

MAGNETICS社製KOOL M μ [®] Eコア

はじめに

Kool M μ [®] 粉末コアは合金鉄粉で作られており、高温においても低損失です。Kool M μ E コアには、スイッチング・レギュレータ・インダクタ、フライバック変圧器、および力率補正 (PFC) インダクタ用に最適な分散された空隙があります。Kool M μ は 10,500 ガウスという飽和レベルであるため、ギャップ付きフェライト製 E コアで得られるものよりも高いエネルギー蓄積能力があり、その結果小さいコアサイズとなっています。Kool M μ E コアはギャップ付きフェライト製 E コアに負けないような価格に設定されており、またその分散された空隙のためフェライトに関連するギャップ損失問題が解消されています。Kool M μ E コアは、鉄粉末 E コアと比較すると、損失が極めて低く、また熱特性が大幅に優れています。

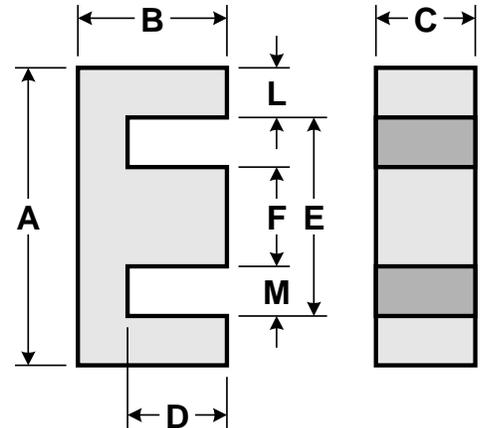


図1

表 1

品番		A	B	C	D (最低)	E (最低)	F	L (公称)	M (最低)
00K1207E (EF 12.6)	インチ (mm)	0.500±.010 (12.7)	0.252±.004 (6.4)	0.140±.006 (3.6)	0.178 (4.4)	0.350 (8.9)	0.140±.005 (3.6)	0.070 (1.8)	0.104 (2.6)
00K1808E (EI-187)	インチ (mm)	0.760±.012 (19.3)	0.319±.007 (8.1)	0.188±.006 (4.8)	0.218 (5.5)	0.548 (13.9)	0.188±.005 (4.8)	0.094 (2.4)	0.183 (4.6)
00K2510E (E-2425)	インチ (mm)	1.000±.015 (25.4)	0.375±.007 (9.5)	0.250±.004 (6.5)	0.245 (6.2)	0.740 (18.8)	0.250±.005 (6.2)	0.125 (3.2)	0.246 (6.3)
00K3007-E (DIN 30/7)	インチ (mm)	1.185±.018 (30.1)	0.591±.009 (15)	0.278±.006 (7.1)	0.376 (9.7)	0.768 (19.5)	0.274±.008 (6.9)	0.201 (5.1)	0.254 (6.5)
00K3515E (EI-375)	インチ (mm)	1.360±.020 (34.5)	0.557±.009 (14.1)	0.368±.007 (9.4)	0.378 (9.6)	0.995 (25.3)	0.367±.008 (9.3)	0.175 (4.4)	0.310 (7.9)
00K4017E (EE 42/11)	インチ (mm)	1.687±.025 (42.8)	0.830±.013 (21.1)	0.424±.010 (10.8)	0.587 (15)	1.195 (30.4)	0.468±.010 (11.9)	0.234 (5.9)	0.365 (9.3)
00K4020E (DIN 42/15)	インチ (mm)	1.687±.025 (42.8)	0.830±.013 (21.1)	0.608±.010 (15.4)	0.587 (15)	1.195 (30.4)	0.468±.010 (11.9)	0.234 (5.9)	0.365 (9.3)
00K4022E (DIN 42/20)	インチ (mm)	1.687±.025 (42.8)	0.830±.013 (21.1)	0.788±.010 (20)	0.587 (15)	1.195 (30.4)	0.468±.010 (11.9)	0.234 (5.6)	0.365 (9.3)
00K4317E (EI-21)	インチ (mm)	1.609±.024 (40.9)	0.650±.011 (16.5)	0.493±.007 (12.5)	0.409 (10.4)	1.115 (28.3)	0.493±.008 (12.5)	0.238 (6)	0.310 (7.9)
00K5528E (DIN 55/21)	インチ (mm)	2.16±.032 (54.9)	1.085±.016 (27.6)	0.812±.015 (20.6)	0.729 (18.5)	1.476 (37.5)	0.660±.015 (16.8)	0.330 (8.4)	0.405 (10.3)
00K5530E (DIN 55/25)	インチ (mm)	2.16±.032 (54.9)	1.085±.016 (27.6)	0.969±.015 (24.6)	0.729 (18.5)	1.476 (37.5)	0.660±.015 (16.8)	0.330 (8.4)	0.405 (10.3)
00K6527E (Metric E65)	インチ (mm)	2.563±.050 (65.1)	1.279±.150 (32.5)	1.063±.016 (27)	0.874 (22.2)	1.740 (44.2)	0.775±.012 (19.7)	0.394 (10)	0.476 (12.1)
00K7228E (F11)	インチ (mm)	2.850±.043 (72.4)	1.100±.020 (27.9)	0.750±.015 (19.1)	.699 (17.8)	2.072 (52.6)	0.750±.015 (19.1)	0.375 (9.5)	0.665 (16.9)
00K8020E (Metric E80)	インチ (mm)	3.150±.047 (80)	1.500±.025 (38.1)	0.780±.015 (19.8)	1.103 (28.1)	2.334 (59.3)	0.780±.015 (19.8)	0.390 (9.9)	0.780 (19.8)

材質および直流バイアス

Kool M μ E コアには 26 μ 、40 μ 、60 μ 、90 μ の4つの透磁率があります。下表に各コアの磁気データを示してあります。スイッチング・レギュレータ・インダクタの材質で最も重要なパラメータは、直流バイアス下においてインダクタンス、つまり透磁性を持つことです。図2に直流バイアスに対応した透磁率の減少を示してあります。Kool M μ の分散された空隙のため、柔らかなインダクタンス対直流バイアスの曲線が生じます。大半の用途において、効率を向上し、広範な動作範囲を可能にするため、このように変動するインダクタンスが望まれます。固定電流の要件と共に、インダクタンス対直流バイアスの柔らかな曲線は過負荷状態にならないようさらに保護します。図2は半対数目盛で高電流における直流バイアス特性を図示してあります。

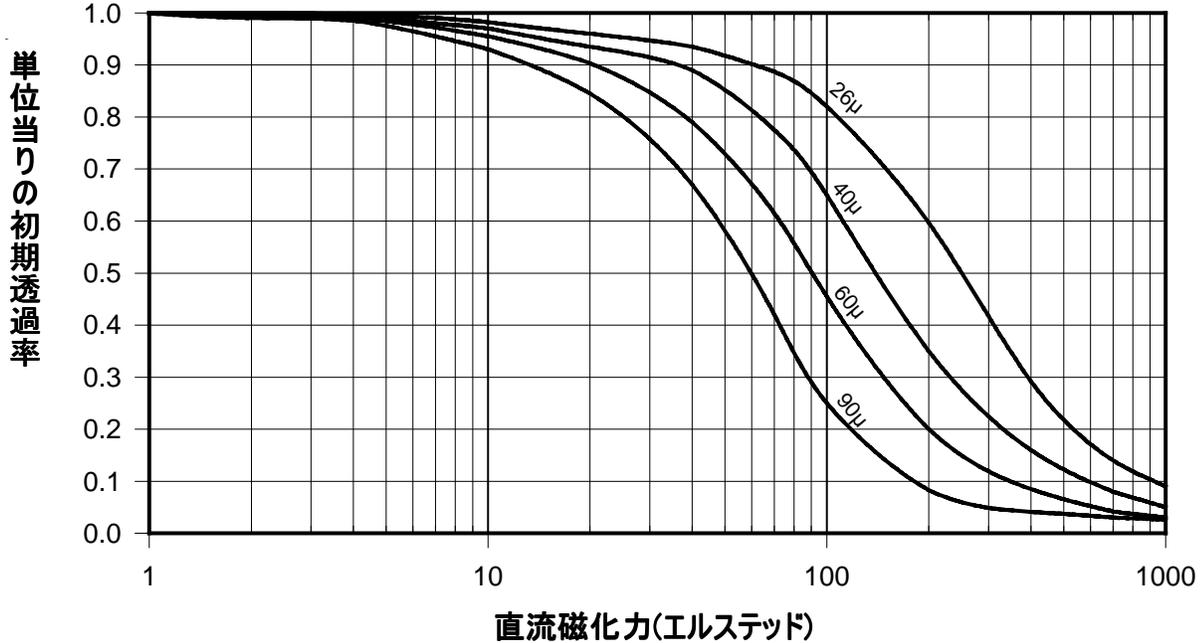


図2

表2

品番	A _L mH/1000 巻数±8%				磁路長 l _e (cm)	断面積 A _e (cm ²)	体積 V _e (cm ³)
	26 μ	40 μ	60 μ	90 μ			
00K1207E***	-	-	-	-	2.96	0.13	0.385
00K1808E***	26	35	48	69	4.01	0.228	0.914
00K2510E***	39	52	70	100	4.85	0.385	1.87
00K3007E***	33	46	71	92	6.56	0.601	3.94
00K3515E***	56	75	102	146	6.94	0.84	5.83
00K4017E***	56	76	105	151	9.84	1.28	12.6
00K4020E***	80	108	150	217	9.84	1.83	18
00K4022E***	104	140	194	281	9.84	2.37	23.3
00K4317E***	88	119	163	234	7.75	1.52	11.8
00K5528E***	116	157	219	なし	12.3	3.5	43.1
00K5530E***	138	187	261	なし	12.3	4.17	51.4
00K6527E***	162	-	-	なし	14.7	5.4	79.4
00K7228E***	130	-	-	なし	13.7	3.68	50.3
00K8020E***	103	145	190	なし	18.5	3.89	72.1

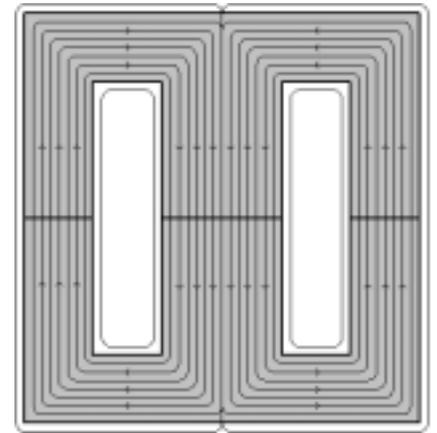
*** 透磁率コードに品番を付け加えます。例、60 μ の場合の完全な品番は 00K1808E060 です。

ギャップ付きフェライトとの比較

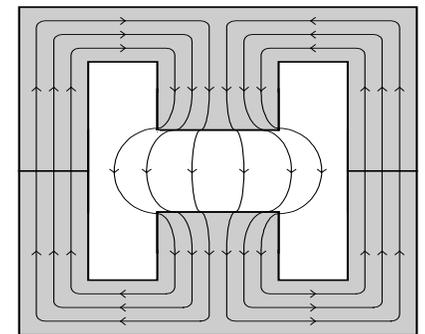
高品位フェライトコアの損失は Kool M μ コアの損失よりも低いですが、フェライトは高電流レベルにおいて飽和を防止するために低有効透過率を必要とすることが多いです。高い初期透過率を持つフェライトは、低い実効透過率を得るためには比較的大きな空隙を必要します。この大きな空隙は、材質の損失曲線を比較する際に見落とされがちな複雑な問題であるギャップ損失を生じます。要するに、ギャップ損失は空隙周囲のフリンジング磁束によって劇的に増加することがあります(図 3)。フリンジング磁束は銅巻線を交差し、電線内に過剰な渦電流を生じさせます。

フェライト磁束容量の 2 倍以上を持つ Kool M μ には、はるかに優れた直流バイアス特性があります(図 4)。これは、一般的な 50%のロールオフにおいて、コアサイズを 35%減少し、Kool M μ のなだらかな飽和を活用するさらに頑丈な設計が可能になります。フェライト磁束容量は熱で減少しますが、Kool M μ は比較的一定状態を維持するため、Kool M μ の磁束容量の差は、高温においてさらに画期的です。

ギャップ付きフェライトコアは Kool M μ E コアに比べいくつかの利点があります。ギャップ付きフェライトのインダクタンス許容差は一般に $\pm 3\%$ ですが、Kool M μ のそれは $\pm 8\%$ です。ギャップ付きフェライトには、はるかに広範囲のサイズと形状があります。フェライト材質はギャップ付きのとき実効透過率がさらに高くなることもあるため、フィード・フォワード変圧器や低バイアス・インダクタなど、比較的低バイアス用途に非常に適しています。



Kool M μ



ギャップ付きフェライト

図 3

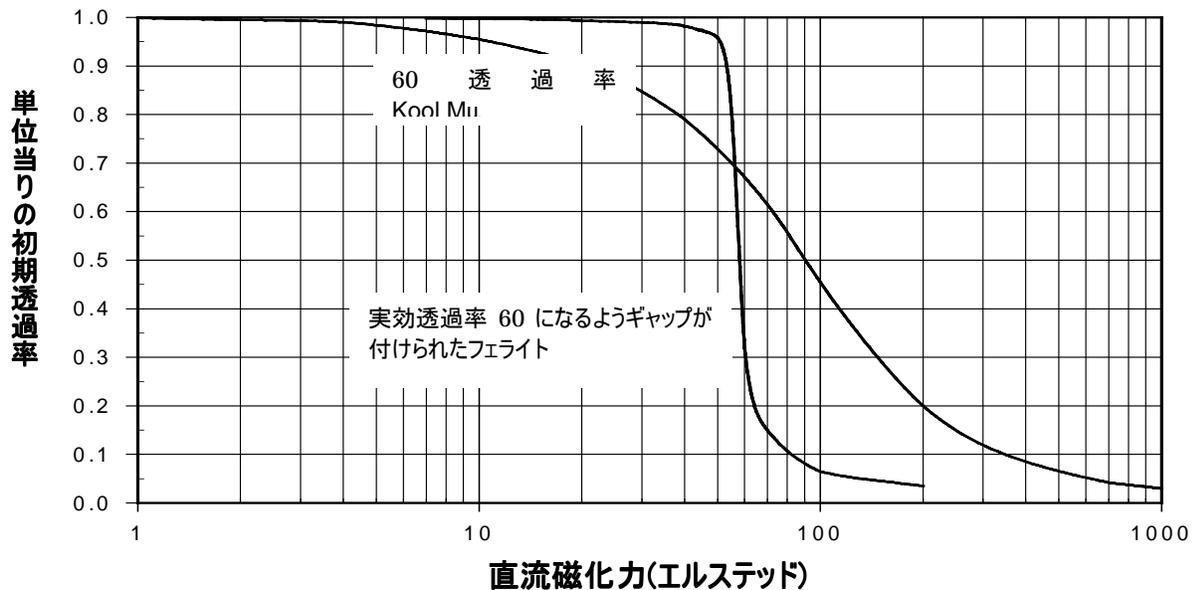


図 4

鉄粉末との比較

Kool M μ の主な利点は、鉄粉末よりもコア損失が低いことです(図5参照)。また、鉄粉末(純鉄組成)と比較した場合、Kool M μ 、(アルミニウム、ケイ素、鉄の組成)は同様の直流バイアス特性を持ちます(図6参照)。直流バイアス耐性の他に、スイッチング・レギュレータ・インダクタは、通常 10~300 kHz において、多少の交流電流を受けます。この交流電流は高周波磁場を生じ、それによりコア損失が生じ、コア加熱の原因となります。Kool M μ ではこの効果が減少するため、インダクタがより効率的になり、さらに低温で動作します。さらに、Kool M μ には磁気歪がほとんど皆無であり、20 Hz~20 kHz の範囲で動作する場合に鉄粉末コア、フェライト、またはケイ素鉄積層と関連する可聴ノイズを消去します。

標準的なコア損失
100 kHz

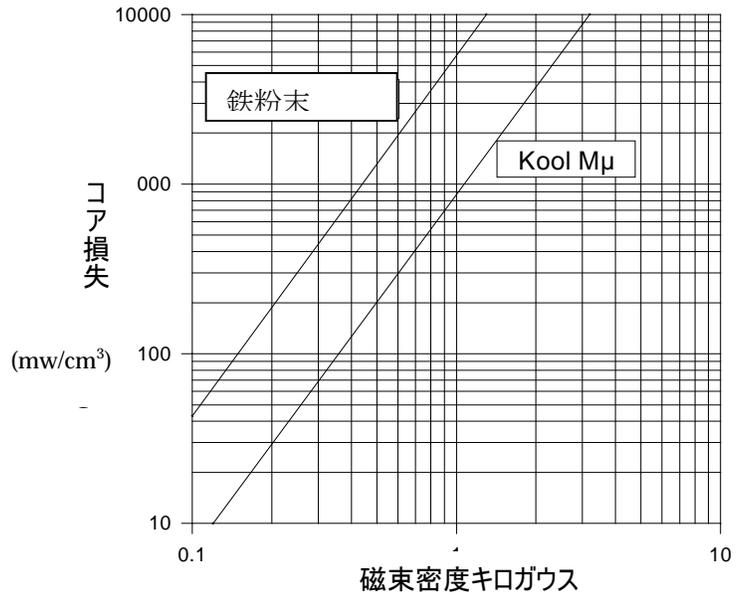


図5

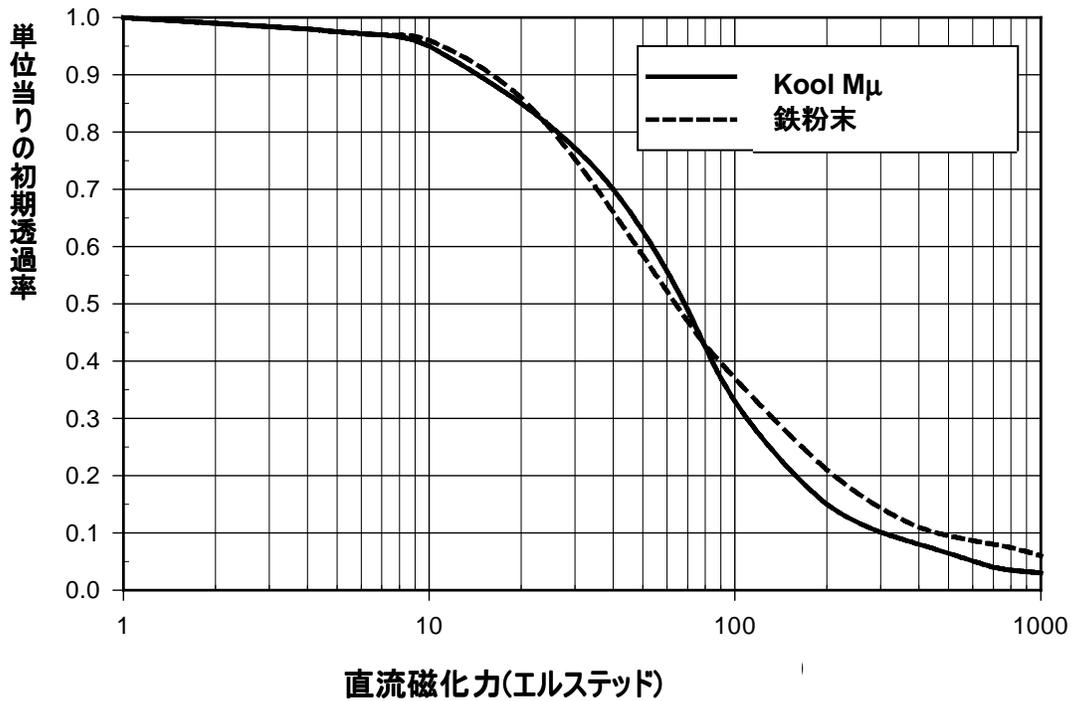


図6

熱に対する性能

キュリー温度約 500 °C および -65 °C ~ +200 °C 間での連続動作について定格されている Kool M μ は熱に対する優れた性能を持っています。鉄粉末とは異なり、Kool M μ は有機結合剤を使用せずに製造されています。したがって、Kool M μ には、粉末鉄コアに関連する熱老化の問題が皆無です。Kool M μ はまた、熱に対し比較的安定したインダクタンスを持っています(図 7)。一部のフェライト材質とは異なり、Kool M μ には熱の上昇に対し損失が増加することがありません。さらに、Kool M μ では、フェライトの直流バイアス処理能力を削減する特性である、高温における飽和磁束密度の大幅な減少は見られません。

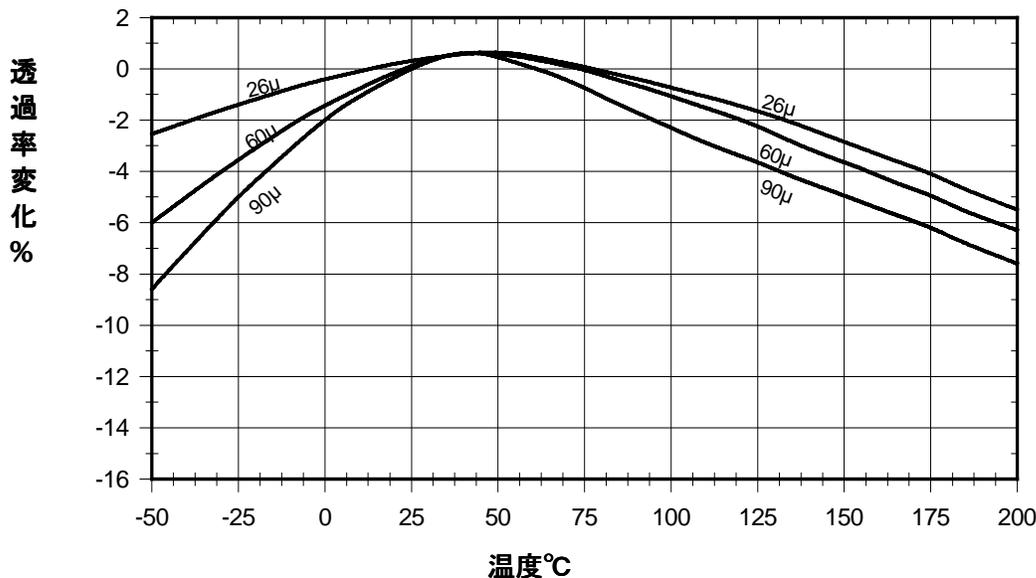


図 7

漏れ磁束

一部の磁場がコア構造内で阻止されないときに、漏れ磁束が発生します。いかなるトランスフォーマやインダクタであっても若干の漏れが生じますが、低透過率材質の方が高透過率材質よりも多くの漏れ磁束が生じます。高透過率フェライトは普通、飽和防止のため空隙が付いています。単一の空隙が一般的に使用されています。したがって、この構造における漏れ磁束はその単一の空隙周囲で集中します。Kool M μ のような低透過率材質は分散した空隙を持つため、漏れ磁束がコア構造周囲で分散されま

す。漏れ磁束は磁気コアの実効面積を増加し、実効磁路長を減少します。その結果、低透過率コアのインダクタンス測定値はインダクタンス計算値よりも必ず高くなります(以下の等式を参照)。

$$L = .4 \pi \mu N^2 A_e 10^{-8} / l_e$$

この場合、 L = インダクタンス(単位ヘンリー)

μ = コアの低透過率

N = 巻数

A_e = 実効断面積(cm²)

l_e = コア磁路長(cm)

コア寸法も漏れ磁束に影響します。E コアの場合、巻線長の短いコアよりも、巻線長の長いコアほど漏れが少ないです。また、巻線構造の小さいコアよりも、巻線構造の大きいコアの方が、漏れが大きいです。

外部漏れ磁界

コア形状は外部漏れ磁界に影響します。コアの大半が巻線を取り囲む E コアの形状は、巻線がコアを取り囲むトロイダル型よりも外部漏れ磁界が大きいです。Kool M μ E コアを使用する際は、E コアの形状の外部漏れ磁界に配慮する必要があります。金属製ブラケットに漏れ磁束が集中し、全損失が増加するため、金属製ブラケットを使用して Kool M μ E コアを組み立ててはなりません。回路基板の設計時には漏れ磁界に配慮する必要があります。ギャップ付きフェライトから離すのと同様に、漂遊磁界に影響され易い部品は Kool M μ E コアから離してください。この件に関する詳細は、『Leakage Flux Considerations on Kool M μ E Cores (Kool M μ E コアに関する漏れ磁束の考慮点)』と題する白書について Magnetics 社 Applications Engineering (応用工学)グループにご連絡ください。

ハードウェア

Kool M μ E コアの大半のサイズについてハードウェアがご利用いただけます(表 3 参照)。プレーン、ピンなし、またはポピンなども大半のサイズでご利用いただけます。詳細は『Magnetics Powder Core Design Manual (Magnetics 社粉末コア設計説明書)』の 5.5 ページをご覧ください。コアは多くのメーカーから入手可能な標準ポピンにフィットする業界標準サイズです。コアは合わせ面を接合しその接合したコアの周囲をテープで巻いて組み立てられます。

表 3

コア番号	ポピン番号	ピン数	巻線断面積 (in ²)	巻線断面積 (cm ²)	1 巻き毎の 長さ(ft)	1 巻き毎の 長さ(cm)
00K1808E (EI-187)	PCB180881	8	0.049	0.316	0.133	4.05
00K2510E (E-2425)	PCB2510T1	10	0.063	0.406	0.178	5.42
00K3007E (DIN 30/7)	PCB3007T1	10	0.129	0.833	0.180	5.48
00K3515E (EI-375)	PCB3515L1	12	0.147	0.948	0.241	7.34
00K4020E (DIN 42/15)	PCB4020L1	12	0.300	1.94	0.300	9.14
00K4022E (DIN 42/20)	PCB4022L1	12	0.300	1.94	0.335	10.21
00K4317E (EI-21)	PCB4317L1	12	0.156	1.01	0.281	8.56
00K5528E (DIN 55/21)	PCB5528WA	20	0.468	3.02	0.352	10.73
00K5530E (DIN 55/25)	PCB5530FA	14	0.448	2.89	0.439	13.38
00K7228E (F11)	00B722801	-	0.632	4.08	0.49	14.94
00K8020E (Metric E80)	00B802001	-	1.25	8.06	0.542	16.52

拡張

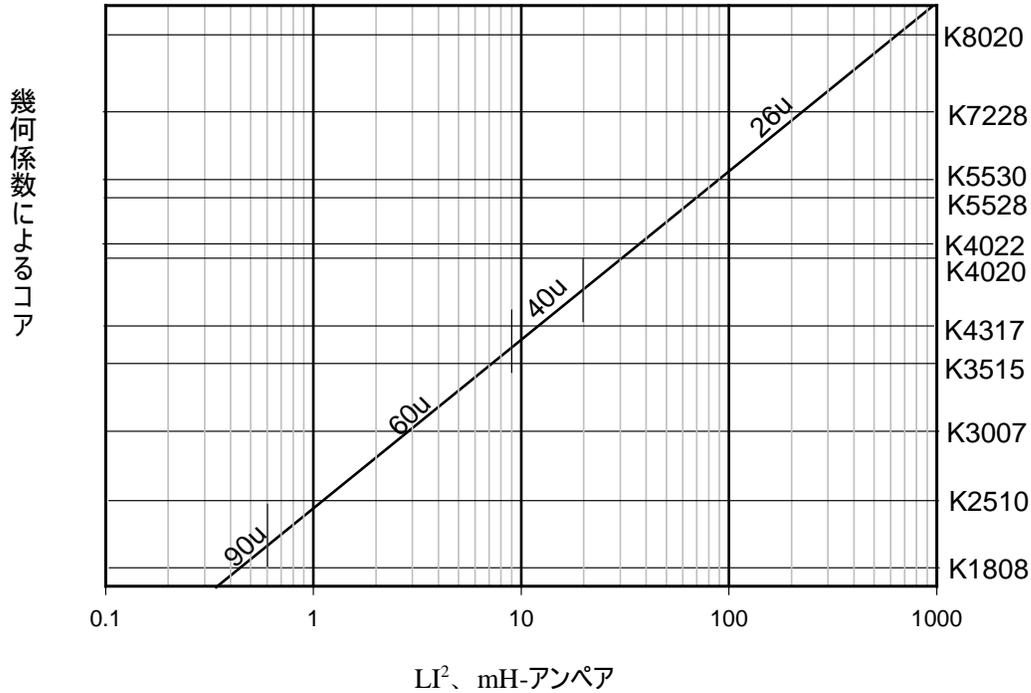
Kool M μ E コアサイズ範囲の拡張が将来期待できます。適用可能な場合、コアと共にハードウェアが販売されます。さらに、U 型コアおよびブロックも販売されます(現在一部のサイズが販売されています)。将来の製品発表については、Magnetics 社 Applications Engineering 部にご連絡いただくか、弊社ホームページをご覧ください。

コア選択手順

設計用に知っていなければならないパラメータは、直流バイアスで必要なインダクタンスと、直流電流の 2 つだけです。コアサイズと巻数を決定するには次の手順をご利用ください。

1. LI^2 の積を計算します。この場合、
 $L =$ 直流バイアスで必要なインダクタンス(mH)
 $I =$ 直流電流(アンペア)
2. コア選択表(8 ページ)で LI^2 の値を探します。その座標をたどり、対角線になった透過率線上の最初のコアサイズと交わる線を見つけます(小さいコアサイズは下に、大きいコアサイズは上にあります)。これは使用可能な最小コアサイズです。
3. 透過率線は標準的に利用可能なコア透過率に分かれています。示されている透過率を選択すると、使用可能な最小コアが分かります。これよりも低いまたは高い透過率を使用できますが、結果としてコアサイズは大きくなります。
4. これで、インダクタンス、コアサイズ、および透過率が判明しました。次の手順を使用して、巻数を計算します。
 - a) コアの公称インダクタンス(mH での $A_L / 1000$ 巻数)はコアデータシートから得られます。最悪の負の許容差(-8%)を用いて最低公称インダクタンスを判定します。この情報を基に、次の式を使用して必要なインダクタンス(mH)を得るのに必要な巻数を計算します。 $N = (L \times 10^6 / A_L)^{1/2}$
 - b) 次の式から単位エルステッドでバイアスを計算します。 $H = 0.4\pi NI / l_c$ (cm での l_c で)
 - c) 透過率対直流バイアス曲線から、すでに計算済みのバイアスレベルについて初期透過率(mpu)の単位当たりロールオフを判定します。
 - d) (ステップ 4a からの)初期巻数を初期透過率(mpu)の単位当たりの値で割り算して、巻数を増加します。これによって、必要な値に近いインダクタンスが得られます。特定のインダクタンスが必要な場合は、巻数を最終的に調整する必要があります。
5. 線表を使用して正しい線サイズを選択します。100%未満のデューティサイクルではより小さな線サイズとより低い巻線係数が可能ですが、より小さなコアサイズは使用できません。
6. 選択したコアは、特定の直流電流でバイアスする際に必要なコアと等しいか、またはそれを超えるインダクタンスを持ちます。結果としての巻線係数は 50~80%の範囲です。

コア選択表



上表では、直流バイアス適用についての最適な透過率および最小コアサイズを簡単に見つけられます。この表は、直流バイアスを持つ 20%以内の透過率減少、ボビンの 50~80%の標準的な巻線係数、および直流電流と比較した小さな交流電流を基にしています。この表は、特定コアサイズおよび透過率の最低インダクタンス許容差を基にしています。

フライバック・インダクタなどのように、直流電流と比較して大きな交流電流と使用するコアを選択する場合、上表で示されているものより 1 サイズ大きいコアをお選びください。コア損失を生じる交流電流の動作磁束密度を減少するのに役立ちます。

MAGNETICS
P.O. Box 11422
Pittsburgh, PA 15238
ファクス: 412-696-0333
電話: 412-696-1300
1-800-245-3984
ホームページ: www.mag-inc.com
電子メール: magnetics@spang.com

©2005 Magnetics
All Rights Reserved
KMC-E1 Rev 7