

# 共振型インダクタのフィルタへの応用

## An Application of The Resonant Type Inductor to The Filters

緑川 洋一\*、佐藤 貞弘\*\*、早野 誠治\*、斎藤 兆古\*  
Y.Midorikawa\*, S.Satoh\*\*, S.Hayano\* and Y.Saito\*

\*法政大学 工学部

College of Engineering, Hosei University

\*\*岡谷電機産業株式会社

Okaya Electric Co., LTD.

### 1. まえがき

半導体素子の広汎な普及によって、多くの小型・軽量電子機器が開発され、活用されている。特に、ノート型計算機や携帯電話の開発・商品化は半導体の高集積回路技術によるものである。他方、蛍光灯で代表される照明機器からパーソナルコンピュータやファックス等の情報機器まで極めて多くの電子機器が日常生活の中に溢れている。これらの電子機器の小型・軽量化を達成するに当たり、信号を扱う部分は集積回路技術によって小型・軽量化されている。電力を供給する電源部分は、変圧器やリアクトル等の磁気部品を小型・軽量化するためにもっぱら高周波化によって対応されている〔1-12〕。電源回路、主としてスイッチング電源の高周波化は、半導体素子のスイッチングに供なって、出力や電源に電力を供給する電力系統へ高周波ノイズを発生する。このノイズのため電子機器そのものの誤動作や同一電力系統に接続されている他の電子機器の誤動作につながる恐れがある。いわゆる EMC (Electromagnetic Compatibility) 問題である。これを未然に防止するために、多くの電子機器ではノイズを削減するフィルターを装着するのが普通である。これは、スイッチング周波数の高周波化によって電子機器そのものの小型・軽量化が達成されても、ノイズ対策のために新たにフィルターを装着せざるを得ないことを意味し、フィルターそのものが大型で装着性が悪い場合、高周波化による小型・軽量化が全く無意味であることを意味する。

筆者等は、このような現状を解決する方法としてリアクトルそのものが並列共振回路を形成する素子を開発し、リアクトルがバンド阻止型フィルターとして機能することを報告した〔13、14〕。本論文では、これらの共振型インダクターを用いたフィルターを試作し、ノイズ阻止特性を検討したものである。その結果、リアクトルのインダクタンスそのものは従来型のフィルターに比較して小さくても、共振特性を利用することで小型のフィルターが実現できる可能性が判明し、さらに、複数個の共振点を有する共振型インダクターを直列接続することで、特定の高調波成分を阻止する櫛形の周波数特性を持つフィルターが構成可能であることも判明した。

## 2. 共振型インダクターによるフィルター

### 2. 1. 共振型インダクター

< a > 共振型インダクタの原理 簡単化のため、図1 (a) に示す平行に並んだ2本の導体を考える。2本の導体を図1 (b) に示すように結線する。図1 (b) で、2本の導体間を接続するコイルの抵抗やインダクタンスが無視できるとするならば、2本の導体に加わる電圧は等しく電源電圧の半分  $V/2$  [V] となる。さらに、2本の導体間の電位差は導体の端から端まで等しく、かつ、流れる電流の方向は同方向である。このため、導体間のキャパシタンスが導体の中心点間を結ぶキャパシタンス  $C$  で代表されるとし、各導体の抵抗、自己インダクタンス及び導体間の相互インダクタンスをそれぞれ  $R$ 、 $L$ 、 $M$  とすれば、図1 (c) に示す等価回路が導かれる。

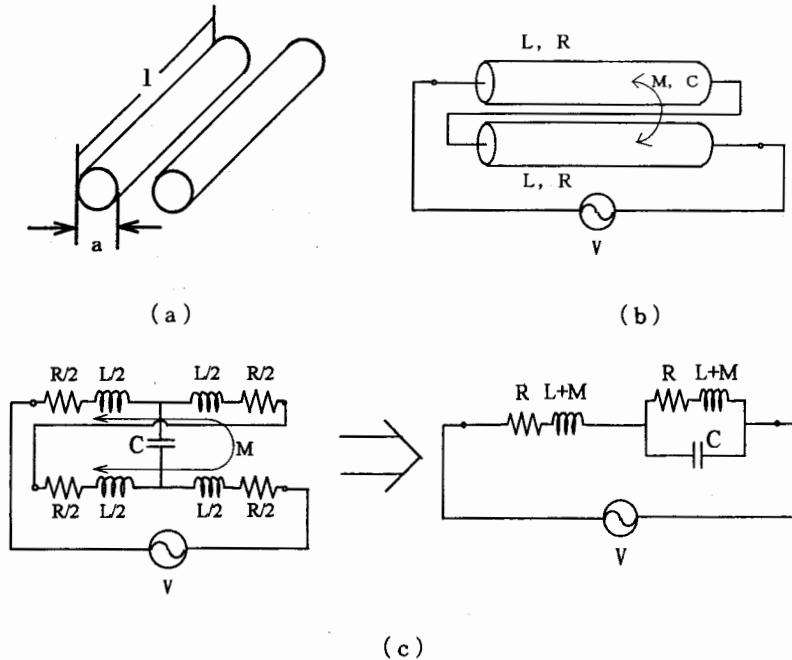


図1. 共振型インダクタの原理 (a) 2本の平行導体 (b) 結線 (c) 等価回路

図1 (c) の等価回路から、共振角周波数  $\omega_r$  と共振時のインピーダンス  $Z_r$  は、それぞれ次式で与えられる。

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{(L + M)C}} \quad (1)$$

$$Z_r = R + \frac{L + M}{RC} \quad (2)$$

< b > 試作共振型インダクター 供試インダクターとして、ホルマル線を用いた有限長ソレノイド型とフィルム状導体を用いたフィルム型を試作した。図2 (a) に示す有限長ソレノイド型は直径0.3 mmの丸型断面のホルマル線1.5 mを二本用いて作成したものであり、図2 (b) のフィルム型は65  $\mu$ m厚のポリイミド基盤上に厚さ17  $\mu$ mの銅箔を化学エッチングで2本の導体が平行で同心円状になるように作成し、さらに2本の導体の長さを等しくするため、裏表の2層で構成されている。

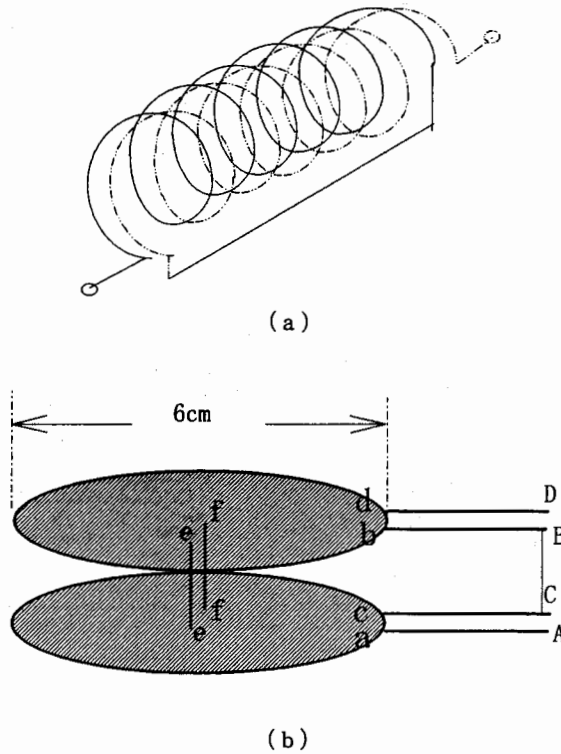
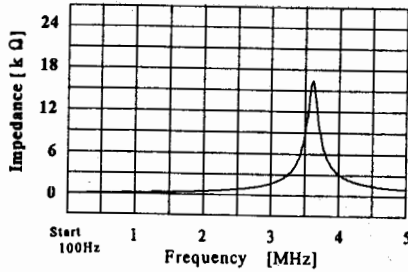


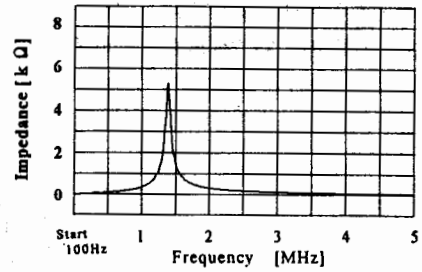
図2. 試作共振型インダクター。(a) ソレノイド型、(b) フィルム型

< c > 試作インダクターの特性 図3に試作インダクターのインピーダンス対周波数特性を示す。図3 (a) と (b) はそれぞれ図2 (a) のソレノイド型と図2 (b) のフィルム型の空心時における特性であり、いずれも典型的な並列共振が観察される。図3 (c) はソレノイド型のインダクタンスを増加するためにE型のフェライトコア (SB9C) を2個用いて閉磁路を構成したものである。明らかに共振周波数の低下と共振時のインピーダンスが増加していることがわかる。図3 (d) はソレノイド型のインダクタの両端に1.8 nFのコンデンサを取り付けた場合の特性である。共振周波数は低下し、共振時のインピーダンスも低下して

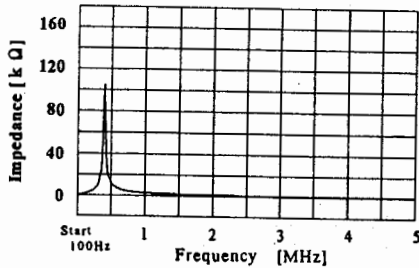
いることがわかる。これにより、図3 (c)、(d)の結果は図1の等価回路の妥当性を定性的に証明している。



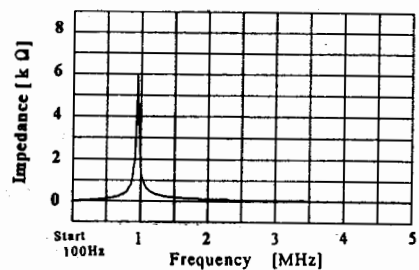
(a)



(b)



(c)



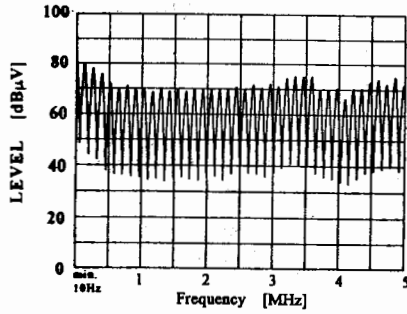
(d)

図3. 供試インダクタのインピーダンス対周波数特性。(a) ソレノイド型(空心)、(b) フィルム型(空心)、(c) ソレノイド型(EEフェライトコア)、(d) ソレノイド型(コイル両端に1.8 nFのコンデンサ装着)

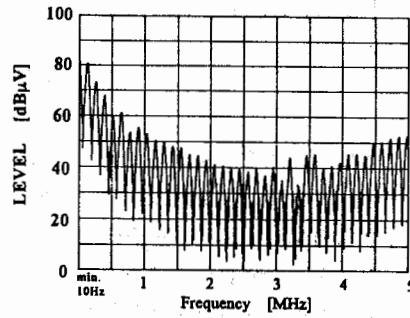
## 2. 2. フィルター

<a>バンド阻止型フィルター 供試インダクターは図3に示されたように並列共振特性を持っているため、DC/DCコンバータの出力端子と負荷間に直列に平滑リアクトルとして接続するとバンド阻止型フィルタとして機能する。図4はフライバック型DC/DCコンバータの出力端子に負荷と直列に供試インダクタを接続した場合の負荷端子電圧ノイズ周波数スペクトラムである。なお、DC/DCコンバータの負荷は、50 Ωの純抵抗である。図4 (a)、(b)、(c) さらに (d) は、それぞれ、インダクタ無し、空心ソレノイド型、空心フィルム型及び空心ソレノイド型とEEフェライトコアを装着したソレノイド型の2個のインダクタを直列に接続した場合の結果である。明らかに、図4 (b)、(c) は、共にそれぞれの共

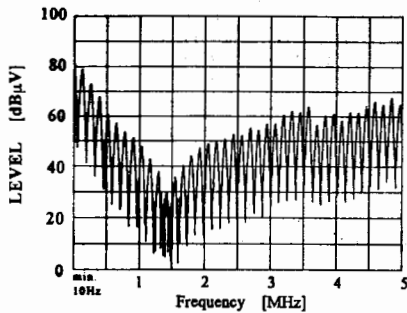
振周波数を中心としたバンド阻止型のフィルターとして機能していることがわかる。図4 (d) は図3 (a) と (c) の共振周波数を阻止する楕形のフィルターとしてインダクターが機能していることがわかる。



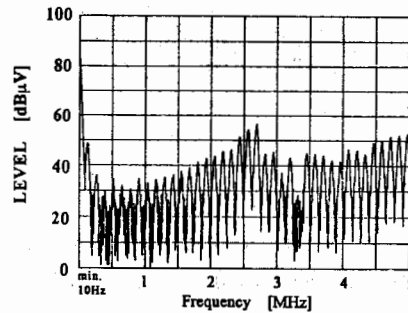
(a)



(b)



(c)



(d)

図4. DC/DCコンバータの出力端子に負荷 (50 Ω) と直列にインダクターを接続した場合の負荷端子電圧ノイズ周波数スペクトラム。(a) インダクター無し、(b) 空心ソレノイド型、(c) 空心フィルム型、(d) 空心ソレノイド型とEEフェライトコアを装着したソレノイド型の直列

< b > ノーマルモードフィルター DC/DCコンバータの出力ノイズ低減のために図5に示す $\pi$ 型ノーマルモードフィルターを作成した。但し、左側のコンデンサーC1はDC/DCコンバータの出力端コンデンサで代用した。

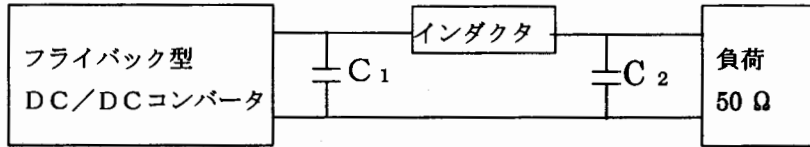


図5.  $\pi$ 型フィルター回路

図6に $\pi$ 型フィルターによるDC/DCコンバータの負荷端子電圧ノイズ周波数スペクトラムを示す。図6 (a) は空心ソレノイド型インダクターを装着した場合であり、空心にも拘らずかなり強力なフィルターが構成されることを示している。また、図6 (b) は空心フィルム型インダクターを装着した場合であり、この結果から極めて薄型のノーマルモード用ノイズフィルターが実現できる可能性がわかる。

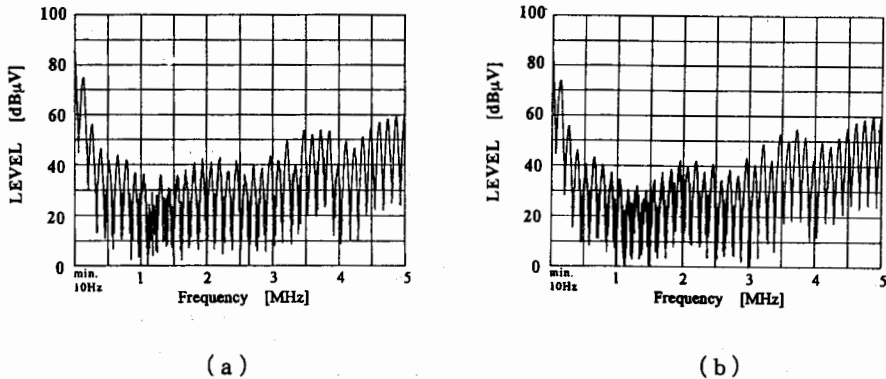
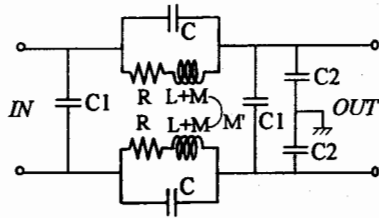
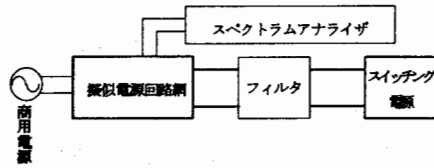


図6.  $\pi$ 型フィルターによるノーマルモードノイズの低減結果。(a) ソレノイド型(空心)、(b) フィルム型(空心)、C2=220nF

< c > コモンモードフィルター DC/DCコンバータを接続することによって電力系統へ流出する高調波ノイズを低減するために図7 (a) に示す従来の $\pi$ 型フィルター回路を試作した。供試インダクターは図2に示すインダクターと同様の仕様であるが、ソレノイド型は4本の導体、フィルム型は4層で構成され、2個の入力端子と2個の出力端子を持つ。これらのインダクターの磁束は電流の方向は通電方向が同方向で加わるように構成されている。すなわち、共振型インダクターを2個使ったコモンモードチョークコイルが構成されている。図7 (b) にノイズスペクトラム測定回路の概要を示す。

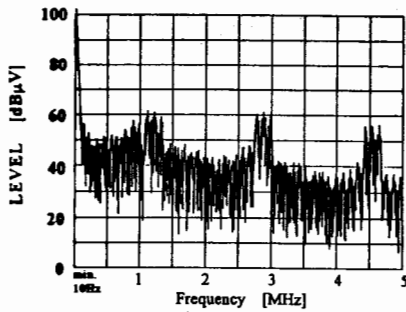


(a)

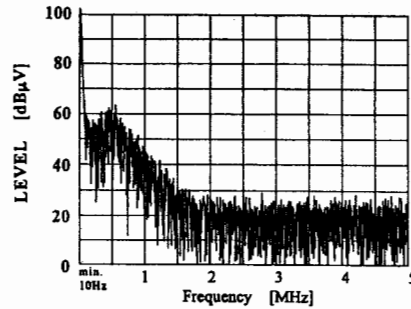


(b)

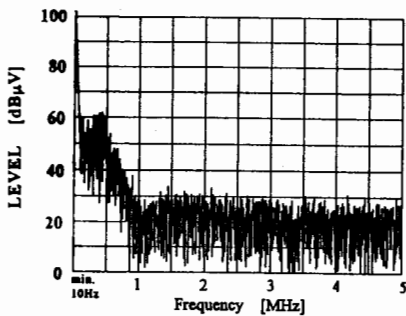
図7. フィルター回路のノイズ周波数スペクトラム測定回路。(a) 共振型インダクターを使ったコモンモードフィルタ、(b) スwitchング電源による電力系統へ流出する高周波ノイズ測定回路、 $C1=0.1\mu\text{F}$ 、 $C2=2200\text{pF}$



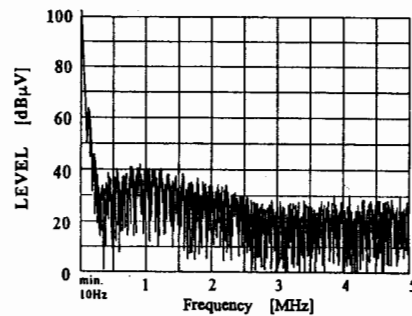
(a)



(b)



(c)



(d)

図8. コモンモードノイズ周波数のスペクトラム。(a) フィルターなし、(b) 空心ソレノイド型インダクター、(c) 空心フィルム型インダクター、(d) フェライトタイルでサンドイッチされたフィルム型インダクター

図8にコモンモードノイズ周波数のスペクトラムを示す。図8(a)はフィルターを装着しない場合であり、大きな高調波ノイズがスイッチング電源から電力系統へ流出していることがわかる。図8(b)、(c)及び(d)はそれぞれ、空心ソレノイド型のインダクター、空心フィルム型及びフェライトタイルでサンドイッチされたフィルムインダクターで図7(a)のコモンモードノイズフィルターを作成し装着した場合である。図8(b)～(d)はいずれもフィルターの効果によって高調波ノイズが低減されていることがわかる。特に図8(d)のフェライトタイルを装着したフィルム型インダクターは強力に高周波ノイズを低減していることがわかる[15]。

### 3. まとめ

本論文では共振特性を有するインダクターを利用したノイズフィルターの検討を行った。その結果、ノーマル・コモンいずれのノイズフィルターも空心ソレノイド又はフィルム型インダクターで構成され得ることが判明し、フィルターの小型・軽量化が可能であることを示した。



## 参考文献

- [1] K.Harada and T.Nabeshima, " Application of magnetic amplifier to highfrequency DC to DC converter," Proc.IEEE, Vol.76, pp.353-361, April 1988.
- [2] F.C.Lee, " High-frequency quasi-resonant converter technology, " Proc.IEEE, Vol.76, pp.377-390, April 1988.
- [3] T.Sano, A.Morita and A.Matsukawa, " A new power ferrite for high frequency switching power supplies,"Proc.3rd Annual High Frequency Power Conversion Conference, San Diego, CA., MAG1-5, 1988.
- [4] S.Hayano, Y.Nakajima, H.Saotome and Y.Saito, " A new type high frequency transformer, "IEEE Trans.Magn., Vol.27, No.6, pp.5205-5207, Nov. 1991.
- [5] 小川、早野、斎藤、"高周波空心トランスを用いたDC/DCコンバータの負荷特性"、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-92-132、1992年7月17日。
- [6] 小川、早野、斎藤、"空心変圧器を用いたDC/DCコンバータの近似過渡解析"、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-92-274、1992年12月18日。
- [7] 小川、斎藤、"空心変圧器の一考察"、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-93-132、1993年8月2日。
- [8] T.Ogawa, H.Saotome, S.Hayano and Y.Saito, " Realization of a coreless transformer and its application to a DC/DC converter, " ELEKTROTECHN, CAS., 44(1993), No.7, pp.238-241.
- [9] S.Hayano, Y.Midorikawa, Y.Saito, " The film transformer, " Elsevier Studies in Applied Electromagnetics in Materials 5, pp.257-260 (1994).
- [10] 緑川、早野、斎藤、"フィルム変圧器の試作"、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-93-168、1993年9月4日。
- [11] I.Marinova, Y.Midorikawa, S.Hayano, and Y.Saito "Electromagnetic analysis of the thin film transformer"、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-94-11、1994年3月7日。
- [12] S.Hayano, Y.Midorikawa and Y.Saito, " A film transformer, " IEEE Trans.Magn., in printing
- [13] Y.Midorikawa, S.Hayano and Y.Saito, " A new inductor having a noise filtering capability, " IEEE Trans.Magn., Vol.30, No.6, Nov. 1994.
- [14] Y.Midorikawa, S.Hayano and Y.Saito, " A resonant phenomenon between adjacent series conncted coils and its application to a noise filter, " Elsevier Studies in Applied Electromagnetics in Materials, in printing.
- [15] 緑川、早野、斎藤、"薄型トランス・インダクタの検討"、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-94-135、1994年10月21日。

原稿受付日	平成7年2月10日
-------	-----------