

DC/DC コンバータ用超薄型インダクタ

Ultra-thin Inductors for DC/DC Converter

1. はじめに

近年、携帯電話や PDA で代表される小型携帯機器の需要が急増している。小型携帯機器には電池電圧を CPU, LCD モジュール, 通信用パワーアンプなどの部品の駆動電圧に変換するための電源が搭載されている。携帯機器用電源には、電力変換の高効率化と薄型化・小型化が強く求められる。JFE ミネラルでは、このニーズに応えるべく、DC/DC コンバータ用超薄型(0.6 mm 厚)インダクタ(以下、プレーナインダクタ)を開発した。

2. プレーナインダクタの構造

プレーナインダクタは、銅スパイラル状コイルを上下のフェライト焼成板で挟み込み、銅コイル間はフェライト粉末と樹脂との混合物である磁性材料を充填した構造を有する。この特殊な閉磁路構造により、導体の渦電流損失を減らせることが知られている¹⁾。Photo 1 にプレーナインダ

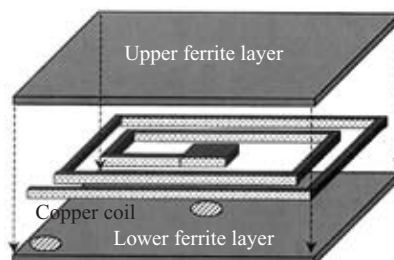


Fig.1 Structure of planar inductors

クタの外観写真を、Fig. 1 に模式図を示す。また、導体コイルと外部電極は、下部フェライト基板に設けられたスルーホール(Fig.1 で、lower ferrite layer 中の 2ヶ所の斜線部分)内で銅めっきにより接続される。

3. プレーナインダクタの特性

Table 1 にプレーナインダクタの製品一覧表を、Fig. 2

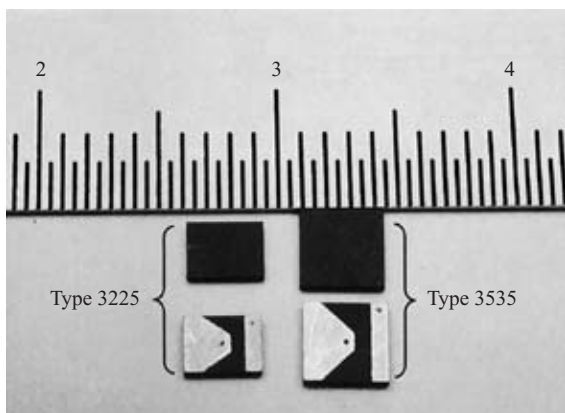
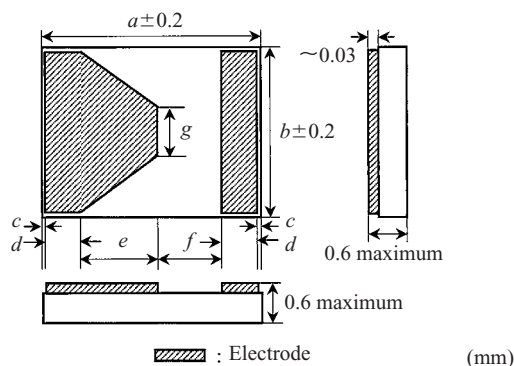


Photo 1 Planar inductor



Part number	a	b	c	d	e	f	g
32RXX60	3.2	2.5	0.05	0.6	1.2	0.7	0.7
35SXX60	3.5	3.5	0.05	0.6	1.4	0.8	0.7

Fig.2 Dimensions of planar inductor

Table 1 Specifications of planar inductors

Type	Part number	Inductance* (μ H)	DC resistance (Ω)	Q factor*	DC current at $\Delta L/L = -20/-30\%$ (mA)	DC current at $\Delta T/T = 40^\circ\text{C}$ (mA)
3225	32R4560	4.5	0.46	21	450/ 620	650
	32R2760	2.7	0.23	23	430/ 600	950
	32R1560	1.5	0.13	18	600/ 830	1 250
	32R1160	1.1	0.09	14	700/ 970	1 550
	32R0560	0.5	0.05	15	900/1 340	2 100
3535	35S4260	4.2	0.22	10	420/ 620	1 000
	35S1060	1.0	0.06	8	700/1 100	1 800

* $I_{ac} = 0.5$ mA, Test frequency = 2 MHz

に外形寸法を示す。製品は外形寸法 3.2×2.5 mm の Type 3225 と、 3.5×3.5 mm の Type 3535 とに大別され、インダクタンス(以下、 L 値)は、MHz 領域のスイッチング周波数に最適化して $0.5 \sim 4.5 \mu\text{H}$ とした。Fig. 3 に周波数特性を示す。周波数 0.1 MHz から 10 MHz まで、ほぼ一定の L 値を持つ。Fig. 4 に周波数 2 MHz における直流重畳特性を示す。重畳した直流電流の増加にともない、 L 値は緩やかに減少する。直流重畳特性は、製品の温度上昇値が 40°C を超えるまで測定した。Fig. 5 に直流電流印加による製品温度の上昇挙動を示す。コイルの直流抵抗値が低い製品ほど温度上昇の勾配は小さい。Table 2 に 32R1560 製品の信頼性評価結果を示す。電流印加による L 値の変動は、いずれも 10% 以内である。

4. 損失シミュレーション

電源の主な構成部品は、半導体素子、インダクタとコンデンサである。電力の変換効率を上げるには、各構成部品の電力損失を減らす必要がある。降圧型 DC-DC コンバータの場合、インダクタ単体の電力損失は、以下に示す(1)~(4)式で算出できる。これらの式を用いて PL_L を計算するのに必要な R_s と L は、測定装置上の制約から I_r を正弦波として(実際は三角波)測定した。また、 R_{dc} は Table 1 の値を用いた。

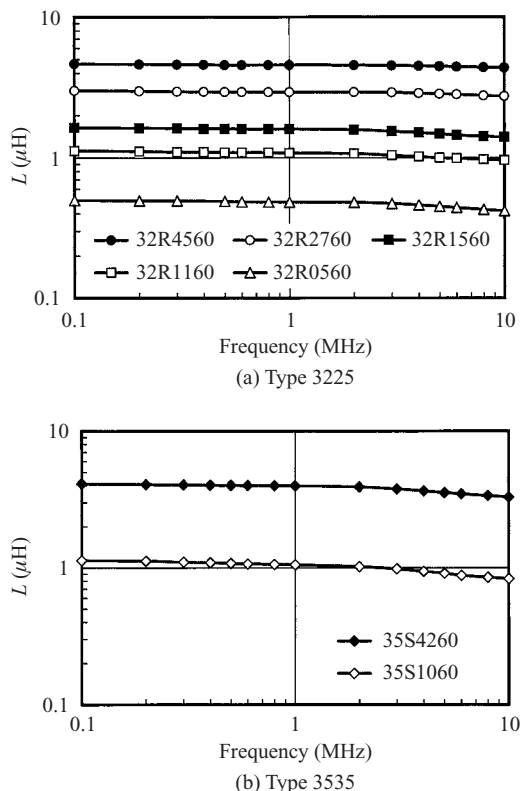


Fig.3 Frequency dependence of inductance

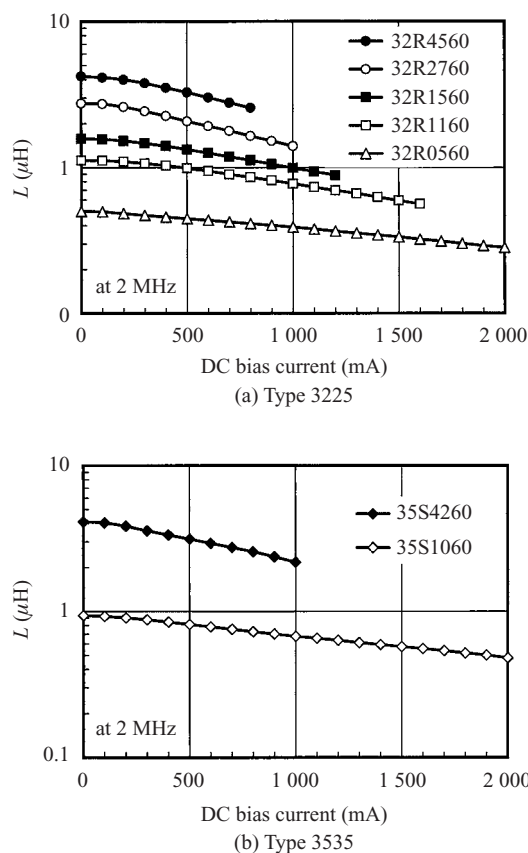


Fig.4 Inductance vs. DC bias current

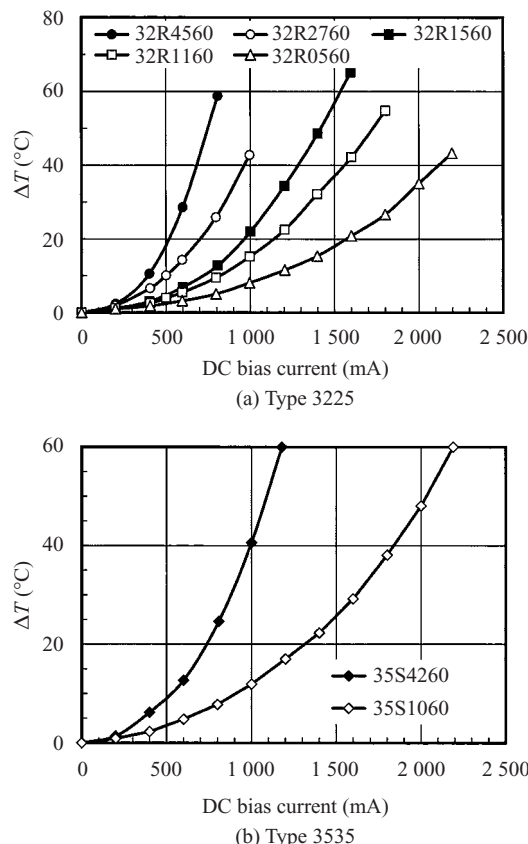


Fig.5 Temperature rise characteristics

Table 2 Reliability test results of 32R1560

Test item	Condition	$\Delta L/L$ (%)
Thermal shock	-40/+125°C, 30 min each 100 cycle	within $\pm 10\%$
High temperature exposure	125°C for 1 000 h	within $\pm 10\%$
Low temperature exposure	-40°C for 1 000 h	within $\pm 10\%$
High temperature exposure with load current	125°C for 1 000 h with $I_{dc} = 350$ mA	within $\pm 10\%$
Humidity exposure with load current	40°C, 90-95%RH for 1 000 h with $I_{dc} = 350$ mA	within $\pm 10\%$
Reflow soldering heat resistance	$\geq 235^\circ\text{C}$ for 40 s and $\geq 250^\circ\text{C}$ for 15 s	within $\pm 10\%$
Solvent resistance	Dip in IPA solvent for 10 min at room temperature	within $\pm 10\%$

$$PL_L = (P_{loss}/P_{in}) \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

$$P_{loss} = I_{out}^2 \cdot R_{dc} + (I_r/\sqrt{3})^2 \cdot R_s \dots\dots\dots (2)$$

$$P_{in} = V_{in} \cdot I_{out} \cdot D \dots\dots\dots (3)$$

$$I_r = (V_{in} - V_{out}) \cdot V_{out} / (2f_s \cdot V_{in} \cdot L) \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 PL_L ：インダクタの電力損失率(%)

P_{loss} ：インダクタの電力損失(W)

P_{in} ：入力電力(W)

R_{dc} ：直流抵抗(Ω)

I_r ：リップル電流(A)

R_s ：交流抵抗(Ω)

V_{in} ：入力電圧(V)

V_{out} ：出力電圧(V)

I_{out} ：出力電流(A)

D ：デューティ比

f_s ：スイッチング周波数(Hz)

L ：インダクタンス(H)

$V_{in} = 3.6$ V, $V_{out} = 1.8$ V, $D = 0.5$ として計算した PL_L と出力電流の関係を Fig. 6 に示す。周波数と常用の出力電流を設定すれば、これらの図から最も PL_L の低いインダクタが選出できる。

5. おわりに

銅スパイラル状コイルを上下のフェライト焼成板で挟み込み、銅コイル間をフェライト粉末と樹脂の混合物磁性材料で充填した超薄型(0.6 mm 厚)のプレーナインダクタを開発した。今後は、さらなる薄型化と小型化を進める予定である。

プレーナインダクタの試作と信頼性評価にご協力いただ

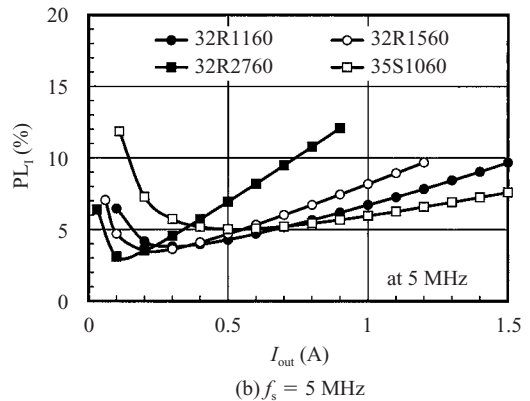
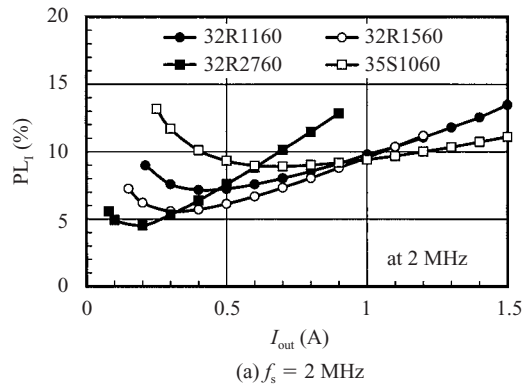


Fig. 6 Calculated power loss of inductors

いた、KOA(株) 安全コイルセンターの方々に謝意を表します。

参考文献

1) Fukuda, Yasutaka. IEEE Trans. Magn. vol. 39, 2003-07, p. 2057-2061.

〈問い合わせ先〉

JFE ミネラル 機能素材営業部

TEL : 03-5288-6849 <http://www.jfe-mineral.co.jp>