Na kontynencie europejskim do określenia miary tłumienności był używany tzw. współczynnik tłumienia^{1/} oznaczany pierwotnie symbolem "β" /którym następnie oznaczano tłumienność jednostkową drogi przesyłowej/. Stan ten trwał do lat dwudziestych. Po pierwszej wojnie światowej, w związku z rozwojem międzynarodowych łączy telefonicznych w Europie, pojawia się potrzeba systematycznych badań układów wchodzących w skład tych łączy. Barięrou rozwoju tego rodzaju badań był przede wszystkim brak koordynacji między administracjami poszczególnych krajów, a także różnorodność języków oraz wyposażenia technicznego. Natomiast w St. Zjednoczonych bariery takiej nie było, a łączność dalekosiężna była już zrealizowana /napowietrzna linia kontynentalna Nowy Jork - San Francisco/.

Pierwszym krokiem do pokonania tej bariery było powołanie w 1924 roku Międzynarodowego Komitetu Doradczego Dalekosiężnej łączności Telefonicznej /Comite Consultatif International des Communications Téléphoniques a Grande Distance - w skrócie CCI/. Na pierwszym plenarnym spotkaniu w Paryżu ustanowiono tymczasową organizację Komitetu oraz ustalono zagadnienia do opracowania.

Jednym z ważniejszych zagadnień było ustalenie wzorca transmisji i wybór jednej jednostki pomiarowej. W tym czasie w USA opublikowano dwa podstawowe artykuły, jeden przez W.H. Martina, a drugi przez R.V.L. Hartleya, które zamiast mili kablowej wprowadzają pojęcie nowej jednostki skuteczności transmisji, zwanej po prostu jednostką transmisji /transmission unit - w skrócie "TU"/. Jednostka ta jest definiowana następująco: dwie wielkości mocy różnią się o jedną jednostkę transmisji /1 TU/, gdy ich stosunek jest równy $10^{0,1}$ oraz dwie wielkości mocy różnią się o N jednostek transmisji, gdy ich stosunek wynosi $10^{N/0,1}$. Dla danych mocy P_1 i P_2 definicję tę można zapisać

^{1/} Tłumienność i tłumienie są logarytmicznymi wielkościami transmisyjnymi związanymi z drogą przesyłową sygnałów elektrycznych; tłumienność określa właściwość drogi, tłumienie zaś określa intensywność zjawisk falowych zachodzących wzdłuż tej drogi. W praktyce nazwy te są często niewłaściwie stosowane jako zamienne.

$$N = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} = \frac{\lg \frac{P_1}{P_2}}{\lg 10^{0,1}} \quad [\text{TU}] \quad /16/$$

W Europie jednostce transmisji "TU" przeciwstawiono w dyskusji na łamach czasopism technicznych współczynnik " β " jako jednostkę naturalną wyprowadzoną z równań różniczkowych opisujących zjawiska występujące w jednorodnej linii długiej. Jednostkowa tłumienność " β " odpowiada wartości tłumienia prądu lub napięcia wyrażonej w procentach na jednostkę długości przy założeniu nieobecności fal odbitych w rozpatrywanej linii długiej. Tak więc oznaczając N jako liczbę jednostek " β "

$$N = \ln_e \frac{I_1}{I_2} \quad [\beta] \quad /17/$$

gdzie I_1 i I_2 są prądami na wejściu i wyjściu rozpatrywanego toru przewodowego.

Kolejne, czwarte spotkanie plenarne CCI w 1927 r. przyjęło tylko jednostki równe logarytmom stosunku mocy lub napięć /prądów/. Nie osiągnięto jednomyślności co do przyjęcia układu logarytmów. Przyjęto więc dwie jednostki oparte na stosunku mocy: jedna została oparta o stosunek mocy równy e^2 , a druga - o stosunek mocy równy 10.

Dla określenia pierwszej z tych jednostek użyto logarytmów naturalnych /neperiańskich/ i odpowiednią jednostkę nazwano neperem na cześć Johna Nepera /matematyka szkockiego 1550-1617, który zestawiał tablice logarytmów liczb i funkcji kąta/, natomiast dla określenia drugiej jednostki wykorzystano logarytmy dziesiętne /podane przez Briggsa - ucznia Nepera/ i przyjęto dla niej nazwę bel od nazwiska wynalazcy telefonu A.G. Bella /1847-1922/. Jako obowiązujące przyjęto dziesiętne podwielokrotne decyneper i decybel. Zestawienie zależności liczby jednostek /oraz ich oznaczeń/ w odniesieniu do stosunków mocy, napięć lub prądów podano w tabl. 4.

W odniesieniu do stosunków napięć lub prądów zależności te są słuszne dla przypadku równości impedancji w dwu punktach pomiarowych układu /indeksy 1 i 2 przy symbolach wielkości/. W oficjalnych dokumentach CCI nazwy obu jednostek były podawane bez skrótów.

Od 1927 roku kraje anglosaskie i Belgia przyjęły decybel jako jednostkę transmisji /1 dB = 1 TU/, a reszta Europy kontynentalnej - neper. Nazwę jednostki decybel zaczęto pisać w skrócie najpierw "db", a następnie "dB", natomiast neper skrócono do "N", a od 1968 r. /aby nie mylić z oznaczeniem jednostki siły niuton "N"/ przyjęto skrót "Np". Jednostka decybel przyjęła się także w innych dziedzinach techniki, jak np. w radiotechnice i elektroakustyce.

Wielkości logarytmiczne związane z transmisją

Wielkość fizyczna	Przy zastosowaniu logarytmów			
	naturalnych		dziesiętnych	
	neper [Np]	decyneper [dNp]	bel [B]	decybel [dB]
Napięcie	$\ln \frac{U_1}{U_2}$	$10 \ln \frac{U_1}{U_2}$	$2 \lg \frac{U_1}{U_2}$	$20 \lg \frac{U_1}{U_2}$
Prąd	$\ln \frac{I_1}{I_2}$	$10 \ln \frac{I_1}{I_2}$	$2 \lg \frac{I_1}{I_2}$	$20 \lg \frac{I_1}{I_2}$
Moc pozorna	$\frac{1}{2} \ln \frac{S_1}{S_2}$	$5 \ln \frac{S_1}{S_2}$	$\lg \frac{S_1}{S_2}$	$10 \lg \frac{S_1}{S_2}$
Moc rzeczywista	$\frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2}$	$5 \ln \frac{P_1}{P_2}$	$\lg \frac{P_1}{P_2}$	$10 \lg \frac{P_1}{P_2}$

Wszystkie zalecenia i wymagania na urządzenia i aparaturę były podawane w publikacjach CCI, a następnie Comité Consultatif International Téléphonique /CCIF/ oraz Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique /CCITT/ jednocześnie w neperach /decyneperach/ i decybelach.

W 1968 roku IV Zgromadzenie Plenarne CCITT ustaliło ostatecznie zagadnienie jednostki wielkości transmisyjnych przez przyjęcie Zalecenia B.4, którego tekst opublikowano w tomie I Białej Księgi CCITT. Ze względu na powszechne użycie obu jednostek neper i bel oraz ich podwielokrotnych w obrębie krajowych administracji łączności oraz przy zestawianiu łączy transmisyjnych za pomocą różnych technik /np. w radiokomunikacji używającej jednostki decybel/ postanowiono, że przy zestawianiu łączy międzynarodowych należy używać tylko jednego rodzaju jednostki, i powinien to być decybel. Jednostka neper powinna być bezwzględnie używana przy obliczeniach teoretycznych i naukowych, gdzie stosunki wielkości wyrażone są za pomocą logarytmów naturalnych. Dopuszcza się nadal dualizm stosowania obu jednostek /bela i nepera/ przy określaniu zaleceń na urządzenia i aparaturę badaniową.

Ostatnie lata są szczególnie bogate w publikacje międzynarodowych organizacji, jak IEC [12], CCIR [10], RWPG [9], oraz normy [8] i [14], na temat zastosowania decybela i nepera.

Osobny rozdział w historii logarytmicznych wielkości stosunkowych stanowią pu-

blikacje [2], [3], [5], [15], prowadzone przez "purystów" metrologów, w których dyskutuje się, czy decybel i neper są samodzielnymi jednostkami, czy też są pseudojednostkami, tzn. dodatkowym opisem miary wielkości bezwymiarowej.

5.2.2. Zastosowanie podstawowe jednostek decybel i neper

Do oceny jakości transmisji, stanu urządzeń oraz aparatury pomiarowej w telekomunikacji przyjęto wiele specjalistycznych wielkości umownych opartych na stosunku dwu jednorodnych wielkości fizycznych, które wykorzystują skalę logarytmiczną i jej jednostki bel/decybel/ i neper. Oceny tej dokonuje się przez pomiar parametrów sygnałów użytecznych i zakłócających /o widmie dyskretnym lub ciągłym/. Pomiar ten przeprowadza się "statycznie" /łącze wyłączone z ruchu/, przesyłając sygnały pomiarowe /testowe/, lub "dynamicznie" /łącze w ruchu/, tzn. przeprowadza się pomiar sygnałów roboczych.

Wielkości wyznaczone z tych pomiarów opisują właściwości /cechy/ układów /urządzeń/, jak np.: tłumienność, zysk anteny, wzmocność itp., lub zjawiska występujące w tych układach, jak np.: tłumienie, wzmocnienie, poziom wysterowania mocy, gęstość mocy itp.

Podstawowymi wielkościami w telekomunikacji /por. p. 5.1/ są poziom mocy i napięcie^{1/}.

P o z i o m m o c y L jest określany iloczynem odpowiedniego współczynnika^{2/} i logarytmu stosunku mocy P mierzonej w danym punkcie układu^{3/} do mocy P_n przyjętej za moc odniesienia.

$$L = 10 \lg \left| \frac{P}{P_n} \right| \quad [\text{dB}], \quad L = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P}{P_n} \right| \quad [\text{Np}] \quad /17/$$

Poziom zerowy mocy $L = 0$ dB oznacza zrównanie odpowiednich mocy $P = P_n$, Znak dodatni poziomu oznacza, że $P > P_n$, natomiast znak ujemny oznacza, że $P < P_n$.

Jako moc odniesienia przyjmuje się na ogół w telekomunikacji moc 1 mW. Wartość ta była dawniej przyjmowana jako wartość mocy potrzebna do "głośnego" odтворzenia mowy za pomocą przetwornika elektroakustycznego /słuchawki/.

Szczególnymi przypadkami poziomu mocy są wielkości następujące.

^{1/}Poziom mocy /napięcia/ oznaczany bywa literą L /ang. - level/ lub p /niem. - Pegel/, rzadziej n /franc. - niveau/ z odpowiednimi indeksami /oznaczającymi punkty pomiarowe bądź rodzaj określanej wielkości/. Jednostki poziomu są oznaczane dodatkowymi literami zależnie od ich przeznaczenia.

^{2/}Współczynnik ten równy jest 10 przy stosowaniu logarytmów dziesiętnych i 1/2 przy stosowaniu logarytmów naturalnych.

^{3/}Układ elektryczny lub droga przesyłowa sygnałów elektrycznych.

Bez względu na /absolutny/ poziom mocy L_m - logarytmiczna wielkość stosunku mocy P mierzonej w danym punkcie układu do mocy 1 mW.

$$L_m = 10 \lg \left| \frac{P \text{ [mW]}}{1 \text{ [mW]}} \right| \text{ [dBm]}, \quad L_m = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P \text{ [mW]}}{1 \text{ [mW]}} \right| \text{ [Npm]} \quad /18/$$

Poziom zerowy mocy $L_m = 0 \text{ dBm}/0 \text{ Npm}/$ oznacza, że $P = P_n = 1 \text{ mW}$, co w skrócie można zapisać $0 \text{ dBm}/0 \text{ Npm}/ \hat{=} P = P_n = 1 \text{ mW}$.

Względny /relatywny/ poziom mocy L_{rm} - logarytmiczna wielkość stosunku mocy P mierzonej w danym punkcie układu do mocy P_o mierzonej w pewnym umownym punkcie /np. początku/ układu przyjętym za punkt odniesienia.

$$L_{rm} = 10 \lg \left| \frac{P \text{ [mW]}}{P_o \text{ [mW]}} \right| \text{ [dBr]}, \quad L_{rm} = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P \text{ [mW]}}{P_o \text{ [mW]}} \right| \text{ [Npr]} \quad /19/$$

Poziom zerowy $L_{rm} = 0 \text{ dBr}/0 \text{ Npr}/$ oznacza, że $P = P_o$, co w skrócie można zapisać $0 \text{ dBr}/0 \text{ Npr}/ \hat{=} P = P_o$.

Z uwagi na fakt, że bezpośredni pomiar mocy jest bardzo kłopotliwy, przyjęto metodę pośrednią wykorzystującą pomiar napięcia /prądu/ na określonej rezystancji. Z metodą tą łączy się pojęcie źródła odniesienia, tzw. generatora normalnego, który w stanie dopasowania dostarcza moc 1 mW do rezystancji 600Ω . Wtedy siła elektromotoryczna źródła odniesienia jest równa $2 \times 0,7746 \text{ V}$, a rezystancja wewnętrzna jest równa 600Ω .

Wartość rezystancji 600Ω była przyjęta przez CCIF w 1938 r. jako średnia wartość modułu impedancji falowej linii kablowych przeznaczonych do transmisji telefonicznej. Jako częstotliwość przebiegu pomiarowego generowanego przez źródło odniesienia przyjęto w Europie 800 Hz, a w USA 1000 Hz. Obecnie transmisje sygnałów telekomunikacyjnych realizowane są w szerokim pasmie częstotliwości przy użyciu systemów o impedancjach falowych różnych od 600Ω /i niekiedy o mocy odniesienia różnej od 1 mW/. W związku z tym komplikują się pojęcia źródła odniesienia i określania poziomów mocy.

Poziom mocy jest równy liczbowo poziomowi napięcia /por. p. 5.1/, jeśli napięcie to jest mierzone na tej samej rezystancji odniesienia, np. 600Ω . Otrzymujemy więc analogicznie następujące wielkości.

Bez względu na poziom napięcia L_u jest określany jako iloczyn odpowiedniego współczynnika^{1/} i logarytmu stosunku napięcia U mierzonego w danym punkcie układu do napięcia $0,775 \text{ V}^{2/}$.

$$L_u = 20 \lg \left| \frac{U \text{ [V]}}{0,775 \text{ [V]}} \right| \text{ [dB]}, \quad L_u = \ln \left| \frac{U \text{ [V]}}{0,775 \text{ [V]}} \right| \text{ [Np]} \quad /20/$$

Względny poziom napięcia L_{ru} jest określany przez iloczyn odpowiedniego współczynnika /por. /20// i logarytmu stosunku napięcia U mierzonego w danym punkcie układu do napięcia U_0 mierzonego w pewnym umownym punkcie przyjętym za punkt odniesienia.

$$L_{ru} = 20 \lg \left| \frac{U}{U_0} \right| \text{ [dB]}, \quad L_{ru} = \ln \left| \frac{U}{U_0} \right| \text{ [Np]} \quad /21/$$

W związku z powyższymi wzorami należy podkreślić, że przy pomiarze sygnałów użytkowych i zakłócających na ogół moc P dotyczy mocy średniej, a napięcie U odpowiada wartości skutecznej^{3/}.

W tabelicy 5 przedstawiono wartości skuteczne napięć i prądów odpowiadające zerowym bezwzględny poziomom mocy /1 mW/, obliczone dla znamionowych wartości rezystancji spotykanych w stosowanych obecnie systemach transmisyjnych.

Przyjęta wartość mocy /napięcia/ odniesienia 1 mW /0,775 V/ jest zbyt mała przy ocenie mocy radiostacji i zbyt duża, gdy mierzona jest wartość mocy /napięcia/ sygnałów zakłócających, np. szumu. Z tego powodu stosowane są również - zależnie od przyjętej techniki transmisji i rozpatrywanych zjawisk - inne poziomy mocy odniesienia. W związku z tym jednostki poziomu bezwzględnego zyskały dodatkowe symbole literowe oznaczające w skrócie przyjętą wartość mocy /napięcia/, odniesienia. Tak więc bezwzględne poziomy mocy /napięcia/ są mierzone w:

1/ Współczynnik ten równy jest 20 przy stosowaniu logarytmów dziesiętnych i 1 przy stosowaniu logarytmów naturalnych.

2/ Napięcie to wynosi dokładnie $\sqrt{10^{-3} \text{ [W]}} \cdot 600 \Omega = \sqrt{0,6 \text{ V}} \approx 0,77460 \text{ V}$; niekiedy podaje się tylko trzy cyfry znaczące, zaokrąglając do 0,775 V.

Odpowiednio wartość prądu wynosi $\sqrt{10^{-3} \text{ [W]}} / 600 \Omega = 10^{-3} / \sqrt{0,6} \text{ A} = 1 /$

$\sqrt{0,6} \text{ mA} \approx 1,2910 \text{ mA}$ /w zaokrągleniu 1,29 mA/. Wartość dokładna napięcia /prądu/ odniesienia różni się od wartości zaokrąglonej o 0,05 /0,08%/, co ma znaczenie przy precyzyjnych pomiarach poziomu napięcia lub prądu.

3/ Ścisłej bezwzględnej wartości pierwiastka kwadratowego z wartości średniokwadratowej napięcia, angielski skrót RMS /root mean square/.

dBm/Npm/ - decybel /neper/ mocy jest jednostką poziomu mocy odniesionej do mocy 1 mW /symbol "m" oznacza skrót słowa "miliwat"/ - jednostka stosowana powszechnie w telekomunikacji przewodowej;

dBW - jednostka poziomu mocy odniesionego do mocy 1 wata /symbol "W" oznacza skrót słowa "wat"/, stosowana w radiokomunikacji głównie w USA; 0 dBW = +30 dBm;

dBk - jednostka poziomu mocy odniesionej do mocy 1 kW /symbol "k" oznacza skrót słowa "kilowat"/ stosowana w radiokomunikacji głównie w USA; 0 dBk = +30 dBW = +60 dBm;

dBs - jednostka poziomu mocy odniesionej do mocy 6 mW stosowana w elektroakustyce /symbol "s" oznacza skrót angielskiego słowa "sound" - dźwięk - jednostka stosowana głównie w USA; 0 dBs \approx +7,8 dBm;

dBV - jednostka poziomu napięcia odniesionego do napięcia 1 V_{ss}^{1/} stosowana powszechnie w telewizji, niekiedy stosuje się także mniejszą jednostkę poziomu napięcia dBuV odniesionego do napięcia 1 μ V; 0 dBV = +60 dBuV.

T a b l i c a 5

Wartości napięć i prądów odniesienia dla mocy 1 mW

Znamionowa rezystancja [Ω]	Napięcie [V]	Prąd [mA]
50	0,2236	4,472
75	0,2739	3,651
100	0,3162	3,162
125	0,3536	2,828
135	0,3674	2,722
140	0,3742	2,672
150	0,3873	2,582
170	0,4123	2,425
600 /CCIF/	0,7750	1,290
600	0,7746	1,291
950	0,9747	1,026

W praktyce pomiarów telekomunikacyjnych stosowane jest często pojęcie poziomu mocy L_{om} wyrażonego w decybelach odniesionego do punktu o poziomie względnym mocy równym

^{1/}Wartość szczytowa napięcia.

0 dBr. W tym przypadku odpowiedni poziom mocy określany jest następująco:

$$L_{om} = L_m - L_{rm} \quad [dBm0] \quad /22/$$

Jeżeli sygnał badany jest szumem występującym w drodze przesyłowej użytecznych sygnałów telefonicznych, to wyznacza się bezwzględny poziom mocy psfometrycznej /lub napięcia psfometrycznego/, tzn. poziom mocy uwzględniający tzw. funkcję "wagi" - stopień oddziaływania sygnałów zakłócających o różnych częstotliwościach nałożonych na sygnał użyteczny względem /w porównaniu z/ oddziaływania sygnału o częstotliwości odniesienia 800 Hz /1000 Hz/.

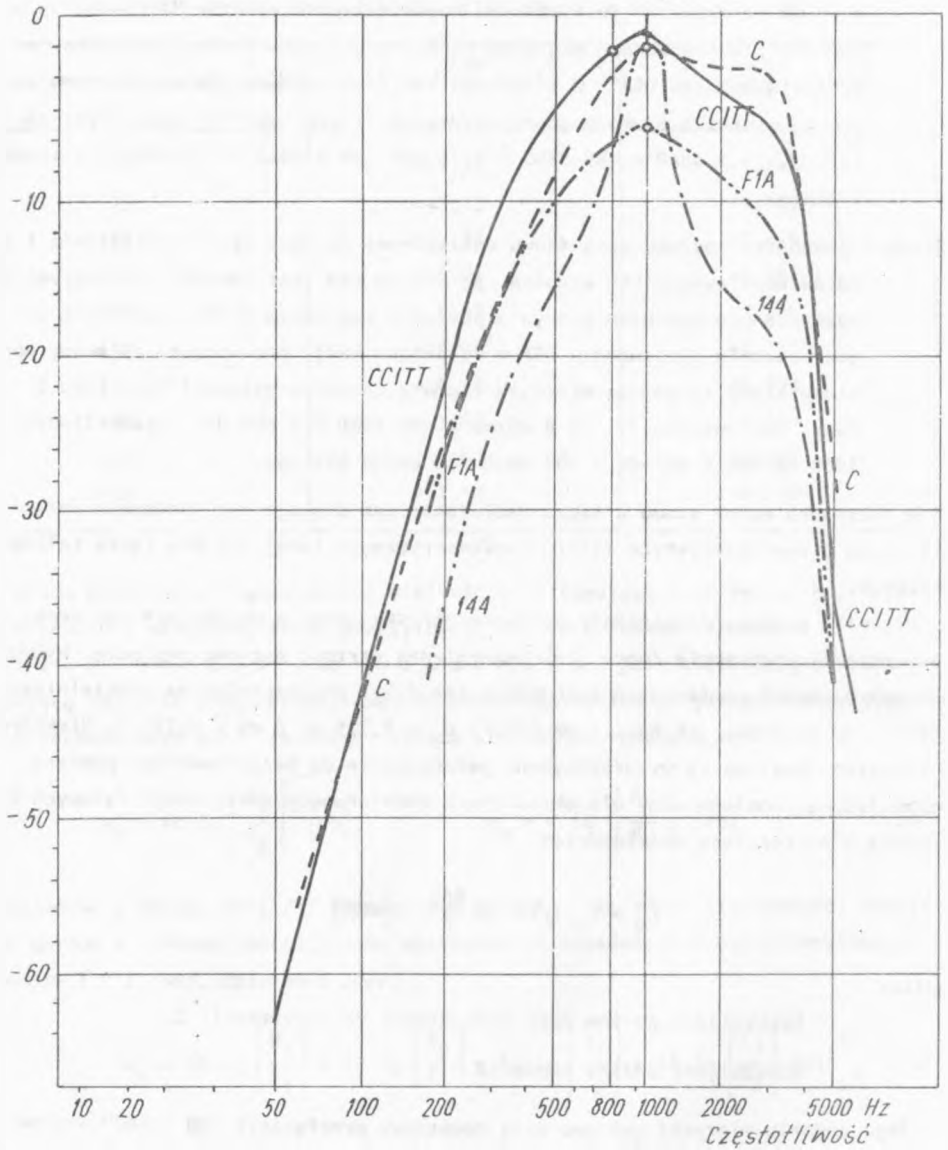
Analogicznie jak poprzednio, odpowiednie jednostki poziomu /por. [4]/ zyskują dodatkowe oznaczenia. Są nimi:

- dBm0 - jednostka poziomu mocy odniesionej do mocy 1 mW, wyznaczonego względem punktu o poziomie względnym mocy 0 dBr /symbol "m" oznacza skrót od słowa "milliwat", a "0" skrót wyrażenia "0 dBr"/; jednostka ta jest powszechnie stosowana w całej telekomunikacji;
- dBmOp - jednostka poziomu mocy psfometrycznej^{1/} szumu odniesionej do mocy 1 mW, wyznaczonego względem punktu o poziomie względnym mocy 0 dBr /dodatkowy symbol "p" jest skrótem słowa "psfometryczna"/; jednostka ta jest powszechnie stosowana w Europie do oceny poziomu szumu za pomocą psfometru^{2/} spełniającego zalecenie P.53 zawarte w tomie V Zielonej Księgi CCITT /por. rys. na str. 17/; $0 \text{ dBmOp} = 0 \text{ dBm0} = 1 \text{ mW0}$, dla częstotliwości 800 Hz lub $0 \text{ dBmOp} = +2,5 \text{ dBm0}$ dla szumu białego;
- dBm0 - jednostka poziomu mocy szumu odniesionej do mocy /szumu odniesienia/ 1 pW /symbol "rn" jest skrótem angielskiego wyrażenia "above reference noise" - powyżej szumu odniesienia/, wyznaczonego względem punktu o poziomie względnym mocy 0 dBr; jednostka ta była stosowana w USA^{3/} w telekomunikacji przewodowej do oceny szumu za pomocą miernika szumu o charakterystyce filtru typu 144 /por. rys. na str. 17 : $0 \text{ dBm0} = -90 \text{ dBm0} = 1 \text{ pW0}$ dla częstotliwości 1000 Hz lub $0 \text{ dBm0} = -82 \text{ dBm0}$ dla szumu białego;

^{1/} Bezwzględną wartość szumu można mierzyć odpowiednio w dBmp, pWp i mVp; dla psfometru CCITT: $0 \text{ dBmp} \hat{=} 10^9 \text{ pWp}$ /odpowiednio 775 mVp na 600Ω / dla częstotliwości 800 Hz /por. [4] /.

^{2/} Psfometr jest miernikiem poziomu o odpowiednio zaprojektowanym układzie: detektora /o charakterystyce kwadratowej/, filtrów psfometrycznych i wskaźnika /o odpowiedniej charakterystyce dynamicznej/.

^{3/} Odnosi się to do całego kontynentu Ameryki Południowej.



Rys. 1. Krzywe ważkości stosowane przy pomiarze szumów w łączach telefonicznych

Współczynnik ważkości w odniesieniu do częstotliwości:

a/ dla krzywej CCITT - 800 Hz

b/ dla krzywych:

- C
 - F1A
 - 144
- } 1000 Hz

dBa0 - jednostka poziomu szumu mocy odniesionej do mocy /szumu odniesienia/ 3,16 pW /symbol "a" jest skrótem angielskiego wyrażenia "adjusted" - wyrównany/, wyznaczonego względem punktu o poziomie 0 dBr; jednostka ta była stosowana w USA^{1/} w telekomunikacji przewodowej do oceny szumu za pomocą miernika szumu o charakterystyce filtru typu FIA /por. rys. na str. 17 /; $0 \text{ dBa0} = -85 \text{ dBm0} \hat{=} 3,16 \text{ pW0}$ lub $0 \text{ dBa0} = -82 \text{ dBm0}$ dla szumu białego;

dBrnC - jednostka poziomu mocy szumu odniesionej do mocy szumu odniesienia 1 pW /dodatkowy symbol "C" oznacza, że poziom ten jest "ważony" wg krzywej C/, wyznaczonego względem punktu o poziomie względnym 0 dBr; jednostka ta jest obecnie stosowana w USA w telekomunikacji przewodowej do oceny poziomu szumu za pomocą miernika szumu o charakterystyce filtru typu C /por. rys. na str. 17 /; $0 \text{ dBrnC} = -90 \text{ dBm0} \hat{=} 1 \text{ pW0}$ dla częstotliwości 1000 Hz lub $0 \text{ dBrnC} = -88 \text{ dBm0}$ dla szumu białego.

W przypadku oceny szumu w łączy radiofonicznych stosuje się psfometr /miernik szumu o charakterystyce filtru psfometrycznego innej niż dla łączy telefonicznych.

Mierniki poziomu /i niekiedy woltomierze/ skalowane w decybelach lub neparach wskazują poprawnie /por. [20]/ bezwzględną wartość poziomu napięcia. Wytwórcy tych narzędzi pomiarowych zaznaczają ten fakt, umieszczając na podzielnicach poziom odniesienia, jak np.: $1 \text{ mW } 600\Omega$; $U_0 = 0,775 \text{ V}$; $0 \text{ dB} \hat{=} 0,775 \text{ V}$. Niektóre z mierników poziomu są wykorzystywane jednocześnie do bezpośredniego pomiaru bezwzględnego poziomu mocy dla określonych znamionowych rezystancji falowych Z, zgodnie z następującą zależnością:

$$L_m = L_u + 10 \lg \frac{600}{Z} \quad [\text{dBm}] \quad /23/$$

gdzie:

L_m - bezwzględny poziom mocy wydzielanej na rezystancji Z,

L_u - bezwzględny poziom napięcia.

Tego rodzaju mierniki poziomu mają dodatkowy przełącznik "dB - dBm" włączający odpowiedni czwórnik korygujący wzmocnienie ich układu pomiarowego o wartość $10 \lg (600/Z)$ - por. tabl. 6.

Dla najczęściej spotykanych wartości mocy odniesienia zestawiono w tabl. 7 skuteczne wartości napięć występujące na rezystancjach odpowiadających znamionowym wartościom impedancji falowych dla spotykanych obecnie systemów transmisyjnych.

Wartości członu korekcyjnego obliczonego wg zależności /23/

Znamionowa rezystancja $Z[\Omega]$	$10 \lg \frac{600}{Z}$ [dB]	$\frac{1}{2} \ln \frac{600}{Z}$ [Np]
50	+10,79	+1,242
75	+ 9,03	+1,040
100	+ 7,78	+0,896
125	+ 6,81	+0,784
135	+ 6,48	+0,746
140	+ 6,32	+0,728
150	+ 6,02	+0,693
170	+ 5,48	+0,631
600	0,00	0,000
950	- 1,99	-0,230

Drugą podstawową logarytmiczną wielkością występującą w telekomunikacji jest tłumienność i wzmacnienie drogi przesyłowej, np. toru transmisyjnego.

T ł u m i e n n o ś ć lub w z m o c n o ś ć jest wielkością charakteryzującą zdolność drogi przesyłowej do zmniejszania lub zwiększania mocy sygnału przechodzącego przez tę drogę; wyraża się ona następującą zależnością:

$$A_m = 10 \lg \left| \frac{P_1}{P_2} \right| \text{ [dB]}, \quad A_m = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_1}{P_2} \right| \text{ [Np]} \quad /24/$$

Zgodnie z zależnością /4/ tłumienność mocy A_m jest równa tłumienności napięć lub prądów i członowi korekcyjnemu zależnemu od impedancji drogi przesyłowej w punkcie 1 i 2 /por. zależność /6//.

$$A_m = 20 \lg \left| \frac{U_1}{U_2} \right| + 10 \lg \left| \frac{Z_2}{Z_1} \right| = 20 \lg \left| \frac{I_1}{I_2} \right| + 10 \lg \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right| \text{ [dB]} \quad /25/$$

$$A_m = \ln \left| \frac{U_1}{U_2} \right| + \frac{1}{2} \ln \left| \frac{Z_2}{Z_1} \right| = \ln \left| \frac{I_1}{I_2} \right| + \frac{1}{2} \ln \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right| \text{ [Np]} \quad /26/$$

Tłumienność można zatem mierzyć także jako różnicę poziomów mocy / L_m / bądź jako różnicę poziomów napięć / L_U / lub prądów przy uwzględnieniu członu korekcyjnego wyrażonego przez logarytm stosunku impedancji w dwu punktach rozpatrywanej drogi przesyłowej:

T a b l i c a 7

Napięcia występujące na rezystancji dla różnych mocy odniesienia

Moc odniesienia	950Ω	600Ω	170Ω	150Ω	135Ω	125Ω	75Ω	50Ω	
1 pW	30,82	24,49	13,04	12,25	11,62	11,18	8,660	7,071	μV
10 pW	97,47	77,46	41,23	38,73	36,74	35,35	27,39	22,36	
10 000 pW	3,082	2,449	1,304	1,225	1,162	1,118	866,0	707,1	
1 mW	974,7	774,6	412,3	387,3	367,4	353,5	273,9	223,6	
6 mW	2,387	1,897	1,010	948,7	900,0	865,0	670,8	547,7	mV
10 mW	3,082	2,449	1,304	1,225	1,162	1,118	866,0	707,1	
12,5 mW	3,446	2,739	1,458	1,369	1,299	1,250	968,3	790,5	
1 W	30,82	24,49	13,04	12,25	11,62	11,18	8,660	7,071	V
1 kW	974,7	774,6	412,3	387,3	367,4	353,5	273,9	223,6	

$$A_m = 10 \lg \frac{|P_1|}{1 \text{ [mW]}} - 10 \lg \frac{|P_2|}{1 \text{ [mW]}} = L_{m1} - L_{m2} \quad /27/$$

$$A_m = 20 \lg \frac{|U_1|}{0,775 \text{ [V]}} - 10 \lg \frac{|U_2|}{0,775 \text{ [V]}} + 10 \lg \left| \frac{Z_2}{Z_1} \right| = L_{u1} - L_{u2} + 10 \lg \left| \frac{Z_2}{Z_1} \right| \quad /28/$$

Wzmocność i tłumienność są wielkościami przeciwnymi, tzn. ujemna tłumienność /oznaczająca wzrost mocy sygnału przy transmisji od punktu 1 do punktu 2/ jest równa wzmacnieniu, i odwrotnie.

Relacja $1 \text{ Np} \equiv 8,68... \text{ dB}$ wynika z zależności definicyjnych obu jednostek

$$\frac{P_1}{P_2} = 10^{0,1 N \text{ [dB]}} = e^{2 M \text{ [Np]}} \quad /29/$$

Logarytmując równanie /29/ uzyskuje się

$$M \text{ [Np]} = \frac{\ln 10}{20} N \text{ [dB]} \approx 0,11513 N \text{ [dB]} \quad /30/$$

Stąd wynikają relacje

$$1 \text{ Np} \approx \frac{1}{0,11513} \approx 8,6859 \text{ dB}, \quad 1 \text{ dB} \approx 0,11513 \text{ Np} \quad /31/$$

Przy podawaniu błędów pomiaru poziomu mocy /napięcia/ słuszne są następujące zależności:

$$\begin{aligned} \pm 0,02\% &\hat{=} \pm 0,001 \text{ /}\pm 0,002\text{ / dB} \hat{=} \pm 0,0001 \text{ /}\pm 0,0002\text{ / Np} \\ \pm 0,1\% &\hat{=} \pm 0,004 \text{ /}\pm 0,009\text{ / dB} \hat{=} \pm 0,0005 \text{ /}\pm 0,0010\text{ / Np} \\ \pm 1\% &\hat{=} \pm 0,043 \text{ /}\pm 0,086\text{ / dB} \hat{=} \pm 0,0049 \text{ /}\pm 0,0099\text{ / Np} \\ \pm 2\% &\hat{=} \pm 0,086 \text{ /}\pm 0,172\text{ / dB} \hat{=} \pm 0,0099 \text{ /}\pm 0,0198\text{ / Np} \end{aligned} \quad /32/$$

Na przykład względny błąd pomiaru mocy równy 1% odpowiada błędowi pomiaru poziomu tej mocy równemu 0,043 dB /0,0049 Np/, natomiast względny błąd pomiaru napięcia 1% odpowiada błędowi pomiaru poziomu tego napięcia równemu 0,086 dB /0,0099 Np/.

5.2.3. Dodatkowe przykłady zastosowań jednostki decybel

Jednostka wielkości logarytmicznych decybel przyjęta się poza telekomunikacją przewodową także w radiotechnice i elektroakustyce. Przedstawione tu zostaną

szczególnie ważne w radiokomunikacji wielkości logarytmiczne stosunkowe/współczynniki^{1/} wielkości sygnałów użytecznych do zakłócających lub gęstości strumienia wypromienowanej energii do gęstości odniesienia /bezwzględne poziomy gęstości mocy/.

Odstęp^{2/} "R" między poziomem mocy /napięcia/ sygnału a poziomem mocy /napięcia/ szumu - logarytm stosunku mocy /napięcia/ sygnału P_U / U_U do mocy /napięcia/ szumu P_S / U_S w danym punkcie układu:

$$R = 10 \lg \left| \frac{P_U / P_S}{U_U / U_S} \right| \text{ [dB]} \quad \text{lub} \quad R = 20 \lg \left| \frac{U_U / U_S}{U_U / U_S} \right| \text{ [dB]} \quad /33/$$

W przypadku logarytmu stosunku mocy P_w lub natężenia pola elektrycznego sygnału użytecznego E_w do maksymalnej dopuszczalnej wartości mocy P_i lub natężenia pola elektrycznego sygnału zakłócającego /interferencyjnego/ E_i otrzymamy nową wielkość mierzoną w decybelach, tzw. współczynnik protekcji "A"

$$A_z = 10 \lg \left| \frac{P_w / P_i}{E_w / E_i} \right| \text{ [dB]} \quad \text{lub} \quad A_z = 20 \lg \left| \frac{E_w / E_i}{E_w / E_i} \right| \text{ [dB]} \quad /34/$$

Następnymi przykładami zastosowania decybeli są logarytmiczne wielkości stosunków złożonych współczynników związanych z gęstością mocy przypadających na jednostkę takich wielkości, jak: powierzchnia, częstotliwość, temperatura oraz powierzchnia i częstotliwość. Te wielkości logarytmiczne określają odpowiednio bezwzględne poziomy gęstości mocy.

Wartości odniesienia tych wielkości logarytmicznych /współczynników/ podaje się przy symbolu dB, dodając oznaczenie "re" /skrót łacińskiego słowa "referrri" - odnosi się/ bądź w nawiasie.

Najczęściej spotykanymi wielkościami /współczynnikami/ logarytmicznymi są:

Bezwzględny poziom gęstości mocy przypadający na jednostkę częstotliwości L_f :

$$L_f = 10 \lg \frac{P / \Delta f \text{ [mW/kHz]}}{1 \text{ [mW/kHz]}} \text{ [dB]} \quad /35/$$

^{1/} W skrócie wielkości logarytmiczne stosunkowe zwane są potocznie współczynnikami lub stosunkami /np. stosunek sygnału do szumu/.

^{2/} Dotyczy logarytmu stosunku mocy sygnałów pomiarowych /sinusoidalnych/ lub użytecznych do mocy sygnałów zakłócających.

gdzie: P - moc /np. szumów/, Δf - częstotliwość /szerokość pasma/, przy czym $0 \text{ dB} \hat{=} 1 \text{ mW/kHz} = 1 \text{ W/MHz} = 1 \mu\text{W/Hz}$.

Stosunek mocy średniej do pasma częstotliwości zwany jest gęstością widmową mocy i wyrażony jest w jednostce mocy na jednostkową szerokość pasma częstotliwości charakterystyczną dla omawianej techniki. Logarytm tego stosunku jest bezwzględny poziom gęstości widmowej mocy.

Bezwzględny poziom gęstości mocy na jednostkę powierzchni L_s :

$$L_s = 10 \lg \frac{P/s \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]}{1 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]} \text{ [dB]}; \quad 0 \text{ dB} \hat{=} 1 \text{ W/m}^2 \quad /36/$$

gdzie: P - moc, s - powierzchnia. Przykładowy zapis: $L_s = -40 \text{ dB re } 1 \text{ W/m}^2$ lub $L_s = -40 \text{ dB / } 1 \text{ W/m}^2 / = -10 \text{ dB / } 1 \text{ mW/m}^2 /$.

Bezwzględny poziom gęstości mocy na jednostkę temperatury L_t :

$$L_t = 10 \lg \frac{P/t \left[\frac{\text{mW}}{\text{K}} \right]}{1 \left[\frac{\text{mW}}{\text{K}} \right]} \text{ [dB]}; \quad 0 \text{ dB} \hat{=} 1 \text{ mW/K} \quad /37/$$

gdzie: P - moc, t - temperatura w stopniach skali termodynamicznej - kelwinach K. Przykładowy zapis: $L_t = +45 \text{ dB / } 1 \text{ mW/K} / = +15 \text{ dB / } 1 \text{ W/K} /$ lub $L_t = +45 \text{ dB re } 1 \text{ mW/K}$.

Bezwzględny poziom gęstości mocy na jednostkę powierzchni i pasma częstotliwości L_{sf} :

$$L_{sf} = 10 \lg \frac{P/(s \cdot \Delta f) \left[\frac{\text{W}}{(\text{m}^2 \cdot \text{Hz})} \right]}{1 \left[\frac{\text{W}}{(\text{m}^2 \cdot \text{Hz})} \right]} \text{ [dB]}; \quad 0 \text{ dB} \hat{=} 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz}) \quad /38/$$

gdzie: P - moc, s - powierzchnia, Δf - szerokość pasma częstotliwości. Przykładowy zapis: $L_{sf} = -18 \text{ dB re } 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz})$ lub $L_{sf} = -18 \text{ dB } (1 \text{ Wm}^{-2} \text{ Hz}^{-1})$.

Bezwzględny poziom natężenia pola elektrycznego L_E lub magnetycznego L_H

Właściwości pola elektromagnetycznego można określić przez podanie jak wyżej gęstości mocy bądź natężenia pola elektrycznego E /lub natężenia pola magnetycznego H /. Na przykład:

$$L_E = 20 \lg \frac{E \text{ } [\mu\text{V/m}]}{1 \text{ } [\mu\text{V/m}]} \text{ [dBe]}, \quad 0 \text{ dBe} \hat{=} 1 \mu\text{V/m} \quad /39/$$

gdzie: E - natężenie pola elektrycznego. Przykładowy zapis: $L_E = 60 \text{ dB re } 1 \mu\text{V/m}$ lub $L_E = 60 \text{ dB } / 1 \mu\text{V/m/}$.

Innym zastosowaniem decybelu jest użycie go jako jednostki przy określaniu poziomów sygnałów występujących w elektroakustyce przy przesyłaniu sygnałów mowy i muzyki. Już w latach trzydziestych zwrócono uwagę na niejednoznaczność wyników pomiaru wzmocnienia sygnałów występujących w układach transmisyjnych w radiofonii. Początkowo obrano empirycznie subiektywny poziom odniesienia głośności muzyki i mowy i oznaczono go jako "0" na środku podzielnicy przyrządu, zwanego w o l u m e t r e m /stanowiącego pewien rodzaj miernika poziomu wysterowania/. Przyrząd ten wzorcowano sygnałem sinusoidalnym, a stosowano do pomiarów poziomów sygnałów złożonych o dużej dynamice. Pierwotnie - dla odróżnienia od mierników poziomu stosowanych w telefonii - przyrząd ten był skalowany w jednostkach VU /volume unit/ - stąd nazwa wolometr². Następnie wolometr skalowano w decybelach, a jako moc odniesienia przyjęto moc $6 \text{ mW} / 0 \text{ dBs} \hat{=} 6 \text{ mW/}$ lub napięcie /wartość skuteczna/ odniesienia /na $600 \Omega / 1,897 \text{ V}$. Każdy wolometr ma miernik wskazówkowy o ściśle określonych właściwościach dynamicznych, decydujących o jego właściwościach całkowitych.

5.3. Podsumowanie i wnioski

Podane wyżej zastosowania decybelu nie obejmują wszystkich ich oznaczeń /dotyczy to głównie ich zastosowania w akustyce/. Wydaje się celowe uzupełnienie tego artykułu opracowaniem pozostałych zastosowań decybelu.

Z uwagi na wydane przez międzynarodowe organizacje zalecenia /por. [8], [9], [10], [12]/ oraz cząstkowe, absolutnie niewystarczające, krajowe opracowania dotyczące jednostek wielkości logarytmicznych /por. [13], [14], [21], autor uważa, że należy opracować odpowiedni dokument normalizacyjny w tym zakresie.

Wnioskiem dość śmiałym, lecz nasuwającym się z lektury pozycji bibliograficznych /podanych w punkcie 6/ na rozpatrywany temat, jest konieczność takiego uproszczenia definicji wielkości logarytmicznych, aby znikły wartości współczynników 10 i 20 przy logarytmach stosunku mocy i napięcia. Następstwem takiej reformy byłaby oczywiście zmiana nazwy jednostki; np. według [16] jednostka ta mogłaby nazywać się decylogiem /logarytm dziesiętny stosunku dwu wielkości równy $10^{0,1}$ /. Podobnie należałoby ujedynolnić przebiegi charakterystyk filtrów stosowanych w psfometrach przy pomiarze szumów. Obydwa te zabiegi przyczyniłyby się niewątpliwie do zmniejszenia liczby dodatkowych oznaczeń decybeli i uprościłyby ich zapis formalny z uwagi na coraz szersze wprowadzanie do eksploatacji automatycznej aparatury badawczej.

Odrębne zagadnienie, obecnie szczególnie ważne, stanowi sprawa przejścia z jednostki neper na decybel. Przejście to pociąga za sobą poważne konsekwencje techniczno-ekonomiczne związane z wymianą aparatury badaniowej oraz regulacją lub wymianą istniejących w sieci urządzeń telekomunikacyjnych. Pierwszy etap tego przejścia został już dokonany w resorcie łączności przez rozpowszechnienie tablic przeliczeniowych. Autor sądzi, że etap drugi - wymiana aparatury badaniowej - potrwa do około 1985 r., ponieważ producenci zaprzestali już od 1975 r. wytwarzać narzędzia pomiarowe skalowane w neperach, a okres użytkowania tych narzędzi pomiarowych nie przekracza na ogół 10 lat.

W zakresie dotyczącym urządzeń telekomunikacyjnych będą w tym okresie stosowane odpowiednie zabiegi techniczne pozwalające na regulację tych urządzeń zgodnie z nowymi wartościami poziomów wyrażonych w decybelach. Całkowite rozwiązanie tego zagadnienia nastąpi prawdopodobnie nie wcześniej niż w 1990 r.

6. WYKAZ LITERATURY

1. Uniński S.: Rozwój jednostki tłumienia. Przegląd Teletechn. 1930 z. 4 s.121-123.
2. Hochrainer A.: Verhältnisgrößen. ETZ-A 1960 Bd.81 H.8 s. 305-309.
3. Reichardt W.: Ist 1 Np = 8,6853 dB und darf man Anhängsel an dB anbringen? Frequenz 1962 Bd.16 Nr 3 s. 97-102.
4. Zaiser W.: Pegelangaben in der Übertragungstechnik. NTZ 1969 H.3 s.137-142; H.9/1963 s. 461-463.
5. Zuhrt H.: Über Größen Einheiten der Dimension Eins. Arch. Elektron. Übertr. 1965 Bd.19 H.5 s. 281-288.
6. Schrödter G.: Das Dezibel und seine besondere Definitionen. Fernmelde - Prax. 1963 Bd.40 Nr 7 s. 24-25.
7. Froom R.: The Decibel. Telecomm. J. 1964 Vol. 31 Nr 9 s. 257-259.
8. Logarithmierte Größenverhältnisse /Pegel, Masse/. DIN 5493. August 1972, s. 3.
9. Edinica izmerenija decibel dlja Izmerenija urovnej v apparature provodnoj svjazi - Osnovnye opredelenija RS 3532-72. Dekabr' 1972, s. 7.
10. CCIR: Report ... limits on the use of the term "decibel". Doc. CMV/1008-E, 19 February 1974. Geneva: CCIR 1974, s. 14.
11. Quintas V.: The decibel. Telecomm. J. 1974 Vol. 41 Nr 11 s. 653-666.
12. IEC: Letter symbols to be used in electrical technology. Part 3: Logarithmic quantities and units. Publ. 27-3. Geneva 1974, s. 21.

13. Praca analityczno-badawcza do projektu Polskiej Normy "Urządzenia telekomunikacyjne. Wielkości transmisyjne. Jednostka pomiarowa decybel. Oznaczenia i zależności". Warszawa: It 1975 s. 9.
14. Zarządzenie Nr 19 Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacji i Miar z dn. 5.1.1976 r. w sprawie ustalenia definicji nazw i oznaczeń jednostek miar. Monitor Polski 1976 Nr 4 /9.11.1976 r./.
15. Reichardt W.: Das SI und Einheiten der Akustik. Acustica 1977 Vol. 37 Nr 2 s. 59-63.
16. Ginkin G.G.: Logarifmy, decibely, decilogi. Moskva, Leningrad: Gosenergoizdat 1962.
17. Bildungmaier M., Haag A., Kühnemann K.: Einheiten-Grundbegriffe - Messverfahren der Nachrichten-Übertragungstechnik. Berlin, Monachium: Siemens 1973.
18. Dudziewicz J.: Pomiar y teletransmisyjne. Warszawa: WKiŁ 1975.
19. Rahmig G.: Niederfrequenz - Übertragungstechnik. Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz. 1972.
20. Dudziewicz J.: Metody pomiaru poziomu stosowane w eksploatacji sieci telekomunikacyjnej. Wlad. Telekom. 1976 Nr 1 s. 1-9.
21. Urządzenia radiofoniczne. Część emisyjna drogi przesyłowej sygnałów radiofonicznych. Poziomowanie drogi. Norma BN-76/3320-03. arkusz 01.

