

光ファイバ、dB、減衰と測定の概要

目次

[概要](#)

[前提条件](#)

[要件](#)

[使用するコンポーネント](#)

[表記法](#)

[デシベルとは](#)

[10 を底とする対数のルール](#)

[dB](#)

[1 mW を基準とするデシベル \(dBm \)](#)

[1 W を基準とするデシベル数 \(dBW \)](#)

[パワーおよび電圧の利得](#)

[光ファイバの構造](#)

[ファイバのタイプ](#)

[波長](#)

[光パワー](#)

[挿入損失について](#)

[パワー バジエットの計算](#)

[関連情報](#)

概要

この文書は、光テクノロジーに関するいくつかの公式や重要な情報を簡潔にまとめたものです。このドキュメントでは、デシベル (dB)、デシベル/ミリワット (dBm)、減衰、および測定に焦点を合わせ、光ファイバの概要について説明します。

前提条件

要件

このドキュメントに関する固有の要件はありません。

使用するコンポーネント

このドキュメントは、特定のソフトウェアやハードウェアのバージョンに限定されるものではありません。

このドキュメントの情報は、特定のラボ環境にあるデバイスに基づいて作成されたものです。このドキュメントで使用するすべてのデバイスは、クリアな (デフォルト) 設定で作業を開始して

います。ネットワークが稼働中の場合は、コマンドが及ぼす潜在的な影響を十分に理解しておく必要があります。

表記法

ドキュメント表記の詳細は、『[シスコテクニカルティップスの表記法](#)』を参照してください。

デシベルとは

デシベル (dB) は信号強度の相対的な差異を表すための単位です。デシベルは、次に示すように、2 つの信号のパワー比の対数 (底 = 10) として表されます。

$$\text{dB} = 10 \times \text{Log}_{10} (P1/P2)$$

ここで、 Log_{10} は 10 を底とする対数です。P1 および P2 は比較するパワーです。

注: Log_{10} は e を底とする自然対数 (Ln または LN) とは異なります。

信号の振幅も dB で表すことができます。パワーは、信号振幅の 2 乗に比例します。したがって、dB は次のように表すことができます。

$$\text{dB} = 20 \times \text{Log}_{10} (V1/V2)$$

ここで、V1 および V2 は比較する振幅です。

$$1 \text{ ベル (現在は使用されない単位)} = \text{Log}_{10} (P1/P2)$$

$$1 \text{ デシベル (dB)} = 1 \text{ ベル} / 10 = 10 * \text{Log}_{10} (P1/P2)$$

$$\text{dBr} = \text{dB (relative)} = \text{dB} = 10 * \text{Log}_{10} (P1/P2)$$

10 を底とする対数のルール

- $\text{Log}_{10} (AxB) = \text{Log}_{10} (A) + \text{Log}_{10} (B)$
- $\text{Log}_{10} (A/B) = \text{Log}_{10} (A) - \text{Log}_{10} (B)$
- $\text{Log}_{10} (1/A) = - \text{Log}_{10} (A)$
- $\text{Log}_{10} (0,01) = - \text{Log}_{10} (100) = -2$
- $\text{Log}_{10} (0,1) = - \text{Log}_{10}(10) = - 1$
- $\text{Log}_{10} (1) = 0$
- $\text{Log}_{10} (2) = 0,3$
- $\text{Log}_{10} (4) = 0,6$
- $\text{Log}_{10} (10) = 1$
- $\text{Log}_{10} (20) = 1,3 \text{Log}_{10} (2 \times 10) = \text{Log}_{10} (2) + \text{Log}_{10} (10) = 1 + 0,3$
- $\text{Log}_{10} (100) = 2$
- $\text{Log}_{10} (1000) = 3$
- $\text{Log}_{10} (10000) = 4$

dB

次の表に、パワー比と、その対数から計算される dB (デシベル) との関係を示します。

電力比	$\text{dB} = 10 \times \text{Log}_{10} (\text{パワー比})$
AxB	$x \text{ dB} = 10 \times \text{Log}_{10(A)} + 10 \times \text{Log}_{10(B)}$
A/B	$x \text{ dB} = 10 \times \text{Log}_{10(A)} - 10 \times \text{Log}_{10(B)}$
1/A	$x \text{ dB} = + 10 \times \text{Log}_{10} (1/A) = - 10 \times \text{Log}_{10} (A)$
0,01	$- 20 \text{ dB} = - 10 \times \text{Log}_{10}(100)$
0、 1	$- 10 \text{ dB} = 10 \times \text{Log}_{10} (1)$
1	$0 \text{ dB} = 10 \times \text{Log}_{10} (1)$
2	$3 \text{ dB} = 10 \times \text{Log}_{10} (2)$
4	$6 \text{ dB} = 10 \times \text{Log}_{10} (4)$
10	$10 \text{ dB} = 10 \times \text{Log}_{10} (10)$
20	$13 \text{ dB} = 10 \times (\text{Log}_{10} (10) + \text{Log}_{10} (2))$
100	$20 \text{ dB} = 10 \times \text{Log}_{10} (100)$
1000	$30 \text{ dB} = 10 \times \text{Log}_{10} (1000)$
10000	$40 \text{ dB} = 10 \times \text{Log}_{10} (10000)$

1 mW を基準とするデシベル (dBm)

$\text{dBm} = \text{dB milliwatt} = 10 \times \text{Log}_{10} (\text{mW 単位で表した電力}/1 \text{ mW})$

電源	比	$\text{dBm} = 10 \times \text{Log}_{10} (\text{mW 単位で表した電力}/1 \text{ mW})$
1 mW	1 mW/1 mW=1	$0 \text{ dBm} = 10 \times \text{Log}_{10} (1)$
2 mW	2 mW/1 mW=2	$3 \text{ dBm} = 10 \times \text{Log}_{10} (2)$
4 mW	4 mW/1 mW=4	$6 \text{ dBm} = 10 \times \text{Log}_{10} (4)$
10 mW	10 mW/1 mW=10	$10 \text{ dBm} = 10 \times \text{Log}_{10} (10)$
0,1 W	100 mW/1 mW=100	$20 \text{ dBm} = 10 \times \text{Log}_{10} (100)$
1 W	1000 mW/1 mW=1000	$30 \text{ dBm} = 10 \times \text{Log}_{10} (1000)$
10 W	10000 mW/1 mW=10000	$40 \text{ dBm} = 10 \times \text{Log}_{10} (10000)$

1 W を基準とするデシベル数 (dBW)

$\text{dBW} = \text{dB W} = 10 \times \text{Log}_{10} (\text{W 単位で表した電力}/1 \text{ W})$

電源	比	$\text{dBm} = 10 \times \text{Log}_{10} (\text{mW 単位で表した電力}/1 \text{ mW})$
1 W	$1 \text{ W} / 1 \text{ W} = 1$	$0 \text{ dBW} = 10 \times \text{Log}_{10} (1)$
2 W	$2 \text{ W} / 1 \text{ W} = 2$	$3 \text{ dBW} = 10 \times \text{Log}_{10} (2)$
4 W	$4 \text{ W} / 1 \text{ W} = 4$	$6 \text{ dBW} = 10 \times \text{Log}_{10} (4)$
10 W	$10 \text{ W} / 1 \text{ W} = 10$	$10 \text{ dBW} = 10 \times \text{Log}_{10} (10)$
100 mW	$0,1 \text{ W} / 1 \text{ W} = 0,1$	$-10 \text{ dBW} = -10 \times \text{Log}_{10} (10)$
10 mW	$0.01 \text{ W} / 1 \text{ W} = 1/100$	$-20 \text{ dBW} = -10 \times \text{Log}_{10} (100)$
1 mW	$0.001 \text{ W} / 1 \text{ W} = 1/1000$	$-30 \text{ dBW} = -10 \times \text{Log}_{10} (1000)$

パワーおよび電圧の利得

パワーの利得と電圧の利得の比較表を次に示します。

dB	電力比	電圧比	dB	電力比	電圧比
0	1,00	1,00	10	10,00	3,16
1	1,26	1,12	11	12,59	3,55
2	1,58	1,26	12	15,85	3,98
3	2,00	1,41	13	19,95	4,47
4	2,51	1,58	14	25,12	5,01
5	3,16	1,78	15	31,62	5,62
6	3,98	2,00	16	39,81	6,31
7	5,01	2,24	17	50,12	7,08
8	6,31	2,51	18	63,10	7,94
9	7,94	2,82	19	79,43	8,91
10	10,00	3,16	20	100,00	10,00

この情報から、減衰および利得を求める公式が定義できます。

$$\text{減衰 (dB)} = 10 \times \text{Log}_{10}(\text{P in}/\text{P out}) = 20 \times \text{Log}_{10}(\text{V in}/\text{V out})$$

$$\text{利得 (dB)} = 10 \times \text{Log}_{10}(\text{P out}/\text{P in}) = 20 \times \text{Log}_{10}(\text{V out}/\text{V in})$$

光ファイバの構造

光ファイバは、情報を伝達する媒体の一種です。光ファイバはシリカ系ガラス製で、中心部（コア）はクラッドにより覆われています。ファイバの中心部分（コア）の屈折率は、N1 で表します。コアのまわりを覆っているクラッドの屈折率はそれよりも低く、N2 で表します。ファイバに光が入ると、クラッドは光をファイバ コアに閉じ込め、光がコアとクラッドの境界面で反射を

繰り返しながら、ファイバの中を進んでいきます。

図 1 - 光ファイバの構造

ファイバのタイプ

現在、最も広く製造販売されているのは、シングルモード (SM) ファイバとマルチモード (MM) ファイバです。図 2 に、これら両方のファイバタイプを示します。

図 2 - SM ファイバと MM ファイバ

波長

少量の光をファイバに入射します。電磁スペクトル (図 3 を参照) が可視波長 (400 nm ~ 700 nm) のものと、近赤外波長 (700 nm ~ 1700 nm) のものとに分かれます。

図 3 - 電磁スペクトル

光ファイバによる通信では、伝送損失が少なくなる特別な 4 種類の波長が使用されます。次の表に、それらの波長を示します。

Windows	波長	損失
第 1 波長	850 nm	3 dB/km
第 2 波長	1310 nm	0.4 dB/km
第 3 波長	1550 nm (C バンド)	0.2 dB/km
第 4 波長	1625 nm (L バンド)	0.2 dB/km

光パワー

光の損失を測定するには、dBm と dB の 2 つの単位を使用します。dBm は、mW を基準とした実際のパワーレベルを表します。dB (デシベル) は、パワー間の差異を表します。

図 4 - 光パワーの測定方法

光入力パワーが P1 (dBm)、光出力パワーが P2 (dBm)、パワー損失は P1 - P2 dB です。入力と出力の間でどれくらいの電力が損失したかを確認するには、次のパワー換算表の dB 値を参照してください。

dB	入力パワーに対する出力パワーのパーセンテージ	失われたパワーのパーセンテージ	備考
1	79 %	21 %	-
2	63 %	37 %	-
3	50 %	50 %	入力パワーの 1/2
4	40 %	60 %	-
5	32 %	68 %	-
6	25 %	75 %	入力パ

			ワ-の 1/4
7	20 %	80%	入カバ ワ-の 1/5
8	16 %	84 %	入カバ ワ-の 1/6
9	12 %	88 %	入カバ ワ-の 1/8
10	10 %	90 %	入カバ ワ-の 1/10
11	8 %	92%	入カバ ワ-の 1/12
12	6.3 %	93.7 %	入カバ ワ-の 1/16
13	5%	95 %	入カバ ワ-の 1/20
14	4%	96%	入カバ ワ-の 1/25
15	3.2 %	96.8 %	入カバ ワ-の 1/30

たとえば、ファイバへの直接入射光 (LD) の光入力かが 0 dBm で、出力パワーが -15 dBm であった場合、ファイバの光損失は次のように計算されます。

$$\text{Input Output Optical Loss } 0\text{dBm} - (-15\text{dBm}) = 15\text{dB}$$

パワー変換の表では、光損失の 15 dB は損失した光パワーの 96.8 % に相当します。つまり、ファイバを伝送される光は、入力光パワーの 3.2 % に過ぎないことがわかります。

挿入損失について

光ファイバを相互接続すると、必ず損失が発生します。コネクタやスプライスによる挿入損失とは、そのデバイスをシステムに挿入したときのパワーの差です。たとえば、ある長さのファイバを用意して光を入射し、そこを通った光パワーを測定します。読み取り値 (P1) を書き留めます。ここで、ファイバを半分に切断して終端し、再度、パワーを測定します。読み取り値 (P2) を書き留めます。最初の測定値 (P1) と 2 番目の測定値 (P2) との差異が、挿入損失になります。つまり、ラインにコネクタを挿入したときの光パワーの損失が、挿入損失です。これは、次のように求めます。

$$IL (\text{dB}) = 10 \text{Log}_{10} (P2 / P1)$$

挿入損失については、次の重要な 2 点について理解しておく必要があります。

- **挿入損失とは、同一のファイバで測定した値です。** データ送信側のコアの直径 (または NA) がデータを受信するファイバの NA よりも大きい場合は、損失が大きくなります。 $L_{dia} = 10 \log_{10} (d_{iar}/d_{iat})^2$ $L_{NA} = 10 \log_{10} (NAr/NA_t)^2$ ここで、 L_{dia} = 損失直径 d_{iar} = 受信側の直径 d_{iat} = 送信側の直径 L_{NA} = 光ファイバの損失フレネル反射により、さらに損失が発生する可能性があります。フレネル反射は、2 つのファイバが離れていて、屈折率の不連続な部分が存在しているときに発生します。2 つのガラスファイバの間に空気のギャップがある場合、フレネル反射は 0.32 dB です。
- **損失はラウンチによって左右されます。** 挿入損失はラウンチに左右され、結合されている 2 つのファイバの状態によって影響されます。ラウンチが短い場合は、クラッドとコアの両方で伝送される光エネルギーによって、光ファイバがオーバーフィールド状態になります。距離が長くなるにつれて余分なエネルギーが失われていき、最後には equilibrium mode distribution (EMD; 平衡モード分散) という状態になります。ラウンチが長い場合、ファイバは EMD に到達しています。余分なエネルギーはすでに失われており、コネクタの地点までは伝達されません。ファイバの相互接続部を光が通過すると、余分なクラッドモードによってファイバが再びオーバーフィールド状態になります。このモードの光はすぐに減衰します。受信側が短い場合はこの状態になります。短い受信側ファイバの出力パワーを測定すると、余分なエネルギーが測定されます。ただし、余分なエネルギーは、遠くまでは伝達されません。この測定値は正しい値とはいえません。逆に、受信側ファイバが EMD に到達するほど長い場合は、挿入損失の測定値は高くなりますが、実際の状態を反映した値になります。EMD (ラウンチと受信側がともに長い状態) は、簡単にシミュレートできます。それには、マンドレルにファイバを 5 回巻きつけます。これによって、クラッドモードが取り除かれます。

パワー バジレットの計算

リンクのパワー バジレットを大まかに計算できます。これには、ファイバ間の接続損失を 0.75 dB とし、ファイバの長さに比例してファイバ損失が発生するものとします。

100 m の間にパッチ パネルが 3 つあり、3.5 dB/km の損失特性を持つ 62.5/125 ファイバの場合の総損失は、次に示すように 2.6 dB になります。

ファイバ : 3.5 dB/km = 100 m で 0.35 dB

パッチパネル 1 = 0.75 dB

パッチパネル 2 = 0.75 dB

パッチパネル 3 = 0.75 dB

合計 = 2.6 dB

実際の測定値は、これより低くなるのが普通です。たとえば、AMP の SC コネクタの平均挿入損失は 0.3 dB です。この場合のリンク損失は 1.4 dB だけです。10 Mbps のイーサネットであっても、155Mbps の ATM であっても、損失は同じです。

ファイバシステムの認証では、Optical time-domain reflectometry (OTDR; 光時間領域反射測定) 計測器がよく使われます。OTDR 計測器は、ファイバに光を入射し、戻ってきた光を検出して

、結果をグラフィックに表示します。OTDR計測器は、光の戻ってくる時間を測定して、事象への隔たりを割り出します。表示されたグラフを確認することで、単位長さ当たりの損失を調べたり、スプライスやコネクタの接続状態を評価したり、不具合が起きている地点を特定したりできます。OTDR計測器は特定の地点にズームインして、リンクの一部をクローズアップできます。

リンクの認証や評価は、パワーメータと信号光源があれば実施できる場合が多いものですが、OTDR計測器を使用すれば、リンク全体の状態の的確な把握と診断が可能になります。ただし、OTDR計測器での表示を理解するには、多くのトレーニングとある程度のスキルが必要です。

関連情報

- [光製品に関するサポート ページ](#)
- [テクニカルサポートとドキュメント - Cisco Systems](#)