

Decybele w praktyce radioamatora

Decybel (dB) to jedna dziesiąta bel (od nazwiska Aleksandra Grahama Bella - wynalazcy telefonu). Starsi Czytelnicy pamiętają, że przed laty obowiązującą jednostką był neper (1Np = 8,687dB, zaś 1dB = 0,1151Np). Obecnie decybel jest jednostką używaną do porównywania dwóch poziomów natężenia i jest na ogół stosowany do sygnałów dźwiękowych lub elektrycznych. Jak wiemy z fizyki, głośność dźwięku jest parametrem subiektywnym i zależy od wrażliwości ucha słuchacza. Z powodu logarytmicznych właściwości słuchu ludzkiego używanie tego typu jednostki okazało się bardziej praktyczne, niż posługiwanie się bezwzględными wartościami.

Dwa poziomy natężenia P oraz Po różnią się o n decybeli, jeżeli $n = 10 \log_{10} P/Po$. Jeśli mierzy się poziom natężenia dźwięku P, to Po jest poziomem odniesienia, za który zwykle przyjmuje się natężenie dźwięku o tej samej częstości na granicy słyszalności.

Dziesięciokrotny wzrost natężenia dźwięku odpowiada kolejnym dziesięciu decybelom. Zero decybeli to próg słyszalności. Warto wiedzieć, że człowiek rozmawia z natężeniem dźwięku około 60dB, słucha muzyki o natężeniu 90 decybeli, a odgłos startującego samolotu odrzutowego to w tej skali około 160-170dB (już za granicą bólu, która wynosi ok. 130dB).

Jednostka dB nie jest do końca dobrze rozumiana i stosowana przez początkujących elektroników. Z tego też względu w poniższym artykule zebrano najważniejsze informacje praktyczne na temat zastosowania decybeli przy określaniu parametrów układów elektronicznych (głównie nadawczo-odbiorczych).

W radiokomunikacyjnych układach analogowych dla określenia poziomu wzmocnienia, tłumienia, zysku, szumu czy innych wielkości charakterystycznych urządzenia, podaje się logarytmiczny stosunek sygnału wejściowego do wyjściowego (napięcia bądź mocy) zgodnie ze wzorami:

$$n = 20 \lg (U_2/U_1) [dB]$$

$$n = 10 \lg (P_2/P_1) [dB]$$

gdzie \lg - logarytm dziesiętny o podstawie 10

W przypadku, kiedy U_2 jest mniejsze od U_1 (podobnie P_2 mniejsze od P_1), wynik będzie ujemny (tłumienia sygnału).

Warto także zapamiętać, że:

- dwukrotne zwiększenie (obniżenie) napięcia powoduje podwyższenie (obniżenie) napięcia o 6dB,

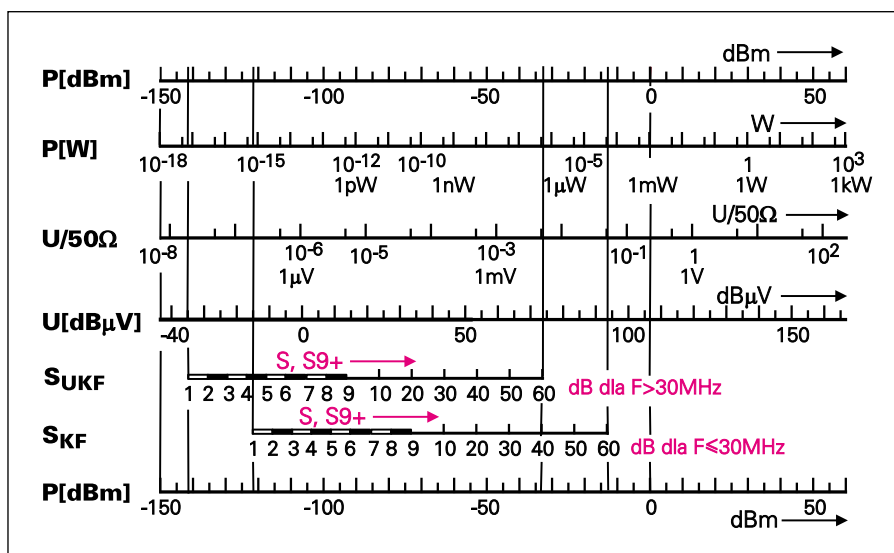
- dziesięciokrotne zwiększenie (obniżenie) napięcia powoduje podwyższenie (obniżenie) napięcia o 20dB (100-krotne o 40dB, a 1000-krotne o 60dB),

- dwukrotne zwiększenie (obniżenie) mocy powoduje podwyższenie (obniżenie) poziomu mocy o 3dB,

- dziesięciokrotne zwiększenie (obniżenie) mocy powoduje podwyższenie (obniżenie) poziomu mocy o 10dB.

Dla ułatwienia skomplikowanych przeliczeń (zależności pomiędzy napięciem, mocą i wskazaniem S-metra odbiornika) można użyć praktycznego nomogramu przedstawionego na **rysunku 1**. Podane wartości służą dla znormalizowanej impedancji 50Ω.

Rys. 1



Odczytanie odpowiadających sobie wartości jest możliwe przy przyłożeniu linijki dokładnie prostopadle do skal. Dla ułatwienia skala dBm została narysowana dwukrotnie: na górze oraz na dole nomogramu.

Poniżej zostaną podane najważniejsze wiadomości na temat podstawowych wielkości występujących w układach elektronicznych (radiowych).

Napięcie

Miara logarytmiczna w elektronice jest stosowana dla określenia między innymi poziomów sygnałów odbiorczych, a także sygnałów nadawczych.

Poziomy sygnałów na wejściu odbiornika definiuje się stosunkiem napięciowym, przy czym jako wielkość odniesienia przyjmuje się 1μV. Ponieważ impedancje: wejściowa i wyjściowa nadajnika oraz odbiornika mają z reguły znormalizowaną wartość 50Ω, więc sygnał odbierany w zakresie KF z siłą S9 odpowiada poziomowi 34dB lub

50μV. W zakresie UKF siłę sygnału S9 odpowiada poziom 5μV.

W przypadku pola elektromagnetycznego wielkością odniesienia jest 1μV/m.

Moc

Również w mierze logarytmicznej podaje się moc wyjściową wzmacniaczy (nadajników). Jako wielkość odniesienia przyjęto 1W, względnie 1mW (0dBW = 1W, 0dBm = 1mW).

Dla przykładu, moc wyjściowa nadajnika 100W = 20dBW, względnie 50dBm.

Dla przeliczenia mocy z napięcia trzeba znać wewnętrzną impedancję. Zakładając znormalizowaną wartość impedancji 50Ω, otrzymujemy następujące wielkości, warto do zapamiętania:

$$0dB\mu V/50\Omega = -107dBm$$

$$1\mu V/50\Omega = 2*10^{-14}W = 2*10^{-11}mW = 2*10^{-9}\mu W$$

Odstępy zakłóceń

Odstępy zakłóceń są różnicami poziomów pomiędzy sygnałem użytecznym a sygnałami zakłócającymi sygnał użyteczny.

Dla przykładu, jeżeli S - meter odbiornika wskazuje sygnał użyteczny S=9, zaś sygnały zakłóceń S=6, znaczy to, że odstęp zakłóceń wynosi 3S, czyli 18dB (1S=6dB).

Ponieważ na KF S9 = 50μV = 34dB (przy impedancji 50Ω), to odstęp poziomu zakłóceń wynosi 34dB-18dB = 16dB = 6,25μV.

Również w dB podaje się poziomy zakłóceń urządzeń nadawczych. Odstęp zakłóceń = Ps/Pz.

Ps - moc sygnału częstotliwości podstawowej,

P_z - moc sygnału częstotliwości zakłócającej.

Jeżeli np. moc wyjściowa nadajnika wynosi 100W, zaś odstęp zakłóceń wynosi 40dB, moc częstotliwości zakłócającej wynosi 10mW ($100W : 10000 = 0,01W$).

Czułość odbiornika też bywa definiowana przy określonym stosunku sygnału do szumu.

Szumy odbiorników

W mierze logarytmicznej podaje się również szumy własne odbiorników. Moc szumów jest definiowana zależnością:

$$P_s = F k T_o \Delta f [W]$$

F - liczba szumowa odbiornika

k - stała Boltzmana (1.380658 10 do -23 JK do -1)

T_o - temperatura źródła szumów

f - szerokość pasma przenoszenia odbiornika

W temperaturze pokojowej (290 st K) 1 k To = $4 \cdot 10$ do -21 W/Hz czyli - 174 dBm/Hz

Miarę szumową odnosi się do $F = 1$ (miara szumowa rezystora omowego).

Zysk anteny

W przypadku podawania zysku anteny należy sprecyzować antenę odniesienia. Jeśli anteną odniesienia jest dipol półfalowy, należy posługiwać się indeksem dBd, a jeśli antena jest o charakterystyce izotropowej (kulistej) -dBi. Jest to bardzo ważne, ponieważ na tym tle powstaje wiele nieporozumień, szczególnie kiedy zapomina się (lub celowo zataja) podanie źródła odniesienia. Bez tej dodatkowej informacji takie dane są bezwartościowe, bowiem zysk anteny odniesiony do anteny o charakterystyce kulistej jest o 2,15dB mniejszy od zysku anteny dipolowej (1dBd = 2,15dBi).

Przykład obliczeniowy

Zebrałe powyżej podstawowe wyjaśnienia i zależności w zasadzie powinny wystarczyć do swobodnego przeliczania wzmocnienia, tłumienia, zysku czy poziomu sygnału w układach nadawczo-odbiorczych.

Oto prosty przykład (rysunek 2). Po nadajniku KF o mocy wyjściowej 100W podłączono wzmacniacz liniowy o wzmocnieniu 7dB, kabel z tłumieniem 4dB oraz antenę z zyskiem 6dBi. Obliczyć moc wypromieniowaną.

Bilans mocy wygląda następująco:

Wzmacniacz: 7dB (wzmocnienie 5 razy)

Kabel: -4dB (wzmocnienie 0,4 raza)

Antena: 9dBi (wzmocnienie 8 razy)

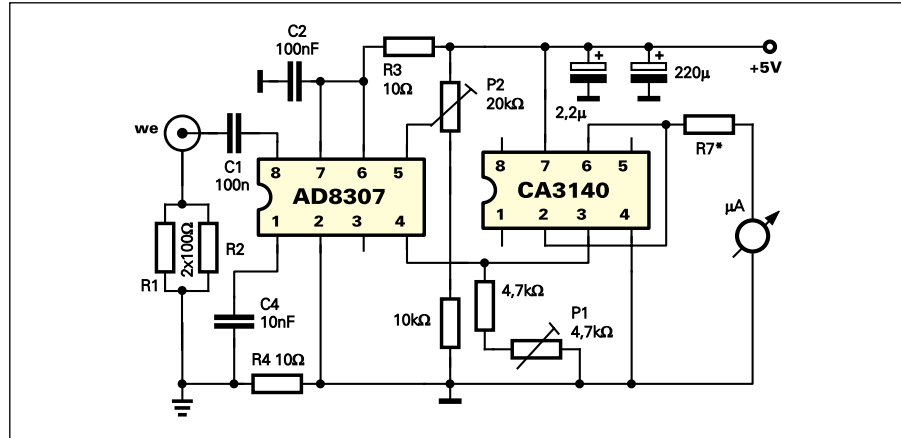
Razem: 7 - 4 + 9 = 12dB ($5 \cdot 0,4 \cdot 8 = 16$ razy)

Moc wypromieniowana: 50dBm (100W)

+ 12dB = 62dBm

lub inaczej $100 \cdot 16 = 1600W = 1,6kW$

Przy podobnych obliczeniach logarytmiczne wielkości mocy oraz tłumienia można sumować bez żadnych ograniczeń (nawet dla wyznaczenia tłumienia propagacji pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem), natomiast nie można sumować poziomów napięć.



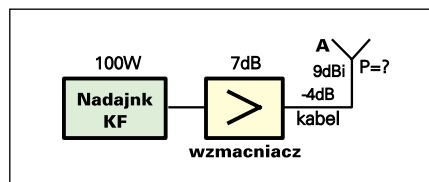
Rys. 2

Pomiary praktyczne

W celu zmierzenia poziomów napięcia sygnału w.cz. można posługiwać się oscyloskopem lub - z gorszym rezultatem - sondą w.cz. W praktyce najlepiej będzie użyć szerokopasmowego decybelomierza w.cz. o dużym zakresie pomiarowym. Niestety takie fabryczne mierniki poziomu w.cz. wyskalowane w decybelach są naprawdę drogie, a te własnej konstrukcji są przeważnie niedostatecznie czułe i bardzo uzależnione od temperatury.

Dzięki dostępnym w kraju scalonym układom wzmacniaczy logarytmujących AD8307 firmy Analog Devices istnieje możliwość skonstruowania dokładnego, a przy tym prostego decybelomierza w.cz.

Schemat przykładowego decybelomierza z zastosowaniem układu AD8307 pokazano na rysunku 3.



Rys. 3

Wielkość mierzona jest podawana do nóżki 8 US1 poprzez gniazdo BNC i kondensator separujący C1. Drugie wejście tego układu jest połączone z masą poprzez kondensator C4. Wartości tych kondensatorów zostały dobrane tak, by zapewnić dolną częstotliwość graniczną poniżej 100kHz.

Rezystory R1 i R2 zapewniają typową impedancję miernika w.cz. o wartość 50Ω. Użycie dwóch równolegle połączonych rezystorów minimalizuje pasywną indukcyjność. Zaleca się stosowanie rezystorów do montażu powierzchniowego.

Sygnałem wyjściowym układu scalonego jest zasadniczo prąd, powodujący spadek napięcia na wewnętrznym rezystorze 12,5k (wyprowadzenie wyjściowe 4). Potencjometrem P1, dołączonym do wyjścia

układu, ustala się czułość urządzenia na 25mV/dB.

Kondensator C5 służy do zapewnienia stabilnego pomiaru, a jego wartość została dobrana kompromisowo (większa pojemność daje bardziej stabilny, ale i bardziej spowolniony odczyt; mniejsza wartość daje szybsze przemiatanie).

Potencjometr P2 umożliwia równoległe przesunięcie charakterystyki poprzez wprowadzenie tłumienia do 14dB lub wzmocnienia do 26dB.

Zadaniem R4 jest odsprężenie wyjścia US1 od pozostałej części układu, a jednocześnie poprawienie współczynnika odpowiedzi dla małych sygnałów.

Ze względu na wysoką impedancję wyjściową układu potrzebny jest wzmacniacz buforujący US2, dzięki któremu można dołączać do układu obciążenia o niskiej impedancji, np. miernik magnetoelektryczny z ruchomą cewką.

Po doprowadzeniu do wejścia układu sygnału w.cz. decybelomierz dostarcza napięcia stałego wprost proporcjonalnego do logarytmu sygnału wejściowego. Odczyt jest kalibrowany w dB odniesionych do 1µV. Czułość układu wynosi 10mV/dB, tak więc sygnał wejściowy 100dBu odpowiada napięciu wyjściowemu 1V.

Układ miernika można zmontować na uniwersalnej płytce drukowanej lub sposobem przestrzennym, pamiętając o krótkich doprowadzeniach wejściowych. Zmontowany układ powinien być włożony w uziemioną, metalową obudowę wyposażoną w gniazda: wejściowe, wyjściowe i zasilania. W przypadku trudności z zapewnieniem napięcia stabilizowanego 5V można dołączyć dodatkowy zasilacz 7805 i doprowadzić napięcie z zakresu 8...16V.

Układ miernika powinien być kalibrowany z generatorem sygnałowym w.cz. W tym celu należy do wejścia doprowadzić sygnał o częstotliwości 10MHz i poziomie 60dBu (1mV wartości skutecznej). Posługując się multimetrem cyfrowym, należy zmierzyć napięcie na wyjściu US1, zwiększając lub zmniejszając sygnał generatora dokładnie o 10dB i obracając potencjometr P1, by spowodować zmianę odczytu multimetra o 100mV.

Obracając potencjometr P2 należy doprowadzić wskazania miernika do wartości 600mV. Kalibrację można powtórzyć dla kilku innych częstotliwości, dla zapewnienia większej wszechstronności działania.

W przypadku braku generatora sygnałowego można regulować potencjometr P1, aż rezystancja pomiędzy jego suwakiem i ziemią, zmierzona multimetrem cyfrowym, wyniesie 1383Ω , a następnie - regulując poten-

cyjometrem P2, do uzyskania na jego suwaku (wyprowadzenie 5) napięcia 1,627V.

Poprawnie skalibrowany przyrząd zapewnia przyzwoitą pracę w zakresie częstotliwości: 100kHz...110MHz z błędem <1dB (100kHz...200MHz z błędem >2dB; zakres decybelowy miernika obejmuje 32...117dBu z błędem przy 10MHz <1dB).

Więcej informacji o układzie AD8307 jest zamieszczone na stronie internetowej

www.analog.com lub w miesięczniku **Świat Radio** 8/1999.

Ze względu na trudności z zakupem ww. układu scalonego (cena pojedynczych sztuk wynosi kilkanaście USD) kit miernika nie jest dostępny w sklepie AVT. Przy większym zainteresowaniu istnieje możliwość sprowadzenia układów i ich zakupu w sieci handlowej AVT.

Andrzej Janeczek
