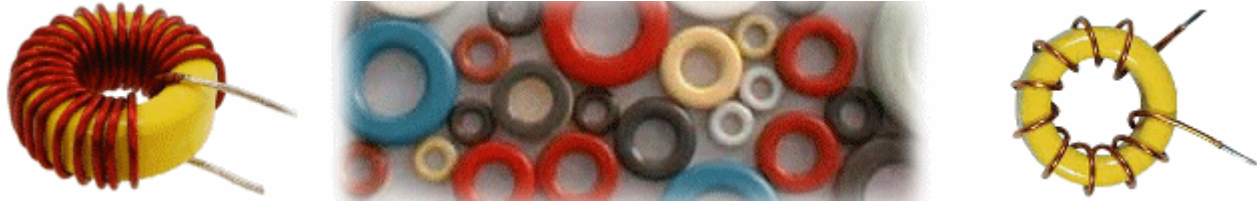


Die praktische Seite der Ringkernspulen

Anstoß für diese Dokumentensammlung zum obigen Thema, war ein Artikel von Doug DeMaw, W1FB, aus der "QST" vom Juni 1979. ▶ *Practical Side of Toroids, The (DeMaw):29, June 1979*

Ringkernspulen und ihr praktischer Gebrauch, Verwendungszwecke, Dimensionen, Windungszahl und Hinweise zur Anfertigung.



Oft gestellte Fragen zu diesem Thema sind:

Welchen Kern benutzt man, wie viele Windungen muss man aufwickeln? Wie bewickelt man einen Ringkern? Was heißt bifilar, trifilar und was quadrifilar? Und weitere Fragen.

Hier sind einige Antworten für den Anfänger und den Fortgeschrittenen über die hohe Kunst der Benutzung von Ringkernen und deren Wicklungstechnik.

Warum benutzen wir Ringkernspulen [Toroide]?

Ringkerne aus Ferritmaterialien werden in Schaltungen der Hochfrequenz- und Nachrichtentechnik als Impulsübertrager, Breitband- und Anpassungsübertrager, Drossel oder HF-Spule verwendet. Aufgrund des geschlossenen Magnetkreises wird die mit dem jeweiligen Ferritmaterial maximal erzielbare Permeabilität wirksam. Magnetische Streuungen können vernachlässigt werden.

Beim ersten Gebrauch von Ringkernspulen stellt sich unwillkürlich die Frage. Warum solche Spulen benutzt werden und worin liegt der Vorteil gegenüber den herkömmlichen Spulen. Mit Ringkernen erreicht man eine hohe Güte (Q), sie sind selbstabschirmend und benötigen wenig Platz. Die einfachste Erklärung lautet meist – *‘Ich benutze sie, weil sie praktisch sind’*. Und das stimmt, sie sind praktisch, die fertige Spule sieht gut aus, und sie arbeitet auch zufriedenstellend.

Aber wir wollen die herausragenden Merkmale von Ringkernen etwas genauer untersuchen. Die **Güte** einer Ringkernspule, welche auf ein zur Arbeitsfrequenz passendes Kernmaterial gewickelt wurde, ist hoch. Dieser Umstand begründet sich darin, dass man für eine gegebene Induktivität weniger Windungen benötigt als bei einer Luftspule gleicher Induktivität. Dadurch ist der Drahtwiderstand der Ringkernspule geringer.

Eine besondere Ausnahme bilden allerdings Luftspulen mit großen Abmessungen aus dickem Draht oder Rohrmaterial. Solche Spulen werden aber kaum für kleine Geräte mit geringer Leistung benutzt, oder wer kann sich ein 160m Portabelgerät mit einem Tankkreis von 30 bis 40 cm Länge, einem Durchmesser von ebenfalls 30 cm und mit dickem Draht bewickelt vorstellen? Die Abmessungen bei einer Ringkernspule für den gleichen Bereich sind nur ca. 50 mm im Durchmesser groß.

Der Grund, dass weniger Windungen bei der Benutzung von Ringkernen benötigt werden, liegt darin, dass das Kernmaterial aus einer magnetischen Substanz besteht. Diese Tatsache bewirkt ein Ansteigen der Spuleninduktivität im Verhältnis zur Permeabilität des Kerns. Je höher die effektive Permeabilität, desto größer wird die Induktivität bei einer bestimmten Anzahl von Windungen, vorausgesetzt, das Kernmaterial ist für den gewählten Frequenzbereich benutzbar.

Die geringere Anzahl von Windungen ergibt eine Abnahme der Verluste, dadurch ein Ansteigen der Güte Q der Spule. $Q = 2 \pi I UR$ oder $Q = XL / R$ [mit f in Hertz, L in Henry, R und X in Ω]. In vielen Fällen kann bei Spulen, die gleichzeitig von einem Gleichstrom durchflossen werden, beim Einsatz von Ringkernen, der Wirkwiderstand verringert werden, wegen der geringeren Windungszahl. Wenn von einer Stromquelle ein beträchtlicher Gleichstrom durch eine Spule oder durch eine Wicklung eines

Transformators zu einer Röhre oder einem Transistor fließt, ist eine geringere Windungszahl von Vorteil. Das bedeutet, dass die Spannungsverluste durch einen kleineren Längswiderstand viel geringer sind als bei einer großen Windungszahl. Ebenso wird die Erwärmung der Spule verringert.

Wir wollen über die Tatsache der **Selbstabschirmung** von Ringkernen nachdenken. Das magnetische Feld einer Ringkernspule ist in sich selbst konzentriert. Eine magnetische Kopplung zwischen einzelnen Spulen oder anderen Teilen der Schaltung findet nicht statt, wenn Ringkernspulen benutzt werden. Durch diese Tatsache kann eine Schaltung wesentlich einfacher aufgebaut werden.

Metallbecher oder Schirmbleche sind nicht nötig, um eine gute Abschirmung zwischen den einzelnen Stufen einer Schaltung zu erreichen.

Ungewollte Kopplungen zwischen Ringkernspulen oder zwischen einer Ringkernspule und anderen Bauteilen einer Schaltung können, wenn überhaupt,



nur durch kapazitive Kopplung entstehen. Diese Tatsache kann auftreten, wenn die einzelnen Ringkernspulen zu eng zusammen aufgebaut werden oder eine Ringkernspule räumlich sehr eng mit anderen Bauteilen der Schaltung zusammengebaut wird. Daher ist es sehr ratsam, für den genügenden Abstand aller kritischen Bauteile der Schaltung auf einer gedruckten Schaltung zu sorgen, besonders dann, wenn man ohne eine Abschirmung arbeiten will.

Welcher Kern ist zu benutzen?

Für jeden Selbstbauer ist die richtige Wahl des **Kernmaterials** für Ringkerne oder für jede Spule, die mit magnetischem Kernmaterial aufgebaut ist, von größter Wichtigkeit. Wir können wählen zwischen HF-Eisenpulverkernen und Ferritkernen. Als eine Faustregel gilt, dass HF-Eisenpulverkern mehr Leistung verarbeiten können, ohne in die Sättigung zu kommen oder zerstört zu werden, als Ferritkerne gleicher Größe. Dazu kommt noch, dass Ferritkerne bei Überlastung ihre magnetischen Werte für dauernd verändern. Wenn die Überlastung zu groß wird, zerbrechen sie in viele Teile. HF-Eisenpulverkern hingegen erhitzen bei Überlastung, behalten aber nach dem Abkühlen ihre magnetischen Werte.

Da fragt man sich natürlich, warum trotz dieser vorgenannten Nachteile Ferritmaterial benutzt wird. Nun, besonders bei niedrigeren Frequenzen muss man bei HF-Eisenpulverkernen wesentlich mehr Windungen auf den Kern aufbringen, um eine bestimmte Induktivität zu erhalten. Man muss mit dünnerem Draht wickeln. Dadurch steigen die Verluste, durch den größeren Drahtwiderstand an. Und die Güte der Spule nimmt ab.

Es ist ein Unterschied, ob man z. B. auf eine Spule für eine Induktivität von 52 pH bei einem Ferrit-Ringkern FT-50-61, 28 Windungen oder bei einem HF-Eisenringkern FT-50-1, 67 Windungen aufbringen muss. Beim Ferritringkern kann man dafür einen Draht von ca. 0,6 mm Durchmesser, beim HF-Eisenringkern dagegen von nur 0,25 mm Durchmesser benutzen. Man muss nicht nur mehr Windungen mit dünnerem Draht aufbringen, hat daher auch mehr Bewicklungsarbeit, der dünnere Draht hat auch mehr *Wirkwiderstand*. Man handelt sich also obendrein noch eine geringere Güte Q ein.

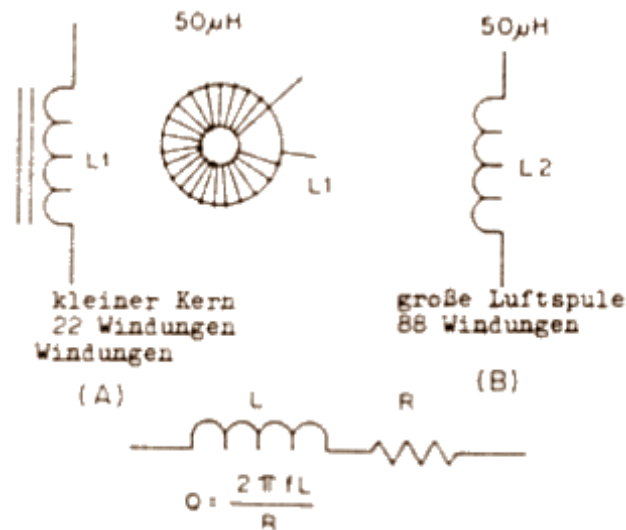


Abb. 1: Ringkern-Spule in schematischer und bildlicher Darstellung

A: Die beiden vertikalen Striche bei L1 deuten auf das magnetische Kern-Material hin.

B: Zum Vergleich ist rechts eine Luftspule dargestellt.

Man erkennt, dass für die gleiche Induktivität bei der Luftspule mehr Windungen nötig sind. Unten ist der Serienwiderstand R und die Gleichung für Q angeführt.

Breitband- kontra Schmalbandinduktivitäten

Ringkerne werden heutzutage in zunehmendem Maße für Breitbandtransformatoren und abgestimmte Schmalband Schwingkreise benutzt. HF-Eisenpulver- oder Ferrit-Kernmaterial kann für beide Anwendungsfälle eingesetzt werden, doch Ferrit-Kernmaterial wird für Breitbandanwendungen bevorzugt. Dies hat seinen Grund in der höheren Permeabilität von Ferrit.

Für Breitband-Transformatoren, wie wir sie heutzutage in Transistor-Endstufen benutzen, ist die größere Permeabilität von Ferrit-Kernmaterial gerade beim unteren Ende des benutzten Frequenzbereiches notwendig. Wenn wir die Betriebsfrequenz erhöhen, tendiert das Ferrit-Kernmaterial dazu, in seiner Permeabilität abzuflachen, man kann auch sagen, es "verschwindet", soweit es die Spule oder den Breitband-Transformator betrifft. Es gibt eine Grundregel, die man beim Aufbau von Breitband-Transformatoren befolgen sollte.

Der induktive Widerstand der Wicklungen muss einen viermal größeren Wert haben als die jeweils angeschlossene Impedanz.

Ein Beispiel:

Ein Breitband-Transformator wird zwischen dem 50 Ω Ausgang einer Vorstufe und dem Eingang einer Transistor-Endstufe mit 100 Ω Basisimpedanz benötigt. Die kleinere Wicklung muss demnach einen induktiven Widerstand von 400 und die größere Wicklung von 200 Ω haben. Daher benötigen wir bei einer unteren Grenzfrequenz von 3,5 MHz für die [kleinere] Sekundärwicklung eine Induktivität von 1,8 pH und für die [größere] Primärwicklung eine Induktivität von 9 pH. Wir rechnen dabei nach der Formel $L = X_L / 2 \pi f$ [f in MHz].

Die gleiche Grundregel gilt für Breitband-Drosselspulen. Auch hier ein Beispiel:

Angenommen, wir benötigen für die Spannungsversorgung mit 12 Volt, für den Kollektor einer Transistorendstufe eine Breitband-Drosselspule. Die Kollektorimpedanz sei 58 Ω . Demnach muss unsere Drosselspule einen induktiven Widerstand X_L von $4 \times 58 = 232 \Omega$ haben. Nach der oben angegebenen Formel errechnen wir wieder bei 3,5 MHz eine Induktivität von 10,55 pH für unsere Breitband-Drosselspule.

Das Ergebnis dieser Grundregel besagt, wenn wir X_L zu niedrig ansetzen, verlieren wir Leistung durch die Spulen- bzw. Transformatorwindungen. Ebenso kann eine zu niedrige Induktivität der Drosselspule als Parallelwiderstand zur Ausgangsimpedanz wirken.

Normalerweise werden in [abgestimmte] Schmalbandkreisen oberhalb 1,5 MHz HF-Eisenpulver-Ringkerne benutzt, wenn auch einige Ferrite unterhalb 25 MHz noch brauchbar sind. Die HF-Eisenpulverkerne können jedoch wesentlich mehr Leistung bei gegebener Größe vertragen, ohne in die Sättigung zu gelangen. Hohe Gütewerte sind bis in den VHF-Bereich mit solchen Kernsorten möglich.

Ein allgemeines Problem ist der Gebrauch von Ferrit- oder HF-Eisenpulverringkernen in Schaltungen, in welcher sie mit einer hohen Leistung von 100 Watt oder mehr arbeiten. Wenn die Schaltung eine relativ hohe Impedanz hat, treten auch sehr hohe HF-Spannungswerte auf, besonders in Schmalbandkreisen. Es treten dann sehr oft Überschläge zwischen der Wicklung und dem Kern oder zwischen den Windungen auf dem Kern auf. Die beste Vorsorge in solchen Fällen ist die Bewicklung des Ringkerns mit einem hochisolierenden Band mit sehr gut dielektrischen Werten, bevor die eigentliche Spule auf den Ringkern gewickelt wird.

Eine zusätzliche Sicherheit bringt die Benutzung von Teflon isoliertem Draht. Normaler Kupferlackdraht ist für Spulen, bei denen hohe HF-Spannungen auftreten können, normalerweise nicht geeignet. Man sollte auch darauf achten, dass solche Spulen nicht zu eng mit anderen Bauteilen in der Schaltung zusammengebaut werden und genügenden Abstand lassen. Ein großzügiger Überzug mit einem geeigneten Schutzlack schützt die aufgewickelte Spule und verhindert ungewollte Bewegungen auf dem Kern.

Welche Kerngröße muss ich wählen?

Da gibt es keine einfache Anleitung oder eine Tabelle für den Anfänger, aus der man sicher entnehmen kann, wie man die für seinen Zweck richtige **Kerngröße** bestimmen kann, zum Beispiel Kerngröße im Verhältnis zur Leistung.

Als eine Faustregel kann da folgendes gelten:

Benutze den größten Kern, den die Berechnung zulässt. Diese Aussage ist berechtigt, denn je größer der Kern ist, umso größer kann seine Belastung sein. Die Wahl der Größe ist abhängig von der maximal erlaubten Fluxdichte (B) des Kernmaterials oder B_{ma} , geteilt durch die Arbeitsfluxdichte B_{op} . In manchen Veröffentlichungen ist B_{max} auch als B_{sa} , angegeben, dies ist die Fluxdichte, bei welcher der Kern gesättigt ist. B_{op} in einem gegebenen Schaltkreis, in welchem ein Ringkern oder ein anderer magnetischer Kern gebraucht wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Darunter sind die benutzte Spannung V_{rms} der Querschnitt A_c des magnetischen Weges in cm^2 , die Anzahl der Windungen auf dem Kern N und die Arbeitsfrequenz f . Die Formel zur Berechnung von B_{op} ist:

$$B_{op} = \frac{V_{rms} \cdot 10^8}{4,44 \cdot f \cdot N \cdot A_c}$$

Und wenn gleichzeitig ein Gleichstrom durch die Wicklung der Spule fließt, lautet die Formel folgendermaßen:

$$B_{op (total)} = \frac{V_{rms} \cdot 10^8}{4,44 \cdot f \cdot N \cdot A_c} + \frac{N \cdot |I_{gl}| \cdot A_L}{10 \cdot A_c}$$

wobei:

I_{gl} Gleichstrom durch die Wicklung der Spule

A_L Induktanz-Faktor f in Hz

B_{op} in Gauß A_c in cm^2

Die Werte von A_C und A_L können dabei aus den Unterlagen des Herstellers für den betreffenden Kern entnommen werden. Die Werte der einzelnen Daten sind für den Amateur, welcher einen Ringkern für eine gegebene Schaltung wickelt, sehr wichtig. Wenn die Berechnung stimmt, kennt man die Flußdichte in Gauß. Dann kann man den richtigen Kern in Übereinstimmung mit den Herstellerdaten aus den Unterlagen nach B_{max} bzw. B_{sat} aussuchen. Diese Werte sind jeweils für den Kerntyp und die Kerngröße angegeben.

Auf jeden Fall ist der Wert für B_{sa} , etwas größer zu wählen als B_{op} , um eine zu schnelle Sättigung oder gar Zerstörung des Kerns zu vermeiden.

Wir ersehen aus der Formel, dass der wichtigste Wert V_{rms} ist. Je größer die HF-Spannung ist, umso größer ist auch B_{op} . Das ist ein Grund dafür, dass Probleme auftreten, wenn Ringkerne in einem Hochleistungskreis mit großer Impedanz benutzt werden. Daher raten manche Schaltungsentwickler davon ab, Ringkerne in Spulen oder Transformatoren mit einer Impedanz, die höher als 600Ω ist, zu benutzen. Dies gilt ganz besonders für Kreise mit großer Leistung und bei Breitband-Transformatoren. Ein untersuchter Ringkern mit 15 cm Durchmesser war in der Lage, 20 kW Leistung in einem niederohmigen Balun zu verarbeiten. In einer Schaltung mit hoher Impedanz, großes V_{rms} , wurde dieser Kern schon bei einer Leistung von 300 Watt bei 14 MHz zerstört.

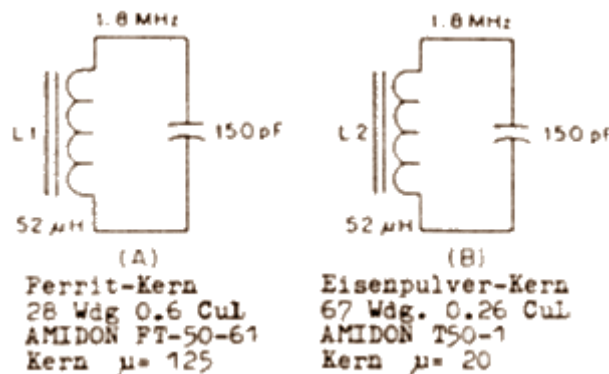


Abb. 2: Vergleich zwischen einem Ferrit-Kern hoher Permeabilität und einem Eisenpulver-Kern niedriger Permeabilität für die gleiche Induktivität. Für den Kern mit hoher Permeabilität werden mehr Windungen benötigt.

Wicklungshinweise für Ringkernspulen

Wir erhalten eine große Anzahl von Nachfragen, wie Ringkerne bewickelt werden müssen. Viele haben Schwierigkeiten bei der richtigen Definition der Begriffe "bifilar, trifilar oder quadrifilar gewickelt". Andere wiederum wissen nicht, wie die Wicklung auf dem Ringkern verteilt werden muss, wie eine Anzapfung einer Wicklung zu machen ist oder wie eine Koppelwicklung aufgebracht wird. Das sind ganz normale Fragen.

Eine "bifilare" Wicklung ist eine Wicklung, die aus zwei gleich langen Drähten besteht. Diese beiden Drähte werden zusammen auf den Ringkern gleichzeitig aufgewickelt. Das ergibt dann für beide Drähte die gleiche Anzahl von Windungen. Die beiden Drähte können Draht neben Draht auf den Kern aufgebracht werden wie eine normale eindrahtige Spule. Eine einfachere und populärere Methode ist das Verdrillen der beiden Drähte vor dem Bewickeln der Spule.

Dabei sollte das "Verdrillen" ca. 1 bis $1\frac{1}{2}$ "Schläge" pro 3 mm betragen.

Das Verdrillen geschieht am besten mit einer einfachen Handbohrmaschine. Die eine Seite der beiden Drähte wird an einem Stück dickeren Draht festgelötet, welches in den Schraubstock eingespannt wird. Das andere Ende der beiden Drähte wird ebenfalls an einem dickeren Draht festgelötet und in die Bohrmaschine eingespannt. Sind die beiden Einzeldrähte nicht zu dünn, so kann man sie auch direkt in die Bohrmaschine einspannen. Beim Verdrillen muss die Bohrmaschine so gehalten werden, dass der Draht etwas gespannt ist und die "Schläge" gleich sind.

Eine "trifilare" Wicklung besteht aus drei gleichlangen Drähten und eine "quadrifilare" Wicklung aus vier Drähten. Die Vorbereitung und die Wicklung ist genauso wie vorher besprochen.

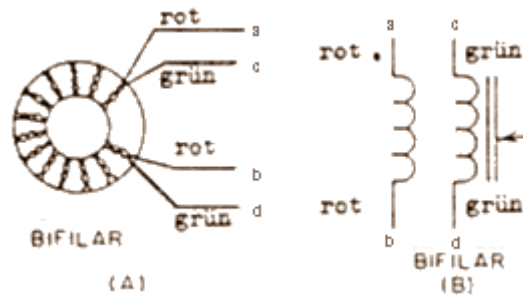


Abb. 3: Schematische und bildliche Darstellung eines bifilar gewickelten Ringkern-Transformators.

In Abb. 3 ist ein bifilar gewickelter Ringkern in Schaltung und Ansicht gezeigt. Es ist hilfreich, aber nicht unbedingt notwendig, farblich unterschiedliche Drähte für die Herstellung von multifilaren Windungen zu benutzen. Je mehr Einzeldrähte benutzt werden, umso schwieriger ist es, die zusammengehörenden Enden der Drähte nach dem Bewickeln des Ringkerns herauszufinden. Für solche Zwecke gibt es zwar verschiedenfarbige Drähte, aber wer hat sie als Amateur schon zur Hand, und welcher Fachhändler hat sie in kleinen Mengen auf Lager? Aber auch da gibt es Hilfe. Man kann sich für diese Zwecke seinen "vielfarbigen" Draht auch selbst herstellen. Dazu werden entsprechende Drahtstücke ausgespannt, gereinigt und fettfrei gemacht und dann mit Sprühdosenfarbe besprüht. Normaler Auto-Sprühlack eignet sich weniger zu diesem Einfärben der Drähte, da er meist spröde wird und beim Bewickeln bricht und vom Draht abspringt. Im Originalartikel von W1FB wird "ordinary aerosolcan spray enamel", also ein Emailfarbspray, benutzt.

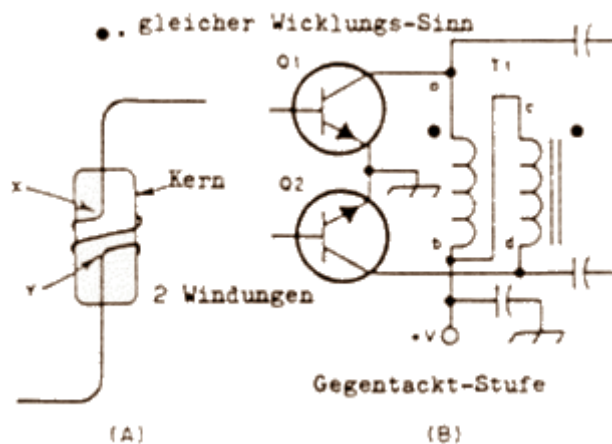


Abb. 4: A) Zählweise der Windungen eines Ringkerns.

B) Die schwarzen Punkte zeigen die Polarität der Windungen an.

In den meisten Schaltungen ist die Polarität der Windungen ausschlaggebend. Abb. 4B zeigt das Prinzip. Die Punkte am Anfang der Windungen von T 1 zeigen die Polarität/Wicklungssinn an. Die Phasenlage ist dort gleich, wo die Punkte in der Schaltung eingezeichnet sind.

Bei dem Beispiel in Abb. 4B sind die Windungspunkte a und d um 180 Grad phasenverschoben, um für die Transistoren Q 1 und Q 2 Gegentaktbedingungen herzustellen. Würde man stattdessen die beiden Windungspunkte a und c benutzen, dann würden die beiden Transistoren im Eintakt arbeiten, da die Phase an diesen Punkten gleich ist.

Jede Ringkernspule hat eine bestimmte **Eigenresonanz**. Dieser Effekt kommt durch die Windungskapazität zustande. Die Windungskapazität entsteht durch die Kapazitäten der Windungen untereinander, da ja jede Windung meist eng neben der anderen liegt. Ein mittelgroßer Ringkern mit 1000 Windungen hat z.B. ca. 80 pF Streukapazität, wenn die Enden der Wicklung eng beieinander sind, wie in Abb. 5C gezeigt. Wenn man einen 30 Grad-Winkel, wie in Abb. 5A gezeigt einhält, vermindert sich

diese Streukapazität auf ca. 40 pF. Dieser schlechte Effekt der Streukapazität vergrößert die "effektive" Induktivität und vermindert die Güte der Ringkernspule. Je näher die Frequenz der Eigenresonanz bei der Arbeitsfrequenz liegt, umso geringer wird die Güte. Daher ist die Bewicklungsmethode, wie sie in Abb. 5A gezeigt wird, bei allen Ringkernspulen möglichst einzuhalten. Besonders bei Breitband-Transformatoren auf Ringkernen ist dieser Wicklungshinweis zu beachten.

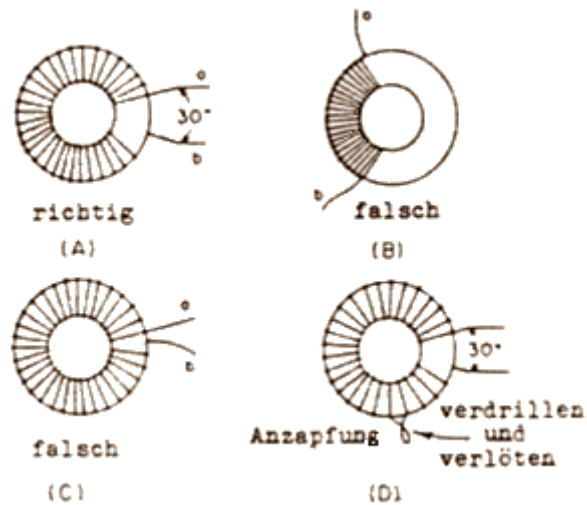


Abb. 5: A) Richtige Wickelweise für eine eindrahtige Spule
 B) und C) Falsche Wickelweise
 D) Anbringen einer Anzapfung

Obwohl in Abb. 5B der Hinweis "falsch" steht, kann diese Art der Bewicklung in manchen Fällen vorteilhaft sein. Wenn ein gewisser "Abstimmfaktor" bei einer Ringkernspule, die in einem abgestimmten Schwingkreis zusammen mit einem Festkondensator geschaltet ist, kann die Bewicklung des Ringkerns ca. den halben Kernumfang betragen. Dabei sollte die benötigte Induktivität ungefähr dem benötigten Wert entsprechen. Hat man dann die Komponenten des Schwingkreises zusammengeschaltet, kann man durch Auseinanderschleiben oder Zusammenpressen der Wicklung auf dem Ringkern den Schwingkreis auf die gewünschte Frequenz abstimmen und damit optimieren.

Zusammenpressen der Wicklung ergibt eine Zunahme der Induktivität. Auseinanderziehen der Wicklung ergibt eine Abnahme der Induktivität.

Wenn man den Schwingkreis auf diese Weise optimiert hat, kann man die Windungen der Wicklung durch überlackieren auf dem Ringkern sicher festlegen.

Die Abb. 5D zeigt, wie man eine Anzapfung bei einer Ringkernwicklung herstellt. Beim Bewickeln des Ringkerns wird an der Stelle, wo die Anzapfung sein soll, eine kleine Drahtschleife verdreht und dann der Ringkern weiter bewickelt. Die Isolation des Drahtes an der Anzapfstelle wird abgekratzt und das verdrehte Ende verlötet. Dabei sollte man die Drahtschleife nicht zu klein machen, damit man den Draht des Anzapfpunktes auch gut in der Schaltung verarbeiten kann.

Zum Schluss sei noch auf das **Aufbringen einer zweiten Wicklung** auf einer Ringkernspule eingegangen [Primär- und Sekundärwicklung eines Transformators], wie es in Abb. 6A dargestellt ist. Zuerst wird die große Wicklung auf den Ringkern aufgebracht. Die kleine Wicklung wird dann über die große Wicklung am niederohmigen Ende gewickelt. Dieser Punkt wird oft als das "kalte" Ende bezeichnet. Damit ist immer der dem Massepunkt am nächsten liegende Punkt der Wicklung gemeint. Dieser Punkt muss nicht immer mit Masse verbunden sein, wichtig ist, dass er für die HF "kalt" ist. Der Term "kalt" besagt dabei, dass an diesem Punkt wenig oder keine HF zu messen ist.

Im Abb. 4A ist gezeigt, wie die Windungen gezählt werden. Die Zählung beginnt beim Punkt x und endet am Punkt y. Im Beispiel sind es zwei Windungen. Werden mehr als eine Wicklung auf den Ringkern aufgebracht, so müssen sie immer in der gleichen Wicklungsrichtung aufgebracht werden. Manche kommerziellen Entwickler stehen auf dem Standpunkt, dass eine kleine Wicklung auf einem

Ringkerntransformator [Wicklung c/d im Abb. 6A] über den ganzen Kernumfang verteilt werden soll, wie in Abb. 5A gezeigt. Diese Methode ist für Breitband-Anwendung richtig, aber bei HF-Schmalband Anwendung ist die in Abb. 6A gezeigte Wickelart richtig. Diese Methode reduziert die ungewollte kapazitive Kopplung zum "heißen" Punkt des Transformators, da ja zwischen den einzelnen Wicklungen auch Streukapazitäten auftreten.

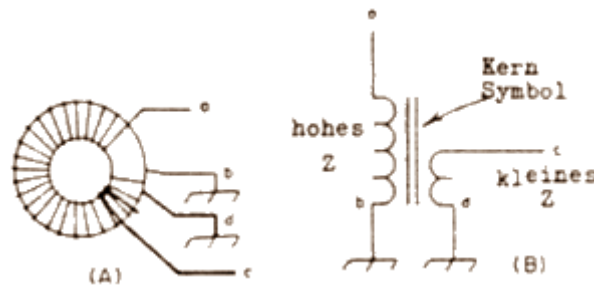


Abb. 6: Schematische und bildliche Darstellung eines Ringkerns mit Sekundarwicklung.

Wie viele Windungen muss ich auf einen Ringkern aufwickeln?

Die meisten Hersteller von Ringkernen veröffentlichen in ihren Datenblättern den A_L -Faktor für jede Kernsorte und jeden Typ, den sie produzieren. Dieser Faktor wird abgeleitet aus der Induktivität bei einer bestimmten Anzahl von Windungen auf dem angegebenen Kern. Folgende Gleichung gilt:

$$A_L = \frac{L_{\mu H} \cdot 10^4}{N^2}$$

N gibt die Anzahl der Windungen an.

Diese Gleichung kann benutzt werden, wenn man unbekannte Ringkerne in ihren Werten bestimmen will. Bei unbekanntem Kerndaten muss man sicher sein, ob der Ringkern bei der benutzten Frequenz auch arbeitet. Ein falsch eingesetzter Ringkern kann die Güte beeinflussen.

Die Formel für die Berechnung der Windungszahl lautet:

$$N = 10^2 \cdot \sqrt{\frac{L_{\mu H}}{A_L}}$$

N ist die Windungszahl und A_L der vom Hersteller angegebene Induktivitätsfaktor.

Für hochpermeable Ringkerne aus Ferrit lautet die Formel:

$$N = 10^3 \cdot \sqrt{\frac{L_{mH}}{A_L}}$$

Ein Beispiel soll die Berechnung verdeutlichen:

Angenommen, wir haben einen Ringkern, welcher für 3,5 MHz geeignet ist, wie aus dem Datenblatt zu ersehen war. Es ist ein Kern T68-2 aus HF-Eisenpulver. Die Typenbezeichnung sagt, es ist ein Ringkern mit einem Durchmesser von 0,68 inch, das sind 1,73 cm, und er ist aus dem Kernmaterial 2, rot hergestellt. Unsere Schaltung verlangt nach einer Induktivität von 28 pH. Die Herstellerangaben zu diesem Ringkern typ besagen, dass er einen A_L -Faktor von 57 hat. Die Berechnung lautet nun:

$$N = 10^2 \cdot \sqrt{\frac{28}{57}} = 70 \text{ Windungen.}$$

Als nächstes müssen wir feststellen, welche Drahtstärke wir benutzen müssen, wenn wir 70 Windungen auf den Kern aufbringen wollen. Die Herstellerangaben besagen, dass wir für 79 Windungen des Drahtes Nr. 28 "enamel wire" auf dem Kern Platz haben. Hierbei handelt es sich um eine amerikanische Drahtbezeichnung. Aus der Drahttabelle "Copper-Wire-Table" können wir den Durchmesser des Drahtes in mm entnehmen. In diesem Fall handelt es sich um Kupfer-Lack-Draht mit einem Durchmesser von 0,32 mm. Wir verwenden aber 0,3-mm-CuL-Draht.

Wicklungshilfen für Ringkernspulen

Wer zum ersten Mal eine Ringkernspule wickelt, hat so seine Anfangsschwierigkeiten. Man muss ja den genügend langen Draht bei jeder Windung immer wieder durch das Ringkernloch stecken. Die einzelnen Windungen sollen aber gleichmäßig über den Ringkern verteilt werden, es dürfen sich keine Schlaufen bilden, und es darf keine Windung auf die vorherige "aufsteigen". Weiterhin ist darauf zu achten, dass die Drahtisolierung nicht beschädigt wird, sonst treten Windungsschlüsse auf.

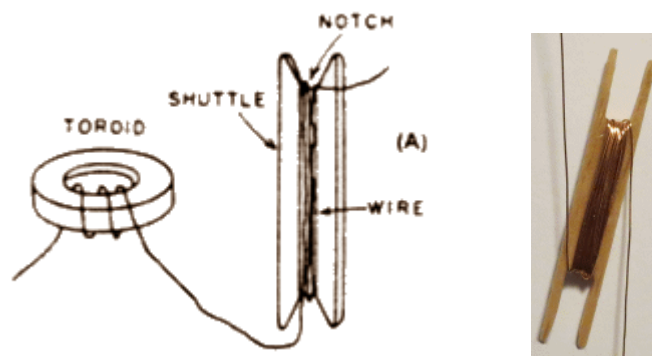


Abb. 7: Selbsthergestelltes Wickelschiffchen.

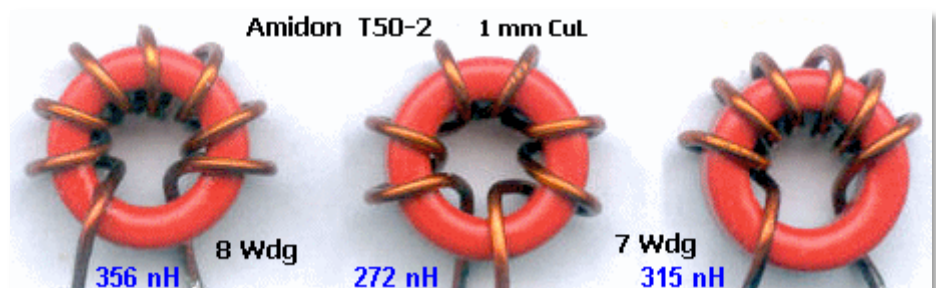
Der Draht wird auf das Schiffchen aufgewickelt. Dieses wird bei jeder Wicklung durch das Ringkernloch gesteckt, bis die gewünschte Anzahl von Windungen erreicht ist.

Eine sehr große Hilfe bei der Bewicklung kann ein selbstgemachtes Wickelschiffchen sein, wie es im Abb. 7 dargestellt ist. Als Material zum Aufbau eignet sich Basismaterial, wie es zur Herstellung von gedruckten Schaltungen benutzt wird. Die Handhabung ist denkbar einfach. Sie erklärt sich schon aus der Abbildung. Eine ausreichende Länge des zu wickelnden Drahtes wird auf das Schiffchen aufgewickelt. Berechnet mit Länge einer Windung x Anzahl der Windungen = benötigte Drahtlänge. Das so "geladene" Schiffchen wird bei jeder Windung durch das Ringkernloch gesteckt und so die Spule Windung neben Windung gewickelt. Die Kanten des Schiffchens müssen mit einer Feile abgerundet werden, denn scharfe Kanten können die Drahtisolierung beschädigen!

DL3OE, Wolfgang Oepen.

Die Eisenpulverringkerne und auch Ferritkerne unterliegen großen **Fertigungstoleranzen**, die sich im AL-Wert widerspiegeln und bis zu +/- 15% betragen können. Der Q-Faktor der Ringkernspulen und die Permeabilität sind stark frequenzabhängig. Außerdem hat die Geometrie der Wicklung des Ringkerns einen großen Einfluss, siehe Abbildung.

Der praktische Wert der Induktivität kann leicht eine



Abweichung von dem theoretisch berechneten Wert von ± 1 Windung erfordern. Wo es praktikabel ist, wird das Zusammendrücken oder Ziehen der Wicklung für die Feineinstellung verwendet.

Werden die Ringkerne im HF-Filterbereich oder für Schwingkreise eingesetzt, bei denen exakte Werte unabdingbar sind, dann sind in der Regel konkrete Messungen für jeden Kern bzw. jede Wicklung unerlässlich - eine alleinige Berechnung wird unangenehme Überraschungen liefern!

Ohne Messung wird es da nicht gehen. Aber zum Glück gibt es günstige, gute L-Messgeräte zu bauen oder zu kaufen.

Vorschlag für ein Messequipment zum Überprüfen der Induktivität.



Für uns bleibt im Selbstbau halt nur das **Handwickeln**, aber mit etwas Übung ist das problemlos zu schaffen, wenn man zu Beginn Fehlschläge wegstecken kann.

Das **Wickeln** der Ringkerne erzeugt immer noch bei einigen Bastlern Angstzustände. Völlig zu Unrecht. Wenn du unvoreingenommen heran gehst und dir einige Grundlagen vor Augen hältst, dann kann eigentlich nichts schief gehen. Vielleicht bekommst du Lust und probierst mal einen Ringkern zu wickeln, wenn du dir diesen [Videoclip](#) angeschaut hast.

Wichtig ist:

Ein Draht durch den Ringkern gesteckt ist bereits eine Windung. Zur Übung solltest Du mal einen Ringkern bewickeln.



Schneide dir die benötigte Länge von z.B. 0,3mm CuL Draht ab. Nimm nun den Ringkern in die Hand und stecke ein Drahtende hindurch. Damit ist bereits die erste Windung fertig, aber STOP!

Schau dir deinen Ringkern noch einmal an und überlege, wie Du den Draht durch den Ringkern gesteckt hast. Es gibt nämlich zwei Möglichkeiten.

Du kannst den Draht von hinten nach vorne durch den Ring stecken oder von vorne nach hinten. Aus Sicht der Hochfrequenz ist es natürlich egal, wie herum der Draht durchgesteckt wird. Für den späteren Einbau auf einer Platine ist es aber sehr wichtig, weil die Löcher in der Platine einen bestimmten Wickelsinn voraussetzen. Es soll jeder die Durchsteckrichtung nehmen, die ihm angenehmer ist. Es folgt aber dann anschließend zwangsweise eine bestimmte Wickelrichtung, weil sonst die Geometrie der Spule nicht stimmt!

Wenn du den Draht von hinten nach vorne durchgesteckt hast, dann musst du die nächsten Windungen im Uhrzeigersinn weiter wickeln. Hast du den Draht von vorne nach hinten durchgesteckt, so geht es folgerichtig gegen den Uhrzeigersinn weiter.

Wickel nun die benötigte Anzahl von Windungen breit verteilt auf den Ringkern. Wenn du die Windungen **INNEN** im Ringkern zählst, kannst du nichts verkehrt machen. Breit verteilt bedeutet, dass die gewünschte Windungszahl über etwa 270 Grad des Ringkerns gewickelt werden. Das ist so in etwa der übliche Bereich für Ringkernspulen. Wenn du schon beim Wickeln daran denkst brauchst du hinterher nicht die Windungen auseinanderziehen, was in gewissen Grenzen aber möglich ist. Die Windungen einer Wicklung dürfen sich auch nicht überschneiden sondern werden grundsätzlich einlagig nebeneinander gewickelt.

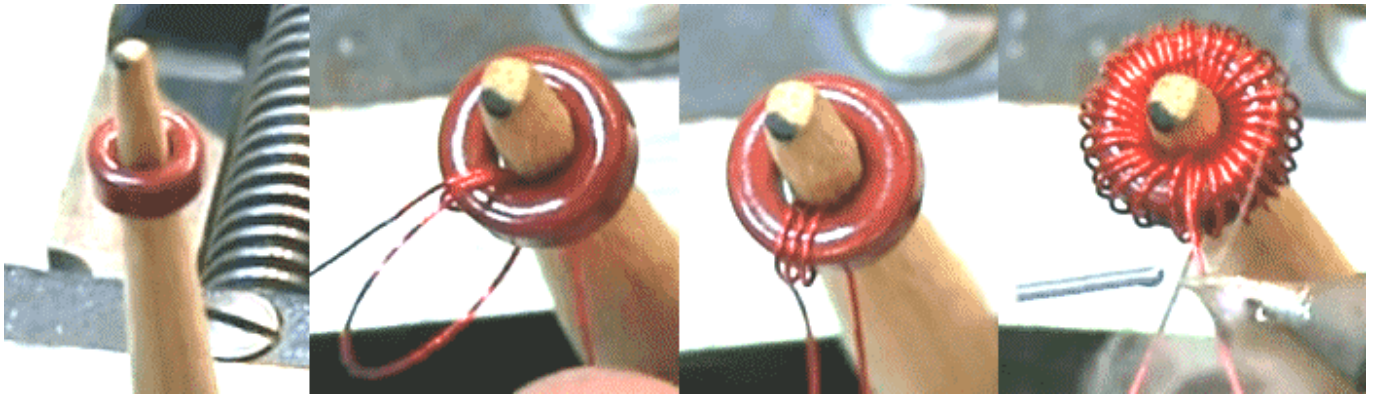
Achte beim Wickeln darauf, dass jede Windung richtig stramm gezogen wird. Bei den Eisenpulver Ringkernen ist das überhaupt kein Problem, weil die Kanten schön glatt abgerundet sind. Bei manchen Ferriten ist es etwas problematisch, weil der Ringkern scharfe Kanten hat.

Grundsätzlich kannst du dir merken, dass die Eisencarbonyl Ringe für schmalbandige Anwendungen und die Ferrit-Ringe für breitbandige Anwendungen benutzt werden. Mit dem hilfreichen Programm ['Mini Ringkern Rechner'](#) kannst du sehr einfach für jeden Ringkern die benötigten Windungen für eine bestimmte Induktivität berechnen. Du bekommst aber auch umgekehrt die Induktivität heraus, wenn man die Windungszahl eingibt.

Wie verzinne ich die Drahtenden am besten?

Darüber streiten sich die Gelehrten.

Der CuL sollte lötbar sein. Das bedeutet, er zersetzt sich bei Löttemperatur. Bei dünnen Drähten bis etwa 0,8 mm reicht die Wärmekapazität eines Standard Löt Kolbens völlig aus, um den Lack einfach abzubrennen. Zu diesem Zweck berühre einen der beiden Drahtenden mit der Löt Kolbenspitze so nah es geht am Spulenkörper und gebe reichlich Löt zinn dazu. Es sollte ein richtiger Tropfen entstehen. Nach kurzer Zeit beginnt der Lack sich zu zersetzen, es steigt Rauch auf. Es ist ratsam, die Nase etwas entfernt zu halten, der Rauch ist sicherlich nicht unbedingt gesund. Sobald der Rauch aufsteigt, bewege den Löt Kolben ganz langsam gegen das äußere Drahtende, bis du etwa 1 cm des Drahtes verzinnt hast. Wenn es nicht so richtig fließen will, hilft weitere Zufuhr von frischem Löt zinn. Die zersetzten Rückstände werden bei dieser Methode mit dem Löt zinntropfen weggeschoben.

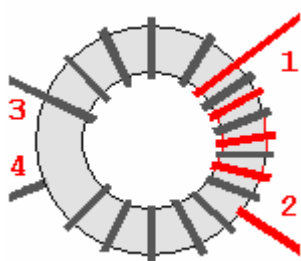


Wenn du fertig bist, kontrolliere ob der Draht auf der ganzen Strecke rundherum verzinnt ist. Das ist wirklich wichtig. Die meisten Fehler bei Selbstbau Transceiver rühren von schlecht eingelöteten Spulen mit Kupfer Lackdraht CuL her.

Bei dickeren Drähten muss man den Lack bevor man mit dem LötKolben rangeht vorsichtig mit einem Cuttermesser abkratzen. Wirklich vorsichtig, damit der Draht nicht gekerbt wird und eine Sollbruchstelle erhält.

Spulen mit Koppelwicklung

Manchmal braucht man Spulen mit einer **Koppelwindung**. Diese kann je nach Schaltung symmetrisch oder unsymmetrisch benötigt werden. Symmetrisch bedeutet in diesem Fall immer erdfrei. Kein Ende der Spule geht an Masse oder an einen Abblockkondensator. Solche symmetrischen Spulen werden immer so aufgebaut, dass die Koppelwicklung mittig zwischen die Hauptwicklung gewickelt wird.



Orientieren wir uns an einem Beispiel für eine symmetrische Kopplung:

1 Die Hauptwicklung (grau) hat 14 Windungen,, die Koppelwicklung (rot) 4 Windungen. Um die Koppelwicklung symmetrisch zu platzieren, musst du innen im Ring abzählen. 14 Windungen geteilt durch 2 ist 7, die Mitte also bei 7 Windungen. Die 4 Windungen der Koppelwicklung beginnen also nach der 5. Windung der Hauptwicklung und reichen bis hinter die 9. Windung, wie du auch auf der Zeichnung sehen kannst.

Anders ausgedrückt:

die Koppelwicklung ist symmetrisch in der Mitte der Hauptwicklung. Vor und nach der Koppelwicklung sind jeweils 5 Windungen der Hauptwicklung zu sehen.

Sollte in der Praxis einmal bei der Rechnung eine halbe Windung herauskommen, z.B. bei 23 Windungen gesamt $23/2 = 11,5$ wird die halbe Windung ignoriert und eine leichte Unsymmetrie in Kauf genommen.

Bei unsymmetrischen Kopplungen wird die Koppelwicklung zwischen die Windungen der Hauptwicklung gewickelt. Du beginnst dabei grundsätzlich am kalten Ende der Spule.

Wo ist das kalte Ende?

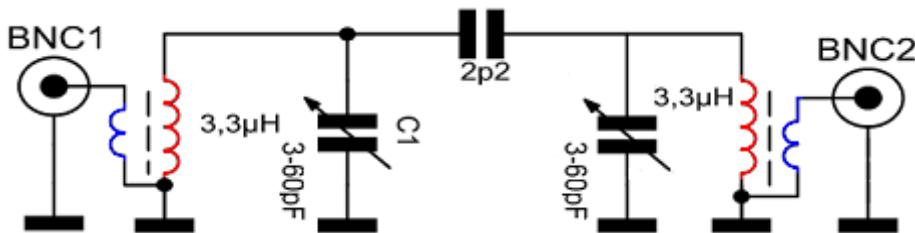
Kalt nennen wir in der HF immer die Seite, die HF-mäßig auf Masse liegt. HF-mäßig bedeutet nicht unbedingt, dass das Spulenende wirklich direkt galvanisch mit Masse verbunden ist. Aus Sicht der Hochfrequenz kann ja eine Verbindung über einen Kondensator genau so niederohmig sein. Diese Art wirst du häufig finden, lass dich dadurch nicht täuschen.

Wickelsinn und Koppelwicklung

Es gibt zwei Fragen beim Selbstbau von Empfängern und Sendern, die oft gestellt werden:

1. Welchen Einfluss hat der **Wickelsinn**, wenn eine Resonanzwicklung und eine Koppelwicklung aufgebracht werden.
2. Welchen Unterschied macht es die **Koppelwicklung** am heißen oder kalten Ende der Spule zu wickeln.

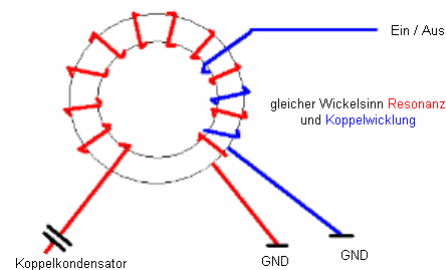
Dazu wurde eine Versuchsreihe mit dem Netzwerktester NWT1 durchgeführt. Als Messobjekt wurde ein Bandfilter genommen, welches im Hochpunkt gekoppelt wird.



Die beiden Spulen wurden für jedes Experiment identisch nach folgendem Muster auf einen Amidon T37-2 mit 26 Windungen, Koppelwicklung 3 Windungen, 0,3 mm CuL gewickelt.

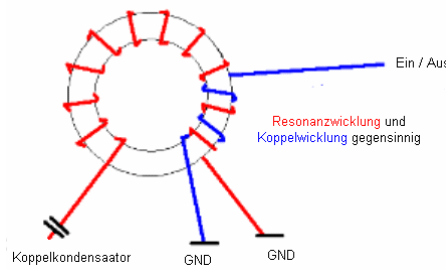
Variante 1:

beide Wicklungen in gleichem Wickelsinn.
Koppelwicklung im kalten Ende,



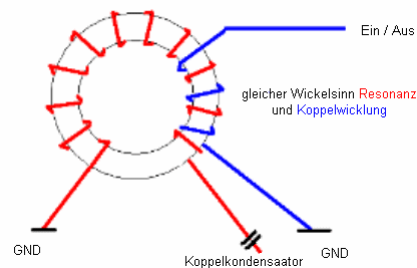
Variante 2:

Koppelwicklung im kalten Ende,
Koppelwicklung gegensinnig zur Resonanzwicklung.



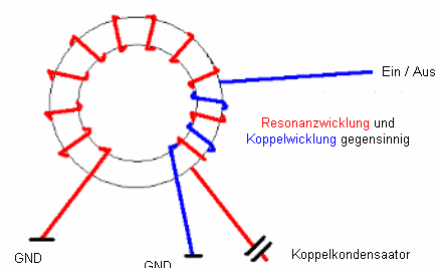
Variante 3:

Koppelwicklung im heißen Ende, beide Wicklungen in gleichem Wickelsinn.



Variante 4:

Kopplung im heißen Ende, Koppelwicklung gegensinnig zur Resonanzwicklung.



Die Ergebnisse der Versuche waren sehr interessant. Es traten doch Unterschiede der verschiedenen Wickelarten an ganz anderer Stelle auf, als man vielleicht erwartet hätte.

Die Durchlasskurven des Bandfilters wurden zur Bestimmung der 3dB Bandbreite und der Einfügedämpfung mit Hilfe der beiden Trimmer immer auf eine in etwa gleiche Mittenfrequenz abgestimmt. Im Ergebnis sind sowohl die Einfügedämpfung als auch Bandbreite nahezu identisch.

Dämpfung	f2	f1	Delta	Variante
-1,43	14,911	13,524	1,387	kalt, gleicher Sinn
-1,23	14,6147	13,2771	1,3376	kalt, Gegensinn
-1,23	14,5876	13,3173	1,2703	heiß, gleicher Sinn
-1,43	14,4909	13,2106	1,2803	heiß, Gegensinn

Auf diese Werte hat also die Art der Wicklung gar keinen wesentlichen Einfluss. Sehr viel stärker ist der Einfluss allerdings auf die Resonanzfrequenz des Filters. Bei exakt gleicher Stellung der beiden Trimmer verschiebt sich die Resonanzfrequenz um 500 kHz Richtung längerer Wellenlänge, wenn die Koppelwicklung statt im kalten im heißen Ende gewickelt wird.

Mögliche Ursachen:

Innerhalb eines Ringkernes ist der magnetische Fluss überall fast gleich. Die Kopplung, die Einfügedämpfung und die Bandbreite sind weitgehend unabhängig von der Lage der Koppelwicklung zur Resonanzwicklung. Das gleiche gilt für Bobinspulen, die ebenfalls ganz von Ferrit umhüllt sind. Bei Stiefelkörpern wie sie in Neosid Spulen benutzt werden stimmt das in Näherung ebenfalls, wenn der Ferritkern sowohl in die Koppelwicklung als auch in die Resonanzwicklung eintauchen.

Allerdings ist der kapazitive Einfluss der Koppelwicklung je nach Lage stark unterschiedlich. Je weiter die Koppelwindung zum kalten Ende hin liegt umso geringer ist die zusätzlich eingefügte Parallelkapazität, umso höher die resultierende Resonanzfrequenz.

Erkannte Auswirkungen:

Eine gegensinnig oder an "*falscher Stelle*" aufgebrachte Koppelwicklung in einem Bandfilter hat so gut wie keinen Einfluss auf die Dämpfung oder die Bandbreite. Da sich die Spulendaten in fast allen Projekten immer auf Koppelwicklungen im kalten Ende der Spule beziehen, kann eine andere Lage der Koppelwicklung unter Umständen dazu führen, dass die Spule nicht mehr auf der gewünschten Frequenz in Resonanz zu bringen ist!



Auch wenn ich es bereits an anderer Stelle aufgeführt habe, hier noch mal eine Zusammenstellung mit Anmerkungen von <http://www.amidon.de>.

Wenn ein Ringkern nicht wie vorgesehen gewickelt wird, passt er möglicherweise nicht wie beabsichtigt auf die Platine.

Auch müssen die Wicklungen auf dem Ringkern eine bestimmte Polarität beibehalten. Sie sollten einen bestimmten ‚Wicklungssinn‘ in Bezug auf andere Wicklungen beibehalten, damit die Schaltung richtig funktioniert.

Nutze nach dem Wickeln des Ringkerns eine Lupe und einen Zahnstocher, um die Anzahl der Windungen zu überprüfen. Zuerst die Windungen so weit wie möglich auf dem Kern trennen. Mit der Lupe betrachtest du die Windungen und den Zahnstocher nutzt du als ‚Zeigestock‘, um die Anzahl der Windungen zu zählen. Zähle immer zweimal! Jedes Mal, wenn der Draht durch das Ringkernloch verläuft, zählt es als eine Windung.

Eine Ringkerne erfordern eine sekundäre Wicklung. Befolge die Hinweise der Bauanleitung

sorgfältig, um sicherzustellen, dass der Wicklungssinn laut Anweisung erfolgte. Es gibt auch Ringkerne, die mit zwei oder drei adrig verdrehten Drähte [bifilar, trifilar] gewickelt werden müssen.

Alle Windungen auf dem Ringkern sind nochmal auszurichten. Stelle sicher, dass die Windungen so gleichmäßig wie möglich auf dem Kern verteilt sind. In den meisten Fällen sollten die Wicklungen etwa 80% des Kerns bedecken. Ein Hinweis in der Bauanleitung zeigt dir normalerweise, wie der fertige Ringkern aussehen soll. Der Abstand der Wicklungen beeinflusst nämlich die Induktivität der Spule. Überprüfe mit einem Induktivitätsmessgerät die Induktivität und vergleiche mit dem Wert im Schaltplan. Wenn du die Induktivität anpassen musst, versuche die Windungen zu spreizen, um die Induktivität zu erhöhen, oder die Windungen zusammenzudrücken, um die Induktivität zu verringern. Der Abstand der Wicklungen kann auch für die beste Leistung während der endgültigen Schaltungsausrichtung eingestellt werden. Es wird normalerweise Hinweise darauf geben, wie dies zu tun ist.

Nun noch mal kurz zur Ringkernmontage und Löten der Anschlussdrähte.

Viele entfernen die Lackschicht vom Draht mit dem LötKolben, entfernen diese in einem Schritt mit dem gleichzeitigen verzinnen des Drahts. Mit der richtigen Temperatur des LötKolbens schmilzt das Lötzinn auf dem LötKolben. Durch diesem ‚Blob‘ ziehst du den Draht mehrmals hin und her bis die Lackschicht verdampft ist. Gleichzeitig wird der Draht verzinkt. Die verbrannten Lackschichtrückstände müssen entfernt werden. Vorsicht, es entstehen giftige Dämpfe!

Die bereits verzintten Drähte müssen dann in die richtigen Platinenlöcher gesteckt werden. Du musst sehr konzentriert sein, besonders, wenn der Ringkern mehrere Anschlussdrähte hat. Es ist oft sehr einfach, die Drähte in falsche Löcher zu stecken.

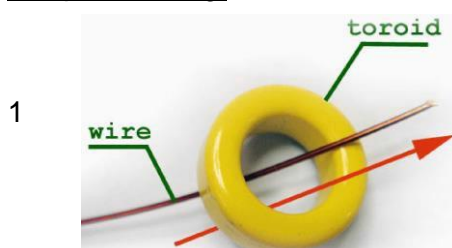
Zurre die Drähte so an, dass der Ringkern fest auf der Platine aufliegt. Eine dünne Unterlage aus Styroporfolie zwischen Ringkern und Platine sollte vorgesehen werden. Biege nun alle Drähte leicht um, damit der Ringkern an Ort und Stelle gehalten wird. Löte jetzt die Drähte an. Achte beim Löten der Drähte darauf, dass das Lot gut fließt.

Eine der Hauptursachen für Probleme mit Ringkernen ist eine schlechte Lötverbindung zwischen den Ringkerndrahtanschlüssen und den Löt pads. Die Lötstelle sollte glatt und abgerundet ohne Hohlräume aussehen. Wenn das Lötzinn in einem kleinen Lotpool als ‚Insel‘ erscheint, besteht die Möglichkeit, dass es keinen guten Kontakt gibt. Überprüfe abschließend, ob der Ringkern noch an der Platine anliegt.

Ist dies nicht der Fall, erwärme die Lötstelle, die du gerade hergestellt hast noch einmal und übe gleichzeitig einen leichten Druck auf den Ringkern aus, so dass er nun eng an der Platine anliegt. Wenn du mit der Position des Ringkerns zufrieden bist, löte die restlichen Drähte an.

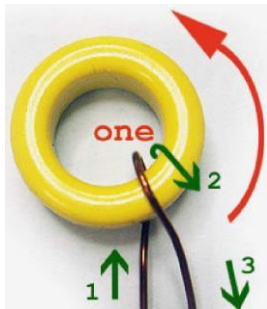
Nach dem Löten ist es immer gut, alle Lötstellen mit einem Ohmmeter zu überprüfen. Tippe mit den beiden Prüflitungsspitzen auf die Löt pads, NICHT an die blanken Drähte vom Ringkern! Du solltest fast keinen Widerstand messen. Wenn der Widerstand hoch oder unendlich ist, überprüfe die Lötstelle! Sollte ein Problem auftreten, versuche den Draht neu zu positionieren und nachzulöten. Überprüfe noch mal die Lötstelle und fügen bei Bedarf zusätzliches Lot hinzu. Erst wenn du sicher bist, eine gute Lötstelle zu haben, kannst du das überstehende Drahtende abknipsen.

Beispielwicklung:



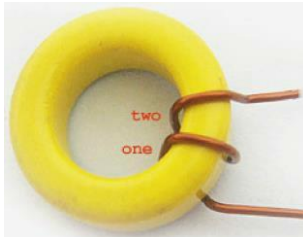
Der erste Schritt ist, den Draht von unterhalb des Ringkerns zu führen, wie links zu sehen

2



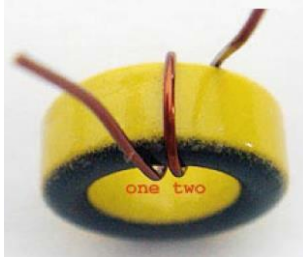
Die Spule wird gegen den Uhrzeigersinn gewickelt, wie links gezeigt. Der Draht ist leicht nach rechts verschoben, wenn er oben auf dem Ringkern [2/3] verläuft.

3



Es zeigt insgesamt 2 Windungen. Siehe den nächsten Schritt 4, der die Spule aus einem anderen Blickwinkel betrachtet.

4



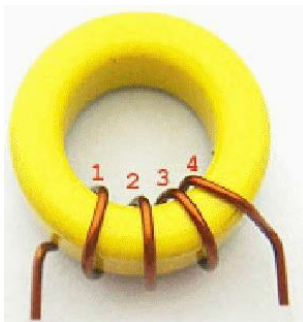
Dies sind auch 2 Windungen wie im vorherigen Schritt gezeigt, aber von unterhalb der Spule betrachtet.

5



Das Bild zeigt 3 Windungen.

6



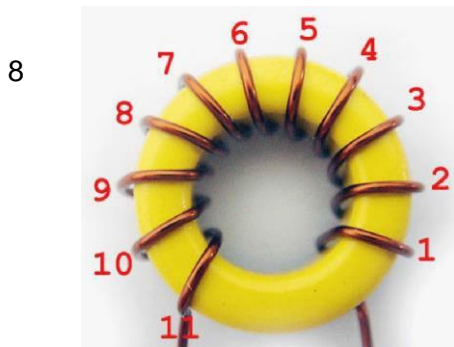
Hier siehst du 4 Windungen.

7



Dieser Ringkern hat 11 Windungen.

Ziehe den Draht nicht zu fest!
Klemme den Ringkern nicht in einen Schraubstock, da der Ringkern zerbrechen oder zerspringen kann.
Halte ihn mit der Hand fest.



Dies ist der letzte Schritt.

Nachdem du den Draht nun z.B. 11 mal gewickelt hast, wie in der Abbildung zu sehen, musst du dich mit der Verteilung der Windungen um den Ringkern beschäftigen.

Stelle sicher, dass die Wicklungen so gleichmäßig wie möglich auf dem Kern verteilt sind und ca. 75-85% des Ringkerns abdecken.

Bitte beachte dass der Abstand der Wicklungen die Induktivität des Ringkerns beeinflusst.

Merke:

Wenn du die Windungen spreizt verringert sich die Induktivität und durch Zusammendrücken der Windungen erhöht sich die Induktivität.

Isolierung CuL wird genommen weil die **Isolierung** im Verhältnis zum Drahtdurchmesser klein ist. Bei Kunststoffisoliertem Draht bekommst du nur einen Bruchteil der Windungen auf den Ring.

Drahtstärke Die **Drahtstärke** wird immer so gewählt, dass die geforderte Anzahl Windungen mit der gewünschten Spreizung auf den Ring passt. Das ist eine der Aufgaben der Prototypenbastler.

Wicklungskapazität Ob der Draht ganz dicht anliegt oder nicht, ist nicht sehr entscheidend. Er soll stramm liegen, damit er sich nicht so leicht verschiebt, die absolute Lage hat eher Einfluss auf die störende **Wicklungskapazität** als auf die Induktivität.

Augen auf beim Drahtkauf:

Es gibt CuL die bei ca. 150°C lötbar ist. Da funktioniert die Blob-Methode.

Es gibt aber auch CuL mit deutlich höheren Lack-Temperaturklassen. Auf 0,1/0,2/0,3 CuL kratzt, schabt und schleift es sich schlecht. Schlimmstenfalls gibt es keinen Kontakt.



0,3mm CuL 0,3mm CuL lässt sich nahezu ideal auf Ringkerne wickeln weil er sich noch genau der Form des Ringes anpasst. Je dicker der Draht wird umso schwieriger ist er straff auf den Kern zu bekommen.

Die Verluste durch ohmschen Widerstand bei 0,1 bis 0,5mm CuL werden maßlos überschätzt. Rechne doch mal den Widerstand von 30 cm Kupferdraht aus.

Bemerkung:

Die hier ausgeführten Anmerkungen zum Thema Ringkerne, habe ich aus verschiedenen Quellen zusammengetragen, ergänzt und bebildert.