

Kalkulator decybelowy

Z decybelową miarą względną każdy elektronik spotyka się bardzo często – nie każdy jednak (zwłaszcza początkujący) operuje decybelami w sposób płynny, szczególnie, gdy chodzi o przeliczenie poziomu mocy lub napięcia (prądu) wyrażonego w jednostkach względnych, na wartość wyrażoną w jednostkach bezwzględnych.

Postanowiłem przybliżyć te zagadnienia, łącznie z podaniem wielu praktycznych zależności, łączących ze sobą te wielkości i dających możliwość sprawnego ich przeliczania w dowolnym kierunku. Ponadto, żeby dodatkowo ułatwić życie elektronikowi (i nie tylko) napisałem program o nazwie „Kalkulator decybelowy”, pracujący w systemie Windows, umożliwiający wzajemną konwersję decybeli w różnych „odmianach” na wartość mocy lub napięcia.



Decybel (dB) jest logarytmiczną miarą (jednostką) względną określającą stosunek wartości dwóch takich samych wielkości fizycznych np. mocy, napięcia, natężenia dźwięku itp., z których jedna jest wielkością odniesienia.

Decybele zaczęto po raz pierwszy stosować w laboratoriach Bell Telephone Laboratories, do określania stosunku mocy sygnałów przenoszonych przez linie telefoniczne. Pierwotnie stosowano jednostkę o nazwie TU – *transmission unit*, następnie zmieniono jej nazwę na Bel (B) na cześć wynalazcy telefonu Aleksandra Grahama Bella. Jeden Bel (1 B) oznacza dziesięciokrotny stosunek mocy dwóch sygnałów. W praktyce wygodniejsze okazało się jednak używanie jednostki dziesięciokrotnie mniejszej, czyli 1 dB = 0,1 B. Obecnie jednostka ta jest powszechnie wykorzystywana w elektronice – szczególnie w telekomunikacji, radiokomunikacji i elektroakustyce. Za jej pomocą wyraża się najczęściej poziom mocy lub napięcia sygnału oraz wzmocnienie lub tłumienie torów transmisyjnych, linii transmisyjnych, wzmacniaczy, filtrów itp.

Oznaczmy moc danego sygnału jako P₂, natomiast drugi sygnał oznaczony jako P₁ potraktujmy jako sygnał odniesienia. Jeżeli stosunek tych dwóch sygnałów wynosi

$$\frac{P_2}{P_1} = 2$$

to będzie to równoważne (w belach)

$$\log \frac{P_2}{P_1} = \log 2 = 0,301 \text{ B}$$

lub w decybelach

$$10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log 2 = 3,01 \text{ dB}$$

a jeśli

$$\frac{P_2}{P_1} = 0,5$$

to

$$10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \frac{1}{2} = -3,01 \text{ dB}$$

Jeśli sygnał P₂ = P₁ to wówczas

$$10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log 1 = 0 \text{ dB}$$

Z powyższego przykładu można wywnioskować, że jeżeli wartość wyrażona w decybelach jest dodatnia, to dany sygnał jest większy od sygnału odniesienia, jeżeli ujemna to jest od niego mniejszy, a jeżeli równa jest 0 dB, to sygnał ten jest równy sygnałowi odniesienia.

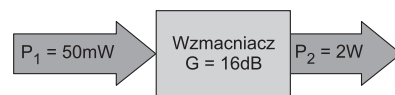
Przeanalizujmy teraz przypadek zobrazowany na rys. 1.

Moc dostarczona do wzmacniacza wynosi P₁ = 50 mW, a po przejściu przez układ wydziela się w obciążeniu P₂ = 2 W. Oznacza to, że wzmocnienie mocy wzmacniacza wynosi

$$G = \frac{P_2}{P_1} = \frac{2}{50 \cdot 10^{-3}} = 40$$

czyli

$$G = 10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \frac{2}{50 \cdot 10^{-3}} = 16 \text{ dB}$$



Rys. 1. Decybel, jako jednostka wzmocnienia

Tab. 1. Względne jednostki mocy	
Jednostka	Moc sygnału odniesienia
dBW	1 W (wat)
dBm	1 mW (miliwat)
dBf	1 fW (femtowat – 10 ⁻¹⁵ W)

W powyższym przykładzie decybel wykorzystany został, jako jednostka określająca wzmocnienie układu.

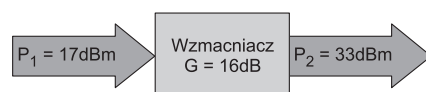
Bardzo często, zamiast bezwzględnej wartości mocy, stosuje się wartości względne odniesione do mocy 1 W, 1 mW, itp. Uzyskujemy wtedy jednostki pochodne, z których najczęściej stosowane pokazane zostały w tab. 1.

I tak na przykład, jednostka o nazwie dBm oznacza względny poziom mocy sygnału odniesiony do mocy 1 mW, który wyznaczamy z zależności poniżej

$$P_{\text{dBm}} = 10 \log \frac{P[\text{mW}]}{1 \text{ mW}} = 10 \log \frac{P[\text{W}]}{10^{-3} \text{ W}}$$

Podobnie postępujemy przy wyznaczaniu pozostałych jednostek względnych, odnosząc je do odpowiedniej wartości mocy. Przeliczenia wartości względnych na wartości bezwzględne możemy dokonać za pomocą zależności zestawionych w tab. 2. W tabeli tej zostały także zamieszczone zależności umożliwiające przeliczanie wartości napięcia na jednostki względne (o czym będziemy szczegółowo mówić później).

Tab. 2. Wzory przeliczeniowe bezwzględnych wartości mocy i napięć na jednostki względne		
P[W]	U[V]	
10logP	10log(U ² /R)	dBW
10logP+30	10log(U ² /R)+30	dBm
10logP+150	10log(U ² /R)+150	dBf
10log(P·R)	20logU	dBV
10log(P·R/0,6)	20log(U/√0,6)	dBu
10log(P·R)+120	20logU+120	dBμV



Rys. 2. Decybel, jako jednostka wzmocnienia i poziomu mocy

Korzystając z powyższych zależności możemy przekształcić przykład z rys. 1 do postaci pokazanej na rys. 2.

Wówczas wzmocnienie mocy wyznaczmy stosując zależność

$$G_{dB} = P_2 - P_1 = 33 - 17 = 16 \text{ dB}$$

gdzie poziomy mocy P1 i P2 wynoszą:

$$P_1 = 10 \log \frac{50 \cdot 10^{-3}}{10^{-3}} = 17 \text{ dBm}$$

$$P_2 = 10 \log \frac{2}{10^{-3}} = 33 \text{ dBm}$$

Oczywiście istnieje ścisła relacja między poziomami mocy wyrażonymi w różnych jednostkach względnych – otóż, ponieważ

$$1 \text{ W} = 10^3 \text{ mW} = 10^{15} \text{ fW}$$

stąd

$$10 \log 10^3 = 30, \quad 10 \log 10^{15} = 150$$

czyli

$$1 \text{ dBW} = 30 \text{ dBm} = 150 \text{ dBf}$$

Dla naszego przykładu uzyskujemy

$$P_1 = 17 \text{ dBm} = -13 \text{ dBW} = 137 \text{ dBf}$$

$$\uparrow 16 \text{ dB} \quad \uparrow 16 \text{ dB} \quad \uparrow 16 \text{ dB}$$

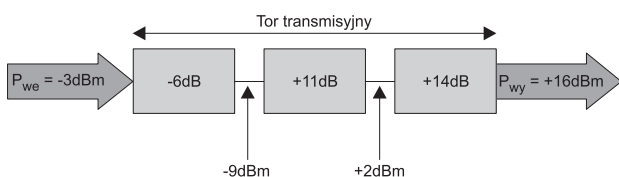
$$P_2 = 33 \text{ dBm} = 3 \text{ dBW} = 153 \text{ dBf}$$

a różnica poziomów mocy P2 i P1 (niezależnie od rodzaju jednostki) wynosi w tym przypadku 16 dB.

Stosowanie miary decybelowej jest szczególnie wygodne przy określaniu transmitancji wypadkowej szeregu układów (bloków elektronicznych) połączonych kaskadowo (rys. 3).

Znając wartość transmitancji każdego z elementów składowych toru, poprzez który przenoszony jest sygnał, w łatwy sposób możemy określić jego poziom wyjściowy, jako wynik prostej operacji dodawania (w mierze liniowej byłby to iloczyn) wartości wzmocnienia, bądź tłumienia każdego bloku. Jeśli wynik ten będzie dodatni to znaczy, że tor transmisyjny wzmacnia sygnał wejściowy, a jeżeli będzie ujemny, to tor tłumia ten sygnał, czyli poziom sygnału wyjściowego jest mniejszy niż sygnału wejściowego.

W celu dokonania konwersji względnego poziomu mocy na wartość bezwzględną wyrażoną w watach, możemy skorzystać z zależności zestawionych w tab. 3.



Rys. 3. Decybel, jako jednostka wzmocnienia i poziomu mocy

Do tej pory wykorzystywaliśmy decybele do porównywania poziomów mocy 2 sygnałów. W praktyce, równie często miara decybelowa wykorzystywana jest do porównywania poziomów różnych napięć. Zależnością, która łączy te obie wielkości fizyczne jest

$$P = \frac{U^2}{R}$$

gdzie U oznacza wartość skuteczną napięcia okładającego się na rezystancji R.

Korzystając z powyższej zależności otrzymujemy

$$10 \log \left(\frac{U_2^2 / R_2}{U_1^2 / R_1} \right)$$

Zakładając, że R2 = R1 mamy

$$[\text{dB}] = 10 \log \left(\frac{U_2^2}{U_1^2} \right) = 20 \log \frac{U_2}{U_1}$$

Widzimy więc, że stosunek dwóch napięć daje 2-krotnie większą różnicę wartości w mierze decybelowej, niż taki sam stosunek dwóch mocy, ale tylko wtedy, gdy moce te wydzieliły się na takich samych rezystancjach. Jeśli, zatem dokonamy porównania dwóch napięć, stanowiących np. tłumienie, bądź wzmocnienie jakiegoś układu, nie znając wartości rezystancji, na których odłożyły się te napięcia, to nie jesteśmy w stanie nic powiedzieć o relacjach mocy tych sygnałów.

Przykład:

R2=R1	
Gu=5 V/V	Gp=25 W/W
Gu=13,9 dB	Gp=13,9 dB

R2≠R1	
Gu=5 V/V	Gp=? W/W
Gu=13,9 dB	Gp=? dB

W praktyce bardzo rzadko dokonuje się przeliczenia wzmocnienia mocy na wzmocnienie napięciowe, dlatego traktując te wzmocnienia w oderwaniu od siebie możemy zaniedbać warunki równości rezystancji.

Przyjrzyjmy się teraz dokładniej poniższym zależnościom

$$10 \log \frac{A_2}{A_1} \quad 20 \log \frac{B_2}{B_1}$$

Obydwe określają relacje dwóch sygnałów w mierze decybelowej i obie są poprawne, aczkolwiek dadzą inne wyniki. Zależność z lewej strony jest zależno-

Tab. 3. Wzory przeliczeniowe jednostek względnych na bezwzględne wartości mocy i napięć

	P [W]	U [V]
dBW	$\frac{\text{dBW}}{10^{10}}$	$\sqrt{R} \cdot 10^{\frac{\text{dBW}}{20}}$
dBm	$\frac{\text{dBm} - 30}{10^{10}}$	$\sqrt{R} \cdot 10^{\frac{\text{dBm} - 30}{20}}$
dBf	$\frac{\text{dBf} - 150}{10^{10}}$	$\sqrt{R} \cdot 10^{\frac{\text{dBf} - 150}{20}}$
dBV	$\frac{\text{dBV}}{10^{10}} / R$	$\frac{\text{dBV}}{10^{20}}$
dBu	$0,6 \cdot 10^{\frac{\text{dBu}}{10}} / R$	$\sqrt{0,6} \cdot 10^{\frac{\text{dBu}}{20}}$
dBμV	$\frac{\text{dBμV} \cdot 120}{10^{10}} / R$	$\frac{\text{dBμV} \cdot 120}{10^{20}}$

ścią pierwotną, którą należy stosować przy porównywaniu mocy (bądź energii) sygnałów A1 i A2, natomiast zależność z prawej strony jest zależnością wtórną, która się wywodzi (jak to już wcześniej prześledziliśmy) z przejścia od mocy do napięcia i przyjęło się ją stosować do wyrażania relacji w mierze decybelowej dowolnych wielkości fizycznych nie mających wprost wymiaru energii (np. napięcia, prądu, ciśnienia akustycznego, itp.).

W tab. 4 zostały zestawione przykładowe wartości określające stosunek mocy dwóch sygnałów, odpowiadający im stosunek napięć (przy założeniu, że moce te wydziela się na takiej samej rezystancji) oraz wartość w decybelach.

Podobnie, jak dla mocy również często stosuje się zamiast bezwzględnej wartości napięcia wyrażonego w woltach, wartość względną odniesioną najczęściej do 1 V, 1 μV lub 0,775 V (pochodzeniem tej ostatniej wartości zajmujemy się później). Uzyskane w ten sposób jednostki pochodne zostały zestawione w tab. 5.

Przykładowo zapis 20 dBμV oznacza poziom napięcia o wartości bezwzględnej 10 μV odniesionej do wartości 1 μV.

Przeliczenia wartości względnych na wartości bezwzględne możemy dokonać za pomocą zależności zestawionych w tab. 3.

WAŻNE

Przeliczenie względnego poziomu mocy na bezwzględną wartość napięcia lub bezwzględnej wartości mocy na względny poziom napięcia jest możliwe tylko pod warunkiem znajomości wartości rezystancji, na której moc ta jest wydzielona.

Tab. 4. Przykładowe wartości stosunku mocy i napięć oraz odpowiadające im wartości w decybelach

P2/P1	U2/U1	dB	P2/P1	U2/U1	dB
10 ⁶	1000	60	10 ⁻⁶	0,001	-60
2,5·10 ⁵	500	53,98	4·10 ⁻⁶	0,002	-53,98
4·10 ⁴	200	46,02	2,5·10 ⁻⁵	0,005	-46,02
10 ⁴	100	40	10 ⁻⁴	0,01	-40
2,5·10 ³	50	33,98	4·10 ⁻⁴	0,02	-33,98
4·10 ²	20	26,02	2,5·10 ⁻³	0,05	-26,02
10 ²	10	20	10 ⁻²	0,1	-20
25	5	13,98	4·10 ⁻²	0,2	-13,98
10	√10 (3,162)	10	10 ⁻¹	10 ^{-1/2} (0,316)	-10
4	2	6,02	0,25	0,5	-6,02
2	√2 (1,414)	3,01	½ (0,5)	2 ^{-1/2} (0,707)	-3,01
1	1	0	1	1	0

Tab. 5. Względne jednostki napięcia

Jednostka	Napięcie sygnału odniesienia
dBV	1 V (wolt)
dBu (lub dBv)	0,775 V (dokładnie √0,6)
dBμV	1 μV (mikrowolt)

Zajmijmy się teraz relacją pomiędzy poziomem mocy, a poziomem napięcia. Jak pokazaliśmy wcześniej, istnieje ścisły związek między tymi wielkościami, a odpowiednich przeliczeń można dokonać pamiętając o bardzo ważnej zasadzie ujętej w poniższej ramce.

Przykład:

$$0 \text{ dBm} = 223,6 \text{ mV} / 50 \Omega = 273,8 \text{ mV} / 75 \Omega = 774,6 \text{ mV} / 600 \Omega$$

Powyższy przykład, w którym obliczenia zostały wykonane z wykorzystaniem zależności z tab. 3 pokazuje, że temu samemu poziomowi mocy odpowiada różna wartość napięcia w zależności od wartości rezystancji. Wykorzystane w tym przykładzie wartości rezystancji nie są przypadkowe. Dwie pierwsze wykorzystywane są najczęściej w radiokomunikacji, natomiast trzecia (tj. 600 Ω) to ustalona historycznie rezystancja obciążenia symetrycz-

nej linii telefonicznej – stosowana jest ona również w profesjonalnym sprzęcie audio.

Przyjrzyjmy się jeszcze raz powyższemu przykładowi, a szczególnie ostatniej uzyskanej wartości tj. 774,6 mV. Daje nam ona wyjaśnienie „tajemniczego” zapisu dBu (lub prawie już niestosowanego zapisu dBv, który był łatwo mylony z dBV). Otóż zapis ten wywodzi się z odniesienia poziomu napięcia do wartości (w przybliżeniu) 0,775 V. Takie właśnie napięcie odłoży się na rezystancji 600 Ω, na której wydziela się moc sygnału o poziomie 0 dBm. W jednostkach dBu („u” od *unterminated* – nieobciążony) stosowanych powszechnie do określania poziomu sygnału w profesjonalnym sprzęcie audio (magnetofony studyjne, konsole mikserskie, wzmacniacze estradowe, itp.) wyskalowane są miernikiysterowania – tzw. VU-metry (VU – *Volume Unit*). Poziom zero (0 VU) na miernikuysterowania jest standardowym poziomem sygnału audio. Nie jest on jednak równoważny poziomowi 0 dBu, lecz +4 dBu (czyli tyle samo, co

+4 dBm), co odpowiada wartości napięcia 1,228 V/600 Ω mierzonego przy nieobciążonym wyjściu danego urządzenia (wskazuje na to litera „u” w nazwie jednostki). Stosowanie w takim przypadku jednostki dB zamiast dBu (co zdarza się bardzo często) jest mylące, gdyż daje tylko informację o poziomie danego sygnału w stosunku do innego sygnału, bez odniesienia do bezwzględnej wartości napięcia.

Powróćmy jeszcze do tab. 1, w której jedną z jednostek jest dBf, czyli oznaczająca poziom mocy odniesiony do 1 femtowata. Można sobie zadać pytanie, dlaczego akurat do tak małej wartości (10⁻¹⁵ W), a nie np. do 1 μW. Oczywiście odniesienie do 1 μW można również stosować – uzyskujemy wówczas jednostkę względną o nazwie dBμ, natomiast moce rzędu femtowatów odpowiadają wartościom napięć rzędu mikrowoltów odkładających się na rezystancjach kilkudziesięciu omów np. 75 Ω. Rezystancja 75 Ω nie pojawiła się w tym miejscu przypadkowo, gdyż jest ona charakterystyczna dla wejść antenowych odbiorników radiowych, czy telewizyjnych – stąd np. poziom mocy 20 dBf odpowiada napięciu 2,74 μV/75Ω. W jednostkach dBf podaje się często poziom czułości radiowych urządzeń odbiorczych.

Oprócz jednostek wymienionych w tab. 1 i tab. 5 stosuje się jeszcze wiele innych, z których te najczęściej spotykane zostały zestawione (i opatrzone krótkim komentarzem) w tab. 6.

Na koniec kilka słów o programie „Kalkulator decybelowy”, którego okno główne pokazane jest na rys. 4. Jak już wspomniałem na wstępie program ten umożliwia

Tab. 6. Względne jednostki różnych wielkości fizycznych

Jednostka	Sygnału odniesienia	Opis
dB SPL	20 μPa (mikropaskali)	Względna jednostka ciśnienia akustycznego (SPL – Sound Pressure Level) odniesiona do najmniejszej wartości, jaką ucho ludzkie jest w stanie usłyszeć. Przykład: 80 dB SPL – hałas odkurzacza z odl. 1 m, 120 dB SPL – koncert rockowy, 10 dB SPL – oddech człowieka z odl. 3 m
dBFS	Maksymalna wartość (zakres)	Jednostka wskazująca poziom sygnału w stosunku do maksymalnej wartości (FS – Full Scale), jaki dane urządzenie elektroniczne (np. przetwornik AC) jest w stanie przetworzyć bez zniekształceń. Przykład: -96,3 dBFS – minimalny poziom sygnału rozróżnialny przez 16-bitowy przetwornik A/C
dBc	Wartość napięcia (lub mocy) fali nośnej	Jednostka stosowana do określania poziomu składowej harmonicznej lub intermodulacyjnej w stosunku do sygnału o częstotliwości podstawowej lub nośnej (carrier).

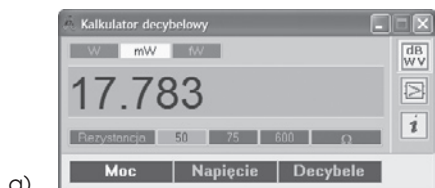


a)



b)

Rys. 4. Główne okno programu „Kalkulator decybelowy” – pokazano przeliczenie wartości wyrażonej w dBm (a) na dBV (b)



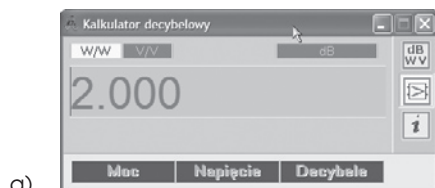
a)



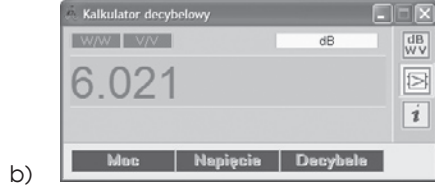
b)

Rys. 5. Wynik konwersji poziomu mocy 12,5 dBm na odpowiadającą mu bezwzględną wartość mocy (17,783 mW) lub napięcia (0,943 V)

dokonywanie konwersji względnych jednostek mocy (dBW, dBm, dBf) i napięcia (dBV, dBu, dB μ V) na bezwzględną wartość mocy lub napięcia na określonej rezystancji. Przykładowo na rys. 4.a wprowadziłem wartość poziomu mocy rów-



a)



b)

Rys. 6. Ilustracja konwersji wzmocnienia napięciowego w V/V (a) i dB (b)

ną 12,5 dBm. Chcąc dokonać konwersji np. na jednostkę dBV należy kliknąć przycisk **dBV**, co spowoduje podświetlenie go na kolor cytrynowy i dokonanie przeliczenia na tę jednostkę – wynik tej operacji pokazany został na rys. 4.b.

W celu przeliczenia tego poziomu mocy na wartość napięcia

należy kliknąć przycisk **Napięcie** i wskazać odpowiednią wartość rezystancji. Wynik konwersji pokazany jest na rys. 5.

Kalkulator działa w „dowolną stronę”, tzn. można wybrać dowolną jednostkę, wskazać zadaną rezystancję i dokonać konwersji na każdą inną, dostępną w programie jednostkę.

Kalkulator daje także możliwość konwertowania wartości transmitancji (wzmocnienia lub tłumienia) układu wyrażonej w jednostkach W/W (wat na wat) lub V/V (wolt na wolt) na wartość wyrażoną w decybelach oraz odwrotnie, co zostało to zilustrowane na rys. 6.

Myślę, że powyższy program ułatwi każdemu elektronikowi poruszanie się w gąszczu decybeli w najróżniejszych odmianach, pozwalając jednocześnie uniknąć błędów przy dokonywaniu przeliczeń.

Piotr Komur
pkomur@wel.wat.edu.pl


Jesteś elektronikiem?

Masz napęd DVD?

Ale nie masz płyty DVD

Z KOMPLETNYM

archiwum 11 lat *Elektroniki Praktycznej!*

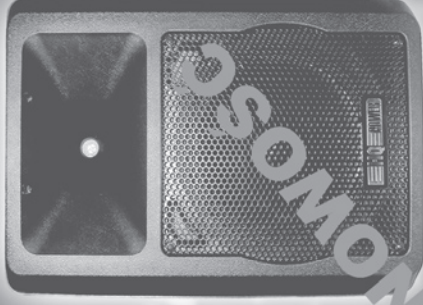


Płyta dostępna od czerwca 2005 r.
w cenie 60 zł netto*
cena dla prenumeratorów:
10 zł netto*

* plus koszty wysyłki

KOLUMNY SERII ABS

- VDSABS10
150Wrms
410 zł
- VDSABS12
280W rms
550 zł
- VDSABS12A
aktywna
150W rms
1100 zł
- VDSABS15
350W rms
830 zł



WZMACNIACZ VPA230MBN
2x350W rms
1300 zł



WZMACNIACZ VPA2700MBN
2x700W rms
2400 zł

KOLUMNY SERII SG

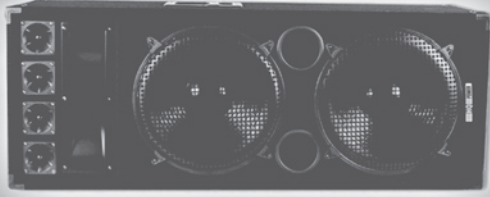
- VDSG8
300W
240 zł
- VDSG10
400W
290 zł
- VDSG12
500W
430 zł
- VDSG15
600W
650 zł



VDSTG15
700W max
780 zł

VDST15
700W max
900 zł

VDST12
600W max
600 zł



PROMIX500
MIKSER 7 KANAŁÓW
990 zł



POWERMIKSER
BEHRINGER PMH660
2x200W, 8 KANAŁÓW
PROCESOR EFEKTÓW
1700 zł



Zadzwoń lub napisz, otrzymasz gratis katalog



Detaliczna sprzedaż wysyłkowa.
Dział Handlowy AVT
01-939 Warszawa, ul. Burleska 9,
tel. (22) 568 99 50, fax (22) 568 99 55,
lub w internecie: www.sklep.avt.com.pl
e-mail: handlowy@avt.com.pl



400 zł



270 zł



560 zł



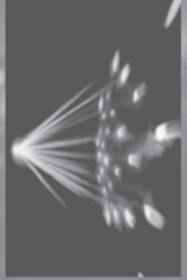
200 zł



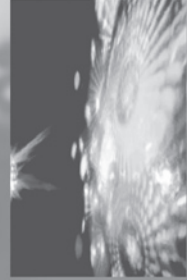
145 zł



VDL3002DD
DOUBLE DERBY



VDL300MF2
MAGIC MOONFLOWER



VDL3002HC
HONEYCOMB LIGHT

VDL25BM
WYTWORNICA
BANIEK



VDL660RL
KOLOROFON 6 KAN.



260 zł

VDP700SM
WYTWORNICA
DYMU



VDL3002MR
MUSHROOM



VDL2502AG
ART GOBOFLOWER



VDL3002TD
TRIPLE DERBY



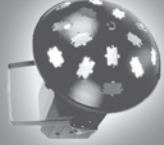
VDL5001SD
STROBE DANCER



VDL100SF
MOON SWEEPER



VDL75ST
STROBOSKOP 75W



230 zł



900 zł



350 zł



750 zł



350 zł



39 zł

STROBO 20W