

オーディオ用に適した諸特性を 備えるスイッチング電源装置

超ローノイズ、高速応答、大電流出力でも磁気飽和
を生じない、低リップル電流、高効率など.

フィデリックス
九州大学

中川 伸
二宮 保

中川伸とフィデリックスのご紹介

- 1967年 中部工業大学電子科入学（この時すでに大のオーディオマニアであった）。2年生の時、超低歪オーディオアンプの発明をし、ソニーへ無試験入社する運びとなり、中退する。
- 1969年 ソニーでオーディオアンプ（TA-1120F）の設計に携わる。以後、アイ電子測器、理経を経て、スタックスでもアンプ（DA300、SRA-12Sなど）やコンデンサー・カートリッジの設計をする。
- 1976年 フィデリックスを設立し、高級オーディオ機器の設計、製造、販売を本職としながら、NTTや大学の研究所および測定器メーカーからの依頼で特殊な装置の開発を手がけ、現在に至る。
- 最近では、後述するようCDの音質を修復するハーモネーター（SH-20K、AH-120K）や待機電力が少ない電源、高調波対策をした、高効率な電源の発明をする。

FIDELIX

1980年頃の中川 伸(写真中央)



最近になってなぜスイッチング電源やクラスDやデジタルアンプなのか？

- キーワードは省スペースと環境で、小型軽量化は省資源となり、輸送コストをも低減する。
- 高効率や低待機電力の省エネ化は直接CO₂削減となる。
- 将来はヨーロッパにおいて、オーディオ機器はスイッチング電源でないとCEマーキングが許されなくなるかも？（検討を始めているとの噂もある）
- 課題は電源高調波やEMCノイズなどの電磁環境もあるが、最も重要なのは高音質化が可能か否か。
- なお、クラスDはスイッチング動作で、デジタルアンプはデジタル信号を入力可能なものとの見解も。

最近のオーディオ事情

- 最近のオーディオは2極化している。一方は音楽を高音質で楽しむもの。もう一方はAV再生で限りなく映画館に近づけるもの。後者は爆弾や銃や地響きなどを全方向から5.1チャンネルで出すことも想定されるため、全チャンネルが大出力でしかもコンパクトなアンプが要求されている。
- 特に後者の事情からデジタルアンプやスイッチング電源化の流れに至っている。

オーディオにおけるスイッチング 電源の歴史

- ・ 1977年に、ソニーがオーディオ機器に世界で初めてスイッチング電源を採用したアンプとしてTA-N88を発売した（なんと先進的なD級アンプでもあった）。他社もこれが良さそうに思ったらしく、一斉に追従したが、いずれも市場での評判は芳しくなく、まもなく全て姿を消してしまった。殆どのメーカーが最終的には叩き売って赤字だったとのこと。
- ・ 今にして思えば、スイッチングノイズが音質的に悪影響を及ぼしていた可能性が非常に高い。

FIDELIX

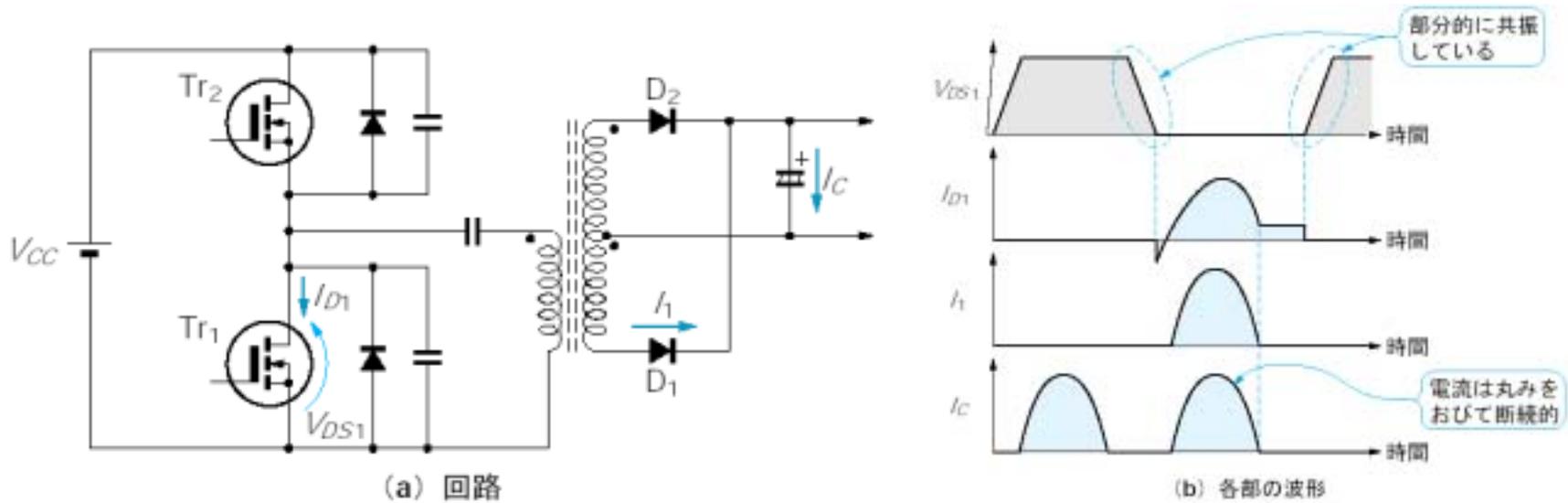
TA - N 8 8の外観



P S 電源の登場

- 1991年になって、ヤマハから電圧共振と電流共振が交互に表れる複合共振動作をし、極めてスイッチングノイズの少ないP S電源が発表され、ようやくオーディオに使えるスイッチング電源が初めて誕生した。翌年にはヤマハの業務用のアンプにP S電源が搭載されることになる。したがって、この間に十数年間のブランクがあったことになる。ちなみにP S電源のPはパラレルのPでSはシリーズのSで、並列共振と直列共振が交互に現れることから命名されたと推測される。

PS電源の動作



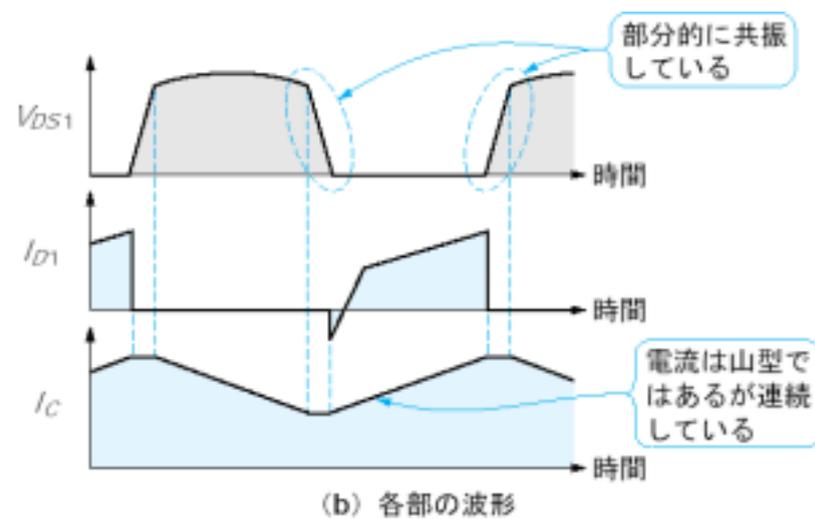
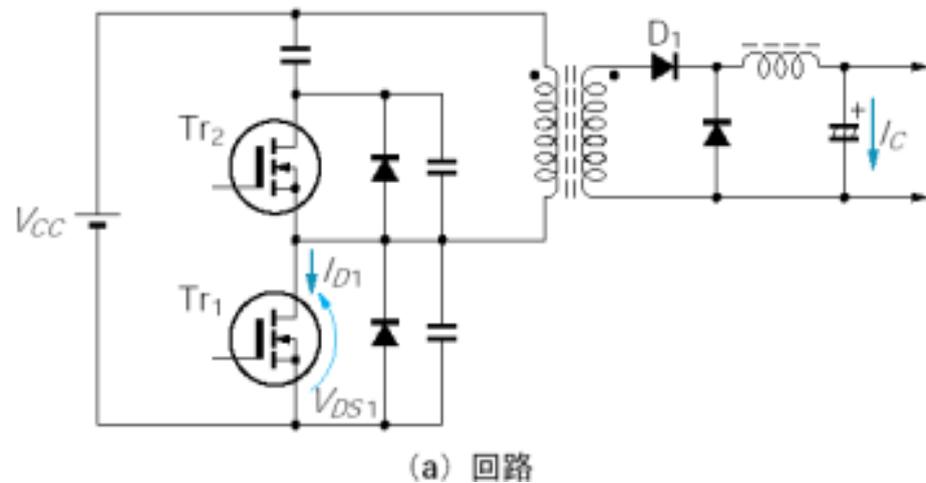
PS電源はなぜ良かったのか

- 第一にスイッチングノイズが非常に少なくなるようZVS (Zero Voltage Switching)とZCS (Zero Current Switching)の両方のソフトスイッチングを使っていた。これはやがて複合共振と呼ばれることになる。共振動作が加わることで電圧波形や電流波形が丸みを帯び、スイッチングノイズの高調波成分が非常に少なくなる。
- 第2に制御を掛けていないので応答が非常に素直であった。
- 第3にコアが飽和することが無いのでピーク電流供給能力に優れていた。
- 今にして思えば、オーディオ用スイッチング電源の要求を殆ど満足していたといえる。

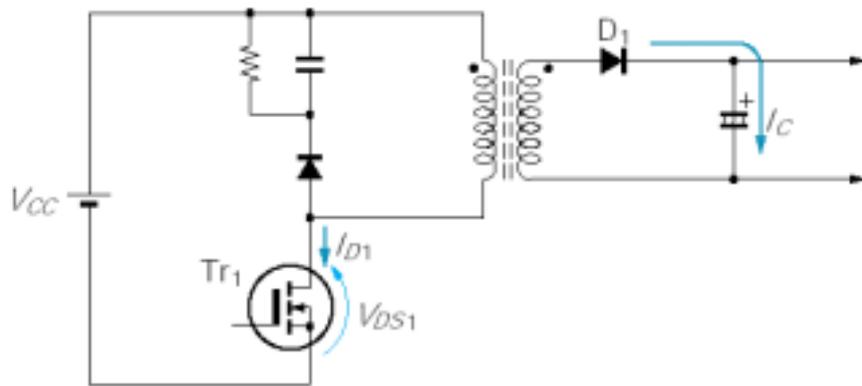
今日、実際にオーディオ機器に使われているその他の電源方式

- SMZ(サンケン電気)
 - PS電源に制御を掛けるようにした
- 部分共振(VICOR)
 - アクティブクランプとも言われスイッチングノイズが少ない
- 擬似共振
 - ターンオンだけソフトスイッチングになる
- マグアンプ
 - ノイズが少ないと言われている

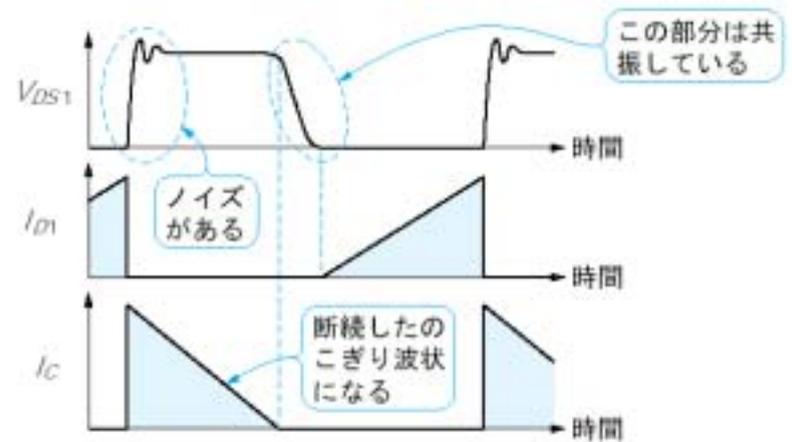
部分共振の動作



擬似共振の動作



(a) 回路



(b) 各部の波形

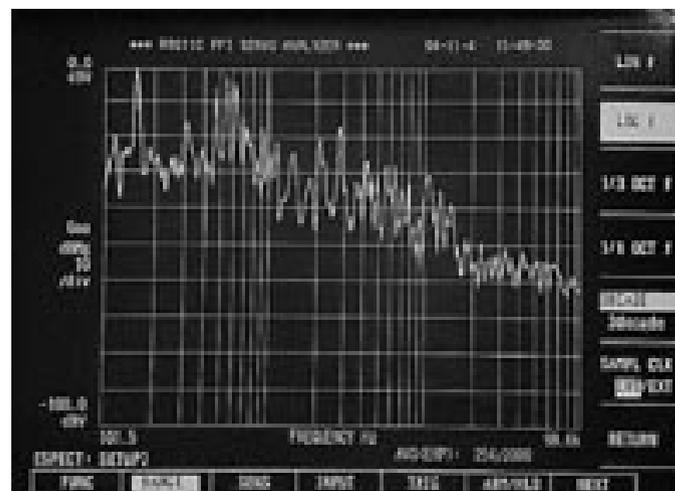
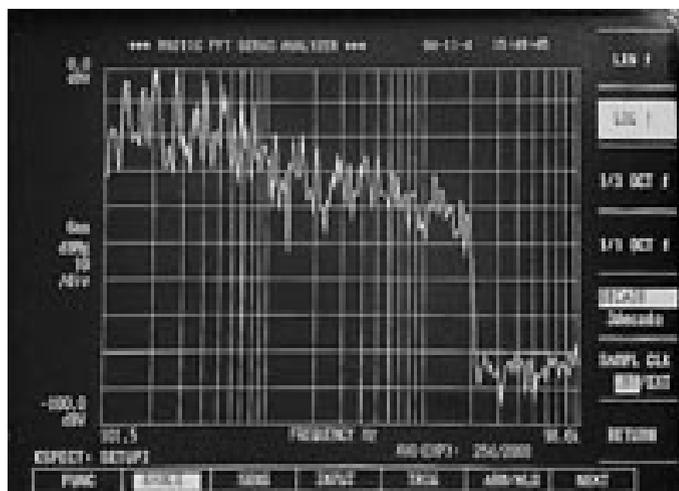
オーディオ用電源に共通するのは スイッチングノイズが少ないこと

- オーディオ業界ではスイッチングノイズが少ないことが音質的に重要であることは経験上よく分かっている。しかし、スイッチングノイズが音質に悪影響を与えるメカニズムはよく分かっていない。
- ノイズでノーマルモードとコモンモードのうち、下げにくいコモンモードを重視して下げなくてはならない。
- そのためにはZCSよりもZVS動作が適していそう、さらに、シールド技術を併用してノイズを下げる。

聴覚のためにスイッチング周波数は 90 kHz以上にしたい。

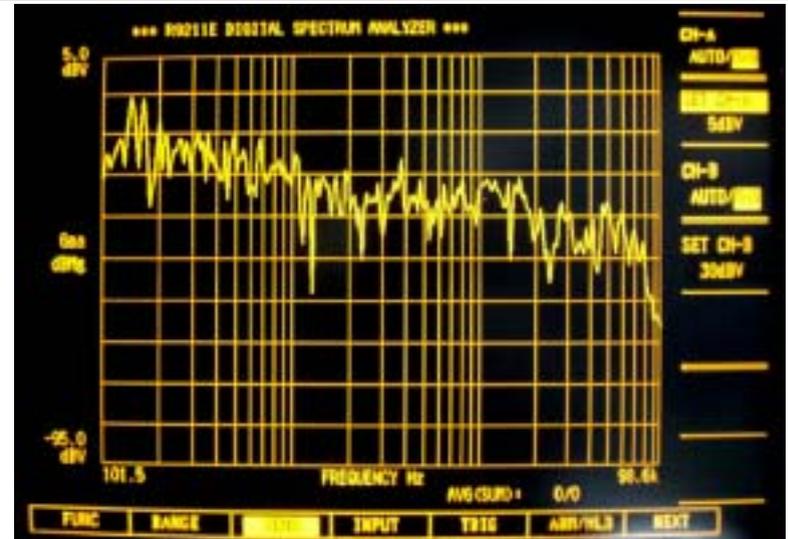
- 古い常識からCDのサンプリング周波数は44.1 kHzに決められ、再生可能周波数は約20 kHzまで。
- 90 kHzまで聴覚は必要であると大橋力（おおはしつとむ）教授が1984年に論文発表する。
- アメリカの学者は耳を解剖し、その構造寸法から可聴周波数上限を計算したら、約90 kHzであり、これは前記論文やその後のフィデリックス実験ともよく合っている。
- いくつかのCD音を修復する技術が出現。
- その後、SACDやDVDオーディオが出現し、約90 kHzまでを再生可能にした。
- フィデリックス製SH-20KとAH-120Kの修復技術
- 結論として20 kHz以上は単独では聴こえないが、20 kHz以下と混ぜると音質に影響を与えることが判明。

'94年のフィデリックス製SH - 20K



FIDELIX

'06年フィデリックス製AH-120K



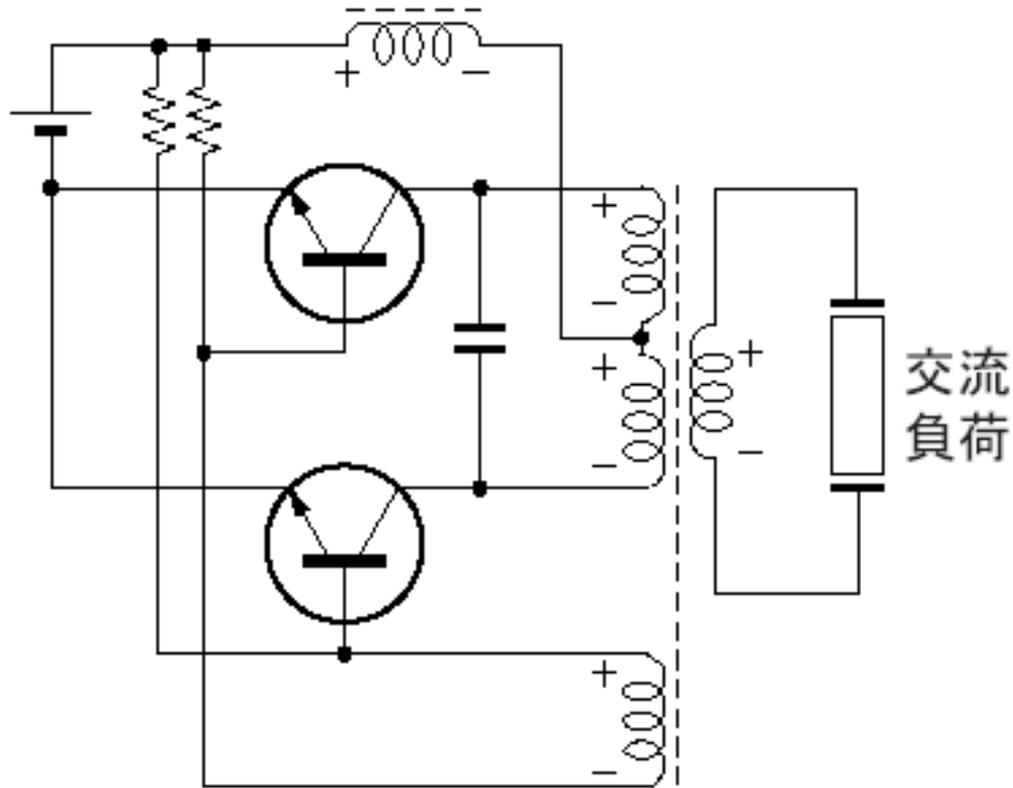
オーディオ用スイッチング電源に 要求される性能のまとめ

- スwitchングノイズを極限にまで下げるとともに、
スswitchング周波数は90kHz以上に
 - 君子危うき似近寄らず
- 素直な応答特性
 - リンギングが音質に色付けをする
- 負荷変動に対しピーク電流供給能力が必要
 - 打楽器系などのアタック音に対する追従性
- 高周波のリップル電流がなるべく少ないこと
 - 必ずしも高周波のリップル許容電流が大きくない
オーディオ用ケミコンが使える
- 高効率

本稿のセリニティー (serenity) 電源のきっかけ

- VICOR社が Sine Amplitude Converters と謳って V·I Chip を発表した。
- 名前から電圧が Sine 状になるものと思い込み、その回路を推理した。
- その推理は外れたが、それがセリニティー電源になった。
- セリニティーとは静かで落ち着いたという意味なのでスイッチングノイズが少ないことから命名。

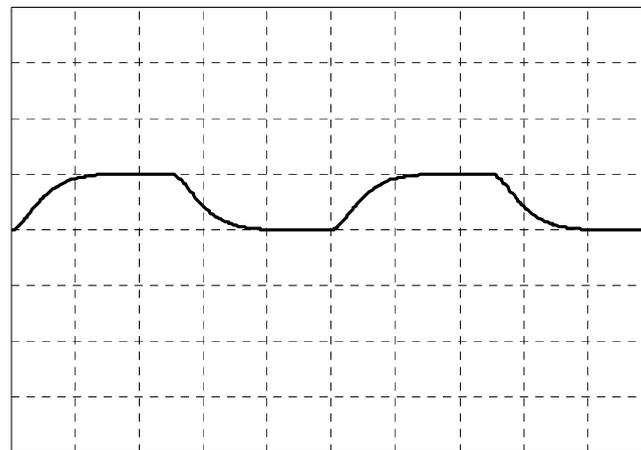
サイン波で動作する 共振型ロイヤ・コンバータ



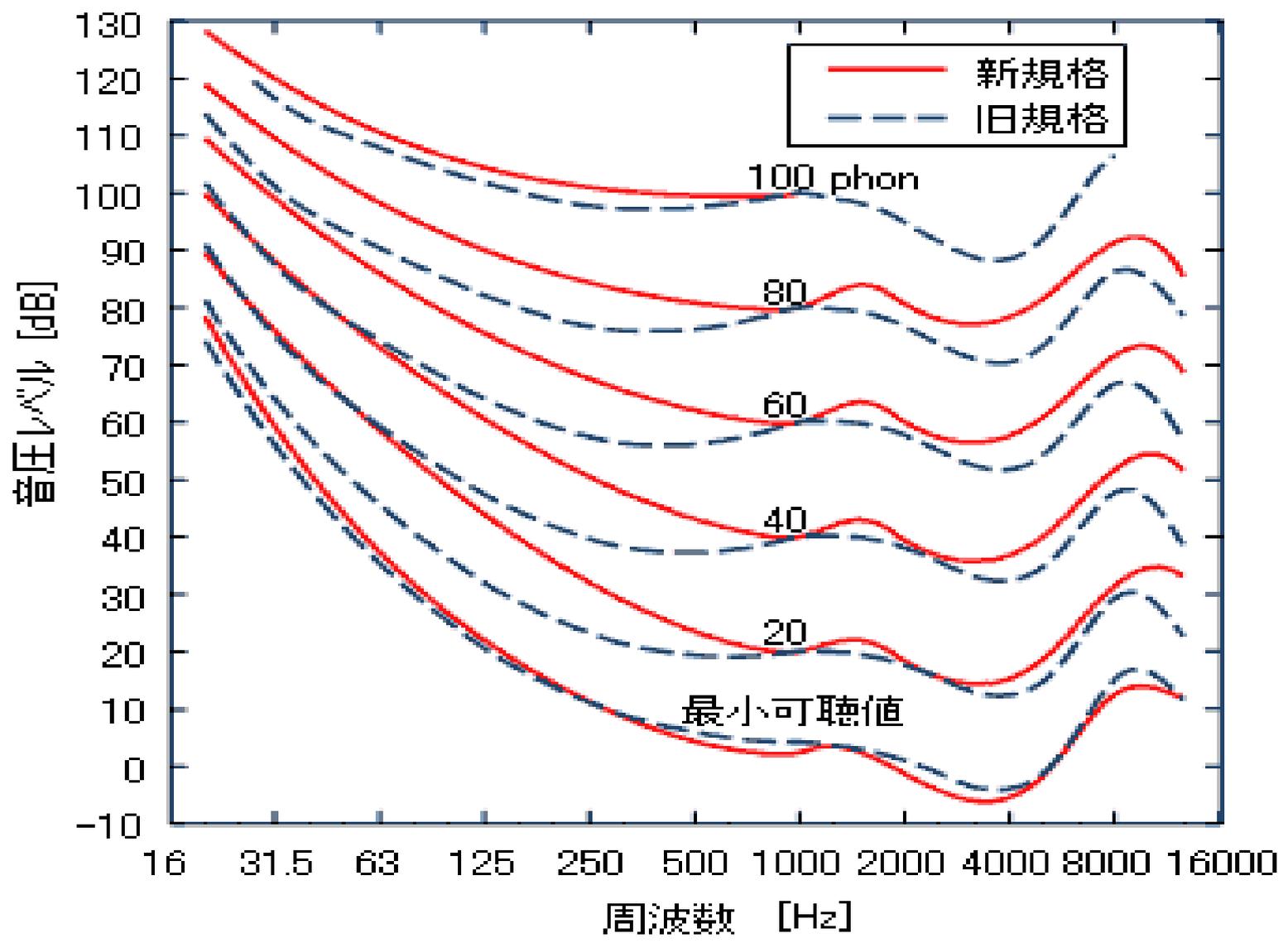
共振型ロイヤコンバータの欠点と その改善方法

- サイン波のためDC出力では2次整流の力率が悪くなり、リップル電流も多くなる。
 - チョークインプットにすれば力率が向上し、リップル電流も少なくなる。
- 大電流時にはチョークが磁気飽和を起こす。
 - 2次にチョークを設け、1次と2次のチョークコイルを結合させればチョークは飽和しない。
- 時比率50%なので制御が掛けられない。
 - 掛けないからこそリングングが生じず返って安定。

スイッチング電源は基本的に2次の系。それに制御を掛ければ不安定な要因を内在し、左図のようにリングングを発生させやすい。制御を掛けないければ右図のようにリングングを生じ無いようにできる。リングングはアンプのSupply Voltage Rejection Retioを通じて出力に現れ、耳につく数kHzに出やすい。



フレッチャーマンソン曲線



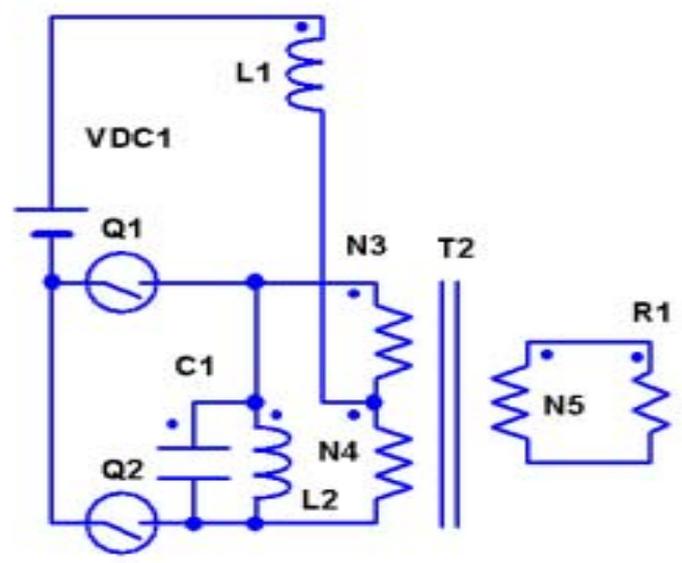


Fig 1

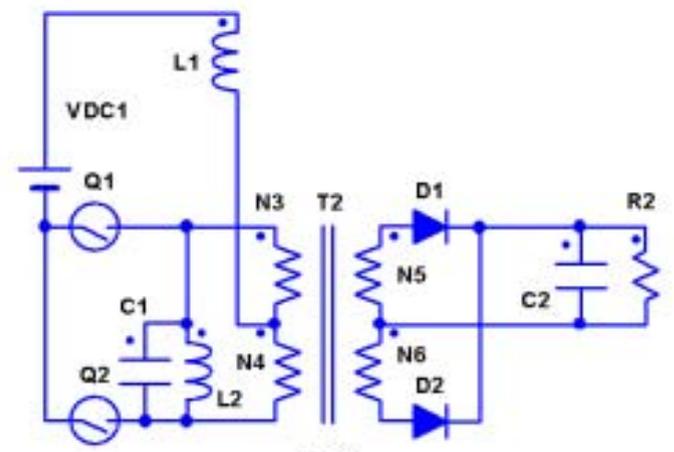


Fig 2

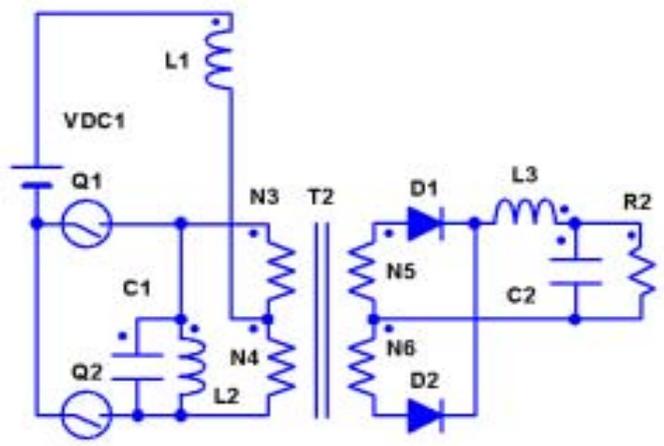


Fig 3

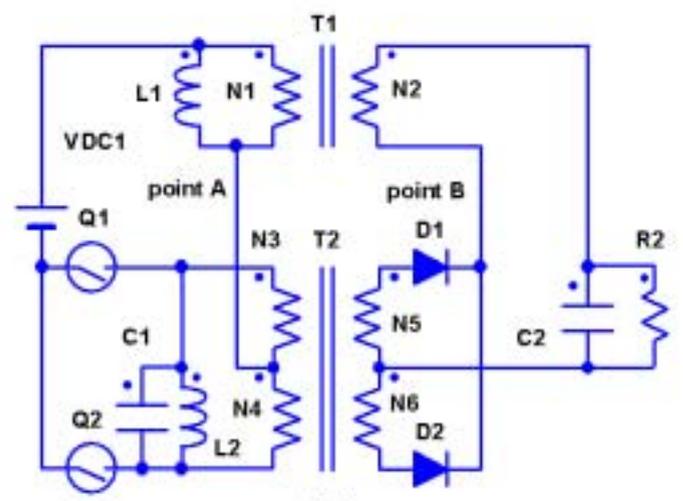
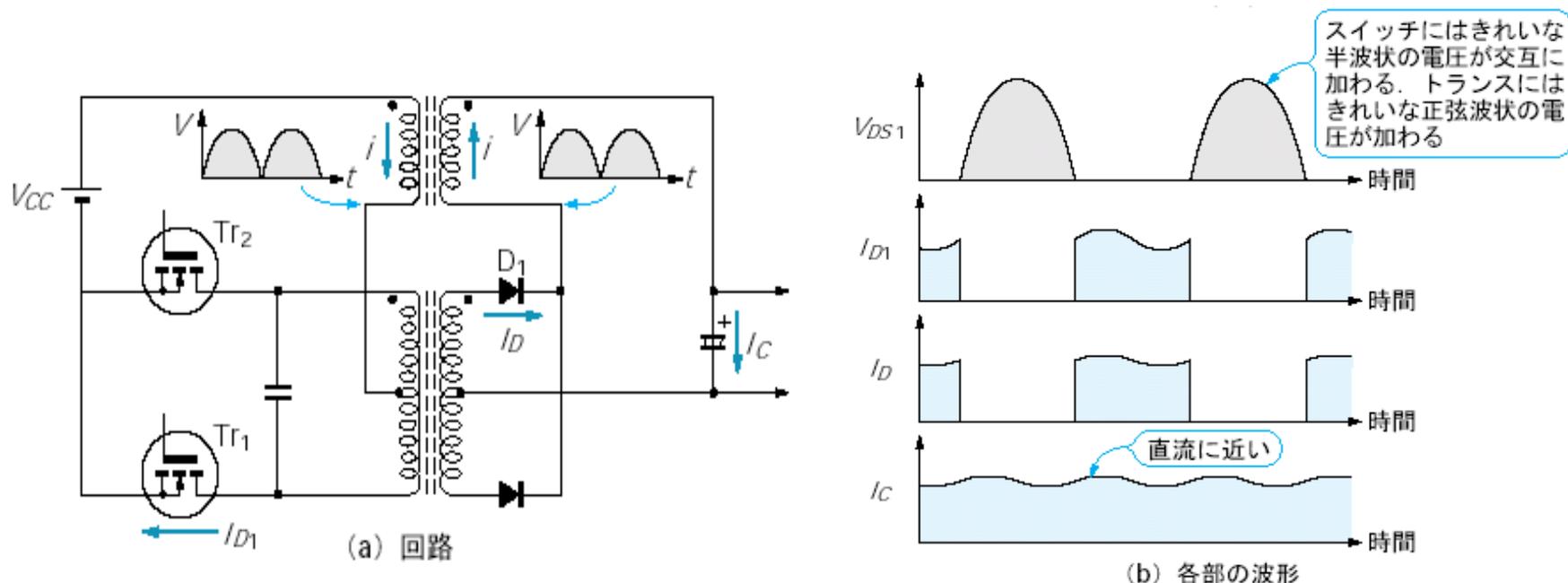
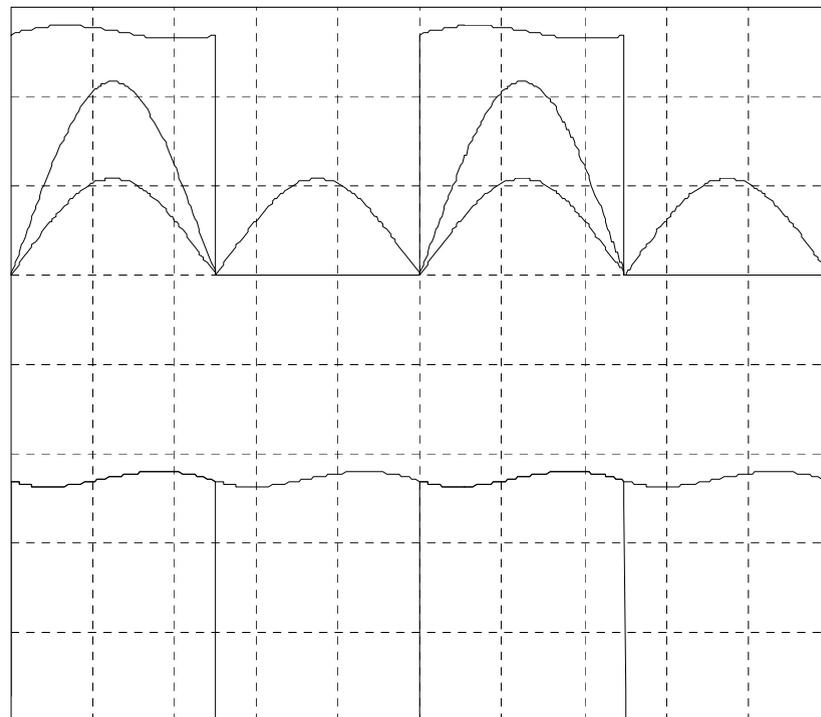
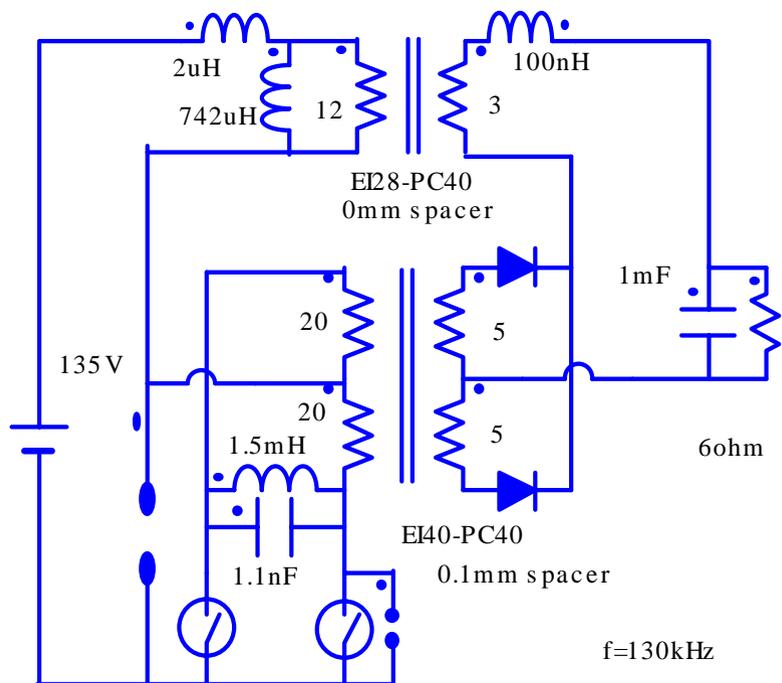


Fig 4

セリニティ電源の動作 (serenity power supply)



SCATでシミュレーションし、実験してみるとまずまずうまく行った



きれいなサイン波で動作した セリニティ電源の実験波形

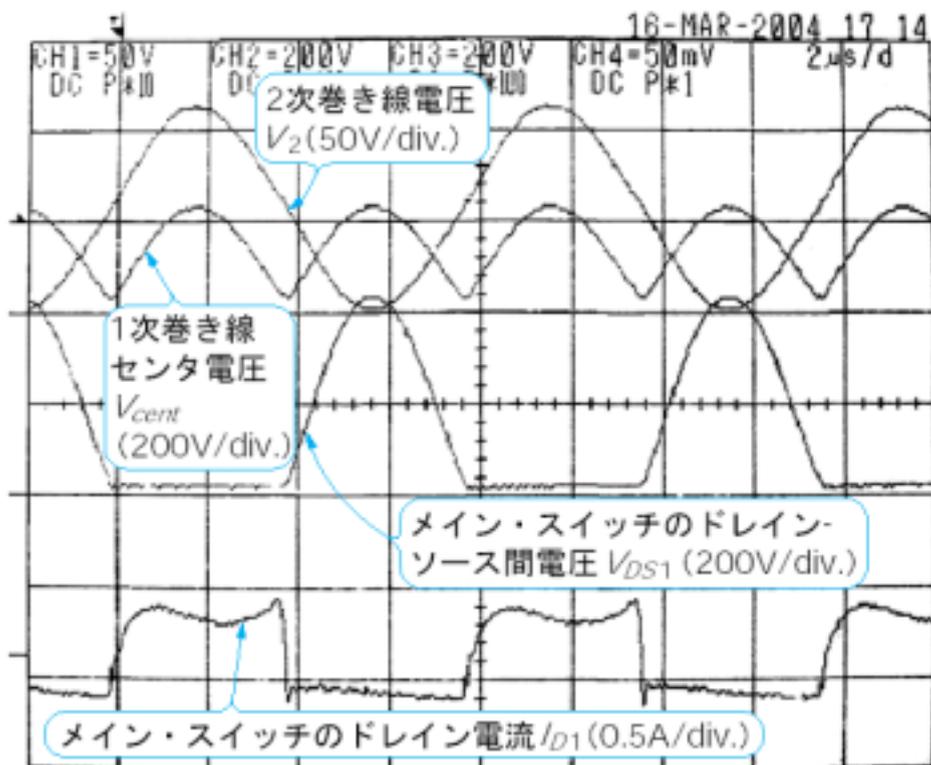
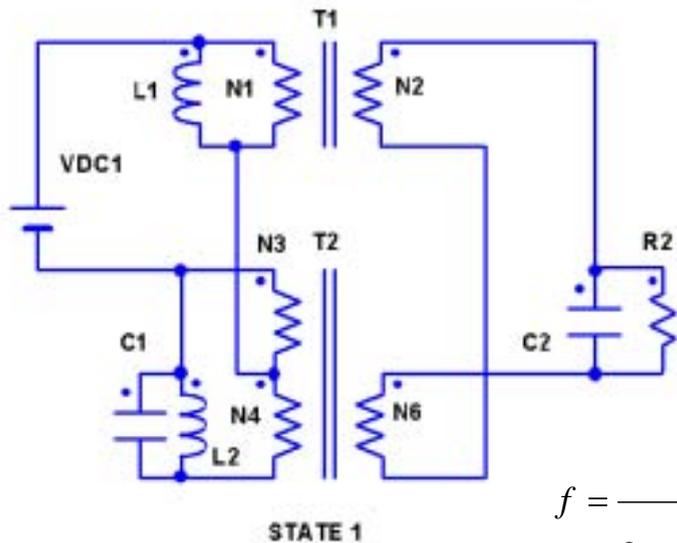
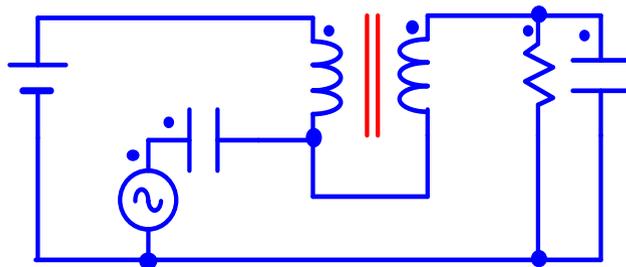
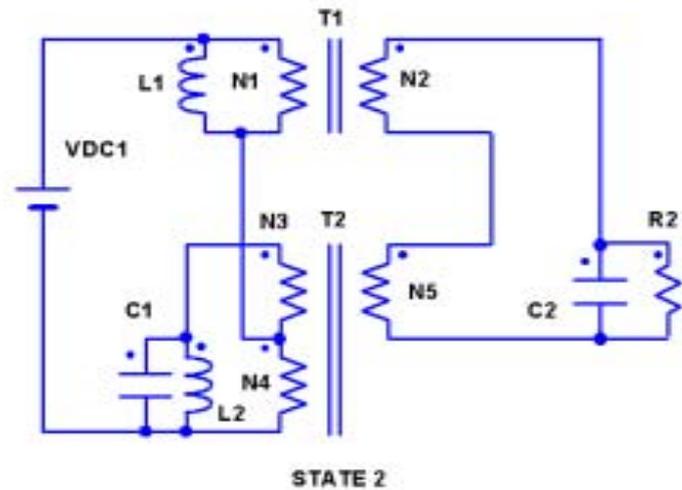


図7 試作したスイッチング電源の動作波形

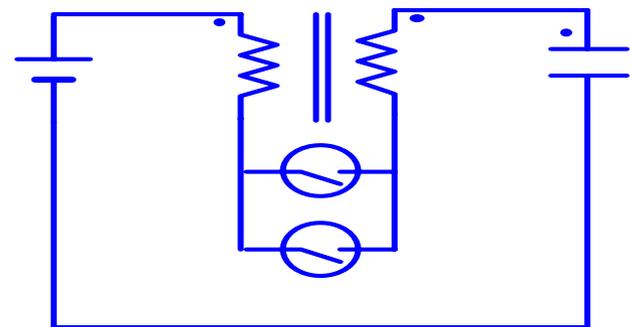
セレンティール電源の動作状態



$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C1 \times \frac{4L1 \times L2}{4L1 + L2}}}$$



コモンモードチョークに似た動作
なので大電流でも飽和しない。



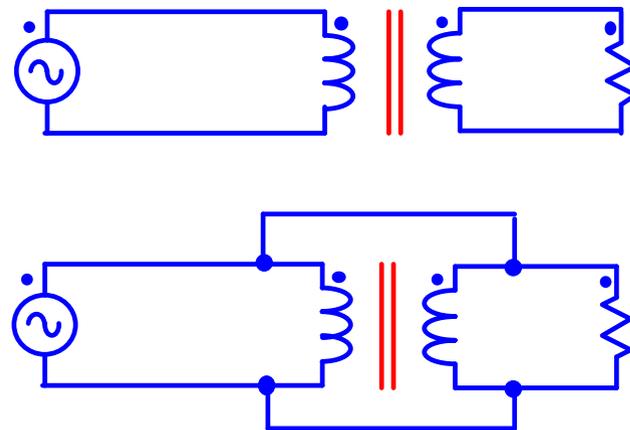
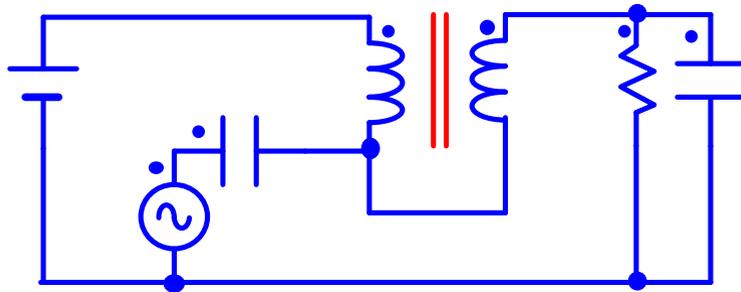
スイッチ電流は方形波で
入出力電流ともに直流に近くなる

セリニティー電源の コアが飽和しない理由

(1次と2次が同じターン数の場合で説明)

チョーク側は下図と同じ
ことなので飽和しない

トランス側はコアにとって上と下
が等価なのでやはり飽和しない。



最適なスイッチング素子と、 その駆動方法（他励化）

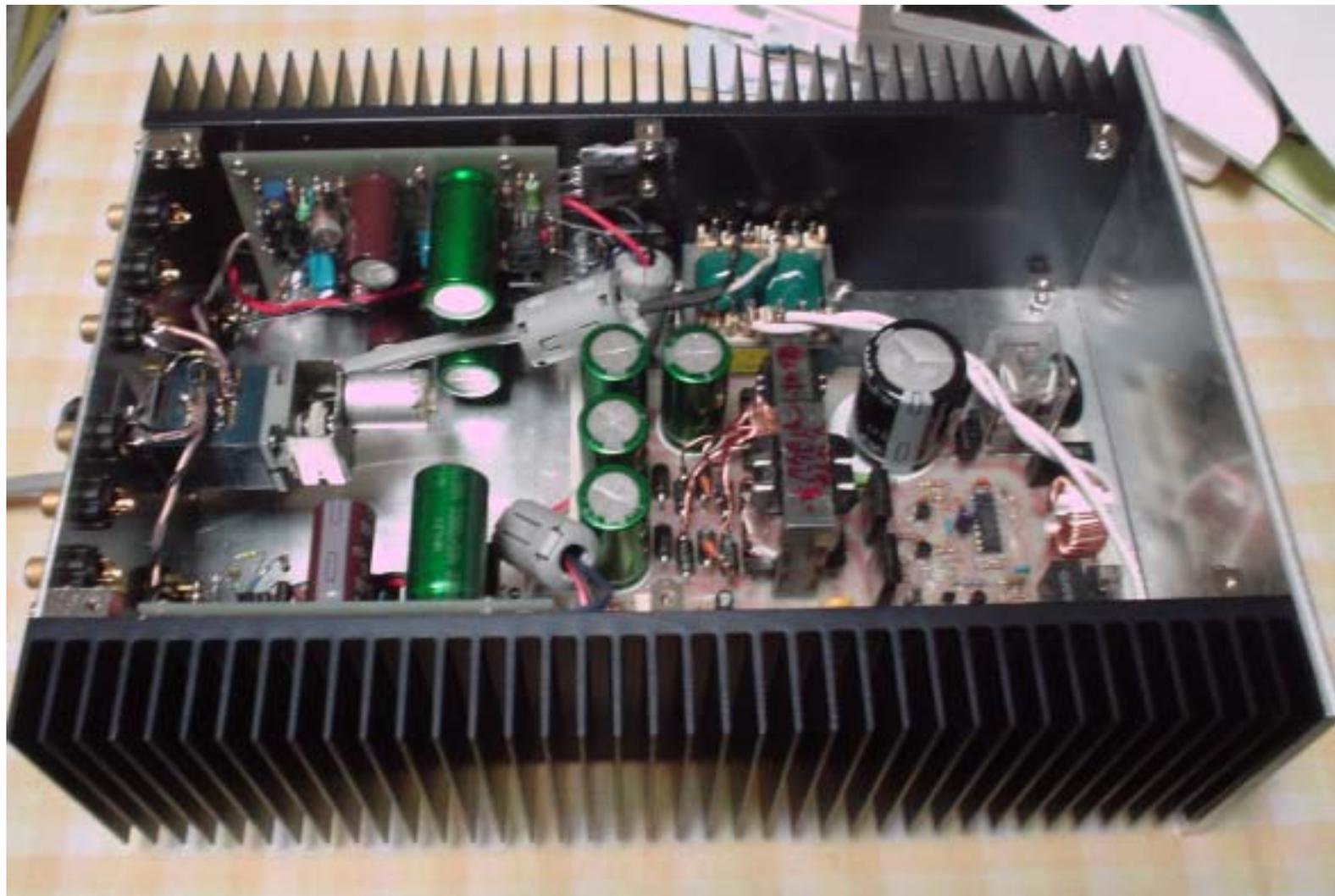
- バイポーラトランジスタは50kHz位だとうまく動作するものが存在するが、まだ遅い。
- IGBTはかろうじて90kHz以上で動作する。
- 自励の場合、MOSFETは早すぎて同時オフができてしまう。
- 結局、MOSFETかIGBTを他励で駆動するのが最も好ましく、ピーク電流の供給能力から電流素子よりも電圧素子であるFETやIGBTの方が好ましい。バイポーラトランジスタはベース電流の h_{fe} 倍以上は流れない制限もできてしまう。

セリニティー電源の特徴

- PS電源よりもコモンモードノイズが少なくなりそうな、電圧波形がサイン波状のZVSである。
- IGBTでもスイッチング周波数を90kHz以上にできる。
- 制御の抱える問題点が無いので応答が素直である。
- コアの飽和なしにピーク電流供給能力がある。
- PS電源よりもリップル電流が少ないので、必ずしもリップル許容電流が大きくはないオーディオ用ケミコンが使える。
- 高効率である。
- つまりオーディオ用に最適であった

FIDELIX

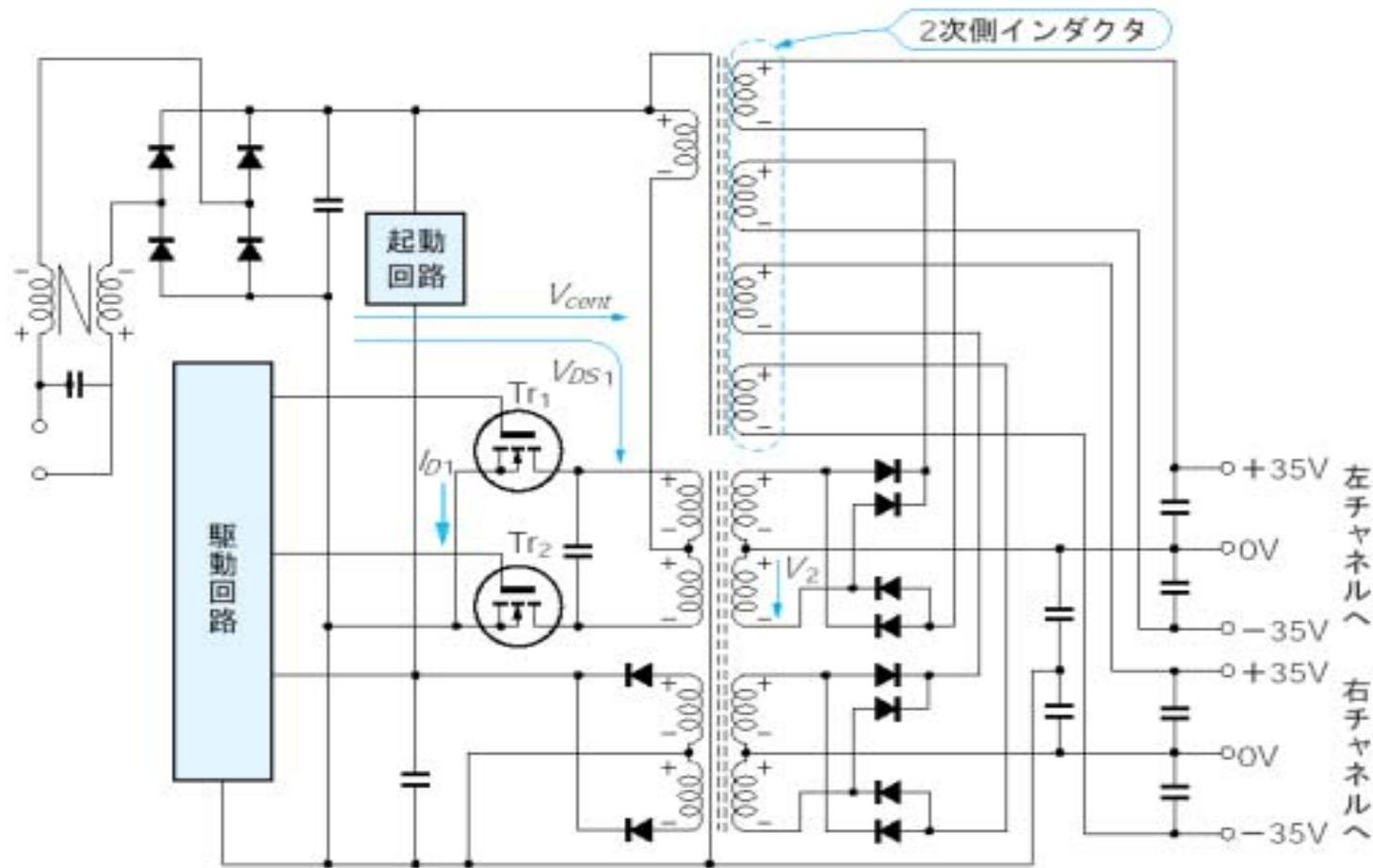
AB級アンプと組み合わせ、その音質は非常に評判が良い



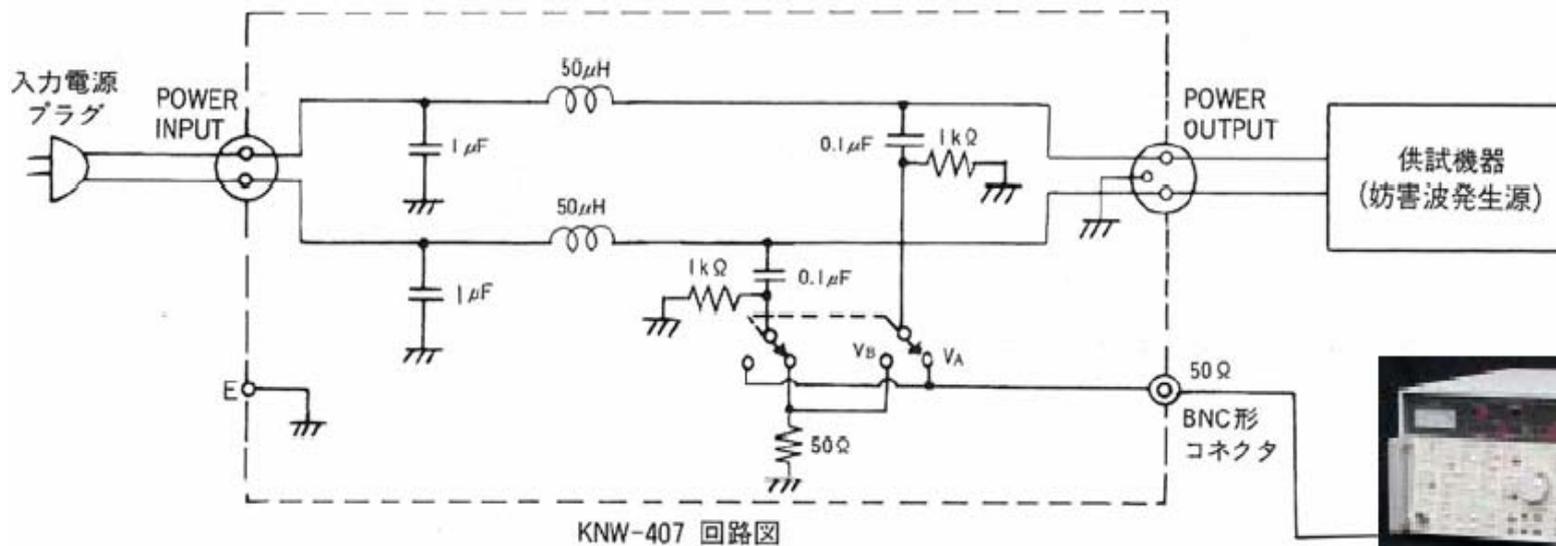
D級アンプと組み合わせた例



実際のセレニティー電源の回路



電源ノイズ測定のための 疑似電源回路網回路

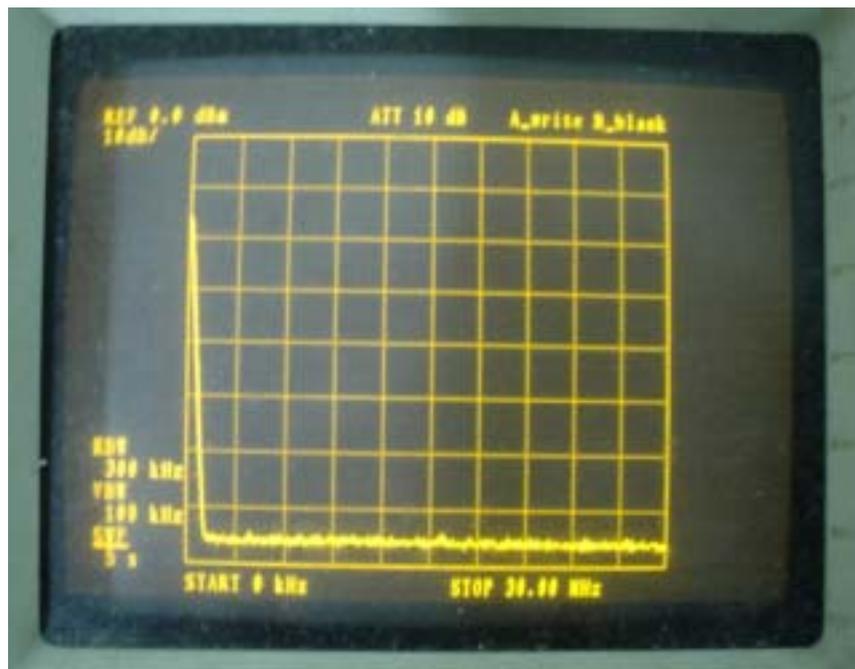


妨害波強度測定器 KNM-2403

ノイズ規格を約30 dB下回るノイズ量

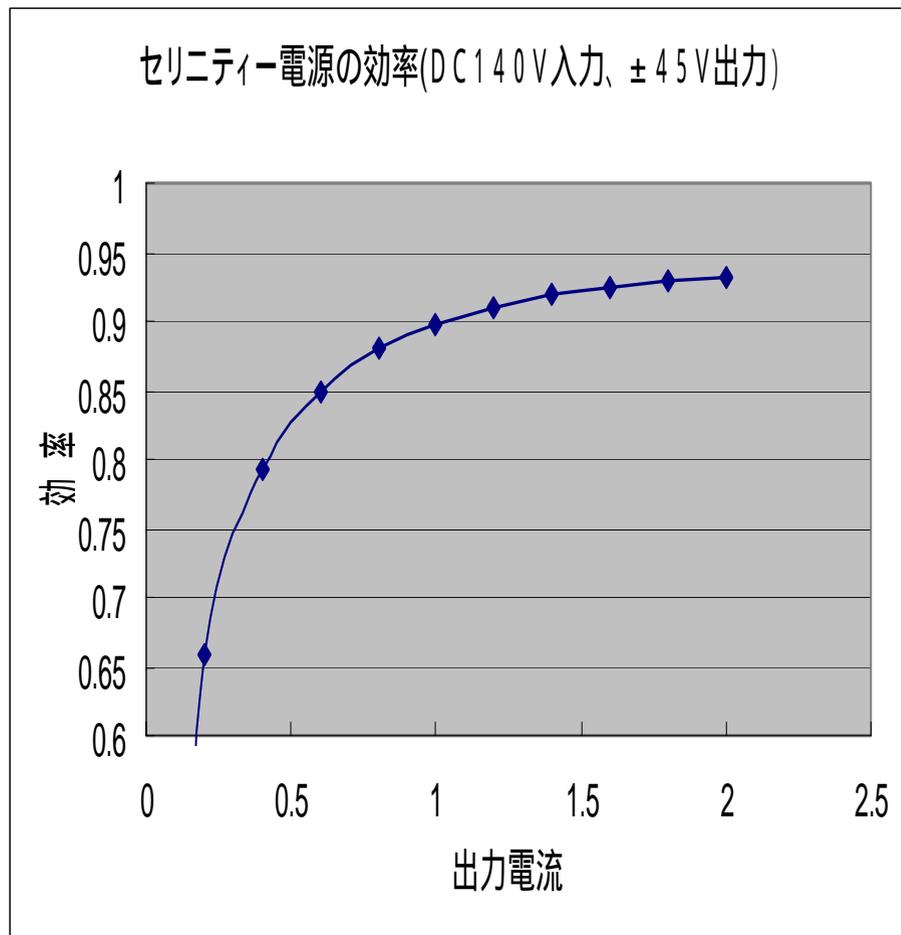
スペアナ入力無し
のノイズ0~30MHz

セリニティー電源
のノイズ0~30MHz



セリニティー電源の効率

セリニティー電源の効率				
入力電圧	入力電流	出力電圧	出力電流	効率
140.013	0.067	92.71	0	0
139.985	0.2	92.05	0.2	0.65757
139.953	0.331	91.78	0.4	0.792497
139.926	0.463	91.58	0.6	0.84815
139.895	0.594	91.39	0.8	0.879833
139.867	0.726	91.23	1	0.898433
139.837	0.859	91.09	1.2	0.90999
139.808	0.992	90.97	1.4	0.918296
139.778	1.125	90.84	1.6	0.924285
139.749	1.258	90.73	1.8	0.928954
139.718	1.392	90.62	2	0.931885



セリニティー電源の電圧安定性

- 負荷変動については2%程度でますます良い。
- 入力電圧変動は比例関係で出てしまう。
- つまり商用周波数の電源と同じ性質なので、アナログアンプでは特に問題とはならない。しかし、デジタルアンプには適合するものと適合しないものが有る。

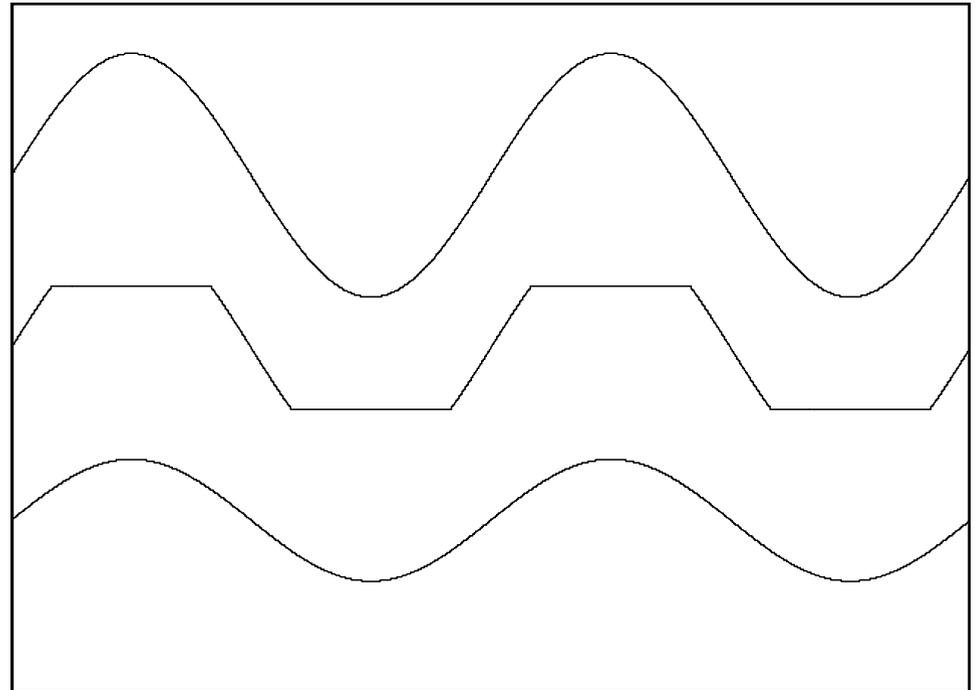
クラスDアンプについて

電源電圧に依存する方式と依存しない方式

通常時

電圧低下時にクリップする
タイプはそのまま使用可能

電圧低下時に振幅が下がる
タイプは安定化が必要



安定化は前段にPFCまたは後段に降圧型などで

クラスDアンプにおけるフルブリッジ(BTL)と ハーフブリッジ(SEPP)について。

- ・ BTLでは電源電圧が上昇するパンピング現象がなく、単電源でよい。
- ・ BTLは高速化に適している。
- ・ 直流電圧が出る場合もあるが殆ど問題にはならない。
- ・ SEPPは回路が簡単なためローコストにできる。

セレンティー電源の技術的な課題

- シールドや左右独立化や ± 2 電源化で漏れインダクタンスが増える。
- すると、少ない電流ではノイズが少ないが、電流が増えるとノイズも増える。
- ところが音質にとってより重要なのは、ピアノシモにおける部分であって、このときはノイズが少ない。
- +巻き線と-巻き線を独立にすることによってさらにノイズを下げられるか？
- 230V地域はIGBTの1200Vから1500V品が必要となるが、高速化とコスト

新たな応用例として、医療機器 への可能性がある。

- 安全性のため漏洩電流を少なくする必要がある。
- 漏洩電流の原因であるYキャパシターを小さくする必要がある。
- スイッチングノイズのうち、削減しにくいコモンモード成分を少なくするのはYキャパシターである。
- あらかじめノイズの少ない電源が要求される。

ご静聴有難う御座いました。

オーディオ用に適した諸特性を備えるスイッチング電源装置 - 超ローノイズ、高速応答、大電流出力でも磁気飽和を生じない、 低リップル電流、高効率など. -

中川 伸¹

二宮 保²

1) フィデリックス 〒204-0022 東京都清瀬市松山2-15-14

Tel / Fax: 0424-93-7082, E-mail: MXF06217@nifty.ne.jp

2) 九州大学大学院システム情報科学研究所 〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1

Tel: 092-642-3901, Fax: 092-642-3957, E-mail: ninomiya@ees.kyushu-u.ac.jp

あらまし オーディオ機器では低ノイズ特性が強く要請されるため、その電源装置には長い間、非安定化電源またはシリーズドロップ方式が用いられていたが、機器の小形化の要求から近年スイッチング電源の適用性が検討されてきた。本稿では、低ノイズ特性を有する電圧共振コンバータを対象に、極低ノイズ特性を達成するための技術的課題について検討している。

キーワード オーディオ機器用電源、共振形ロイヤー・コンバータ、電圧共振

The switching power supply equipment equipped with many characteristics suitable for audio.

- Ultra low noise, high-speed response, large output current does not produce magnetic saturation, low ripple current, and high efficiency, etc. -

Shin NAKAGAWA¹⁾ and Tamotsu NINOMIYA²⁾

1) FIDELIX Co., 2-15-14 Matsuyama, Kiyose, Tokyo 204-0022, JAPAN

Tel / Fax: 0424-93-7082, E-mail: MXF06217@nifty.ne.jp

2) Dept. of EESE, Kyushu University, 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581, JAPAN

Tel: 092-642-3901, Fax: 092-642-3957, E-mail: ninomiya@ees.kyushu-u.ac.jp

Abstract . When the switched-mode power supply is applied to an audio amplifier, the low-noise characteristic is required as the most important issue. In a long past time, the series-dropper type power supply has been used for the audio amplifiers. Recently, the size reduction and the efficiency improvement of the audio equipment has been strongly required, and so the application of the switched-mode power supply to the audio amplifiers has been discussed. This paper presents the extremely low noise characteristics of a kind of voltage-mode resonant converters, i.e. Royer-type converter.

Keyword Power supply for audio amplifier, Royer-type resonant converter, Voltage-mode resonance

1. オーディオ用スイッチング電源の背景

1977年に、世界で初めてソニーがオーディオ機器にスイッチング電源を採用したパワーアンプとしてTA-N88を発売した。他社も一斉に追従したが、いずれも市場での評判は芳しくなく、まもなく全て姿を消してしまった。

1991年に、ヤマハから電圧共振と電流共振が交互に表れる複合共振動作をし、極めてスイッチングノイズの少ないPS電源が発表され、ようやくオーディ

オに使えるスイッチング電源が誕生した。

したがって、この間に十数年間のブランクがあったことになる。共振動作が入ることによって、電圧波形や電流波形は丸みを帯び、スイッチングノイズが非常に少なくなる。スイッチングノイズはAMラジオにノイズが入ったり、AVシステムの場合はTV放送に縞模様が入ったりはするが、デリケートなオーディオシステムへの音質的な悪影響を及ぼしている可能性は高い。

ところで、今日において、音が良いと言われているスイッチング電源はPS電源以外に以下のような方式がある。PS電源をベースに制御を可能としたSMZ電源(サンケン電気)あるいは部分共振電源(VICOR)擬似共振電源である。このうちPS電源やSMZ電源や部分共振電源の電圧共振は共振時間が部分的なのでトランスに加わる電圧波形は台形状となる。台形状の斜めの部分が電圧共振をしている時間で、この斜めになっていることが、スイッチング波形の高調波成分を少なくするので、ノイズが少なくなって音質への悪影響も少なくなる理由だと推測される。しかし、そのメカニズムは明確ではない。

いずれにしても良い音に共通した電源は、ZVSまたはZCSをしていてスイッチングノイズの高調波成分が少ないことが条件といえそうである。今回の電源の実験中にもこの仮説を裏付ける結果が得られている。ではスイッチングノイズが最も少なくなる究極の電源は電圧波形がサイン波だろうとの仮説に基づき、スイッチング電源でサイン波になるものを実験した。

サイン波動作ということで真っ先に思い浮かぶのは共振型のロイヤ・コンバータである。これは交流出力の照明機器ではスイッチングノイズが少ないため、まことに都合が良く、多く使われている。図1にその基本回路を示す。

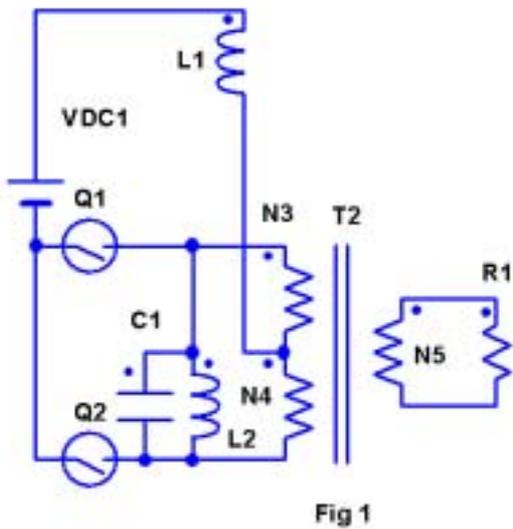


図2は直流出力用に整流器を設置したが、コンデンサインプットであるためスイッチング周波数における導通角が狭く力率が悪くなる。

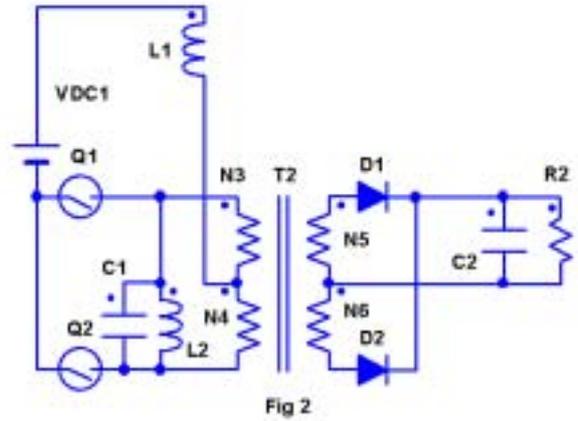


図3はその力率を改善するために2次側をチョークインプットにしたものである。

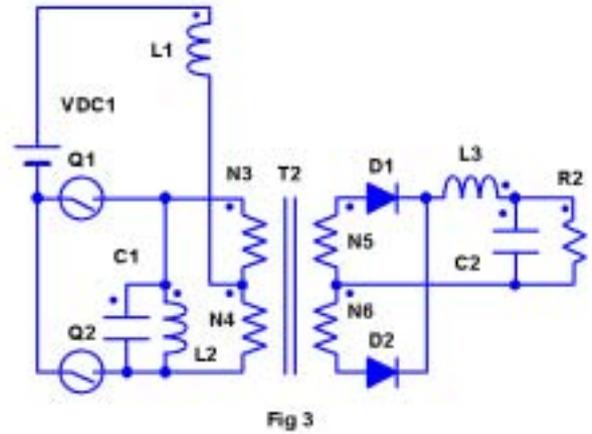
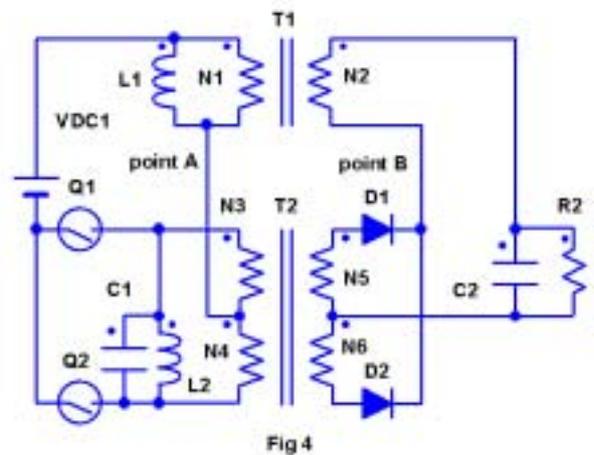


図4は図3の1次チョークと2次チョークとを結合することで、コアが小さくても飽和せず、しかも大きなインダクタンスを得るように工夫したものである。



2. 回路動作の解析

2つのスイッチは50%の時比率で交互に動し、その周波数はZVSになるように設定され、図5、図6のように2つの状態を持つ。

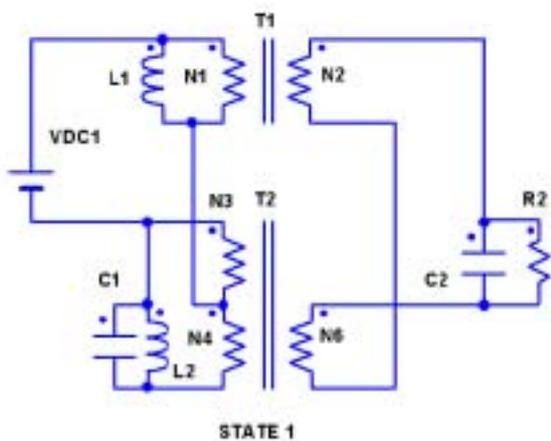


Fig 5

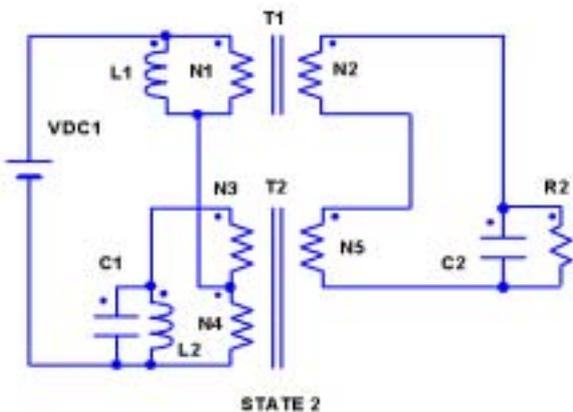


Fig 6

負荷電流が流れない場合は2次側が無いものとして考えると分かり易い。STATE 1ではN3と並列にL1が入り、STATE 2ではN4と並列にL1が入り、N3とN4は巻き数が等しいので、L1を4倍すると等価回路でL2と並列にすることができ、これがC1と共振をする。したがって、このときの周波数は

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{C1 \times \frac{4L1 \times L2}{4L1 + L2}}} \quad \text{となる。}$$

インダクタに加わる電圧を平均すれば0になるから、スイッチに加わるピーク電圧は

$V_{pk} = VDC1 \times$ となる。負荷電流が流れた場合でも、電流には直流分が重畳されるだけなので、電圧動作自体に変わりはない。

図4で分かり易いよう $N1 = N2$ 、 $N3 = N4 = N5 = N6$ とすると、 $VDC1$ と $R2$ の電圧は等しくなり、point Aもpoint Bも同じ電圧波形となり、このときのT1の動作は図7のようになるので、

あたかもコモンモードチョークのような動作をし、電流によって飽和することがない。

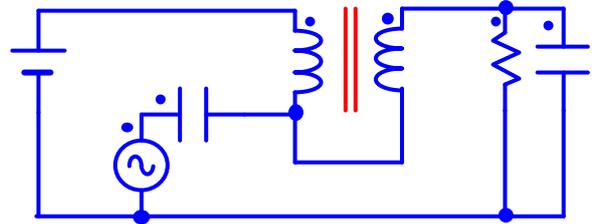


Fig 7

一方、電流は図8のように2つのスイッチを交互に流れ、2つの方形波が合わさって、入力電流も出力電流も直流に近くなるような動作をする。

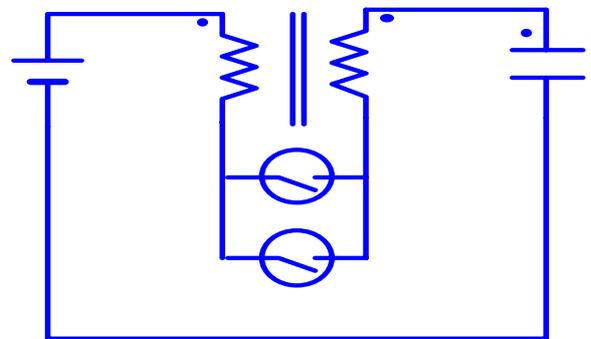


Fig 8

実験器の動作波形を図9に示すが、上から2次巻き線電圧、1次センター電圧、スイッチ電圧、スイッチ電流である。2次巻き線の電圧、すなわち、トランスに印加される電圧は非常にきれいなサイン波であることが分る。

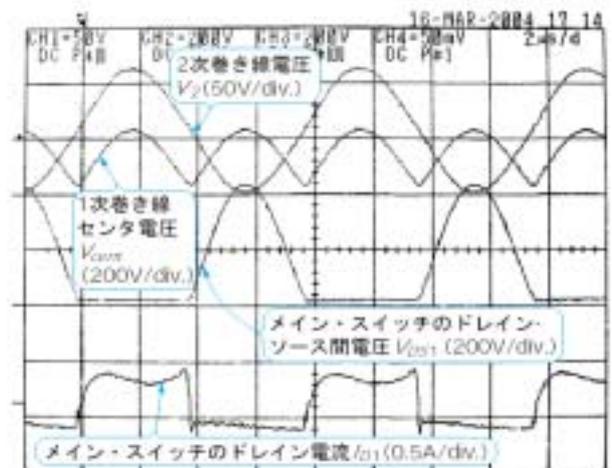


Fig 9

3. 制御無しは素直な応答になる

オーディオにおける第2の要求は応答特性である。もしもB級のオーディオアンプに100Hzが入ると、1秒間に100回もの負荷変動が生じる。応答の悪い例としては0%と100%を繰り返す負荷変動においてリングングを生じ、しかも耳につきやすい2kHz付近のリングングが生じる。リングングを生じるとアンプの電源端子が揺すられることになり、これによってアンプのSVRR (Supply Voltage Rejection Ratio)を通じて悪影響を受け、特有の響きがついてしまう。事実、応答波形まで考慮していないノートPC用のスイッチング電源でオーディオアンプを駆動すると図10のように「リングングらしい響き」が音に付きまとう。



Fig 10

したがって制御をするなら、きわめて高速な応答をさせるか、さもなければ出力に大きな平滑コンデンサを持たせて、早い音楽変動はこれによって吸収させ、ゆっくりした制御だけをするかのどちらかが好ましそうである。つまり、図11のように聴覚に影響の少ない周波数変動に追いやることになる。

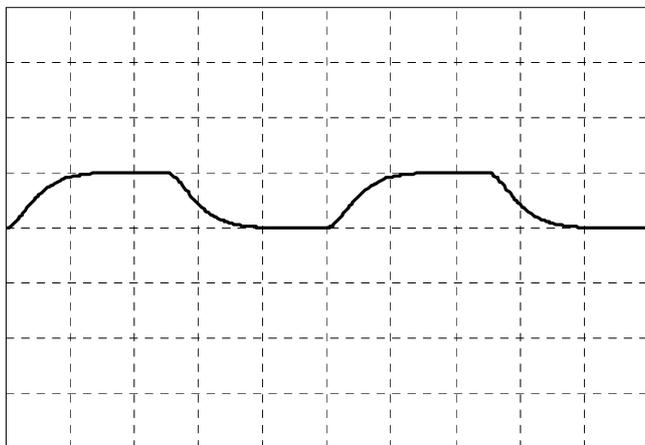


Fig 11

共新型ロイヤー・コンバータの一般的な欠点は制御がかけられない点である。入力電圧が100Vのとき、50Vの出力であったなら、入力電圧が90Vに下が

れば出力は45Vになる。しかし、オーディオ用とするならこれがかえって長所となる。つまり、制御を掛けなくても負荷電流の変化に対しては出力電圧が一定になる性質をすでに持っているからである。スイッチング電源は2次以上の系を持っているので、これにフィードバックを掛けると本質的に不安定な要因が内在することになる。制御を無くすことは前述の不安定要因から解放されることになる。

4. 出力電圧の安定性について

オーディオアンプにおいて出力電圧を一定にすることは必ずしも重要なことではない。ゆっくりした変動はあまり音質的に有害ではない。たとえ図12のように出力電圧が低下してもクリップが早まり、最大出力が低下するだけである。

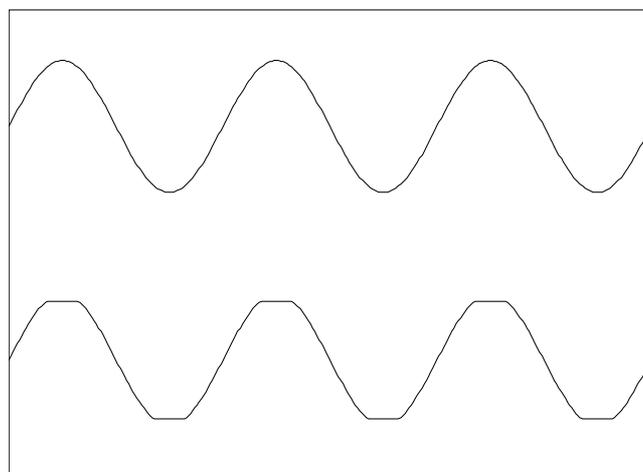


Fig 12

5. ピーク電流供給能力について

オーディオ電源への第3の要求は小型であっても瞬間的なピーク電流に対応可能なことである。オーディオにおいては瞬時に刻々と変化する音楽信号、なかでも特に打楽器系の音に追従するためには応答速度のみならず、そのピーク電流供給能力も非常に重要である。つまり、音楽信号においては平均電流に対してピーク電流は非常に大きいからである。

共振型ロイヤー・コンバータの1次インダクタには直流成分が流れるため、磁気飽和しないようギャップを大きくする必要がある。するとインダクタンスは小さくなってしまふ。しかし、後述するが、インダクタンスは大きくしないと電流波形は方形波に2倍の周波数のサイン波が大きく重畳し、1次インダクタやスイッチや2次整流器の実効電流が増えてしまい、効率が低下する。かといって巻き線のターン数を増やせば銅損が増えてしまふ。結局のところ、より大きなコアサイズが必要となってしまふ。それでも電源投入時には非常に大きな突入電流が流れ、コアが飽和すれば、さらに大きな過電流が流れ、スイッチング素子が破壊す

る恐れすらある。

6. 測定結果

電圧波形がサイン波で電流波形は2つの方形波が交互に合成され直流に近づくので、スイッチングノイズは非常に少なくできた。

つまり、平滑コンデンサには2つの方形波が交互に合成された直流に近いものが流れることになり、等価直列抵抗(ESR)や等価直列インダクタンス(ESL)の影響が非常に少なくなる。平滑コンデンサへ流れる電流が直流に近くなると、これに対応した入力電流も直流に近くなるので全体の電流ノイズが減る。電源投入時には大きな突入電流が流れるが、その場合でもインダクタは原理的に飽和しない。

また、電解コンデンサメーカーから高音質用電解コンデンサが発売されているが、これらはスイッチング電源の用途と異なり、スイッチング周波数での抵抗分が必ずしも少なくなっている訳ではない。このため好ましい音質のオーディオグレードのコンデンサを選ぼうと思っても、一般のスイッチング電源の場合は高周波特性が良いことの制約が生じてしまい自由に選ぶことが出来ないが、このように高周波のリプル電流が少なく直流に近づけば好ましい音質のケミコンを自由に選べるメリットも出てくる。

スイッチングノイズの測定結果

図13、14にスイッチングノイズを簡易測定したデータを示すが、非常に少ないことがわかる。一般的な規格より30dBほど低い。そのため、この電源はserenity Power Supplyと命名した。



Fig 13 Input open 0 ~ 30MHz

効率の測定結果

DC 140V 入力で出力が±45V 1A が2チャンネル(合計180W)のものは、図15のように93%と高効率であった。

7. まとめ

1) 周期が電圧共振をするため、スイッチングノイズ

が非常に少ないことが確認できた。

2) 電流を増加させてもコアが飽和する気配は無かった。

3) 制御を掛けていないので原理的にリングングは生じにくい。

4) 93%の高効率が得られている。



Fig 14 Noise of Serenity PS 0 ~ 30MHz

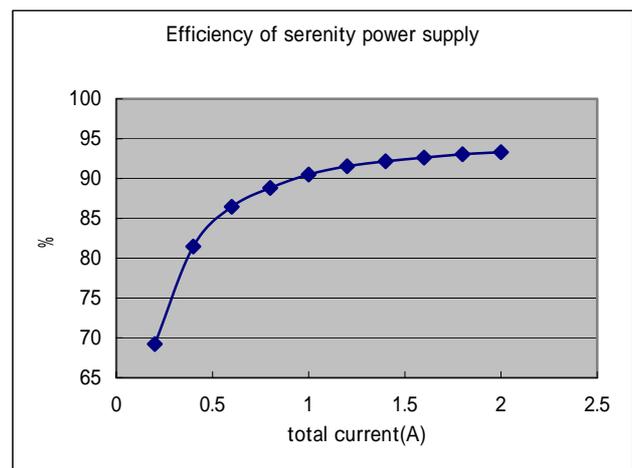


Fig 15

8. 課題

この電源は電流を多く流すと電圧の0Vをクロスした直後にリングングを生じノイズが増加する。音楽にとってより重要なのは小音量時のノイズの少なさであるため問題は大きくは無いが、これをさらに少なくすることは今後の課題としたい。

AC 240V 地域では1200Vから1500Vの耐圧の素子が必要となるが、IGBTしか使えず、これを90kHz以上で安定に、高効率に動作させることができるか否かも課題にしたい。

文献

[1] 中川 伸 特願 2004-146552 号スイッチング電源装置 平成16年05月17日