

照明学会研究会資料

最新バックライト技術動向

光関連材料・デバイス研究専門部会

資料 NO. MD-00-76~82

共 催：(社)照明学会 光関連材料・デバイス研究専門部会
多機能ディスプレイ研究調査委員会

日 時：2000年 10月27日(金) 12:30-17:20

会 場：早稲田大学 各務記念材料技術研究所

発 行：社団法人 照 明 学 会

〒101-0048 東京都千代田区神田司町2-8-4

電話 03-5294-0101

FAX 03-5294-0102

照明学会研究会資料

最新バックライト技術動向

光関連材料・デバイス研究専門部会

[目 次]

(資料 No.)	(題 目)	(ページ)
MD-00-76	(1) フロントライト技術	田中 章 (富士通化成) …… 1
MD-00-77	(2) 小型液晶用バックライトの技術動向	カランタル・カリル (日本デンヨー) …… 7
MD-00-78	(3) ゼオノア製導光板の開発状況	梅沢 佳男 (日本ゼオン) …… 13
MD-00-79	(4) 液晶バックライトの寄生容量対策と、共振型インバータによる高効率インバータの設計法	牛嶋 昌和 (テクノリウム) …… 22
MD-00-80	(5) プロジェクターの市場動向とアプリケーション展開	川田 宏之 (川田宏之事務所) …… 33
MD-00-81	(6) 液晶プロジェクター用光源の技術動向	東 忠利 (ウシオ電機) …… 38
MD-00-82	(7) 白色有機ELのバックライトへの応用	近藤 行廣, 岸上 泰久, 椿 健治 (松下電工), 城戸 淳二 (山形大学) …… 43

共振型による高効率インバータの設計法と液晶バックライトの寄生容量

How to design high efficiency inverter, and stray capacitance of LCD-Backlight

牛嶋昌和 (株式会社テクノリウム)
Masakazu Ushijima (Technolium co.ltd)

1. 液晶バックライトにおける共振技術の歴史について

1- 1 他励型と共振技術

AC アダプターやスイッチング電源においては、共振型と呼ばれるタイプのものが小型高効率の電源として普及している。

共振型電源は漏洩磁束性のトランスを用いたもので、トランスの二次側に共振回路を設けることによって、昇圧（或いは降圧）トランスの圧倒的な小型化と変換効率の向上が得られるものである。

液晶バックライト用インバータにおいても同様の技術が用いられる。

他励型回路はトランスの二次側に共振回路を持つ場合に有効な回路構成であり、駆動周波数を自由に選べるという点において、自励型コレクタ共振型回路に較べて優れた特性を持つものである。

図1は月刊ディスプレイ（1999年10月）から引用してきたものである。

この中に共振型と他励型の基本構成が記載されているが、この図は、1992年に出願された特許出願書類の中の図（図2）のものと同じである。

つまりこのとき、細型棒状トランス（漏洩磁束性が強いトランス）の駆動方法として他励型が有効であることは公開されていたのであるが、実際に他励型が普及するまでにはそれから長い時間がかかったのである。普及が遅れたことは残念であった。

普及が遅れた理由は、ひとえにコレクタ共振型に較べて他励型の回路構成が複雑になるという点が敬遠された最大の理由と考えられる。

しかし、回路が複雑であるという問題はIC化されることによって解決された。

図3、図4は1999年頃から実用化され始めたICの回路図である。

これらのICは、米国-台湾系のベンチャー企業が開発したものであるが、基本技術が日本で生まれていながら海外に先を越されたことは残念なことと言えよう。

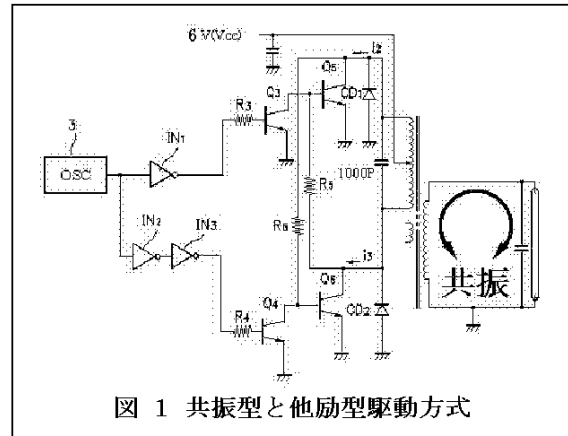
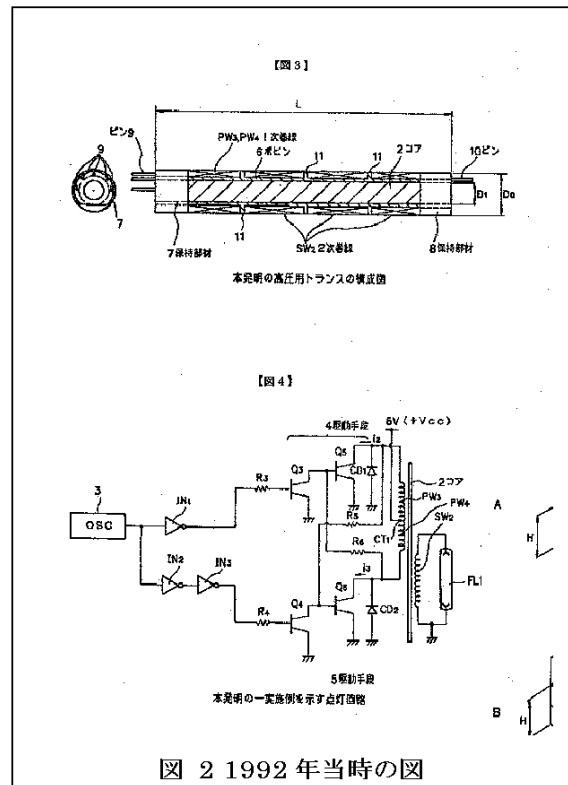


図 1 共振型と他励型駆動方式



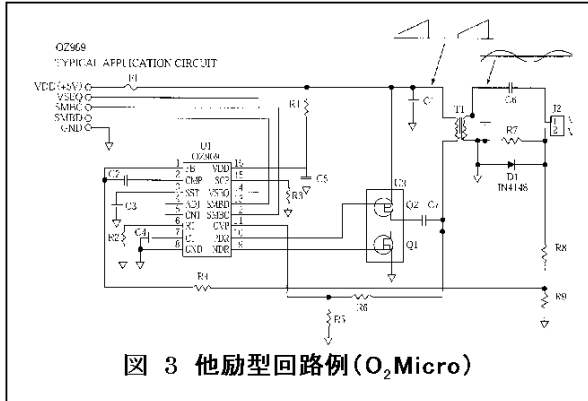


図 3 他励型回路例 (O₂Micro)

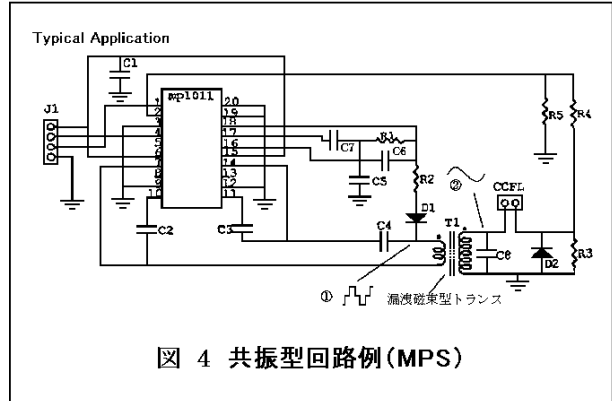


図 4 共振型回路例 (MPS)

1-2 日本における共振型の実用例

二次側回路の共振を利用することによってもたらされる効果には次のようなものがある。

- ① バックライトの輝度が同じ入力電力で比較してより明るくなる。(効率が良い)
- ② ①に付随することであるが、発熱が少なくなる。
- ③ トランスが小型になり、インバータが小型化できる。

このような効果を従来のコレクタ共振回路の改良で実現した例が、日立水沢エレクトロニクス (現在の日立メディアエレクトロニクス) の出願に見られるものである。(図5、図7、図8)

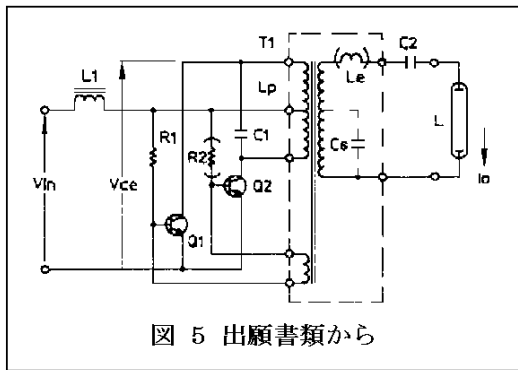


図 5 出願書類から

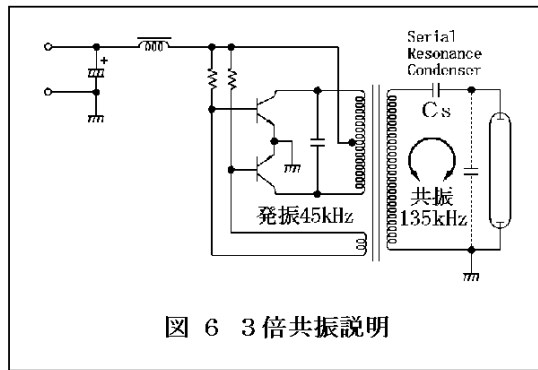


図 6 3倍共振説明

これは基本回路をコレクタ共振回路としながらも、一次側コレクタ共振回路の、発信周波数の3倍の周波数で、漏洩磁束性のあるトランスの二次側を共振させるものである。(図6)

基本波の3通倍波 (三次高調波) がなぜトランスの二次側に生じるかといえば、それは CCFL が純粋な抵抗体ではなく非線形の特徴を持つ負荷だからである。

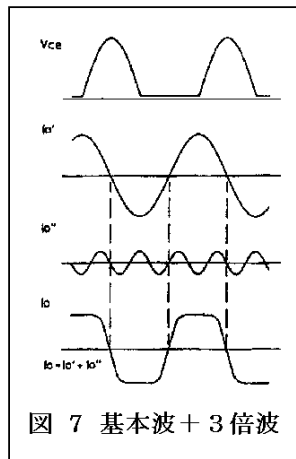


図 7 基本波 + 3倍波

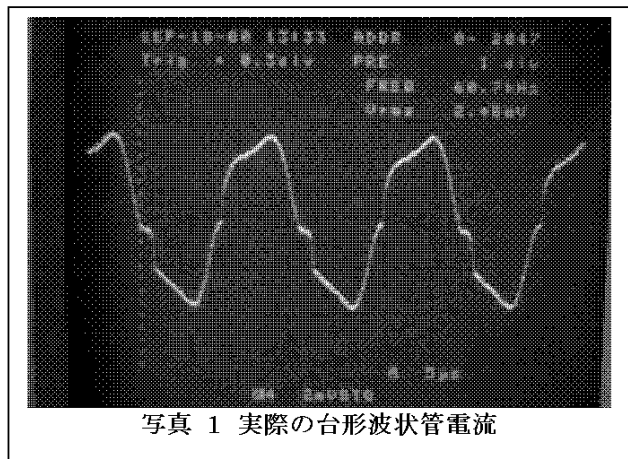


写真 1 実際の台形波状管電流

その結果、CCFLに流れる管電流は歪んで基本波の3次高調波を生じることになる。

この二次側に現れる3次高調波と一次側のコレクタ共振回路から供給される基本波とを合成することにより、CCFLの管電流を台形波あるいは山型波とすることができる。(図7、写真1)

その結果、従来のコレクタ共振型回路と全く同じ回路構成ながら十数%の輝度効率の改善効果が得られた。(図8)

この基本波3倍波混成技術(俗に3倍共振と呼ばれる)は現在のノートPCや液晶モニタを始めとするほとんど全てのコレクタ共振型回路のインバータに利用されているものである。

実際に3倍共振の条件はどのようにして実現されているのかといえば、主にトランスのギャップの調整によってリケージ成分(Le)を調整し、そのLeと直列に挿入された共振コンデンサ(バラストコン)としての働きもある。つまり、基本波に対してはバラストコンとして働き、3倍波に対してはCCFL周辺容量とともに共振回路を形成する)とが共振するように調整する。

良好な条件に調整されたかどうかは、**出力管電流が±対象波形かどうか**を調べることで容易に確認できる。

つまり、二次側が二倍高調波あるいは四倍高調波に共振している場合には基本波との合成波形(管電流)には当然のことながら±が非対称になった波形が観察されるようになる。

2. 共振型インバータ開発の問題点

このように現在に至っては既に共振型でない液晶バックライト用インバータはほとんどないという状況になっている。

しかしながら、未だに技術者の間で共振型の意味が良く理解されていないのが現状である。

場合によっては、このような共振が二次側回路に起こっていることに気付かずに使っていることも多い。

原因は、主に現在のインバータ開発が職人芸的な勘にたよるところが大きく、定量化されていないということにあると思われる。

インバータ設計の定量化が遅れている原因は二つある。

一つはトランスをあまりにも単純化、理想化しすぎてきたことにある。

トランスは一つの電子部品でありながら、実際には複雑な部品であり多くの寄生効果を持つ。

それが回路図の中ではたったの一つの部品として記述されていることが問題なのである。

実際のトランスを等価回路にすれば図

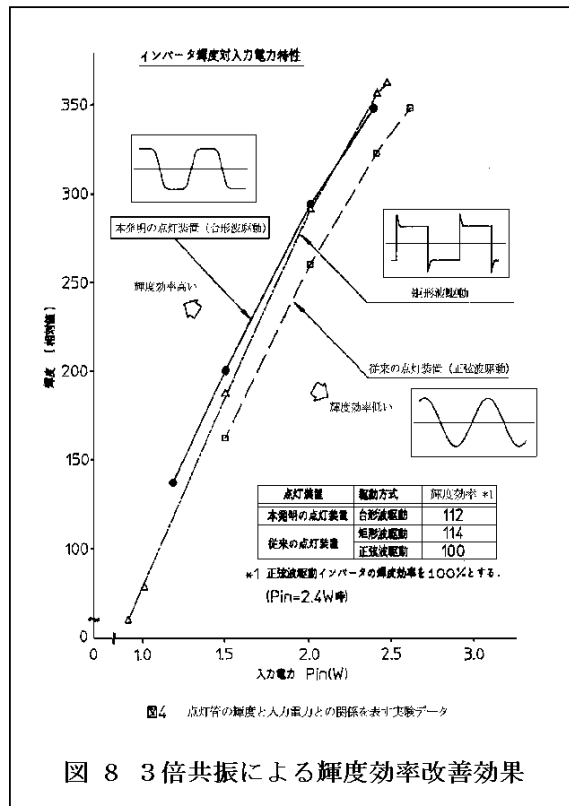


図8 3倍共振による輝度効率改善効果

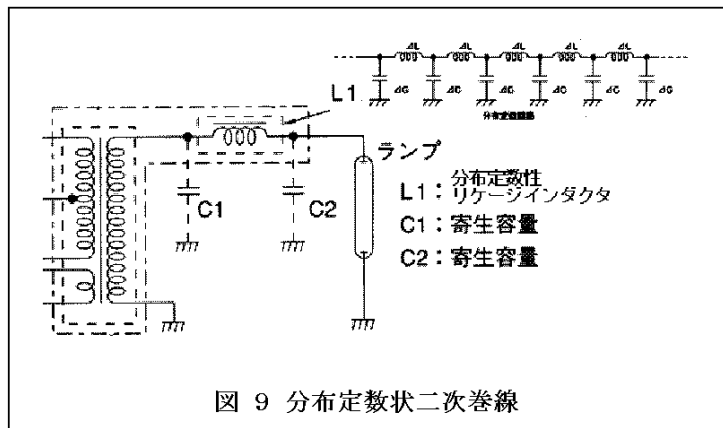


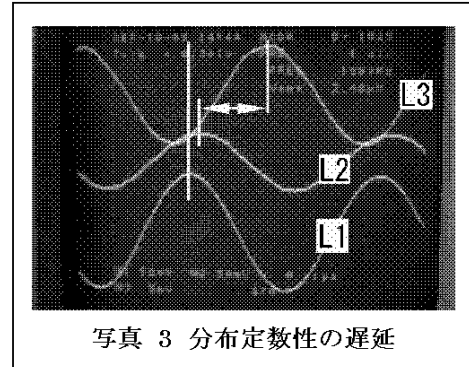
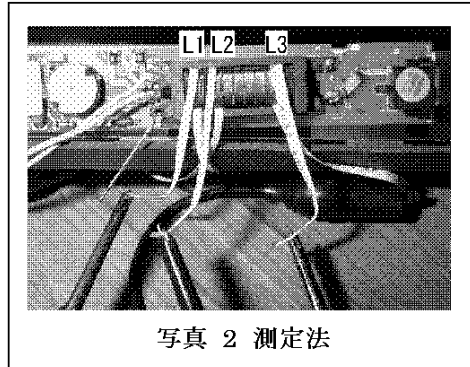
図9 分布定数状二次巻線

9のように極めて複雑な部品であることが理解されるであろう。

実際の冷陰極管インバータトランスはリケージインダクタンスが分布定数状の遅延回路を形成している。

このような分布定数状の遅延現象は、液晶バックライトを接続した状態で冷陰極管を点灯させた場合に生じる。

写真2、及び写真3はトランスの二次巻線に発生した遅延現象を捕らえたものである。



また、この、二次巻線が分布定数性を示す現象は負荷の条件によって発現したりしなかったりするものであり、トランスとは想像以上にやっかいな部品であるといえる。

少なくとも現状の仕様書に記述してあるパラメータだけではトランスの性質を表すには不十分であり、リケージ成分や寄生容量までを含めたより詳細な仕様書が提示されるべきである。

そして、もう一つの原因は液晶板の特にバックライトにある。

バックライトのCCFL周辺に発生する寄生容量は共振型インバータ設計にとって、今や決定的な意味を持つ重要なパラメータとなっている。

しかし、現状では液晶バックライトの寄生容量について、液晶パネルのスペックに記載されているものはないし、液晶パネルメーカーからの情報公開もない。

極端なケースでは液晶パネルの品番が同じなのにロットが異なる異なるCCFLメーカーのものが採用されているケースがあるなど、液晶パネルメーカーにおいて寄生容量に対する意識は不足していると言わざるを得ない。

液晶バックライトがノートPC全体の消費電力に比べ、取るに足りない程度のものであるならばこのような検討は不要であるが、実際には液晶バックライトがPC全体の電力消費の20%を以上を占める重要なものであるから、そういう現状においては、インバータの効率に大きな影響を与える液晶パネルの寄生容量が規格化されてこなかったことは見過ごせる問題ではないといえるだろう。

3. 液晶バックライト寄生容量について

3-1 寄生容量の発生

液晶バックライトの光源である冷陰極管には、バックライトへの入光の効率を高めるために、PETに銀をスパッタリングした導電性の反射シートが使われている。(図10)

冷陰極管が点灯している状態では、冷陰極管の内部のプラズマは導電性であるため、このプラズマと導電性反射シートとの間には管壁ガラスをはさんでコンデンサが形成される。

これがバックライト寄生容量である。

寄生容量にはこの他にも、バックライトからインバータまでの配線間に生じる寄生容量もある。

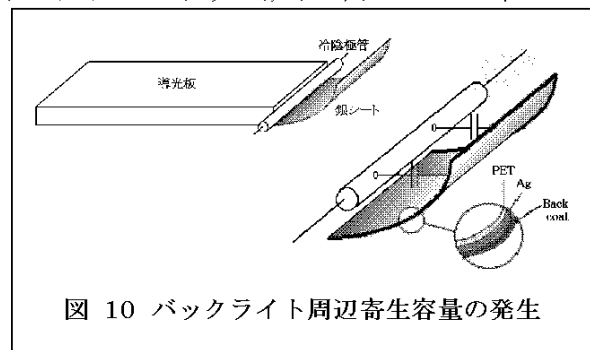


図 10 バックライト周辺寄生容量の発生

共振型インバータに影響の大きい寄生容量をまとめると次のようになる。

- ・液晶バックライト寄生容量
- ・高圧配線間寄生容量
- ・トランス二次巻線寄生容量

である。

それぞれの寄生容量の合計がトランスのリケージによるインダクタンス成分と共振回路を形成する。したがって、寄生容量は共振周波数を決定する重要なパラメータでもあるので、本来は厳重に管理されなければならないものである。

ところが今まで、この寄生容量については重要であるという認識が、液晶のメーカー及びバックライトのメーカー各社に欠けており、小型で効率の良いインバータを供給する際の障害となっている。

3-2 寄生容量の規格化と規格統一

液晶パネルにおいて、液晶バックライト及び冷陰極管配線間に生じる寄生容量の標準的な測定法を確立し、仕様書に盛り込むことは急務である。

理想的には、同一サイズの液晶パネルであるならば、バックライトの寄生容量やその他のインピーダンス特性も等しい、とすることが最も望ましい。

つまり、寄生容量及びVI特性、インピーダンスの規格統一である。

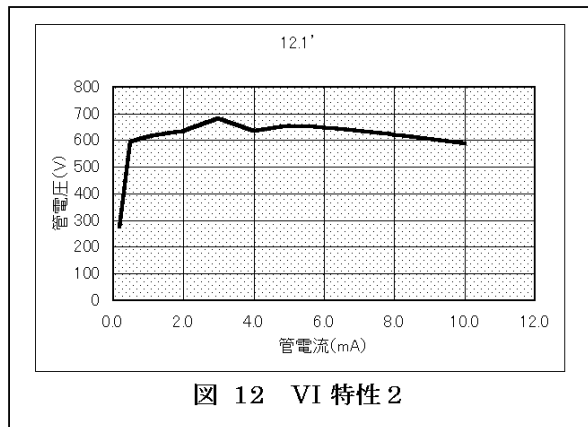
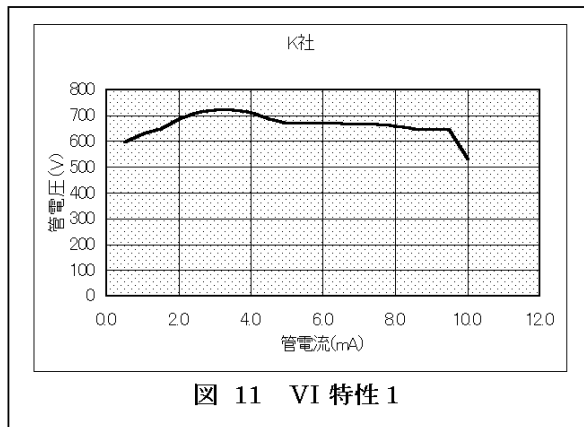
近年、米国の Display Search を中心に液晶パネルの規格統一が提唱されているが、これらの活動は主に液晶パネルのサイズやドライブ方法についての規格統一が主である。

しかし、重要な電力消費部分である液晶バックライトの冷陰極管周辺の規格が統一されないかぎり、全く同じ仕様に基づいて液晶パネル相互に互換性を持たせるといふ、この規格統一の趣旨は意味をなさないものになる。

また、液晶パネルの仕様のうち、バックライトに関する仕様については誤った認識に基づく仕様が提示されていることが問題をさらに難しくしている。

例えば、開放出力電圧という規格はあくまでも冷陰極管を裸管状態で測定した放電電圧から定めたものであるが、実際にバックライトに組み込まれた状態における電気特性は裸管における電気特性とは大きく異なっている。

実際に開放出力電圧 1800V、2100V と記載されたいくつかの液晶パネルの VI (電圧・電流) 特性を計ってみたものが図 11、12 である。



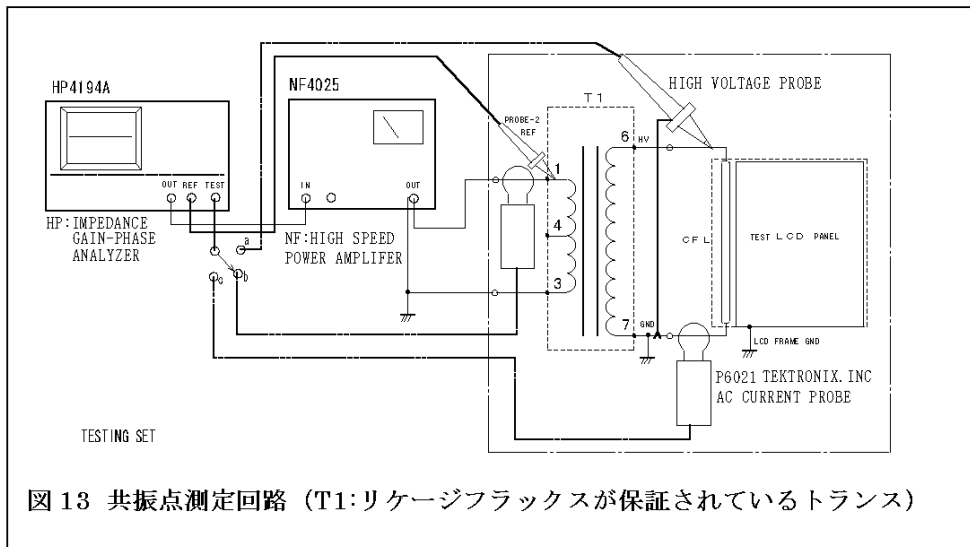
開放出力電圧と呼ばれる値がこの VI 特性のどこにも現れていない。

つまり、これらの液晶パネルは仕様書に記載される値とは全く異なる電気的特性を示しているということになる。

このようなことから、今後は液晶パネルのバックライト部分の仕様書には、バックライトの VI 特

性と等価寄生容量の値が書き込まれることが望ましいといえる。

当面、寄生容量の規格統一は難しいとしても、その値を把握し、仕様として管理することは重要なことである。



3-3 寄生容量の実測法

図 1 3 に寄生容量の実測方法を示す。

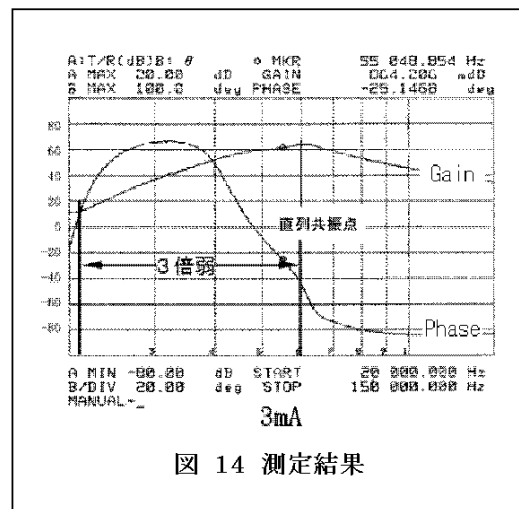
実測の基準となるトランス T1 はリケージインダクタンスの値が保証されたトランスを用いることが必要である。

この装置により実測すると、次のように冷陰極管点灯状態における液晶バックライトの寄生容量とトランスのリケージインダクタンスや寄生容量と、さらに配線に生じる寄生容量とを含めた総合的な共振特性が得られる。(図 1 4)

左の図で、Gain 曲線の最も頂点が直列共振周波数である。

この直列共振周波数が少し低い周波数が最も効率の良い動作点である。

この図から直列共振周波数は約 60KHz であることがわかる。



3-4 共振周波数から寄生容量を求める

図 1 4 で求めた直列共振周波数から LCD バックライトの寄生容量がわかる。

予め標準となるトランスを用意し、そのトランスと更正用の容量を接続して直列共振周波数を測定し更正カーブを作っておく。

共振周波数の自乗の逆数 $1 / (\text{共振周波数}^2)$ と更正容量との関係をグラフにすれば、これらの関係は直線状になる。

さらに、最小自乗法によって傾きと切片を求めれば精密な更正表が得られる。(図 1 5)

このグラフにおいて、X 軸切片はトランスの巻線自身が持つ寄生容量を表す。

共振周波数(銅損最小点)とLCDバックライトの寄生容量

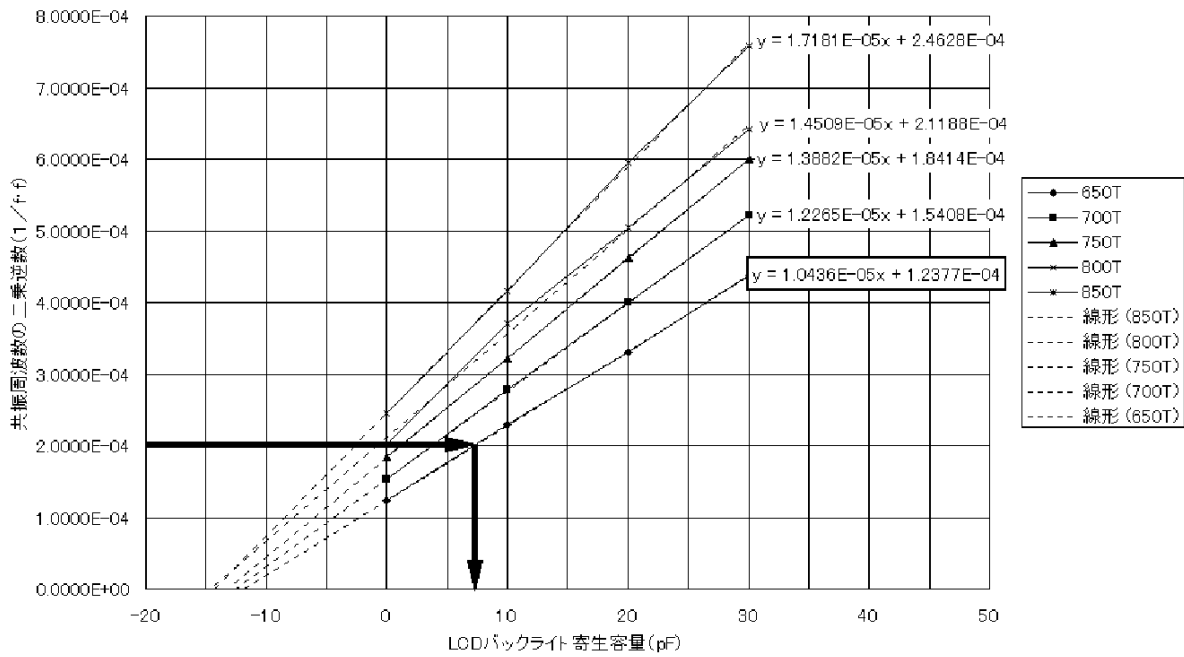


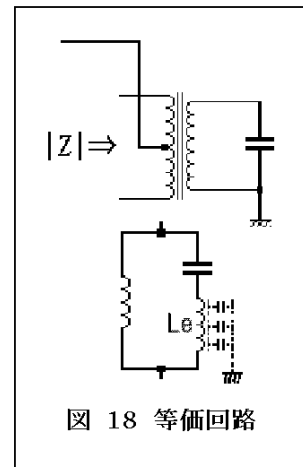
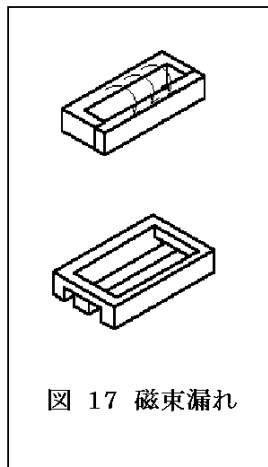
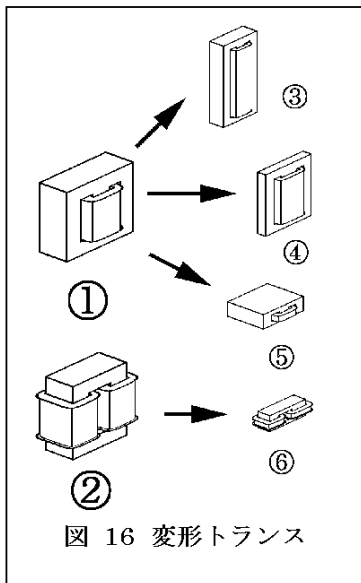
図 15 更正図から寄生容量を求める

4. 液晶バックライト用小型トランスについて

4-1 二次側を共振させたトランスの動作原理

液晶バックライト用に用いられるトランスには細長い形状が求められているが、そのような形状のトランスは磁路を閉塞した場合でも標準的なコア形状のトランスに比べてどうしても磁束漏れが多くなる。(図 16、図 17)

この磁束漏れ成分は、トランスの等価回路で見ると図 18 のように表される。



この図の中で L_e に相当する部分が磁束漏れによって生じるリケージインダクタンスである。

この等価回路は並列共振回路と直列共振回路とを形成している。

さらに細かく見ると、リケージインダクタンス L_e は分布定数状になっている。
 このように、冷陰極管インバータ用のトランスはかなり複雑な特性を持っているのである。
 ところで、磁束漏れが大きい場合にはこの L_e の値が大きくなり、磁束漏れが小さい場合には L_e は小さな値になる。

仮に巻線間の結合が理想的に完全であるとするリケージインダクタンス L_e は存在しない。
 つまり、トランスの磁束漏れの大きさはリケージインダクタンス L_e の大小によって評価することができるといえる。

等価回路において、リケージインダクタンスは直列共振回路を形成しているの、並列共振周波数と直列共振周波数の比を調べることによって磁束漏れの程度を評価することができる。

代表的な閉磁路トランスである電源トランスにおいてこれを測定してみると次のようになる。(図 19)

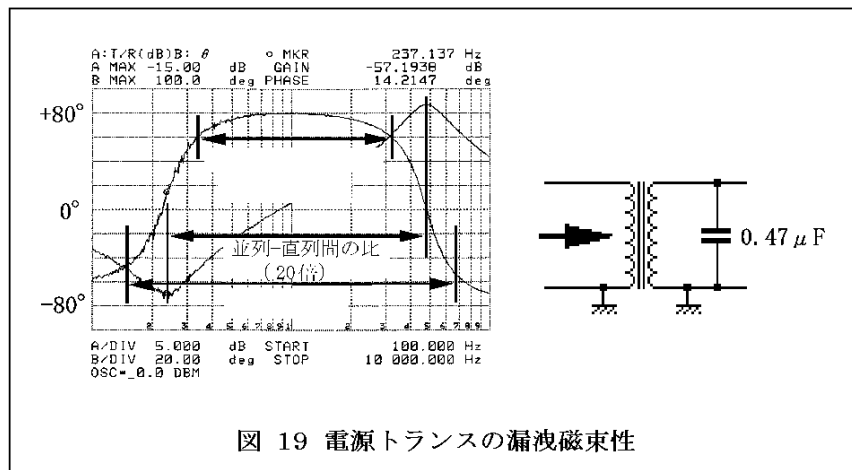


図 19 電源トランスの漏洩磁束性

電源トランスのような磁束漏れの少ないトランスの場合、 L_e 成分は非常に小さい値となる。

したがって、直列共振点は非常に高い周波数になるので、この場合、並列共振点と直列共振点との比は 20 倍になっていることがわかる。

一方、図 16 の③～⑥あるいは図 17 のような液晶バックライト用のトランスを液晶パネルに接続して、冷陰極管点灯状態において同様な方法で計測すると、図 20 のような特性が得られる。

この場合、並列共振点と直列共振点との比はわずか 2～3 倍弱しかないということがわかる。

つまり、計測の結果、この液晶バックライト用トランスは定量的に磁束漏れが多いということがわかるわけである。

また、この測定法によって、液晶バックライト用インバータの設計に不可欠なトランスのリケージインダクタンス L_e がわかるため、今後液晶バックライト用トランスの L_e を規格化していく際にも役立つ知見が得られる。

ところで、この図で示される直列共振点は、液晶バックライトに生じる寄生容量とトランスのリケージ成分との間で形成される共振周波数である。

リケージの多いトランスは、この共振周波数近辺では特別な原理によって一次巻線と二次巻線間の結合率が上昇する。

トランスの磁束漏れが多いと、一般に一次巻線—二次巻線間の結合が弱くなり実用にはならないものになるとされるが、二次側に共振回路を持つトランスは、次のような原理により一次巻線と二次巻

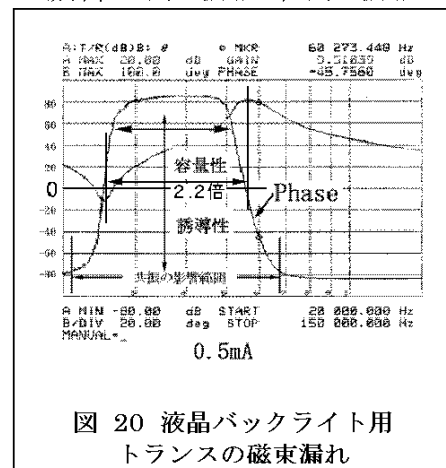


図 20 液晶バックライト用トランスの磁束漏れ

線が強く結合する。

このような結合を調相結合と命名した。

以下原理を示すと、

二次巻線につながる負荷が容量性の場合、容量に流れる電流によって二次側巻線下に生じる磁束の位相は一次巻線の励磁電流によって発生する磁束の位相と等しくなる。

そうすると、一次巻線で発生した磁束は二次巻線に引き込まれる。この効果は一般には磁束の引き込み効果と言われる。

特に二次側を共振させた場合に、二次側の共振電流は最も大きくなるので最も強い結合が生じる。

さらに、一次巻線と二次巻線との間のコアが、ギャップのない連続した一つのコアで形成されている場合には、一次側で発生した磁束のほとんどが透磁率の高いコアに導かれて二次側まで達する。その結果非常に強い結合が生じることになる。

我々は、磁路が完全に開放された棒状のトランスによってこのような結合が起こることを確認し、それが電力変換に利用できるほど強い結合であることを証明したわけであるが、このような一次と二次の結合は、従来の原理による結合とは異なることから調相結合と名付けることにした。

これに対し、従来型のトランスにおけるコアの開磁路ループによって生じる結合は従来結合と呼んで区別することにする。

実際に、小型液晶バックライト用トランスの場合、磁路を閉塞させた前図 1 7 のようなトランスも用いられるが、これらのトランスの内部にも磁束漏れが生じていることが確認されている。

話は前後するが、その磁束漏れを確認するために、写真 2、写真 3 のような実証実験を行ったわけである。

簡単に説明すれば次のようになる。

前図 1 7 のトランスの中心コアに注目してみると、連続した一つのコアに流れる磁束が仮に全く磁束漏れしないというのであれば、写真 2 に示されるコイル L1、L2、L3 に現れる電圧波形は位相、波高値とも全く等しくならなければならない。(図 2 2)

しかし実際には写真 3 のように電圧の位相が大きく異なっている。

これは、特に L2 と L3 の間で大きな磁束漏れが生じていることを示すものである。

つまり、このようなトランスの場合、本来は磁束漏れが大きく、従来の結合では実用的な結合は得られないはずであるが、二次側の共振によって得られる磁束の引き込み効果による結合(調相結合)が生じているために実用的な結合が得られているわけである。

さらに、写真 3 に注目してみると、この磁束漏れは L2 と L3 の間に集中している。

つまり、二次巻線上で磁束漏れが生じているわけであるが、本来のトランスにおいては二次巻線上の磁束漏れもありえない。

これを説明したものが図 2 3 である。

まず、従来の二次巻線から説明する。

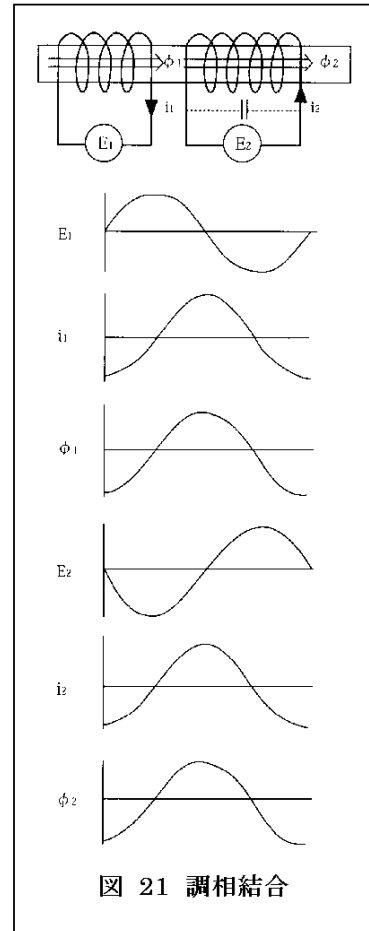


図 21 調相結合

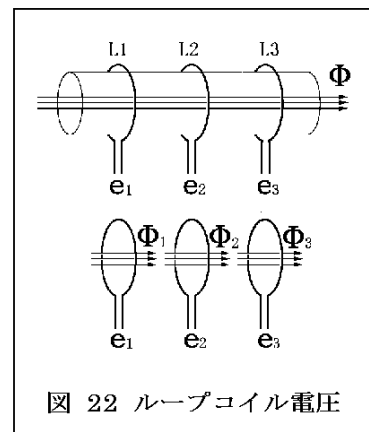


図 22 ループコイル電圧

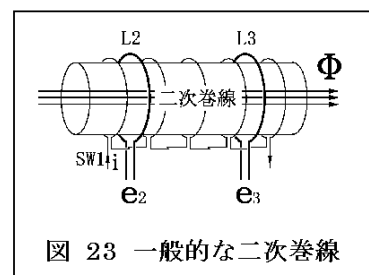


図 23 一般的な二次巻線

二次巻線 SW1 は一本の銅線である。したがって、中心コアには SW1 に流れる電流によって一定の磁束 Φ が生じる。

この磁束 Φ はループコイル L2 及び L3 を貫くので各ループコイル L2、L3 に生じる電圧 e_2 、 e_3 は全く等しいはずである。

つまり、本来ならば二次巻線上の磁束漏れはあり得ない。

ところが実際には写真 3 のようにループコイル L2 と L3 の電圧は異なっている。

繰り返しになるが、これは、二次巻線が分布定数状になっているからに他ならない。

また、このような分布定数状が二次巻線に生じる状態でトランスを動作させた場合、トランスの変換効率が向上する傾向が見られる。

この現象を仮に分布定数化インダクタンス効果と名付けることにするが、定量的な測定は今後の実験に委ねる。

4-2 共振点における最適動作点

トランスと液晶バックライトを接続し、点灯させながら一次側から位相特性を観測したものが図 24 である。

冷陰極管の管電流が増えるとインピーダンスが低下する。

トランスの二次側に接続された負荷のインピーダンスが低下するに
したがって、トランスはしだいに漏洩磁束性トランスの性質を示すようになる。

この特性の変化を見ると次のようになる。

図 24 を見ると、負荷のインピーダンスが低下するにつれて、小型トランスの一次側から見た特性が、容量性から誘導性へと変化していることがわかる。

この図の中から最も良いドライブ条件を求めることができる。

理想的な動作点は直列共振点付近の最も銅損の少ない、つまり、Phase 特性の 0 deg. に近いところである。

これは図 24 では約 5 ~ 60 KHz 付近である。

Phase が 0 deg. に近いということは、電圧と電流の位相がずれていない、つまり、力率 (Power Factor = $\cos \theta$) が 1 に近いことを示す。

理想的には 0 deg. であることが最も望ましいが、実用的には ± 40 deg. 以内にあれば効率上は問題ない。

今後は、要求される管電流仕様において、直列共振点付近の位相が最も 0 deg. に近いトランスをどうやって設計していくかが課題となる。

5. まとめ

液晶バックライト寄生容量或いは配線間寄生容量という、今まではその存在が知られていながらその影響がどの程度であるかが定量的に全く予想がつかなかった。

ところが、ここで紹介した測定法によりその影響が視覚的にかつ定量的にわかるようになった。

これによって、液晶バックライトと液晶バックライト用トランスの共振周波数がどこにあるかなどや、配線を結束したり、EMC 対策の

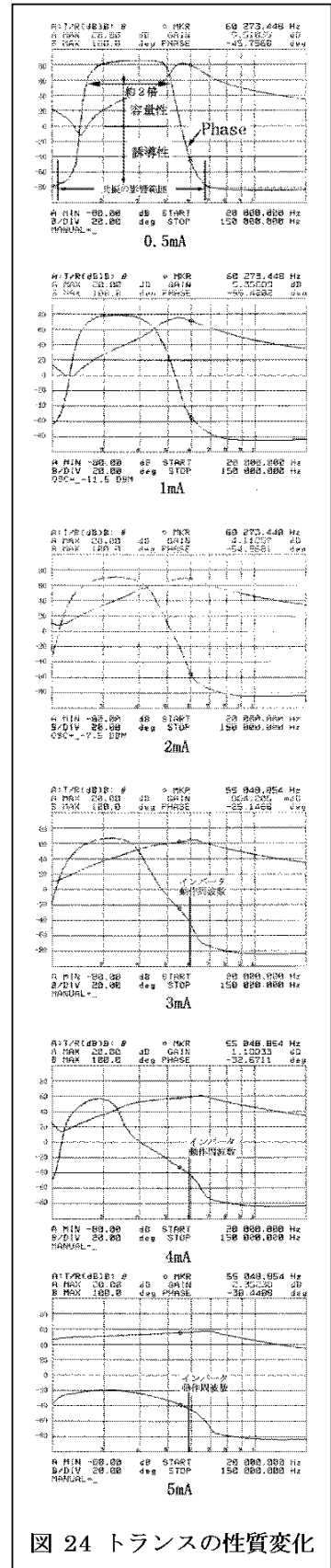


図 24 トランスの性質変化

ため銅箔テープ配線に施したりした場合にどのくらい共振周波数が変わるものかなどの情報が一目でわかるようになった。

一例であるが、ノート PC の仕様確定後、EMC 対策のために量産後になって現場で銅箔テープを施し、その結果共振周波数が変わったためにインバータが発熱し、量産時の大問題が生じたというのはごく最近実際にあった話である。

これも、配線に銅箔テープを施すことがどの程度の影響があるものかを、上記測定法によって事前に把握していれば防げた事故であるといえる。

またこの測定法によって、液晶バックライト用トランスの磁束漏れについても定量的に解析する手がかりが掴めるようになった意味は大きい。

今後はこの測定法を、液晶バックライトの寄生容量の規格化や液晶バックライト用トランスのリケージ成分の規格化に活用し、ノート PC や PDA などにおいて最も電力消費の多いバックライト電源部における高効率化設計に役立てていただければ幸いである。

参考文献

- 1) 牛嶋昌和,明拓システム：公開公報 特願平 4-338110 (1992)
- 2) 日立水沢エレクトロニクス：公開公報 特開平 7-211472
- 3) 牛嶋昌和：月刊ディスプレイ Vol.5、No.11、テクノタイムズ社 (1999年11月)
- 4) O2Micro 製品カタログ 1998年11月
- 5) Monolithic Power System.Inc. 製品カタログ 1999年2月
- 6) 牛嶋昌和：電子技術 Vol.38、No7、P49、日刊工業新聞社 (1996)
- 7) 牛嶋昌和,舟木剛：電気学会半導体電力変換研究会 SPC-97-3 1月 (1997)
- 8) ㈱テクノリウム：平成8年度通産省関東通産局技術改善費補助金交付補助事業研究結果発表「調相結合トランスを応用した熱陰極蛍光灯用インバータに関する研究」平成9年5月
- 9) 牛嶋昌和：日本工業技術センター「液晶バックライト・インバータの設計法」セミナー用テキスト 5月 (1997)
- 10) ㈱テクノリウム：共振点から寄生容量を求める、
<http://www.tlm.co.jp/web/gijyutu/Pencil17.PDF>
- 11) ㈱テクノリウム：調相結合トランスの他励式ドライブについて、
<http://www.tlm.co.jp/web/gijyutu/Pencil18.PDF>
- 12) ㈱テクノリウム：、二次側共振点の視覚化装置、
<http://www.tlm.co.jp/web/gijyutu/Pencil14.PDF>