

日付：2003年7月3日

提出元：株式会社アッカ・ネットワークス

題名：計算によるスペクトラム適合性の確認の方法

スペクトラム適合性確認のための計算方法は、DSL 作業班で合意された以下の通りを提案する。

(1) 伝送性能計算手法

リニアイコライザ(ISDN)

リニアイコライザによる SNR は次の式で計算する。

$$SNR = \frac{\int_0^{f_{sym}} 4 \times S(f) \times (\text{filter}(f))^2 df}{\int_0^{f_{sym}} N(f) \times |H(f)|^{-2} \times (\text{filter}(f))^2 df}$$

ただし、 f_{sym} はシンボルレート、 $S(f)$ は送信スペクトル密度、 $N(f)$ は受信入力点での漏話雑音電力と背景雑音電力を電力加算した雑音電力スペクトラル密度、 $H(f)$ は線路（電圧）伝達特性をあらわす。また、 $\text{filter}(f)$ は次の式を満たすコサインロールオフフィルタである。

$$\begin{cases} \text{filter}(f) = \frac{1 + \cos(\pi \times f / f_{sym})}{2} & (f \leq f_{sym}) \\ \text{filter}(f) = 0 & (f > f_{sym}) \end{cases}$$

DMT

速度可変な DMT 方式 ADSL では、次の式に基づいて m 番目から n 番目までの各サブキャリアに搭載できるビット数の総和 b を求めた上で、伝送速度を導き出す手法を取る。

$$b = \sum_{i=m}^n \log_2 \left(1 + \frac{S_i(f) \cdot |H_i(f)|^2}{N_i(f) \cdot 10^{\Gamma/10}} \right)$$

$S_i(f)$ は i 番目のサブキャリアの送信電力スペクトル密度、 $N_i(f)$ は i 番目のサブキャリアの雑音電力スペクトラル密度、 $|H_i(f)|$ は i 番目のサブキャリアの線路（電圧）伝達特性、は実効 SNR ギャップで、次の式により導き出される。

$$\Gamma = 9.75 - C + M$$

ただし、 C はコーディングゲイン、 M はノイズマージンを表す。

漏話雑音計算方法

近端漏話雑音

近端漏話雑音の電力スペクトル密度は次の式で表される。

$$NEXT(f) = S(f) \cdot (R_{signal} / R_{disturber}) \cdot \left(10^{\frac{NPSL}{10}} \cdot f_{nxt}^{-\frac{3}{2}} \right) \cdot f^{\frac{3}{2}}$$

ただし、 $S(f)$ は与干渉源の送信スペクトル密度、 R_{signal} は被干渉回線の装置終端インピーダンス、 $R_{disturber}$ は与干渉源の装置終端インピーダンスを表す。また、 $f_{NXT} = 160 \times 10^3$ [Hz]、 $NPSL$

は dB 単位で示された多重近端漏話減衰量である。

遠端漏話雑音

遠端漏話雑音の電力スペクトル密度は次の式で表される。

$$FEXT(f) = S(f) \cdot (R_{\text{signal}} / R_{\text{disturber}}) \cdot |H(f)|^2 \cdot \left(10^{\frac{FPSL}{10}} \cdot d_{FXT}^{-1} \cdot f_{FXT}^{-2} \right) \cdot d \cdot f^2$$

ただし、 S は送信電力スペクトル密度、 R_{signal} は被干渉回線の装置終端インピーダンス、 $R_{\text{disturber}}$ は与干渉源の装置終端インピーダンスを表す。また、 $f_{FXT} = 160 \times 10^3$ [Hz]、 $d_{FXT} = 1.0 \times 10^3$ [m]、 $FPSL$ は dB 単位で示された多重遠端漏話減衰量である。

雑音の加算方法

被干渉回線の受信側に与える雑音の大きさは、次の式のとおり近端漏話雑音、遠端漏話雑音、背景雑音の電力スペクトル密度の単純和となる。背景雑音は通常 -140dBm/Hz をとる。

$$N(f) = N_{EXT}(f) + FEXT(f) + 10^{-17} \text{ [W/Hz]}$$

線路のモデルは G.996.1 に記載されているものを使用する。装置終端インピーダンスは、ISDN の計算の際には 110、ADSL の計算の際には 100 とする。

(3) ISDN に対するスペクトル適合性の計算

ISDN に対するスペクトル適合性は、与干渉回線が存在する場合の ISDN の SNR を決定することで確認する。ISDN の SNR は、リニアイコライザで計算する。雑音としては -140dBm/Hz の背景雑音と遠端漏話雑音と近端漏話雑音の総和を使用する。ただし、ISDN と同期して伝送するような方式からの影響は背景雑音と遠端漏話雑音の和を使用する。

周波数の解像度 $f_{\text{delta}} \leq 4312.5\text{Hz}$ を ISDN の SNR 計算に使用する。BER=10⁻⁷ を満足するために必要な SNR は 26.46dB (マージン 6dB を含む) である。

(4) ADSL に対するスペクトル適合性の計算

G.992.1/G.992.2 Annex A への影響

雑音としては -140dBm/Hz の背景雑音と遠端漏話雑音と近端漏話雑音の総和を使用する。ただし、ISDN と同期して伝送するような方式からの影響は遠端漏話と近端漏話をサブキャリアごとに比較し大きい方を用いる。その他のパラメータについては、表 1 の通りである。

表 1 G.992.1/G.992.2 Annex A の伝送特性を評価するための各パラメータの値

項目	記号	G.992.1		G.992.2		単位
		上り	下り	上り	下り	
線路終端	R	100				
送信 PSD	S(f)	-38	-40	-38	-40	dBm/Hz
コーディングゲイン	C	3				dB
マージン	M	4	6	4		dB
周波数解像度	f_{delta}	4312.5				Hz
使用サブキャリア上限	n	31	255	31	127	
使用サブキャリア下限	m	6	33	6	33	

キャリアあたりのビット量は整数に切り捨てられる。さらに、ビット数は各キャリアで最大 8 に切り捨てられ、ビット量が 2 未満である場合は 0 に切り捨てられる。その後、すべてのキャリアのビット量は合計され、計算された伝送速度を求めるために総計に 4000 を乗算する。(4000 は 4kHz のシンボルレートを表わす。)ここでの伝送量は、ITU-T 勧告で定義される「アグリゲートデータレート」を表わす。

G.992.1/G.992.2 Annex C への影響

雑音としては -140dBm/Hz の背景雑音と遠端漏話雑音と近端漏話雑音の総和を使用する。ただし、ISDN と同期して伝送するような方式からの影響はFEXT シンボルには背景雑音と遠端漏話雑音の和を、NEXT シンボルには背景雑音と近端漏話雑音の和を使用する。

Annex C ではNEXT ビットマップとFEXT ビットマップの2 種類のビットマップが使用される。これら2 種類のビットマップに対して独立に、キャリアあたりのビット数を計算して全キャリアの合計を求めた後、NEXT ビットマップの割合である $214/340$ 、及びFEXT ビットマップの割合である $126/340$ をそれぞれ乗算し、これら二つのビット数の和を求める。なお、Annex C にはDBM とFBM の2 種類の方式があるがFBM の場合はNEXTビットマップに配置されるビット数は 0bit/s となる。これらは次の式のようにになる。

$$b_{DBM} = b_{NEXT} \times \frac{214}{340} + b_{FEXT} \times \frac{126}{340}$$
$$b_{FBM} = b_{FEXT} \times \frac{126}{340}$$

これら割合を考慮された値は、伝送速度を求めるために4000を乗算する。(4000は4kHzのシンボルレートを表わす。)ここでの伝送量は、ITU-T 勧告で定義される「アグリゲートデータレート」を表わす。その他の計算に関する条件、パラメータはAnnex Aと同じである。

(5) 線路伝達特性

線路伝達関数は、減衰量と伝送線路長に依存する。

伝送線路の減衰量を $K_{LOOP}(f)$ [dB/km]、線路長を d [km]とすると、線路伝達特性 $|H(f)|^2$ は次の式のようにになる。

$$|H(f)|^2 = 10^{-\frac{K_{LOOP}(f) \cdot d}{10}}$$

減衰量 $K_{LOOP}(f)$ はG.996.1に定められている。

(6) 多重漏話減衰量

前提条件

ケーブルとしては、0.4mm PE ケーブルを使用し、カッド構成(2回線)を基本とするユニット構造(10回線)を対象とする。

与干渉源の総数は5回線とし、同一ユニット内にすべて存在するものとする。複数の与干渉源のユニット内への割当は、被干渉源との対間距離に近い順に選択する。

99%累積値(1%危険率)を採用する。

多重漏話減衰量

スペクトル適合性計算のための多重漏話減衰量を表2及び表3のとおりとする。

表2 与干渉減数5，収容制限無、異種方式間干渉における多重漏話減衰量
(PE絶縁ケーブル)

近端漏話減衰 (160kHz)	遠端漏話減衰量 (160kHz・1km点)
50.0dB	51.5dB

表3 与干渉減数4，隣接カッド収容、異種方式間干渉における多重漏話減衰量
(PE絶縁ケーブル)

近端漏話減衰 (160kHz)	遠端漏話減衰量 (160kHz・1km点)
55.0dB	52.0dB

以上