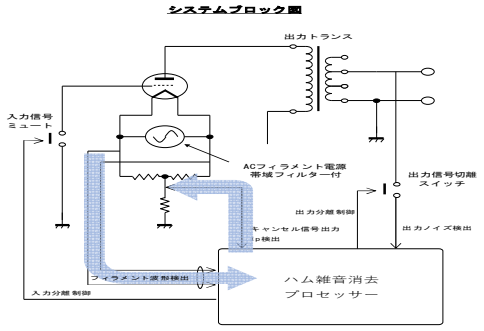
Technical Information



平成 30 年 5 月吉日
有限会社　上杉研究所
〒662-0066
兵庫県西宮市高塚町 1 番 1 号
TEL　：0798-72-3170
E-mail：uesugilab@chive.ocn.ne.jp

究極の直熱管サウンドを求めて
直熱真空管交流点火ハム雑音消去技術

開発の背景

有限会社上杉研究所では純国産の高品質な直熱三極管 300B 真空管と出会い、この真空管の魅力を現代に引き出したシングル A2 級動作のモノラルパワーアンプ U･BROS-300 を平成 25 年より発売し好評をいただいております。
直熱真空管はその音質的魅力により現在オーディオパワーアンプにおいて確固たる地位を占めておりますが、多くの直熱真空管のフィラメントは雑音発生の心配のない直流電源によって点火されております。一方フィラメントの加熱用電源としてライン電源を変圧しそのまま用いる交流点火の音質的魅力についてはなかば伝説的に語られております。
当社でも直熱管を交流点火することから得られる音質的魅力を確認しており、究極の直熱管アンプの製品化を目指し、現在の先端制御技術を駆使しこの実現に挑みました。

開発した直熱管の交流点火技術（特許申請中）について

このたび当社では クロステックラボラトリ（代表：八子 哲）と共同で、最新の DSP（Digital Signal Processing）技術により交流点火で不可避的に生じるハム雑音をリアルタイムで消去する技術の開発に成功いたしました。
従来の直熱真空管の交流点火による製品では、その真空管毎に固有の調整が必要でしたが、この技術により現代のオーディオ機器に要求される環境対応能力（電源周波数、真空管、経時変化）ならびに高精度のフィラメントハムのキャンセル性能を実現しました。交流点火方式による予想される電気的メリットは無論、従来の DC 点火方式では得がたい音質的な魅力を高度な調整作業を要することなくユーザーへ提供することを実現いたしました。

フィラメントハムの発生メカニズム

フィラメントをバランス点火（ハムバランサー中点を接地）した場合、フィラメント内に仮想的中点（接地電位となる物理的位置）が存在します、この点を中心に便宜上フィラメントA、B に分け各々から熱電子が放出される 2 本の真空管を想定します。図―１、２参照

A、B　2 つの真空管には各々同振幅逆位相の信号が入力されますので、A、B　2 つの真空管が完全に揃っていて、かつ Gm（ΔIp/ΔVg）に非線形の要素がなければ、プレート電流は逆位相波形となり合成されたプレート電流はゼロとなりハム雑音は生じません。

しかし実際の真空管では A、B　2 つの真空管の特性には差があり、2 つの真空管の Gm（ΔIp/ΔVg）の相対差はハムバランサーエラー（打消し残り成分）としてフィラメント点火電源基本周波数のハム雑音として発生します。
そこで従来はハムバランサーにより A、B 真空管に入力される 1/2Vf、-1/2Vf の振幅比を変えて A、B 真空管の Gm の差を補正し基本波成分の打消しを行っておりました。

また真空管のプレート電流（Ip） vs グリッド電圧（Vg）　特性は図―３のような非線形性※１をもっているので、グリッドに入力された正弦波から出力されるプレート電流は図－４上部　のように非対称となり偶数次の歪を含むことになります。

従って A、B　2 本の真空管のプレート電流の合計電流は基本波の 2 倍の周波数を主成分とする偶数次高調波を含む歪波形（図―4　下段の波形）となります。
そして同図に示すように Ip vs Vg　の非線形によって生じた直流成分はプレート電流を増加させることとなります。

これがフィラメントの加熱電力を同一にした場合、クレストファクター（波高値）ピーク/実効値の違いから交流点火の方が同じバイアス値にもかかわらずプレート電流が多く流れるという交流点火の特異性のメカニズムであります。

技術の概要

前項の説明により「フィラメントハム雑音の源（信号）はフィラメント電源波形であり、これがフィラメントハム雑音として出力される。」ことがわかりました。

今回当社が開発した直熱管の交流点火技術は

フィラメントハム雑音をフィラメント電源波形を入力とするシステムの入出力応答と捉え、その伝達特性をセットごとに計測し、この伝達特性に基づき、リアルタイムにフィラメント電源波形より消去信号を生成し直熱真空管のフィラメントへ注入してフィラメントハム雑音を消去する技術です。

1. **主な構成要素**　図―5 に本技術のシステムブロック図を示します。

(ア) 入力信号ミュート回路

他の雑音要素を除去し対象とするシステムのシンプル化を行う。

(イ) 帯域フィルター付のフィラメント電源

フィラメント電源波形の帯域制限をおこない、消去対象とする信号の帯域を制限し信号処理の負担を軽減する。

(ウ) ハム雑音消去プロセッサー

伝達特性測定

リアルタイムにハム雑音消去信号の生成注入

システム総合制御

2. **フィラメントハム雑音消去のプロセス**

(ア) 伝達特性測開始条件の判定

対象とする真空管が安定な状態になり伝達特性が測定可能になったことを判定します。

(イ) 伝達特性測定開始

入力信号ミュート回路により入力信号を遮断し、ハム雑音発生要因を切り分けたこの状態で対象とする真空管から生ずるフィラメントハム波形とフィラメント電源波形より伝達特性を計測する。

ちなみにこの作業をシステム工学では同定（Identification）と呼びます。

(ウ)消去パラメーター最適化

フィラメントハム消去の精度改善のために種々のパラメーターを変化させ、ハム雑音最小値へ追い込む作業を繰り返します。

(エ)伝達特性および消去パラメーターの格納

同定成立後

(オ)通常の使用状態ではアンプ電源 ON により、ハム雑音消去プロセッサーが起動し格納された伝達特性と消去パラメーターをフィラメント電源波形に畳み込みリアルタイムに消去信号を生成し、ハム雑音の消去を実行します。

(カ)伝達特性に影響を与えるパラメーターとしてプレート電流がありますので、この情報も常時入力されリアルタイムに消去信号を補正し、正確な消去を行ないます。

3. コアとなる技術

(ア)同定技術

① 波形一周期の正確なキャプチャー

② 高精度な伝達特性演算

③ フィラメントハム成分（基本波、高調波）発生メカニズムに対応した最適処理

④ 消去プロセス評価判定

基盤となる演算能力ならびにアナログ分解能

32 ビット浮動小数点演算処理、ならびに 40 ビット固定小数点演算処理

12 ビット AD,16 ビット精度 1 ビット DA によりフィラメント電源周波数の 14 次高調波まで消去処理を実行

ちなみに本技術で使用している cpu の演算速度は 40MIPS でこれは win95 時代のインテル 486DXcpu の演算能力に匹敵します。

(イ)フィラメント電源用波形フィルター

電力損失のない LC 構成による LPF

(ウ)アナログ信号に配慮した実装技術

① すべてのデジタル処理を 1 チップの DSP（AD,DA 内蔵）マイコン内で行ない、インターフェースポートはアナログドメインで動作し、デジタル信号は外部へ出力しません。

② ハム雑音消去信号は直熱管のハム発生箇所に注入し、この信号が他の増幅回路に流れることはありません。

これはフィラメントハム発生のない直熱真空管と同じといえます。

直熱真空管の点火について

直熱管を交流点火し現代オーディオが要求する低雑音を達成することは困難で製品化例は極めて限られております。

1.　交流点火の現状

① フィラメント点火電圧の低い直熱管でかつ Gm の低い真空管（２A3、45 等）では無帰還シングルの製作例を確認しています。

② ハムバランサーで点火周波数の基本波を打消し、直熱管をプッシュプルアンプ構成で動作させることで偶数次の成分を打ち消すことで、実用上問題のないレベルにハム雑音を押さえ込む技法があり、845　PP 等の大型アンプでの製作例を確認しています

③ ウエスタンエレクトリック製 91A トーキーアンプは 300B 真空管を交流点火していたシングル出力のパワーアンプです。
このアンプは出力管プレートより強度の負帰還（20dB）を入力に戻し、残留ハムの軽減を図っておりました。
加えてスピーカーのフィールドコイル巻き線を平滑用チョークコイル位置に配しており総合で２倍の電源ハムの打消しを行っている可能性があります。

2.　直流点火の現状

① 現代はフィラメント点火用低電圧大電流の直流（DC）電源が容易に実現できることから主流の点火方式です。

② フィラメント各部の直流電位が異なり、フィラメントのエミッション密度が異なる状態が継続することから、211 真空管などではバイアス 40 数Ｖに対し、フィラメント電圧が１０Ｖなのでエミッションの片減りの懸念が報告されています。

③ 低電圧大電流整流回路から発する整流ダイオードのスイッチングの影響が音質にあるとされ、ショットキーダイオード等のスイッチングノイズの少ない整流器の使用を推奨する向きもあります。

④ 一般に用いられるリニアレギュレーターないしは平滑用抵抗に熱損失が発生しフィラメント電力に匹敵する電力損失が発生します。
AC ライン電圧低下時にリップルの谷が漏れてこないよう充分な整流直流電圧が求められます。

交流点火の現状

フィラメントの加熱用電源としてライン電源を変圧しそのまま用いる交流点火の利点は電力損失の余地が無いことから

① 直流点火に比べ大電流の整流回路が不要でありスイッチングノイズが生じない、
② 整流回路のリップルフィルターが不要で電源利用率が向上する。
③ フィラメントエミッションの均一化による長寿命化が期待される。
④ 点火交流信号の基本波の打消しは可能であるが、高レベルで基本波の偶数次成分がフィラメントハムとして発生する。

パワーアンプに求められる残留雑音水準

プリアンプに従属に接続されるパワーアンプではシステム雑音（実使用時のスピーカーより発する雑音）はプリアンプの残留ノイズが支配的であり、パワーアンプ単体でのでは低雑音化はマルチチャンネルアンプドライブ等特殊な用途以外ではあまり実効性がありません。
本技術により実用上はまったく問題にならないレベルにフィラメントハムは低下いたしますが、測定上は従来の直流点火方式に比べて若干悪化しております。
尚、A-NET 聴感フィルターを通した値は直流点火方式の水準を維持しております。

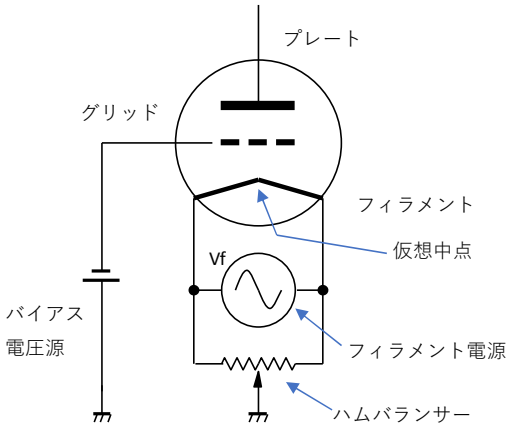
類似の技術　ノイズキャンセラーとの違い

ヘッドフォン等で実用化されているノイズキャンセラーは入力信号（参照信号）に近づくように出力信号を補正するために、音楽再生中にハム雑音のみを抽出することは困難※２であり、音質を損なう可能性があります。
本技術ではフィラメント電源波形の基本波ならびに高次高調波のみがプロセスの対象であり、かつ入力信号と絶縁されており入力信号を損なう恐れはありません。

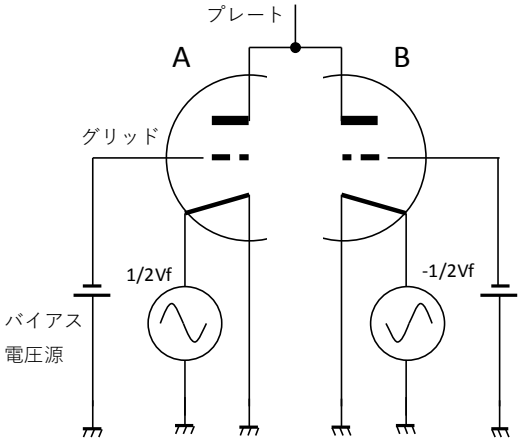
※１　基礎電子管工学[Ｉ]（ゲワルトウスキー・ワトソン）p.132
※２　入出力信号の差信号に基づく消去では、負帰還アンプと同じ動作となりアンプが本来有する持ち味（原信号に付加される歪等）を失うこととなります。

図表

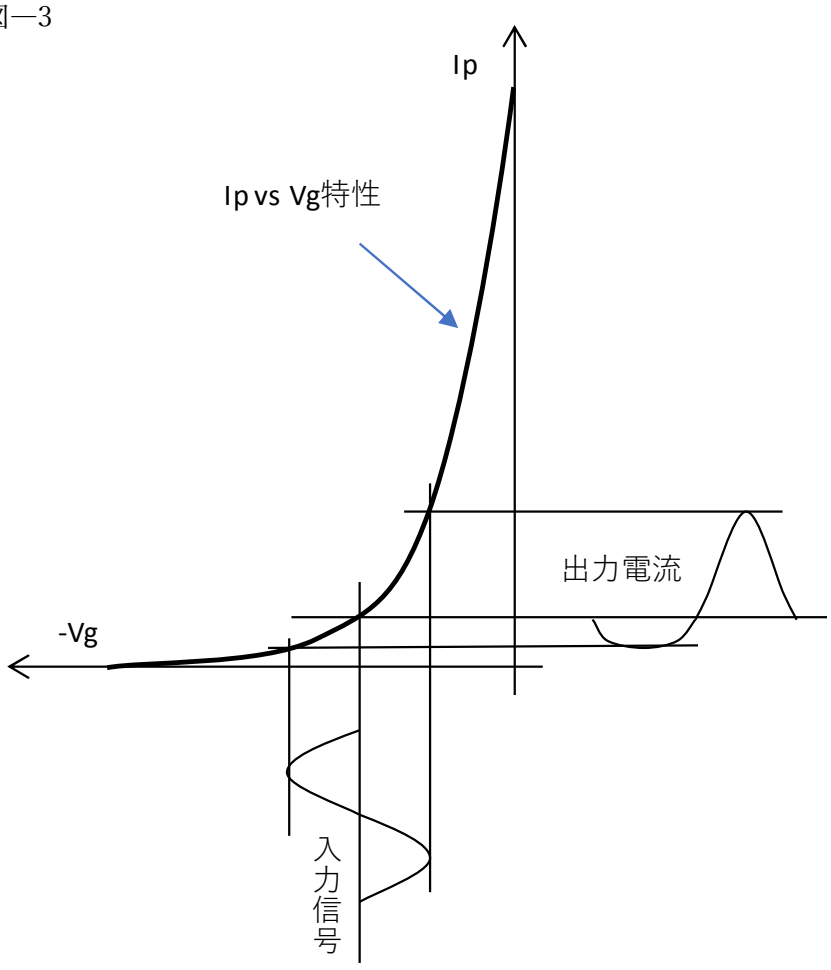
図― 1


プレート
グリッド
フィラメント
仮想中点
Vf
バイアス
電圧源
フィラメント電源
ハムバランサー

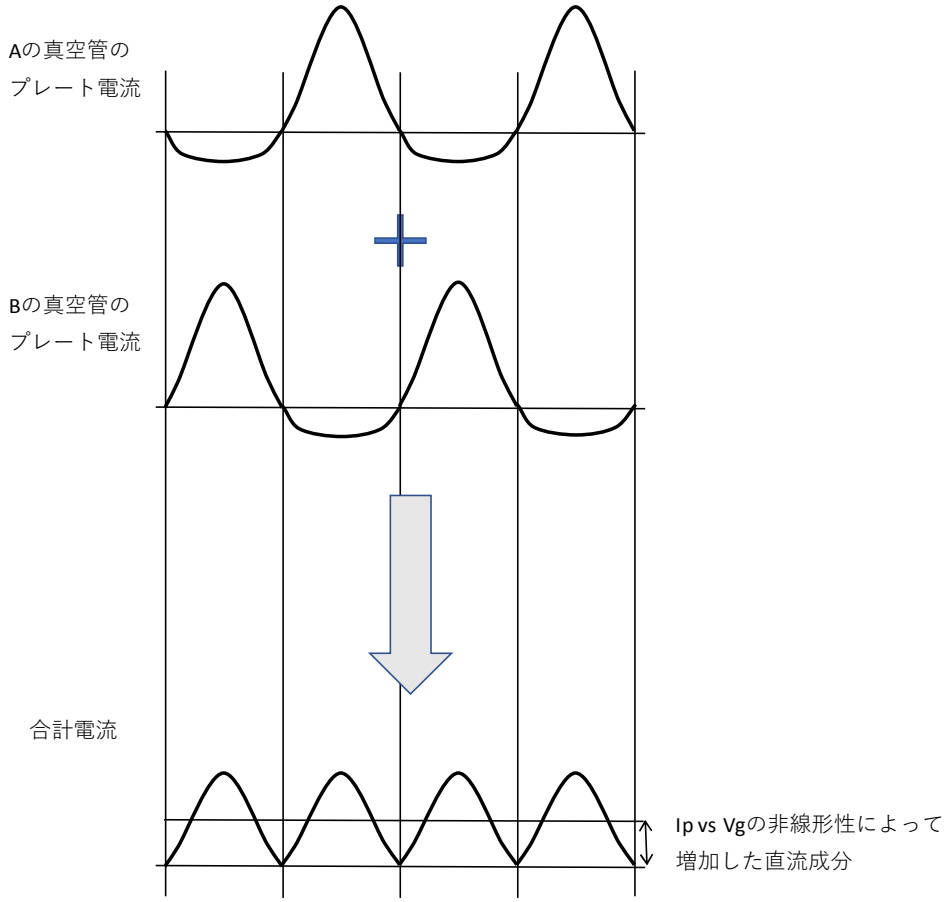
図―2


プレート
A
B
グリッド
1/2Vf
-1/2Vf
バイアス
電圧源

図―3


Ip
Ip vs Vg特性
出力電流
-Vg
入力信号

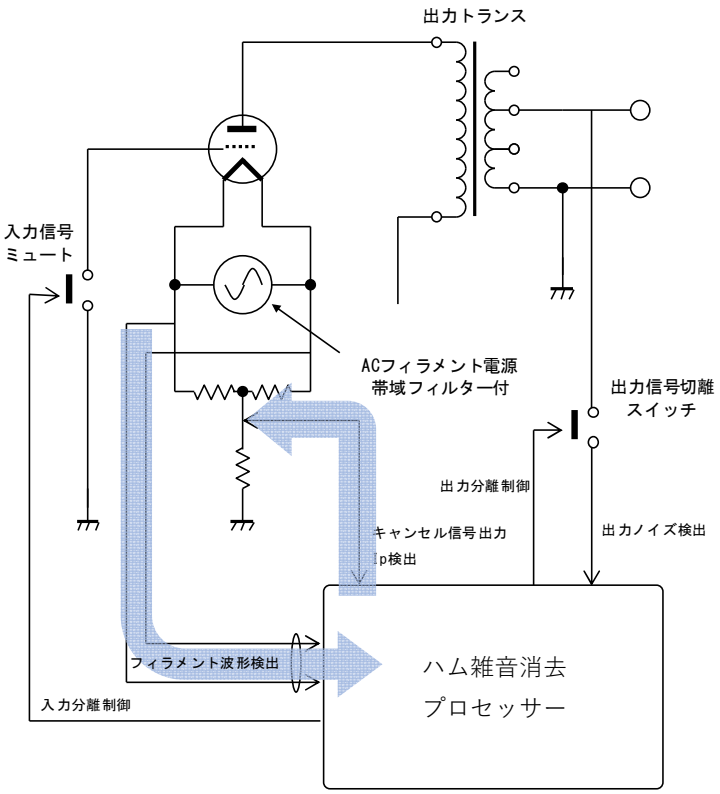
図―4



従前のハムバランサーは基本周波数の打消しであって、Ip vs Vgの
非線形性によって生じた偶数次成分の打消しは不可能
上記の合計電流波形はIp vs Vgの非線形性に依存する。

図―5

システムブロック図



【お問合せ先】

有限会社上杉研究所　横浜事業所　　藤原 伸夫
〒195-0055　東京都町田市三輪緑山 1 丁目 5-3　緑山ビル
TEL　044-712-4632　FAX　044-712-4635
Email　uesugilab@chive.ocn.ne.jp

uesugi は有限会社 上杉研究所のブランドロゴです。