高速1bit信号によるパラメトリックスピーカの直接駆動*

◎石井紀義，武岡成人，及川靖広，山﨑芳男（早稲田大学）

1　まえがき

近年パラメトリックスピーカの駆動にディジタル変調器を用いた報告がなされている[1]。本研究ではディジタル処理を行いやすい構成として、高速 1bit 信号によるパラメトリックスピーカの直接駆動を提案する。ディジタル信号でありながらアナログ信号のスペクトルを持つ高速 1bit 信号は変調波を記録することも可能であり、全ディジタルの構成でパラメトリックスピーカを駆動することが出来る。また、高速 1bit 処理により所望の帯域の量子化雑音制御を行うことが可能であり、変調周波数付近の S/N を改善した信号を得ることも可能である[2]。この度、ディジタル回路のみでパラメトリックスピーカ駆動を試みたので報告する。

2　駆動信号

2.1 ΔΣ変調による量子化雑音制御

高次従属接続型 ΔΣ 変調により目的に応じた量子化雑音のスペクトル制御が可能である[2][3]。本研究では搬送波 40 kHz の振幅変調信号でパラメトリックスピーカを駆動する。ここで伝達関数が

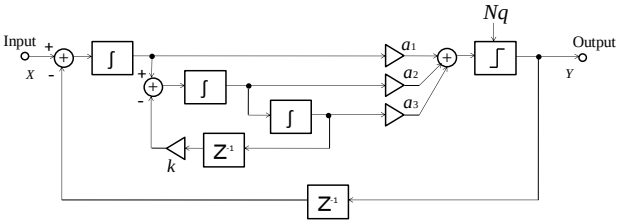
$$Y = H(X)\cdot X + H(Nq)\cdot Nq$$

$$H(X) = \frac{\sum_{p=1}^{n} a_p \cdot (1 - z^{-1})^{n-p}}{(1 - z^{-1})^n + z^{-1} \cdot \sum_{p=1}^{n} a_p \cdot (1 - z^{-1})^{n-p}}$$

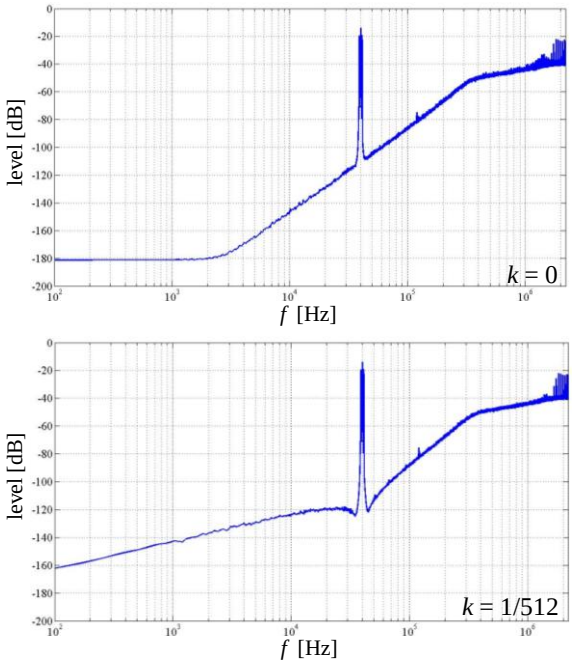
$$H(Nq) = \frac{(1 - z^{-1})^n}{(1 - z^{-1})^n + z^{-1} \cdot \sum_{p=1}^{n} a_p \cdot (1 - z^{-1})^{n-p}}$$

で表わされる高次従属接続型 ΔΣ 変調により信号近傍の量子化雑音を抑圧し、S/N の確保された信号でパラメトリックスピーカの駆動を試みた。X は入力、Y は出力、Nq は量子化雑音、n は積分次数である。

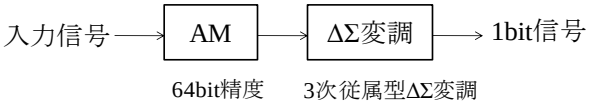
単純な系として 3 次従属接続型 ΔΣ 変調回路による量子化雑音制御を試みた。図―1 に 3 次従属接続型 ΔΣ 変調回路を示す。シミュレ



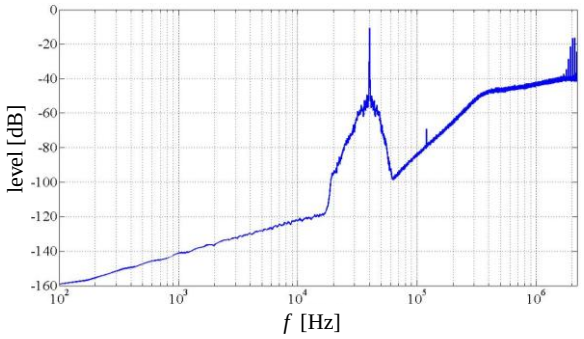
図―1　3 次従属接続型 ΔΣ 変調回路



図―2　3 次従属型 ΔΣ 変調のスペクトル



図―3　ディジタル振幅変調・ΔΣ 変調



図―4　得られた信号のスペクトル

* Direct driving parametric loudspeaker by high speed 1bit signal,
by ISHII Kiyoshi, TAKEOKA Shigeto, OIKAWA Yasuhiro and YAMASAKI Yoshio (Waseda University).

ーションにより変調波 1 kHz、搬送波 40 kHz の振幅変調信号に 3 次従属接続型 ΔΣ 変調を行った。a_1=1、a_2=1/4、a_2=1/8 とし帰還係数 k が 0 の場合と 1/512 の場合のスペクトルを図―２に示す。k = 0 の場合に対し、k = 1/512 では 40 kHz において量子化雑音にディップが生じ、信号近傍で S/N が改善されている。以上の結果から、k = 1/512 とした 3 次従属接続型 ΔΣ 変調により搬送波近傍の S/N を確保した振幅変調信号を得ることが可能である。

2.2 ディジタル振幅変調・ΔΣ変調

ディジタル信号のまま振幅変調・ΔΣ 変調を行うことによりパラメトリックスピーカの駆動信号を得る構成を提案する。パラメトリックスピーカの駆動には SSB 方式等の高調波歪を低減した振幅変調を用いる手法があるが、本研究では一般的な

$$p_i = p_o\{1 + ms(t)\}\sin 2\pi f_o t$$

による振幅変調を行った。ここで p_i は 1 次波音圧、p_o は音源音圧、m は変調度、$s(t)$は可聴音となる信号、f_o は一次波の中心周波数である。本実験では m= 1 とした。図―３にディジタル振幅変調・ΔΣ 変調の構成図を示す。64 bit 精度で振幅変調を行った後、前述の k = 1/512 とした 3 次従属接続型 ΔΣ 変調を行う。

オーディオ信号にディジタル振幅変調・ΔΣ 変調を行い得られた信号のスペクトルを図―４に示す。40 kHz を搬送波として USB、LSB に信号のスペクトルが見られ振幅変調されていることが確認出来る。

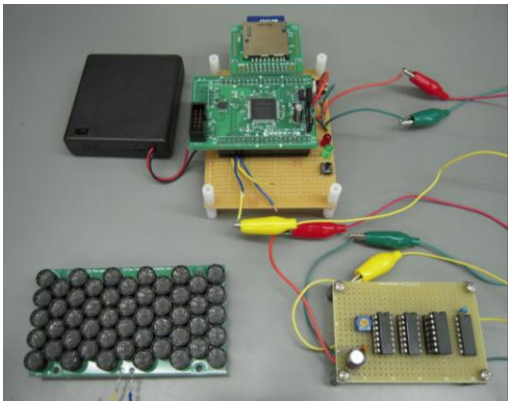
3　駆動回路

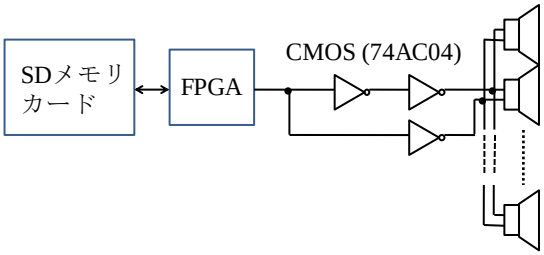
3.1 駆動回路の試作

図―５に試作したパラメトリックスピーカ駆動回路の外観と回路構成を示す。出力段に 5 V 動作の CMOS (74AC04)を使用した。

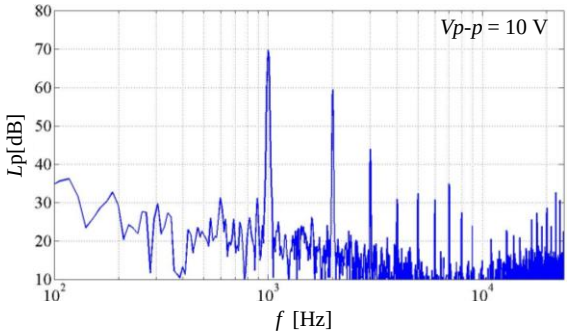
3.2 実測

標本化周波数 5.6 MHz の高速 1bit 信号によるパラメトリックスピーカの直接駆動を行った。本実験では 100 個の超音波エミッタを使用し、変調波を 1kHz 正弦波とした。振幅変調波を反射板へ 30cm の位置で放射し、反射板から 5cm の位置における反射波を測定した。測定結果のスペクトルを図―６に示す。1 kHz でピークが見られる一方、両側波帯の相互作用による高調波歪が生じその整数倍の周波数においてもピークが見られた。





図―５　パラメトリックスピーカ駆動回路



図―６　実測信号のスペクトル

4　むすび

量子化雑音制御を行い信号近傍の S/N を改善した高速 1bit 信号によるパラメトリックスピーカの直接駆動を試みた。全ディジタルの構成からディジタル遅延による指向性制御等のディジタル信号処理を行った再生も期待出来る。本実験ではプリディストーションを加えず単純な振幅変調を用いたが、今後 SSB 方式等による高調波歪低減手法を検討していく所存である。

参考文献

[1] 酒井 他，“パラメトリックスピーカ用ダイナミック SSB 変調器，”電子情報通信学会論文誌，pp.1166-1173 (2008)

[2] 山﨑 他，“広帯域音響信号の高速標本化 1 bit 処理，”信学技報，EA93-102 (1994)

[3] 服部 他，“高速 1 ビット信号処理の伝送特性及び量子化雑音制御，”電子情報通信学会基礎・協会ソサイエティ大会，pp.313-314 (2000)