

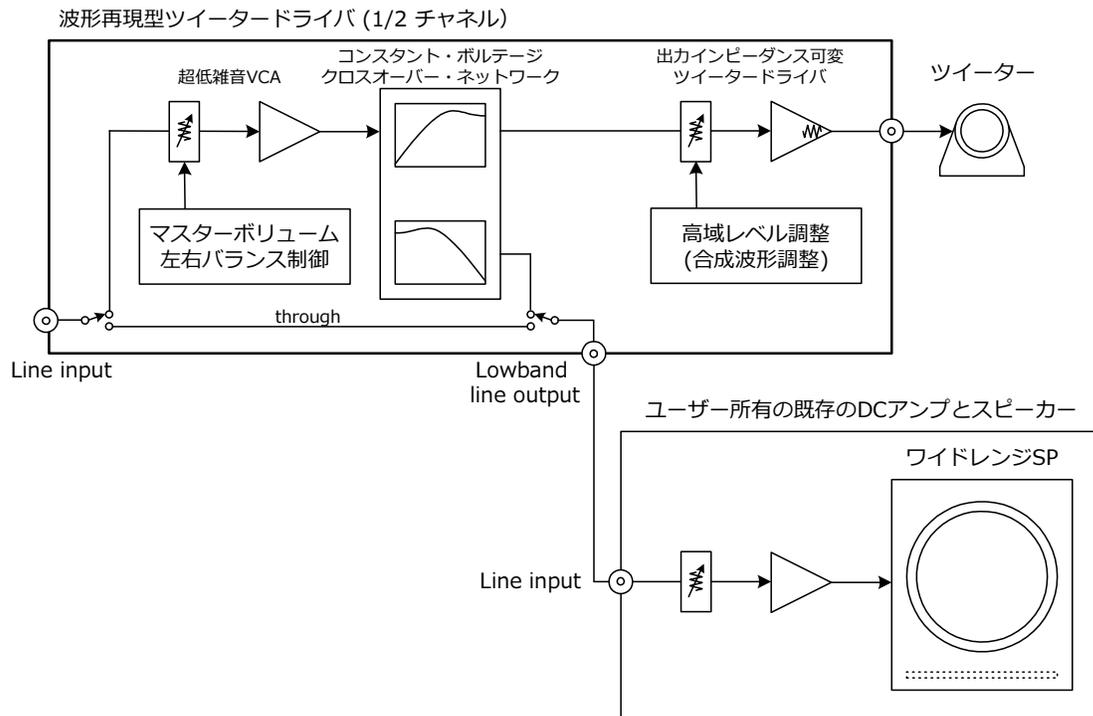
波形再現型 増設ツイータードライバー

有限会社ファインチューン 細田 隆之

平成 23 年 8 月 3 日

スピーカーシステムのアップグレードのため、より忠実に、より精細にディテールを描く高性能ツイーターを増設したくなったときに、既存のスピーカーシステムを活かしつつツイーターの性能を余す事無く引き出せる、波形再現性にまでこだわった、増設ツイータードライバーを紹介します。

図 1: 波形再現型ツイータードライバーを使用したスピーカーシステム図



1 スピーカーシステム

1.1 2ウェイスピーカー

●ツイーターの必要性 低音から高音まで再生可能なワイドレンジスピーカーでも低音の再生能力と高音の再生能力はトレードオフの関係にあります。迫力のある低音が出せる高性能ワイドレン

ジスピーカーでも、サイズや剛性などの物理的制約 (定在波の発生など) で高音では再生性能が劣化していたり忠実度が損なわれています。

また別の問題として、一つのスピーカーに低音から高音まで再生させた場合に大振幅の低音で高音が揺さぶられることにより発生するドップラー効果による歪みは、本来豊かな情報を持つ高域を不快な音に変化させ音を濁らせてしまいます。

この問題を抜本的に解決するには、一つのスピーカーが受け持つ音の範囲 (周波数範囲) を分けてやるのが本質的であるため、中低音域を受け持つスピーカーと高音を受け持つツイーターを組み合わせた 2 ウェイ・オーディオスピーカーが広く使われています

1.2 クロスオーバー・ネットワーク

●パッシブ・クロスオーバー・ネットワーク 2 ウェイ・スピーカーを使う際には中低音域と高音域を分けるクロスオーバー・ネットワークと呼ばれるフィルタが必要です。

市販の 2 ウェイ・スピーカーには一般的にはインダクタ (コイル) とキャパシタ (コンデンサ) からなるパッシブ部品による LC クロスオーバー・ネットワークが内蔵されています。ところがそこで使用されるインダクタは磁性体のコアのために大きな歪みを発生し、歪みを減らそうとしたり扱える電力を大きくしようとすると大きく重く高価になりますし、そのような高価な部品を使ったとしてもアンプとスピーカーとの間に余計なりアクタンス素子が入ることによるダンピング特性の劣化などの性能劣化から逃れることが出来ず、思う程性能は改善しません。

●アクティブ・クロスオーバー・ネットワークの必要性 高忠実度が要求される用途には様々な問題点を抱えるパッシブ部品のクロスオーバー・ネットワークを使わずに、入力信号を低域と高域と分けてそれぞれのスピーカーを個別のアンプでドライブする場合があります。その場合、中低音域と高音域用のそれぞれのアンプの前には、主にアクティブフィルタで構成されたアクティブ・クロスオーバー・ネットワークが用いられます。

●クロスオーバー・ネットワークの次数と構成 1 次フィルタは周波数の分離が悪く 2 ウェイ・スピーカーにする利点を損なうため、ほとんど利用されません。LC 1 個ずつのような 2 次特性のフィルタの場合には総合周波数特性に (伝送零点による) 深い谷ができたりしてあまり芳しくありません。また、4 次以上の高次のフィルタの場合には多くの素子のマッチングや波形歪みに関係する群遅延特性など他の問題も複雑になってくるため、実用上は 3 次のフィルタを用いることとなります。

ここで注意が必要なのは、例えば 周波数特性の平坦さだけを気にして 3 次最大平坦 (バターワース) 特性のハイパス・フィルタとローパス・フィルタを使っても、それぞれを足した出力の波形は元には戻らないということです。

この問題はコンスタント・ボルテージ・クロスオーバー・ネットワークと呼ばれる、周波数分離した信号を足したものが元と同じになるような特性の回路を用いることで解決できます。その総合特性の伝達関数が定数になることから「コンスタント・ボルテージ」・クロスオーバー・ネットワーク (以下 CV ネットワーク) と呼ばれます。このことは入力信号を周波数分離し再合成した信号が理想的には同じ形の信号に戻ることの意味します。

● クロスオーバーネットワークのシミュレーション 図 2 の周波数特性及び 図 3 の過渡応答特性はオーディオ用バイポーラオペアンプのマクロモデルを使用して SPICE で上記回路をシミュレー

ションしたものです。図 3 を見ると 高域側の V4 と低域側の V0 の 二つの出力を足した V0 + V4 が元の矩形波に戻っているのが分かります。

図 2: 周波数特性

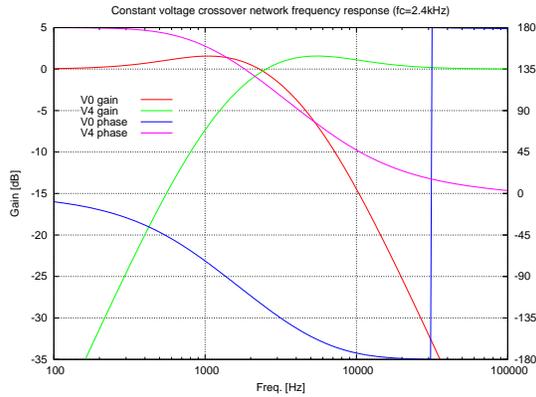
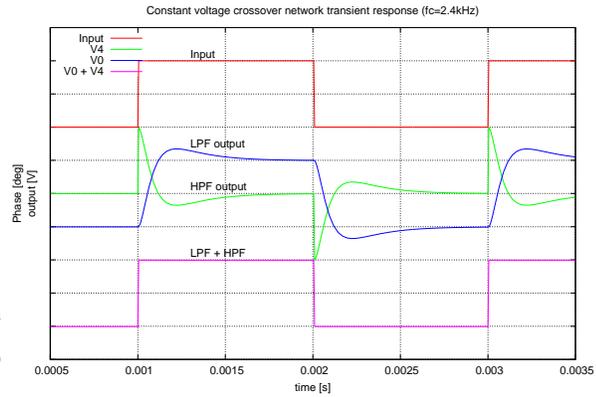


図 3: 過渡応答特性



1.3 低雑音・出力インピーダンス可変 DC アンプ

●実際の波形再現型 増設ツイータードライバー 冒頭の図 1 は CV ネットワークを応用した増設ツイータードライバーを利用した実際のスピーカーシステムの構成例です。低音と高音に分けた音を再合成すると元の波形に戻る「CV ネットワーク」を組み合わせることにより、周波数特性のみならず元の信号波形までも出来得る限り忠実に再現します。

中低音の再生は既存の DC アンプとスピーカーにまかせ、増設ツイータードライバーは中低域を分離することに専念します。既存のスピーカーには余分な高音域が入らなくなるため、高音の濁りを気にせず迫力のある低音を再生させることが可能となります。また、既存の DC アンプの超低域のリアリティを損なわないように、CV ネットワークに加え体感上も有害な超低周波のドリフトをもキャンセルする低雑音オフセットキャンセラを装備しています。

高音域は、ツイーターを最適にドライブする出力インピーダンス可変 DC アンプに、また、ボリュームやバランス、波形調整による雑音特性の劣化を防ぐために、低抵抗ネットワークによる調整回路を採用しています。その低抵抗の熱雑音により制限される物理的限界近くまで雑音を低減し 96dB (16bit 音源相当) 以上の S/N とダイナミックレンジを実現しています。

スピーカーの組み合わせやエンクロージャーにより最適値が異なるため、カットオフ周波数は出荷時オプションとなっていますが、合成バランス、出力インピーダンス等はユーザーが調整できるようになっています。リスニング・ルームやお好みに合わせて各バランス等を調整頂けば、既存のスピーカーシステムも増設ツイーターもその性能を余すこと無く引き出せ、より一層、原音に忠実で広がりのある豊かな音をお楽しみ頂けることでしょう。

このツイータードライバーは受注生産品として弊社、有限会社ファインチューンより提供予定です。

<http://www.finetune.jp/>



Copyright ©2011 Finetune co., ltd.

A 付録

図 4: 波形再現型ツイータードライバァー フロントパネル (案)

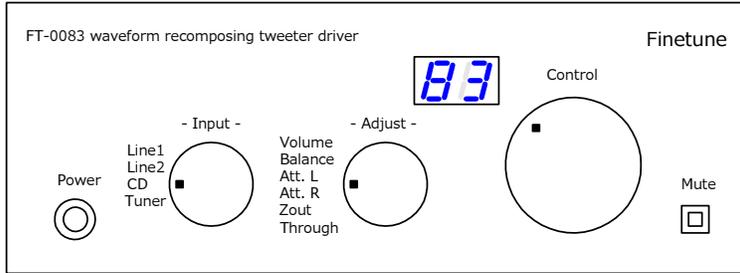


表 1: 主要諸源 (暫定)

入力	ライン	
入力レベル	0dBu	(標準仕様)
入力チャンネル数	2	
入力コネクタ	RCA	
出力 (高域)	10W (5W x 2)	
出力 (高域) コネクタ	T.B.D.	
出力 (低域)	ライン	
出力 (低域) コネクタ	RCA	
周波数帯域	DC~100 kHz	(-3 dB)
クロスオーバー周波数	2.4kHz	(標準仕様)
歪率 (高域)	T.B.D. %	($f \leq 20$ kHz, $T_a=25$ °C)
歪率 (低域)	T.B.D. %	($f \leq 1$ kHz, $T_a=25$ °C)
電源電圧	90~115 V	
電源周波数	45~80 Hz	
消費電力	T.B.D.	
外形寸法	T.B.D.	
重量	T.B.D.	

A クロスオーバーネットワークの特性比較

●パッシブ・クロスオーバー・ネットワーク 図1の周波数特性及び図2の過渡応答特性は一對のキャパシタ(コンデンサ)とインダクタ(コイル)で構成されるクロスオーバー・ネットワークをSPICEでシミュレートしたものです。インダクタの磁気飽和特性は含まれていません。

LPF+HPFの合成波形を見ると、一見良いようですが、スピーカーの負荷インピーダンスにより周波数特性が変わってしまい、総合特性は簡単に乱れてしまいます。シミュレーションでは低域の負荷インピーダンスが 8Ω から 12Ω に50%増加した場合をシミュレートしています。また、周波数特性の高域(HPF)と低域(LPF)の分離が悪く、これでは低域用フルレンジスピーカーに大振幅の低音に高音が混ざって音が濁ってしまったり、ツイーターに低音の大電力がかかったりして、それぞれの性能を活かすことが出来ません。

図1: 周波数特性

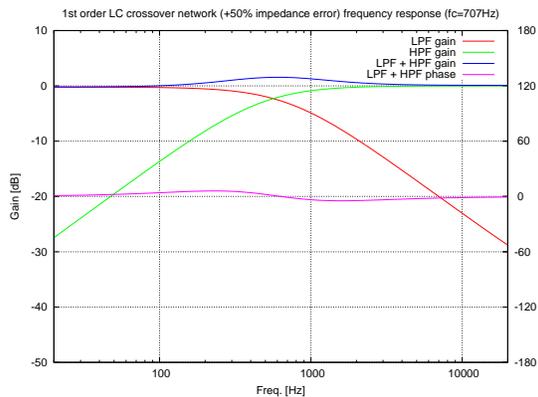
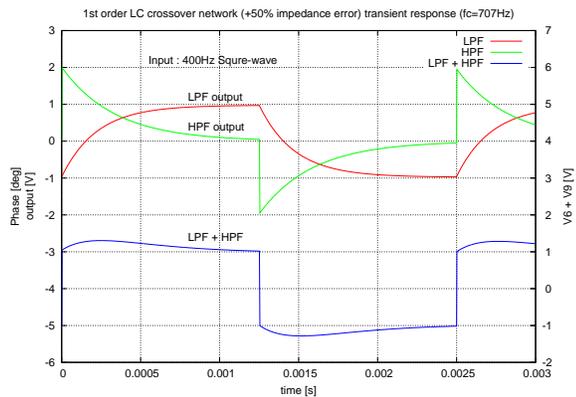


図2: 過渡応答特性



●2次ベッセル・クロスオーバー・ネットワーク 図3の周波数特性及び図4の過渡応答特性はオーディオ用バイポーラオペアンプのマクロモデルを使用してSPICEで2次ベッセル特性のアクティブ・クロスオーバーネットワーク回路をシミュレートしたものです。周波数分離を改善するつもりで次数を2次にし、また波形再現のために特性をベッセル特性¹にしたとしても、そのLPFとHPFを足しても引いても元の矩形波には戻らず、周波数特性も平坦になりません。これはLPFとHPFの伝達関数の和が1になっていないため当然とも言えます。

図3: 周波数特性

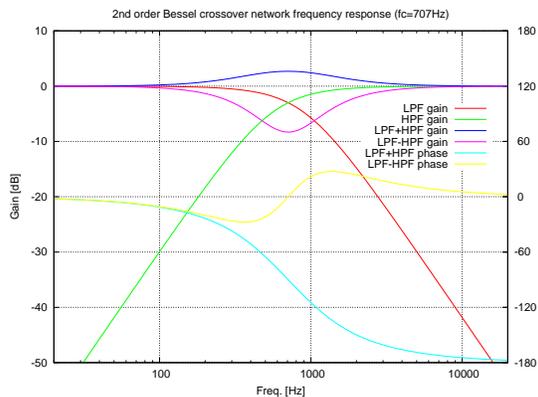
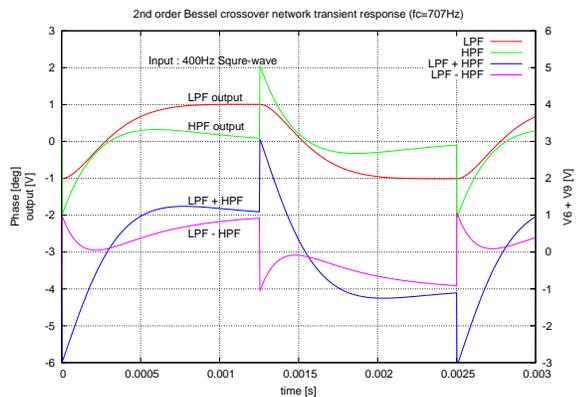


図4: 過渡応答特性



¹ベッセル LPF は群遅延特性が平坦で波形を重視する用途に使われる

● コンスタント・ボルテージ・クロスオーバーネットワークのシミュレーション 図 3 の周波数特性及び 図 4 の過渡応答特性はオーディオ用バイポーラオペアンプのマクロモデルを使用して SPICE で上記回路をシミュレーションしたものです。

図 5: 周波数特性

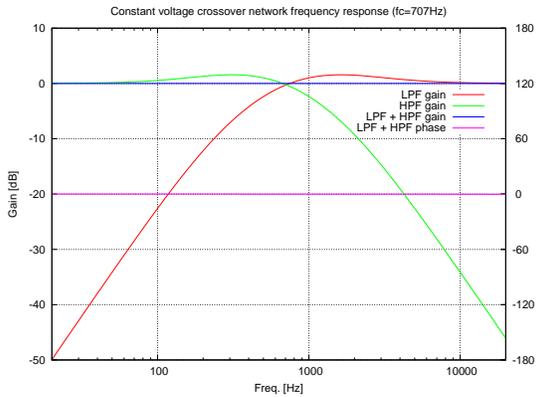
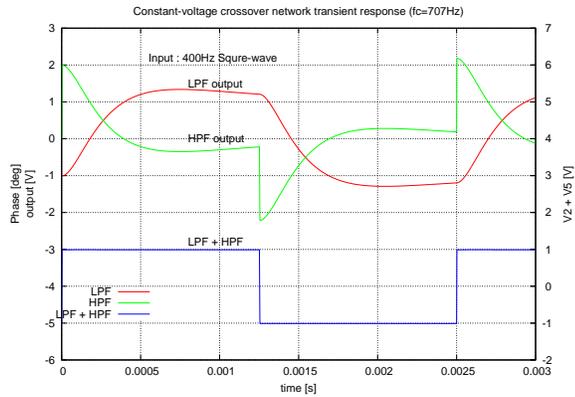


図 6: 過渡応答特性



周波数の分離特性は 12dB/oct. と必要十分で、過渡域の周波数特性のピーキングも少なく、そして合成後の周波数特性は完全に平坦になっていることがわかります。過渡応答特性でも、高域側の HPF と低域側の LPF の二つの出力を足した波形はほぼ完璧に元の矩形波に戻っているのが分かります。また、この矩形波入出力から分かるように、前段のアンプが飽和した時のような波形が入ったとしてもフィルタ出力は平坦にならず、出力がスピーカーに優しい波形になるクロスオーバー・ネットワークとも言えます。実際のスピーカーシステムでは、各々のスピーカーの能率の違いを補正し位置的な位相面を整えてやる事で、各ユニットの性能を最大限に発揮させられることでしょう。

<http://www.finetune.jp/>



Copyright ©2011 Finetune co., ltd.