

低域バンドでのSN比改善を目的とした
TSP信号に関する検討 - 高調波歪の除去 -*

○藤本卓也 (四元音響設計事務所)

1. はじめに

従来型 TSP 信号は、バンド毎のインパルス応答を求める際、低周波域になるに従い信号のバンドレベルが低下し、SN 比が悪くなる傾向がある。前報¹⁾ではこの問題を解消する一方法として検討した Pink-TSP 信号について報告した。これは“ピンク”な周波数特性を持ち、掃引周波数が LOG スケールの周波数軸上を等速スイープすることを特徴とする。

今回は、インパルス応答測定時の留意点の一つである、信号の非線形歪に関し、Pink-TSP の LOG スイープを利用した高調波除去について検討を行った結果を報告する。

2. 従来型 TSP における高調波歪の影響

従来型 TSP 信号は、次式で生成される。

$$H(k) = \begin{cases} \exp(j\alpha k^2) & 0 \leq k \leq N/2 \\ H^*(N-k) & N/2 < k < N \end{cases} \quad (1)$$

この信号は高→低域にスイープし、その群遅延特性 $\tau(k)$ [sec] は、次式で示される。

$$\tau(k) = -\frac{d}{d\omega} (\angle H) = -2\alpha k \cdot \frac{N}{2\pi F_s} \quad (2)$$

TSP フィルタの群遅延機能、および逆フィルタの機能を図 1 に示す。

TSP 信号出力に高調波歪が生じている場合の掃引特性を図 2 に示す。m 次高調波の群遅延時間は、

$$\tau_m(k) = -\frac{2\alpha k}{m} \cdot \frac{N}{2\pi F_s} \quad (3)$$

であり、周波数特性は振幅特性を $A(k)$ とし、

$$H_m(k) = A(k) \exp\left(j \frac{\alpha}{m} k^2\right) \quad (4)$$

となる。m 次高調波を逆 TSP すると、

$$F(k) = H_m \cdot H^{-1} = A(k) \exp\left[-j \frac{(m-1)\alpha}{m} k^2\right] \quad (5)$$

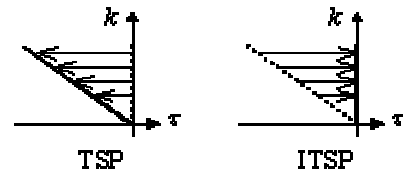


図 1 TSP フィルタ、逆フィルタの群遅延機能

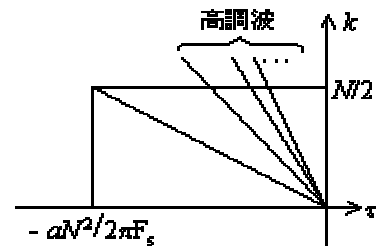


図 2 高調波歪のある従来型 TSP の掃引特性

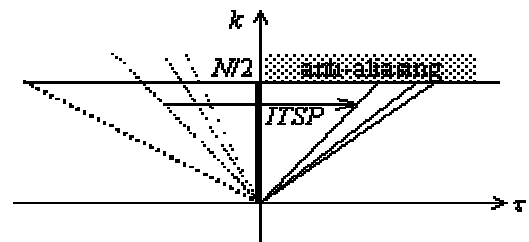


図 3 逆 TSP される高調波

となるが、これは周波数上昇型の TSP に他ならない。群遅延に着目した逆 TSP の過程を、図 3 に示す。

高調波が逆 TSP されたスイープ音は、本来のインパルス応答と時間的に重なるため、その除去は困難である。このため、従来型 TSP 信号を用いる場合は、高調波歪が生じないよう、スピーカ音量等に配慮する必要があるといえる。

*A study of TSP signal getting higher SN ratio at low frequency bands. -Removal of harmonic distortion-.
By Takuya Fujimoto (Yotsumoto Acoustic Design Inc.)

3. Pink-TSP 信号の高調波成分

Pink-TSP 信号は次式により生成する。

$$H(k) = \begin{cases} 1 & k = 0 \\ \frac{\exp(jak \log k)}{\sqrt{k}} & 0 < k \leq N/2 \\ H^*(N-k) & N/2 < k < N \end{cases} \quad (6)$$

群遅延特性 $\tau(k)$ [sec] は、

$$\tau(k) = -\frac{d}{d\omega} (\angle H) = -a \left(1 + \log k\right) \cdot \frac{N}{2\pi F_s} \quad (7)$$

である。高調波を含む Pink-TSP の掃引特性を 図 4 に示す。

Pink-TSP の m 次高調波の群遅延時間は、

$$\begin{aligned} \tau_m(k) &= -a \left(1 + \log \frac{k}{m}\right) \cdot \frac{N}{2\pi F_s} \\ &= \tau(k) + \frac{aN}{2\pi F_s} \log m \quad (k \leq N/2) \end{aligned} \quad (8)$$

となる。この式から m 次高調波は、元信号より $\log m$ に比例した遅れ時間で発生する、元信号と同じ速度のスイープ音とみなせる。これは、LOG スイープの特徴として、オクターブをスイープする速度が一定であること、元信号がオクターブスイープする間に高調波もオクターブスイープすることから容易に理解できる。

このように、Pink-TSP 信号の高調波は、 $F_s/2$ 以下の周波数では元信号の時間遅れとみなすことができる。これを逆 TSP すると、元信号のパルスの上に、高調波のパルス列が並んで現れることになる (図 5 参照)。

逆 TSP されたインパルス応答波形において、元信号による応答の次に現れる第 2 次高調波の応答は、 $aN \log 2 / 2\pi F_s$ [sec] 遅れて到達する。この遅れ時間は Pink-TSP がオクターブスイープに要する時間と一致する。測定対象とするインパルス応答がこれより短い場合、第 2 次高調波の応答以降を除去することで、元信号による正しい応答を取り出すことが可能となる。

4. 実測例

従来型と Pink-TSP とによるインパルス応

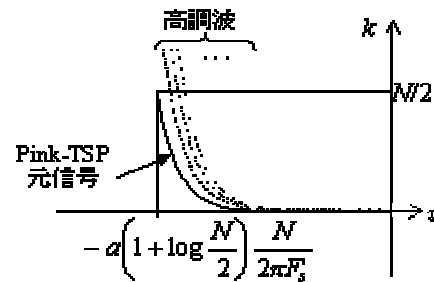


図 4 高調波を含む Pink-TSP の掃引特性

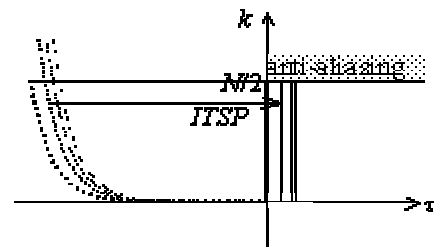
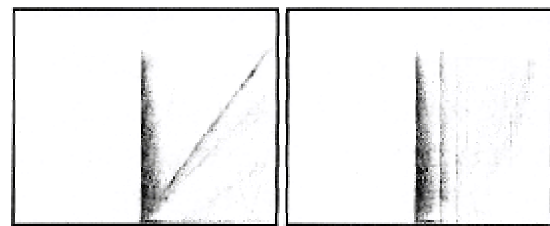


図 5 Pink-TSP の逆変換



従来型 TSP

Pink-TSP

図 6 インパルス応答のサウンドスペクトログラム

答の実測例を、サウンドスペクトログラムとして 図 6 に示す。

5. まとめ

LOG スイープさせた Pink-TSP 信号は、高調波も元信号と同じ速度でスイープする。逆 TSP すると高調波は時間遅れの応答となって現れるので、長い信号を用いることで除去が可能となる。その場合、オクターブをスイープする時間が、インパルス応答よりも長いことが条件となる。

参考文献

[1] 藤本、音講論、(1999.9~10) pp.433-434