

高調波歪が分離可能である適応型インパルス応答測定信号の検討*

☆茂木宏太, 金田豊 (東京電機大)

1 はじめに

音響系の周波数特性や残響時間を求めるためにインパルス応答の測定は重要である。そしてインパルス応答測定用の信号として SS (Swept Sine:掃引正弦波) 信号が広く利用されている。この測定においてスピーカの非線形特性による高調波歪が発生して誤差要因となる。Log-SS 信号は高調波歪を主応答から分離して除去することができるが、その他の測定信号においても高調波歪の除去が望まれる。そこで本稿では、高調波歪の分離に必要な条件を提示し、その条件を満たす測定信号の合成手順を示す。

2 掃引正弦波の高調波歪

2.1 分離不可な信号

TSP 信号を用いて室内音響系を測定した結果の主応答及びその高調波歪の時間一周波数特性を Fig. 1 に示す。各時刻で 2 次高調波歪は主応答の 2 倍の周波数を持っている。Fig. 1 に逆 TSP 信号をかけて求めたインパルス応答を Fig. 2 に示す。高調波歪は低周波数帯域でインパルス応答と重なっており、分離は不可能である。

2.2 分離可能な信号

一方、Log-SS 信号を用いて測定した結果の主応答と高調波歪の時間一周波数特性を Fig. 3 に示す。また、Fig. 3 に逆信号をかけて求めたインパルス応答を Fig. 4 に示す。図を見るとどの周波数においても、2 次高調波歪は、主応答から一定の間隔がある。このため高調波歪の分離が可能である。

3 高調波歪分離の条件

Fig. 5 の太線に SS 信号応答の時間一周波数特性 $f_s(\tau)$ をの例を示す。この特性を周波数の関数として表したものが、信号の群遅延特性 $\tau_s(f)$ である。また、図の細線は 2 次高調波歪を表し、各時刻における SS 信号応答の周波数の 2 倍となるので、 $2f_s(\tau)$ と表される。また 2 次高調波歪の群遅延は $\tau_s(f/2)$ となる。

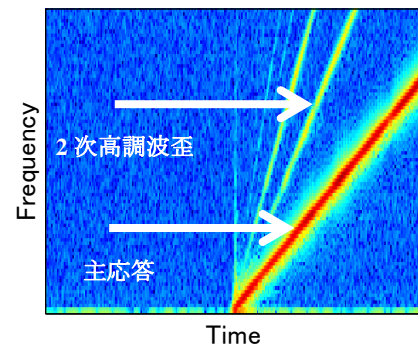


Fig. 1 TSP 信号による測定結果のスペクトログラム

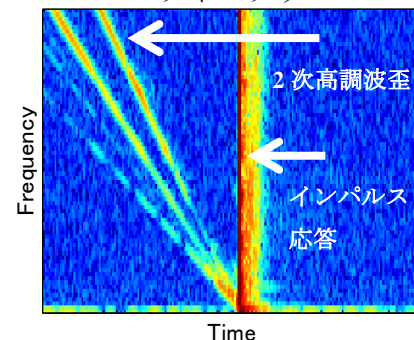


Fig. 2 Fig. 1 より求めたインパルス応答 (分離不可能)

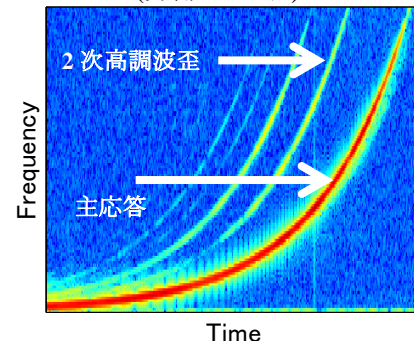


Fig. 3 Log-SS 信号による測定結果のスペクトログラム

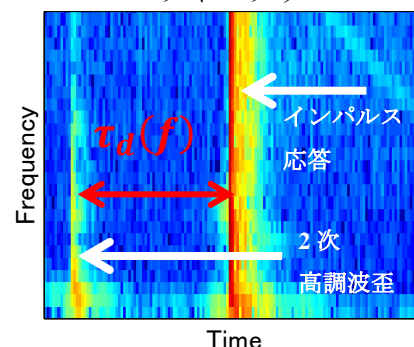


Fig. 4 Fig. 2 より求めたインパルス応答 (分離可能)

* A study of harmonic distortion separable signal for impulse response measurement, by MOTEGI, Kouta and KANEDA, Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

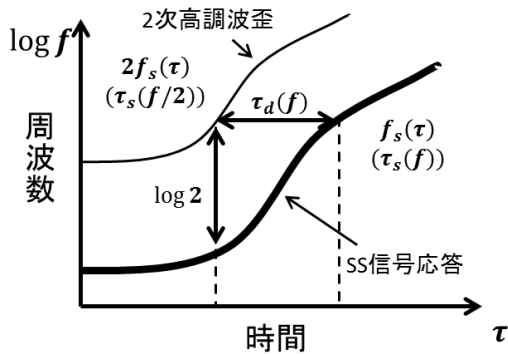


Fig. 5 SS 信号応答と 2 次高調波歪の時間一周波数特性のモデル図

(縦軸を対数表示としたので等間隔の曲線となっている)。

さて、インパルス応答は SS 信号応答に負の群遅延、 $-\tau_s(f)$ をかけて求めるが、この操作において、SS 信号応答と 2 次高調波の間隔 $\tau_d(f)$ は保存される。したがって、この $\tau_d(f)$ が Fig. 4 に示すように、インパルス応答と 2 次高調波歪の間隔を表し、 $\tau_d(f)$ が全周波数にわたって 2 次高調波の応答長 T_s より大きいこと、すなわち測定信号の群遅延 $\tau_s(f)$ が次式

$$\tau_d(f) = \tau_s(f) - \tau_s(f/2) > T_s \quad (1)$$

を満たすことが分離可能条件となる。

4 測定信号の合成

(1) 元の信号の群遅延特性 $\tau_d(f)$ の形状を保存しつつ、全ての周波数で T_s 以上となる特性 $\hat{\tau}_d(f)$ を求める (Fig. 6)。ただし、 $\tau_d(f)$ の面積は信号のエネルギーに相当する量なのでこの値は一定に保持する。

(2) 式(1)が、 $\hat{\tau}_d(f)$ となる群遅延特性 $\hat{\tau}_s(f)$ を求める。単調増加な群遅延特性に対して、 $\hat{\tau}_d(f)$ をオクターブ長で割ったものは、そのオクターブ区間での平均的な増分を表すのでこれを加算していくことで分離条件を満たした群遅延特性 $\hat{\tau}_s(f)$ を得る。

(3) 作成した群遅延特性 $\hat{\tau}_s(f)$ を周波数で微分するとパワースペクトル、周波数で積分すると位相が求められるので信号が合成できる。

5 測定実験

MN-SS[1]信号をもとに条件を満たす提案信号を合成し、信号長 2^{16} 、容積 160 m^3 の室内でインパルス応答、高調波歪を測定した。Fig. 7 に MN-SS 信号を用いた測定結果のスペクトログラムを示す。図より、インパルス応答と 2 次高調波歪の時間差は 0.004 s となり、

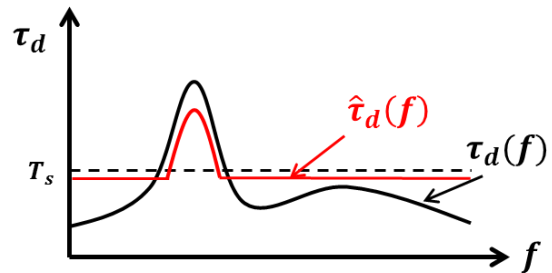


Fig. 6 測定信号の群遅延特性

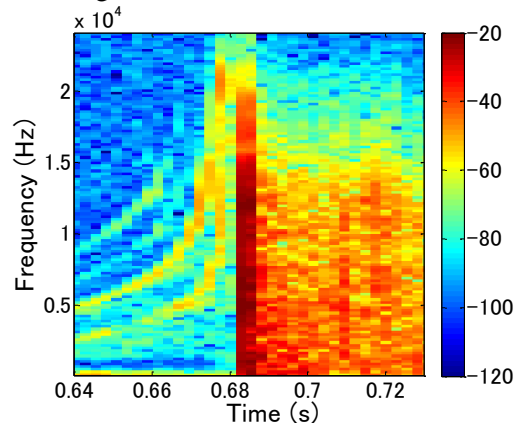


Fig. 7 MN-SS 信号より求めたインパルス応答

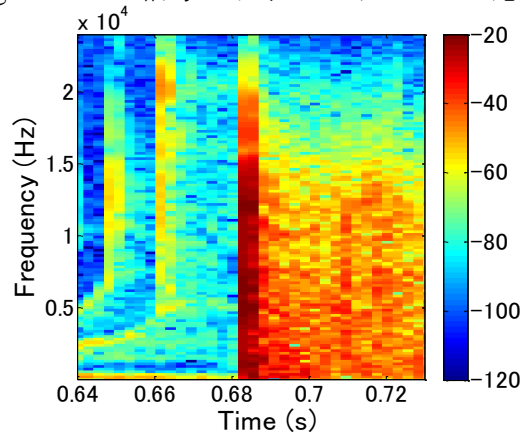


Fig. 8 提案信号より求めたインパルス応答

2 次高調波歪に残響が加わると分離が難しい。一方 Fig. 8 は $T_s = 0.02 \text{ s}$ として合成した提案信号での測定結果で、図よりインパルス応答と 2 次高調波歪の時間差は設定値通り約 0.02 s 離れており、高調波歪の分離可能である。

6 まとめ

本稿では、高調波歪の分離が可能な掃引正弦波の条件を群遅延特性において示し、高調波歪とインパルス応答との時間間隔を任意に定められる信号の開発を行った。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 15H02728 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] Y. Kaneda, J. A. E. S., 63, 5, 348-357 (2015).