



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

**Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών
Συστημάτων**

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Τεχνολογίες και Διοίκηση Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών
Συστημάτων»

Κατεύθυνση: Τεχνολογίες Δικτύων Επικοινωνιών και Υπολογιστών

Μάθημα: Κινητές και Δορυφορικές Επικοινωνίες

ΤΑ Decibel ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Διδάσκων: Δρ. Δημοσθένης Βουγιούκας

Νοέμβριος 2005

Τα Decibels στις Τηλεπικοινωνίες

1. Εισαγωγή

Το decibel (dB) είναι μονάδα που περιγράφει έναν λόγο (κλάσμα). Είναι ένας λογάριθμος με βάση το 10.

Στις τηλεπικοινωνίες γίνεται ευρεία χρήση των decibels (dB) και των μαθηματικών ιδιοτήτων των λογαρίθμων. Ο λόγος είναι ότι οι πολλαπλασιαστικές εξισώσεις μετατρέπονται σε αθροιστικές και ο χειρισμός τους είναι πιο εύκολος και πρακτικός. Έχει καθιερωθεί λοιπόν η χρήση των decibels σε τέτοιο βαθμό ώστε στη βιβλιογραφία να απαντώνται διάφορες λογαριθμικές μονάδες που περιέχουν το dB στην ονομασία τους ανεξάρτητα αν αυτές αναφέρονται σε ισχύ, τάση, αντίσταση, ένταση ηλεκτρικού πεδίου, θερμοκρασία, συχνότητα κλπ.

Συνήθως η πρώτη επαφή με τα decibels γίνεται με την εισαγωγή της έννοιας του κέρδους ενός δικτύου. Το κέρδος ισχύος ενός δικτύου δίνεται από το λόγο της ισχύος εξόδου (P_{out}) προς την ισχύ εισόδου (P_{in}) στο δίκτυο.



$$\text{Κέρδος} = P_{out} / P_{in} \quad (\text{Αδιάστατο Μέγεθος})$$

Εκφράζοντας το κέρδος σε dB :

$$\text{Κέρδος (dB)} = 10 \log_{10} (P_{out} / P_{in}) \quad (P_{out} \text{ και } P_{in} \text{ με ίδιες μονάδες})$$

Π.χ.: Αν $P_{in}=1\text{W}$ και $P_{out}=2\text{W}$

$$\text{Κέρδος (dB)} = 10 \log_{10} (2/1) = 10 (0,3013) = 3,0103 \text{ dB} \approx 3 \text{ dB}$$

Αν $P_{in}=2\text{W}$ και $P_{out}=1\text{W}$

$$\text{Κέρδος (dB)} = 10 \log_{10} (1/2) = -3,0103 \text{ dB} \approx -3 \text{ dB}$$

Το δίκτυο δηλαδή παρουσιάζει απώλειες 3dB.

Είναι χαρακτηριστική η τιμή των 3dB για το λόγο ισχύος και συχνά αναφέρεται σαν κανόνας των 3dB: **Κάθε αύξηση (μείωση) στο κέρδος κατά 3dB συνεπάγεται διπλασιασμό (υποδιπλασιασμό) της ισχύος εξόδου σε σχέση με την ισχύ εισόδου.**

Πολύ απλά ο αριθμός των διπλασιασμών επηρεάζει τη δύναμη του 2, δηλαδή

$$(3\text{dB}) \quad 1*3\text{dB} \Rightarrow 2^1 (2)$$

$$(6\text{dB}) \quad 2*3\text{dB} \Rightarrow 2^2 (4)$$

$$(9\text{dB}) \quad 3*3\text{dB} \Rightarrow 2^3 (8) \quad \text{κ.ο.κ.}$$

Χαρακτηριστικές είναι επίσης και οι τιμές του Πίνακα 1, που σε συνδυασμό με τον κανόνα των 3dB διευκολύνουν τον υπολογισμό και τη μετατροπή σε λογαριθμική κλίμακα, αλλά και αντίστροφα.

Λόγος Ισχύος	dB	Λόγος Ισχύος	dB
10^1 (10)	+10	10^{-1} (1/10)	-10
10^2 (100)	+20	10^{-2} (1/100)	-20
10^3 (1000)	+30	10^{-3} (1/1000)	-30
10^4 (10000)	+40	10^{-4} (1/10000)	-40
10^5 (100000)	+50	10^{-5} (1/100000)	-50
10^6 (1000000)	+60	10^{-6} (1/1000000)	-60

Πίνακας 1

Π.χ.: Αν ένα δίκτυο με $P_{in}=1\text{mW}$ έχει κέρδος 27dB, ποιά θα είναι η ισχύς εξόδου; Αν το κέρδος ήταν 30dB θα είχε 1000 φορές της ισχύ εισόδου. Όμως έχει 3dB λιγότερα, δηλαδή υποδιπλασιασμό, και συνεπώς 500 φορές την ισχύ εισόδου, άρα $P_{out}=500\text{mW}$.

Αρκετά χρήσιμος για γρήγορους υπολογισμούς είναι και ο Πίνακας 2.

DB	Λόγος Ισχύος	
	Απώλειες	Κέρδος
1	0.8	1.25
2	0.63	1.6
3	0.5	2
4	0.4	2.5
5	0.32	3.2
6	0.25	4
7	0.2	5
8	0.16	6.3
9	0.125	8
10	0.1	10

Πίνακας 2

Π.χ. για $P_{in}=1\text{W}$ και κέρδος 28dB η $P_{out}=1000$ (30dB) * 0.63 (-2 dB) = 630 W

Μέχρι στιγμής αναφερθήκαμε σε λόγους ισχύος. Όταν αναφερόμαστε σε λόγους τάσης ή ρεύματος θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας τη σχέση που συνδέει ισχύ, τάση/ρεύμα, και αντίσταση :

$$\text{Ισχύς } P = I^2 R = V^2 / R$$

Όταν αναφερόμαστε σε δίκτυο με

$$P_{in} = I_{in}^2 R = \frac{V_{in}^2}{R}$$

$$P_{out} = I_{out}^2 R = \frac{V_{out}^2}{R}$$

τότε

$$\begin{aligned} \text{Κέρδος} &= \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{I_{out}^2 R}{I_{in}^2 R} = \frac{I_{out}^2}{I_{in}^2} \\ &= \frac{V_{out}^2 R}{V_{in}^2 R} = \frac{V_{out}^2}{V_{in}^2} \end{aligned}$$

και εκφρασμένο σε dB

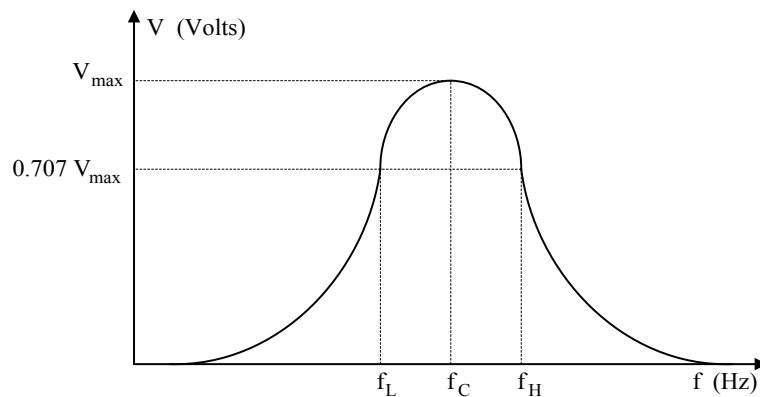
$$\begin{aligned} \text{Κέρδος (dB)} &= 10 \log_{10} \frac{P_{out}}{P_{in}} = 10 \log_{10} \frac{I_{out}^2}{I_{in}^2} = 20 \log_{10} \frac{I_{out}}{I_{in}} \\ &= 10 \log_{10} \frac{V_{out}^2}{V_{in}^2} = 20 \log_{10} \frac{V_{out}}{V_{in}} \end{aligned}$$

Εδώ σημειώνουμε ότι όταν υποδιπλασιάζεται η ισχύς, δηλαδή όταν $\frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{1}{2}$ τότε

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = 0,707$$

Εφαρμογή στα Φίλτρα (Εύρος 3dB)

Έστω φίλτρο ζωνοπερατό με χαρακτηριστική που φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Χαρακτηριστική ζωνοπερατού φίλτρου

Σαν εύρος ζώνης 3dB ορίζεται το εύρος συχνοτήτων :

$$BW_{3dB} = f_H - f_L$$

όπου f_L , f_H είναι οι συχνότητες κάτω ή πάνω αντίστοιχα από την κεντρική συχνότητα f_c , στις οποίες η ισχύς εξόδου P_{out} έχει μειωθεί κατά 3dB, δηλαδή έχει υποδιπλασιαστεί. Αντίστοιχα η τάση εξόδου V_{out} είναι το 0,707 της μέγιστης τάσης εξόδου V_{max} (στην κεντρική συχνότητα f_c).

2. Απόλυτες Λογαριθμικές Μονάδες

Τα decibels (dB) αναφέραμε ότι είναι μια λογαριθμική μονάδα που χρησιμοποιείται για να εκφράσει λόγους (κλάσματα). Όταν όμως θέλουμε την απόλυτη τιμή του επιπέδου ενός μεγέθους (ισχύος, τάσης κλπ.), θα πρέπει να ορίσουμε νέες λογαριθμικές μονάδες με αναφορά σε μια συγκεκριμένη τιμή του μεγέθους.

2.1 Το dBW

Το dBW είναι μια απόλυτη μονάδα ισχύος και ορίζεται ως τα decibels αναφορικά με το 1W.

$$\text{Ισχύς}(dBW) = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Ισχύς}(W)}{1W} \right)$$

Π.χ.: 100W = 20 dBW, 10W = 10dBW, 2W = 3dBW, 1W = 0dBW

2.2 To dBm

Το dBm είναι μια απόλυτη μονάδα ισχύος και ορίζεται ως τα decibels αναφορικά με το 1mW.

$$\text{Ισχύς}(dBm) = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Ισχύς}(mW)}{1mW} \right)$$

Π.χ.: 100mW = 20 dBm, 10mW = 10dBm, 2mW = 3dBm, 1mW = 0dBm

Δηλαδή $1W = 0dBW = 30dBm = 1000mW$,

και $1mW = 0dBm = -30dBW = 10^{-3} W$

2.3 To dBmV

Το dBmV χρησιμοποιείται σε μετάδοση video και ορίζεται ως εξής :

$$\text{Τάση}(dBmV) = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{Τάση}(mV)}{1mV} \right)$$

όπου η τάση αναφέρεται σε αντίσταση 75Ω.

2.4 To dBHz

Το dBHz χρησιμοποιείται συνήθως στις δορυφορικές επικοινωνίες και ορίζεται ως εξής :

Συχνότητα

ή $(dBHz) = 10 \log_{10}(\text{Συχνότητα}(Hz))$

Εύρος συχνοτήτων

Π.χ.: $27MHz = 27 \cdot 10^6 Hz = 10 \log(2.7 \cdot 10^7) dBHz = 74.3 dBHz$

2.5 To dBK

Το dBK αναφέρεται συνήθως στο επίπεδο θερμοκρασίας θορύβου ενός συστήματος

$\text{Θερμοκρασία Θορύβου}(dBK) = 10 \log_{10}(\text{Θερμοκρασία Θορύβου}(Kelvin))$

Π.χ.: $T = 79^\circ K = 19 dBK$

2.6 Το dBK^{-1} (ή dB/K)

Το dBK^{-1} απαντάται στις Δορυφορικές Επικοινωνίες και δίνει το μέτρο του λόγου G/T που χαρακτηρίζει τις δορυφορικές κεραίες, όπου G είναι το κέρδος της κεραίας (σε συγκεκριμένη συχνότητα) και T είναι η θερμοκρασία θορύβου του ουρανού (σε συγκεκριμένες συνθήκες και γωνία ανύψωσης).

Έτσι κεραία με $G = 60.6dB$ και $T = 19dBK$ έχει λόγο:

$$G/T = 60.6dB - 19dBK = 41.2 dBK^{-1}$$

2.7 Το $dBW Hz^{-1} K^{-1}$ (ή $dBW/Hz/K$)

Το $dBW Hz^{-1} K^{-1}$ απαντάται και αυτό στις Δορυφορικές Επικοινωνίες, και συνήθως χρησιμοποιείται ως η λογαριθμική έκφραση της σταθεράς του Boltzmann :

$$K = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Joules/Kelvin} = -228.6 \text{ dBW/Hz/K}$$

2.8 Το dB_i

Το dB_i χρησιμοποιείται για να εκφράσει το κέρδος μιας κεραίας (κατευθυντικής) αναφορικά με μια ισοτροπική κεραία που τροφοδοτείται με την ίδια ισχύ εισόδου.

Π.χ.: Κέρδος κεραίας $20dB_i$ σημαίνει ότι η κεραία εκπέμπει ισχύ (στην κατεύθυνση του πρωτεύοντος λοβού) που είναι 100 φορές μεγαλύτερη από εκείνη που θα ακτινοβολούσε μια ισοτροπική κεραία.

2.9 Το dB_d

Το dB_d χρησιμοποιείται για να εκφράσει το κέρδος μιας κεραίας (κατευθυντικής) όταν κεραία αναφοράς δεν είναι πλέον η ισοτροπική, αλλά το δίπολο $\lambda/2$ το οποίο έχει κέρδος $2.14 dB_i$.

2.10 Τα dBW/m^2 και $dBmW/cm^2$

Το dBW/m^2 χρησιμοποιείται σαν μονάδα μέτρησης της πυκνότητας ισχύος S . Προέρχεται από το W/m^2 και προκύπτει ως εξής :

$$S(dBW / m^2) = 10 \log_{10} S(W / m^2)$$

Πολλές φορές απαντάται και το dBW/cm^2 :

$$1 \frac{W}{m^2} = \frac{1000mW}{10000cm^2} = 0.1 \frac{mW}{cm^2}$$

ή

$$0\text{dBW} / m^2 = -10\text{dBmW} / cm^2$$

2.11 Τα dBV/m και $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ ή dBu

Το dBV/m χρησιμοποιείται σαν μονάδα μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Προέρχεται από το V/m και προκύπτει ως εξής :

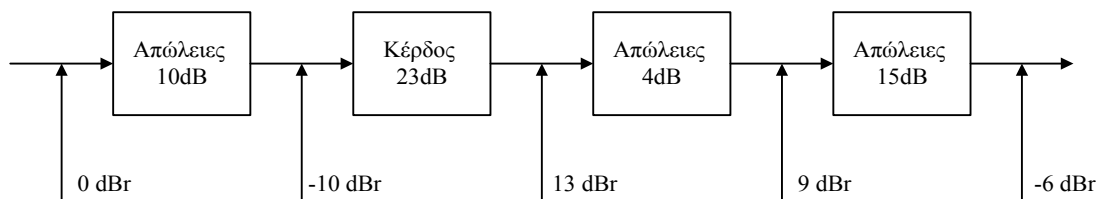
$$E(\text{dBV} / m) = 20 \log_{10} E(V / m)$$

Συχνά χρησιμοποιείται και το $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ ή dBu και συνδέεται με το dBV/m με την αναλογία :

$$0\text{dBV}/\text{m} = 120\text{dBu}$$

2.12 Το dBr

Τα συστήματα μετάδοσης εμπεριέχουν απώλειες και ενισχύσεις και κατά συνέπεια ένα σήμα θα παίρνει διαφορετικές τιμές σε διαφορετικά σημεία του δικτύου. Είναι λοιπόν χρήσιμο να επιλέξουμε ένα μηδενικό σημείο αναφοράς στο δίκτυο και να εκφράζουμε το επίπεδο ενός σήματος αναφορικά με αυτό το σημείο. Στη συνέχεια αντιστοιχούμε σε διαφορετικά σημεία του δικτύου διάφορες τιμές του επιπέδου ενίσχυσης ή απώλειας, εκφρασμένες σε dBr , όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.



Σχήμα 2: Παράδειγμα δικτύου και απόδοσης επιπέδου ενίσχυσης, ή, απώλειας σχετικά με σημείο αναφοράς

Πρέπει να τονίσουμε ότι **το dBr δεν αποτελεί απόλυτη λογαριθμική μονάδα**. Είναι μια έκφραση λογαριθμική αντίστοιχη του dB . Κατά συνέπεια δεν χρησιμοποιείται για να εκφράσει την απόλυτη τιμή του επιπέδου ενός σήματος αλλά παρέχει μια εικόνα των απωλειών και των ενισχύσεων τις οποίες υφίσταται ένα σήμα κατά τη διέλευσή του από ένα σύστημα, σχετικά με ένα επίπεδο αναφοράς. Η απόλυτη τιμή του επιπέδου ενός σήματος δίνεται συνήθως από το dBm_0 που συνδέεται με το dBr όπως εξηγείται στην επόμενη παράγραφο.

2.13 To dBm0

Το επίπεδο ενός σήματος σε κάποιο σημείο ενός δικτύου σχετικά με το μηδενικό σημείο αναφοράς εκφράζεται με dBm0. Η σχέση που συνδέει dBm και dBm0 είναι η εξής :

$$1\text{dBm0} = 1\text{dBm} - 1\text{dB}$$

Ένα σήμα με σχετικό επίπεδο ισχύος +10dBm0 σε ένα σημείο του δικτύου -6dBm έχει απόλυτη τιμή +4dBm.

2.14 To dBmp

Στην τηλεφωνία είναι γνωστό ότι η ακριβής μέτρηση της ολικής ισχύος θορύβου δεν είναι αντικειμενικό κριτήριο ποιότητας, λόγω της διαφορετικής ευαισθησίας του ανθρώπινου αυτιού και του τηλεφωνικού δέκτη σε διαφορετικές συχνότητες. Για το λόγο αυτό ο θόρυβος συνήθως μετριέται από τα λεγόμενα ψοφόμετρα που έχουν εσωτερικό δίκτυο αποδίδοντας διαφορετικά βάρη σε κάθε συχνότητα. Η ισχύς θορύβου μετριέται λοιπόν σε dBmp και αν εκφράζεται σχετικά με το μηδενικό σημείο αναφοράς ενός συστήματος, τότε χρησιμοποιείται το dBm0p.

2.15 To dBmC

Στην Βόρειο Αμερική, ως συχνότητα αναφοράς θεωρείται το 1KHz και ως επίπεδο αναφοράς τα -90dBm. Ορίζεται, λοιπόν, μια νέα μονάδα, το dBm (reference noise) για το οποίο ισχύει:

$$0\text{dBm} = -90\text{dBm} \text{ (στα } 1000\text{Hz)}$$

Επίσης, αντί της χαρακτηριστικής του ψοφομέτρου, χρησιμοποιείται η χαρακτηριστική C-message. Έτσι, λοιπόν, προέκυψε η μονάδα μέτρησης θορύβου dBmC για την οποία ισχύει:

$$1\text{dBmC} = 1\text{dBmp} + 90\text{dB}$$

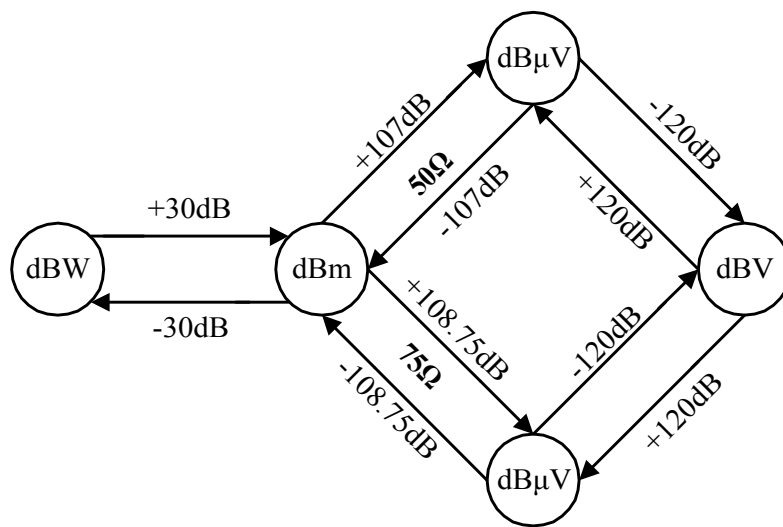
3. Μερικές Χρήσιμες Σχέσεις

3.1 Ισχύς και Τάση

Γνωρίζουμε ότι η ενεργός ισχύς που καταναλώνεται σε φορτίο R , όταν στα άκρα του εφαρμόζεται τάση V_r είναι $P_r = \frac{V_r^2}{R}$.

Για $R = 50\Omega$ προκύπτει ότι για τάση $V_r = 1\text{Volt} = 0\text{dBV} = 120\text{dB}\mu\text{V}$ καταναλώνεται ισχύς $P_r = 20\text{mW} = 13\text{ dBm} = 0.02\text{W} = -17\text{dBW}$.

Για $R = 75\Omega$ προκύπτει ότι για τάση $V_r = 1\text{Volt}$ καταναλώνεται ισχύς $P_r = 13.3\text{mW} = 11.25\text{ dBm}$.



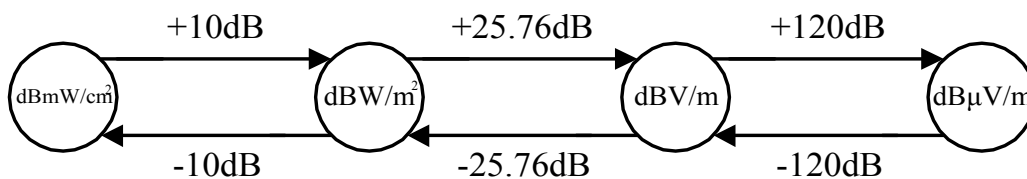
Σχήμα 3: Μετατροπή dB-μονάδων ισχύος

3.2 Πυκνότητα Ισχύος και Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου

Η σχέση που συνδέει την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου E και την Πυκνότητα Ισχύος S

είναι η εξής : $S = \frac{E^2}{120\pi}$

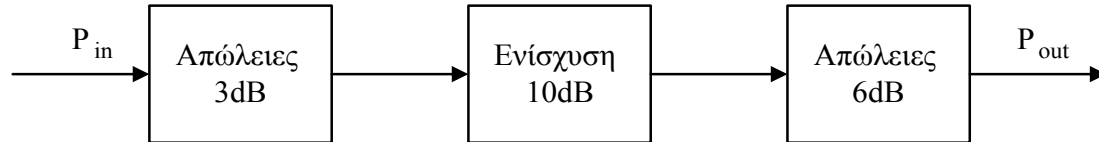
Πυκνότητα ισχύος $S = 1\text{W/m}^2 = 0\text{dBW/m}^2$ αντιστοιχεί σε $E = \sqrt{120\pi} \frac{V}{m} = 25.76\text{dBV/m}$



Σχήμα 4: Μετατροπή dB-μονάδων πυκνότητας ισχύος

4. Πράξεις με Λογαρίθμους

Αρχικά θα πρέπει να αναφέρουμε ότι όταν έχουμε αδιάστατες λογαριθμικές μονάδες, δηλαδή απλά dB που εκφράζουν λόγους (κλάσματα) μπορούμε να προσθέτουμε και να αφαιρούμε.



Σχήμα 5: Παράδειγμα δικτύου

Το δίκτυο του σχήματος 5 έχει κέρδος:

$$\text{Κέρδος} = -3\text{dB} + 10\text{dB} - 6\text{dB} = 1\text{dB}$$

Δεν μπορούμε όμως να λειτουργήσουμε με τον ίδιο τρόπο με απόλυτες λογαριθμικές μονάδες όπως τα dBW ή τα dBm. Είναι σκόπιμο να παρατηρήσουμε ότι :

$$10\text{dBm} + 10\text{dBm} \rightarrow 13\text{dBm}$$

Η προηγούμενη έκφραση γίνεται προφανής αν πούμε ότι διπλασιάζοντας μια ισχύ της τάξης των 10dBm έχω αύξηση κατά 3dB δηλαδή 13dBm.

Μπορούμε κατά συνέπεια να γράψουμε:

$$10\text{dBm} + 3\text{dB} = 13\text{dBm}$$

Ο πιο ασφαλής τρόπος άθροισης ή αφαίρεσης όμοιων απόλυτων λογαριθμικών μονάδων είναι η μετατροπή σε μη λογαριθμικές μονάδες.

Π.χ.



Σχήμα 6: Παράδειγμα δικτύου

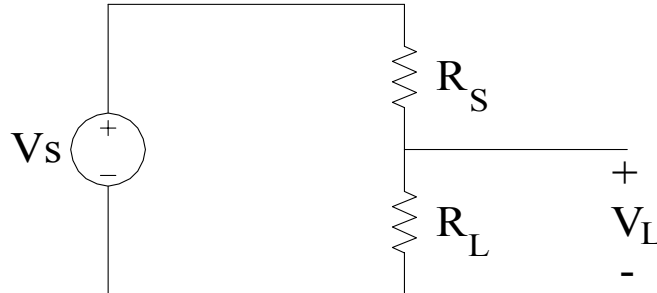
$7\text{dBm} = 5.01\text{mW}$ και $11\text{dBm} = 12.59\text{mW}$, άρα

$$P_{out} = 7\text{dBm} + 11\text{dBm} = 17.60\text{mW} = 12.45\text{dBm}$$

Ο χειρισμός των μονάδων στις εξισώσεις είναι απλός με βάση τον κανόνα :

Όπως οι μονάδες απλοποιούνται με τη διαίρεση στις πολλαπλασιαστικές εξισώσεις έτσι οι λογαριθμικές μονάδες απλοποιούνται με προσθέσεις ή αφαιρέσεις στις προσθετικές εξισώσεις.

Ένα απλό παράδειγμα αποτελεί ο διαιρέτης τάσης του σχήματος 7:



Σχήμα 7: Διαιρέτης τάσης

Η τάση στα άκρα του φορτίου R_L δίνεται από τον τύπο : $V_L = \frac{V_S R_L}{R_L + R_S}$

Η ενεργός ισχύς της πηγής είναι : $p_S = \frac{V_S^2}{R_L + R_S}$

Στο φορτίο R_L καταναλώνεται ισχύς :

$$p_L = \frac{V_L^2}{R_L} = \frac{\frac{V_S^2}{(R_L + R_S)^2} R_L^2}{R_L} = \frac{p_S R_L}{R_L + R_S} = \frac{p_S R_L}{R_T}$$

Όπου $R_T = R_L + R_S$

$$\text{Άρα : } \frac{p_L}{p_S} = \frac{R_L}{R_T}$$

Λογαριθμίζοντας :

$$10 \log_{10}(p_L) - 10 \log_{10}(p_S) = 10 \log_{10}(R_L) - 10 \log_{10}(R_T)$$

Αν θεωρήσω τιμή αναφοράς το 1W (ή το 1mW) για τις ισχύς και το 1Ω (ή το KΩ) για τις αντιστάσεις μπορώ να γράψω :

$$P_L(dBW) - P_S(dBW) = R_L(dB\Omega) - R_T(dB\Omega)$$

ή

$$P_L(dBW) - P_S(dBW) = R_L(dBK\Omega) - R_T(dBK\Omega)$$

ή

$$P_L(dBm) - P_S(dBm) = R_L(dB\Omega) - R_T(dB\Omega)$$

ή

$$P_L(dBm) - P_S(dBm) = R_L(dBK\Omega) - R_T(dBK\Omega)$$

Παρατηρούμε δηλαδή ότι όλες οι προηγούμενες εξισώσεις είναι σωστές αρκεί οι ισχύς p_L και p_S να είναι εκφρασμένες στις ίδιες λογαριθμικές μονάδες και το ίδιο να ισχύει για τις αντιστάσεις R_L και R_T .

Άρα για την ισχύ στο φορτίο R_L μπορούμε να γράψουμε

$$P_L(dBW) = P_S(dBW) + R_L(dB\Omega) - R_T(dB\Omega)$$

Αρχικά μπορεί να ξενίζει η άθροιση διαφορετικών λογαριθμικών μονάδων, όμως υπενθυμίζουμε ότι οι λογαριθμικές μονάδες απλοποιούνται με προσθέσεις και αφαιρέσεις.

Εφαρμογή στη Θερμοκρασία Θορύβου

Η θερμοκρασία θορύβου χρησιμοποιείται στους τηλεπικοινωνιακούς δέκτες και καθορίζει το ποσό του θερμικού θορύβου που γεννάται από ενεργά ή παθητικά στοιχεία του δέκτη. Η διαθέσιμη ισχύς θορύβου P_n μιας πηγής με θερμοκρασία θορύβου T_n δίνεται από τη σχέση :

$$P_n = kT_n B$$

όπου k η σταθερά Boltzmann και B το εύρος ζώνης στο οποίο μετράται η ισχύς P_n . Μπορούμε λοιπόν να γράψουμε :

$$P_n(dBW) = k(dBW / Hz / K) + T_n(dBK) + B(dBHz)$$