

第1種ベッセル関数による隣接チャンネル漏えい電力の計算

無線設備規則第57条の3において、データ通信システムの送信装置の条件が定められている。その概要は次のとおりである。

変調信号は、パルスにより構成されるものであり、その送信速度は、 $8kbps$ 以下のものであること。

周波数偏位は、次のとおりであること。

変調信号の送信速度が $4kbps$ 以下のものにあつては、 $\pm 2kHz$ 以内であること。

変調信号の送信速度が $4kbps$ を超え $8kbps$ 以下のものにあつては、 $\pm 4kHz$ 以内であること。

変調信号の送信速度が $8kbps$ を超えるものにあつては、 $\pm 8kHz$ 以内であること。

隣接チャンネル漏えい電力は、変調信号の送信速度と同じ送信速度の標準符号化試験信号により変調した場合において、次の値であること。

変調信号の送信速度が $4kbps$ 以下のものにあつては、搬送波の周波数から $6.25kHz$ 離れた周波数の $\pm 2kHz$ の帯域内に輻射される電力が搬送波電力より $60dB$ 以上低い値

変調信号の送信速度が $4kbps$ を超え $8kbps$ 以下のものにあつては、搬送波の周波数から $12.5kHz$ 離れた周波数の $\pm 4kHz$ の帯域内に輻射される電力が搬送波電力より $60dB$ 以上低い値

変調信号の送信速度が毎秒 $8kbps$ を超えるものにあつては、搬送波の周波数から $25kHz$ 離れた周波数の $\pm 8kHz$ の帯域内に輻射される電力が搬送波電力より $60dB$ 以上低い値

実際に製造された無線機について測定したところ、この基準を満たすにはかなり厳密な保守管理を必要とすることが分かった。

特に、周波数偏位が過大になると隣接チャンネル漏えい電力が急激に増大する傾向にあるので、その理論的根拠を検討してみたのが本稿である。

ここで対象とする無線設備の規格であるが、占有帯域幅 $8kHz$ でデータ伝送速度 $4.8kbps$ とする。チャンネル間隔は $12.5kHz$ で、いわゆるナロー化アナログ FM と共用する身近にある無線機である。上記の無線設備の規定に照らすと、周波数偏位は $\pm 4kHz$ 以内・隣接チャンネル漏えい電力は $-60dB_c$ 以下が要求されている。

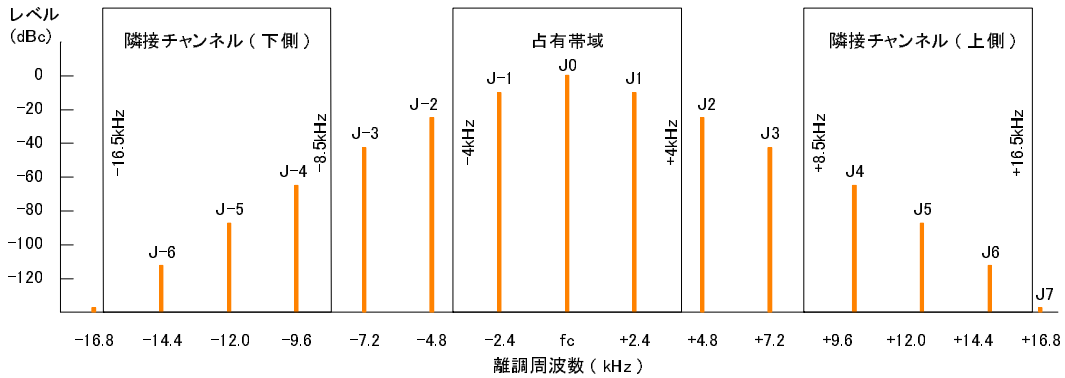
規則では標準符号化試験信号(擬似雑音=Pseudo Noise)を用いることになっているが、その信号成分は一樣ではなく理論解析には適さないので、ここでは $4.8kbps$ のデータストリームが持つ最高周波数成分である $2.4kHz$ の正弦状波を用いることにする。(角度変調は帯域制限形変調とも呼ばれ、側波帯の広がりの変調信号の周波数に依存しないので、パルス信号の代わりに正弦状波を用いても解析の結果に大差はないと考えられる。)

さて、 $f_m = 2.4kHz$ のベースバンド信号で FM 変調されたならば、搬送波の周波数を f_c とすると、 f_c を中心としてその上下に f_m の整数倍の周波数成分からなる側波帯を発生する。個々の側波帯の大きさ (J_n) は、良く知られているように第一種ベッセル関数として変調指数 (m) と側波帯の次数 (n) から、数学的に精密に計算される。

隣接チャンネルの具体的な周波数を次図に示す。例えば上側チャンネルの場合、 $f_c + 12.5kHz \pm 4kHz$ つまり $F_c + 8.5kHz \sim 16.5kHz$ となる。この周波数範囲に落ち込む FM の側波帯は、 $f_m = 2.4kHz$ で

あるので、 $n = 4, 5, 6$ の次数のものに限られることになる。 $(n = 2, 3$ に対応する側波帯は「帯域外発射」として別に許容値が定められているが、ここでは検討の対象外である。)

周波数変調波のスペクトラム (変調周波数=2.4kHz 変調度=0.7)



以上をふまえて第一種ベッセル関数を計算し、側波ごとの振幅を下表の J_4 、 J_5 および J_6 に示した。その値は振幅比で表されており、各側波ごとの電力合成比を得るために、 J_4^2 、 J_5^2 、 J_6^2 の合算をして記載した。

m	J_4	J_5	J_6	$J_4^2 + J_5^2 + J_6^2$	dB_c
0.5	161	8	0	0.025994	-75.85
0.6	331	20	1	0.109962	-69.59
0.7	610	43	3	0.373958	-64.27
0.8	1,013	83	6	1.074014	-59.69
0.9	1,641	149	11	2.715203	-55.66
1.0	2,477	250	21	6.198470	-52.08

J の単位は、 10^{-6}

求める搬送波比の隣接チャンネル漏えい電力 (dB_c) は、上表の右欄に計算結果を記載した。なお、下側波については具体的に計算しなかったが、側波帯の電力分布は上側波帯と対称となるので、下側の隣接チャンネルについても同様に扱うことができる。

この結果から分かるとおり、当該無線機に適切な周波数偏位の設定は、 $m = 0.7$ 以下であることである。

結果的に、 $m = 0.5$ である MSK (Minimum Shift Keying) は良好な隣接チャンネル漏えい特性を示すことが分かる。なお、データストリームにガウスフィルタをかける GMSK は、より性能を上げることになるので、推奨される。