

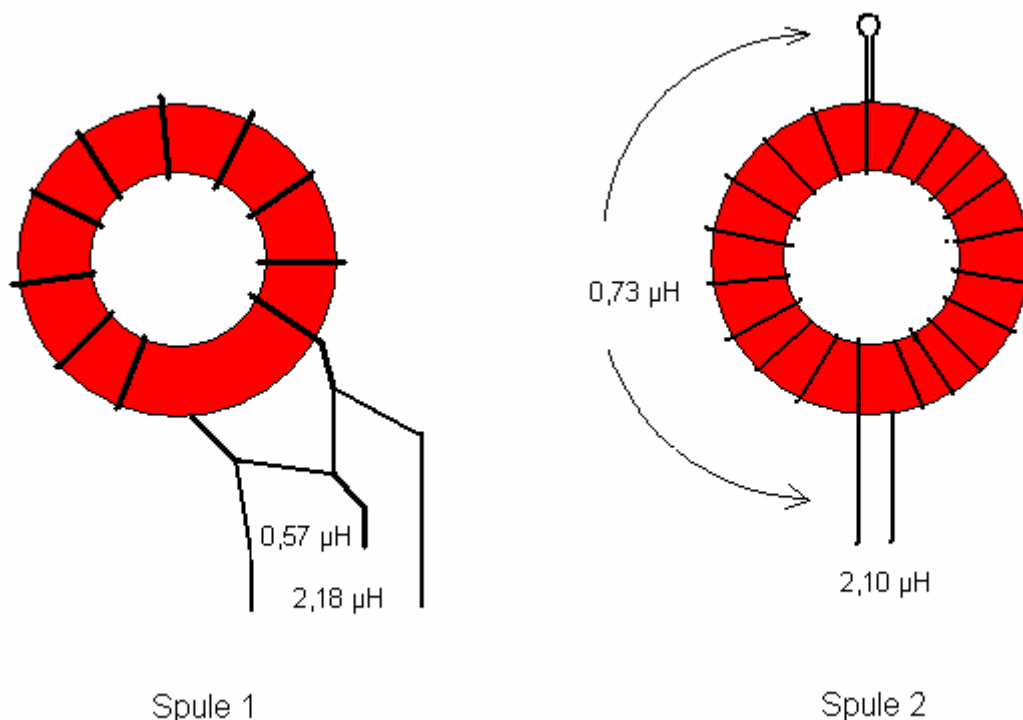
Spule mit Anzapfung richtig wickeln

In vielen Bauanleitungen werden Spulen mit Anzapfungen oder Koppelwindungen verwendet. Dadurch wird eine Transformation erhofft, die sich aus dem Verhältnis der Zahl der Koppelwindungen zur Gesamtzahl der Windungen der Spule bestimmt. In der Praxis kommt es jedoch meist anders. Die Ursache liegt darin, dass die Teilwicklungen nicht genügend fest miteinander gekoppelt sind. Große Teile des magnetischen Feldes der einen Teilspule durchdringen nicht die andere Teilspule, dies nennt man Streuung.

Zur Verdeutlichung des Problems werden zwei Spulen mit jeweils 2×10 Windungen auf einem Pulvereisenkern T50-2 betrachtet. Es handelt sich dabei um Ringkerne, denen eine geringe Streuung nachgesagt wird und wo am ehesten vermutet werden kann, dass beide Teilwicklungen mit 10 Windungen fest miteinander gekoppelt sind.

Die Spule 1 erhält 10 Windungen mit zwei schwach verdrehten Drähten, eine so genannte bifilare Wicklung. Durch Verbindung des Endes des einen Drahtes mit dem Anfang des anderen Drahtes haben wir 20 Windungen.

Die Spule 2 wird mit 10 Windungen bewickelt, dann wird angezapft und weitere 10 Windungen aufgetragen. Auch das ergibt 20 Windungen. (Bild 1)



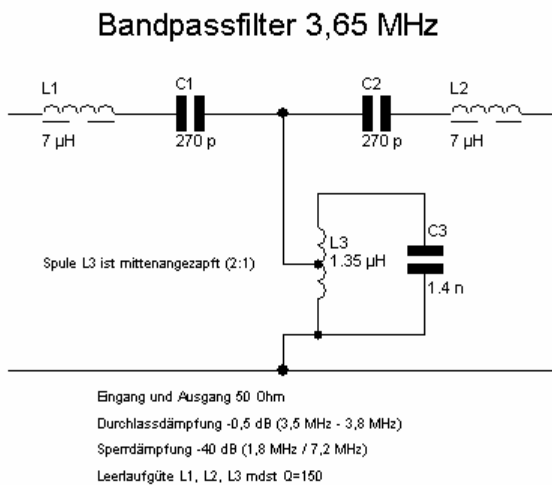
Nun müsste man meinen, beide angezapfte Spulen haben die gleiche Induktivität. Ich messe die Spulen aus, Spule 1 hat $2,18 \mu\text{H}$ und Spule 2 hat $2,10 \mu\text{H}$. Ein nur kleiner Unterschied, denn beide Wickel nutzen den gesamten Kernumfang.

Durch die Mittenanzapfung beider Spulen könnte man weiterhin erwarten, dass für die Teilwicklungen jeweils ein Viertel dieser Werte zu messen sind, denn halbe Windungszahl ergibt ein Viertel der Induktivität. Für die Teilwicklung der Spule 1 messe ich $0,57 \mu\text{H}$, die Teilwicklung der Spule 2 sind es $0,73 \mu\text{H}$. Oh, da stimmt doch was nicht!

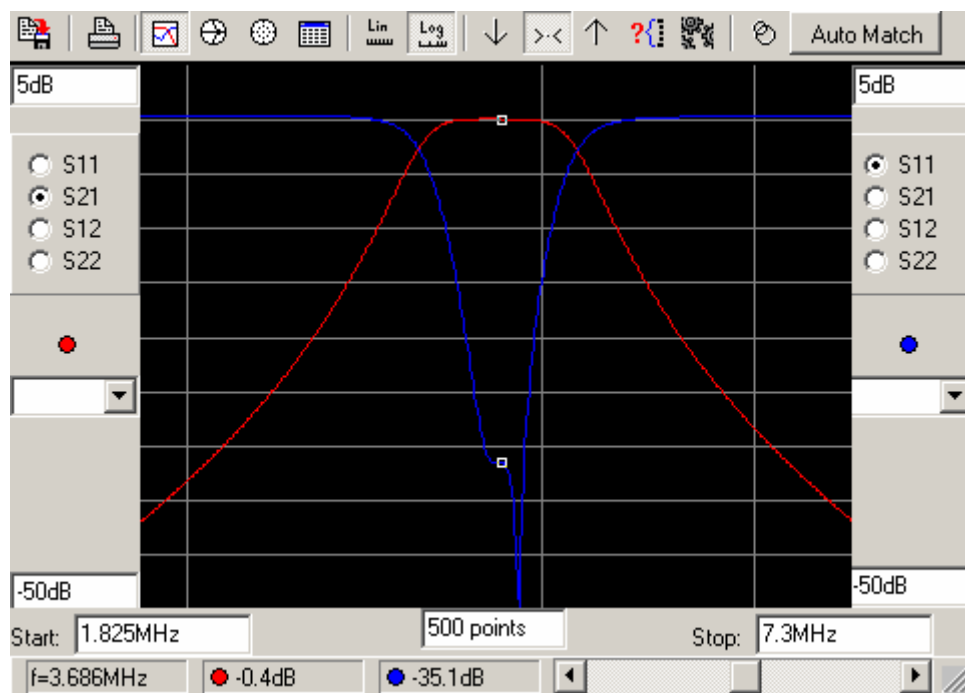
Oder doch? Die 10 Teilwindungen der Spule 1 nutzen den gesamten Kernumfang, von Windung zu Windung bleiben 2 mm Platz. Dagegen sind die 10 Teilwindungen der Spule 2 viel enger gewickelt, die Streuung wird geringer, die Induktivität wird größer. Zwischen den beiden Teilwicklungen der Spule 2 jedoch ist die Kopplung gering. Dadurch entsteht nicht der zu erwartende Wert für die gesamte Wicklung der Spule 2 von $4 * 0,73 \mu\text{H} = 2,92 \mu\text{H}$, sondern nur $2,10 \mu\text{H}$.

Den Koppelfaktor zwischen den beiden Teilwicklungen bestimme ich für Spule 2 mit nur $k = 0,35$. Ideal wäre ein Koppelfaktor $k = 1$. Dagegen weisen die beiden bifilar gewickelten Teilspulen der Spule 1 einen Koppelfaktor von $k = 0,87$ auf.

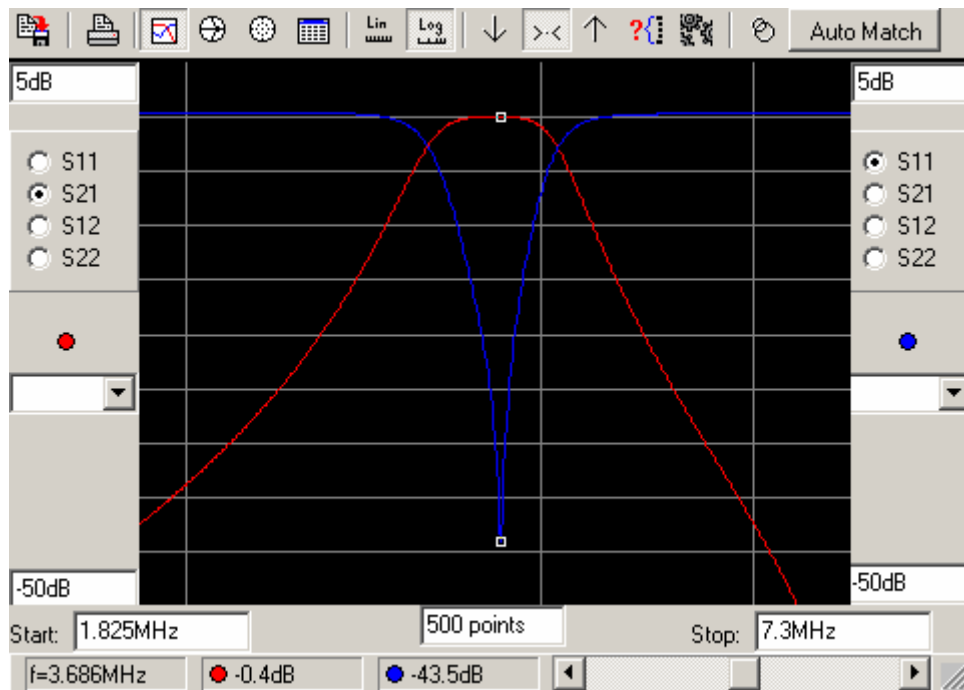
Welche Wirkung die Spule 2 in einem sonst fehlerfrei dimensioniertem Filter ausübt, zeigt folgendes Beispiel.(Bild 2).



Die Simulation zeigt für den Koppelfaktor $k = 1$ eine saubere Durchlasskurve, die im Durchlassbereich sehr flach ist und beim halben bzw. doppelten Wert der Mittenfrequenz eine Dämpfung von -40 dB erreicht (Bild 3a).



Bei der Spule 1 mit dem Koppelfaktor $k = 0,87$ ist die Kurvenform dem Ideal sehr nahe, man bemerkt aber schon, dass kurz oberhalb 7,2 MHz ein Pol vorhanden ist (Bild 3b).

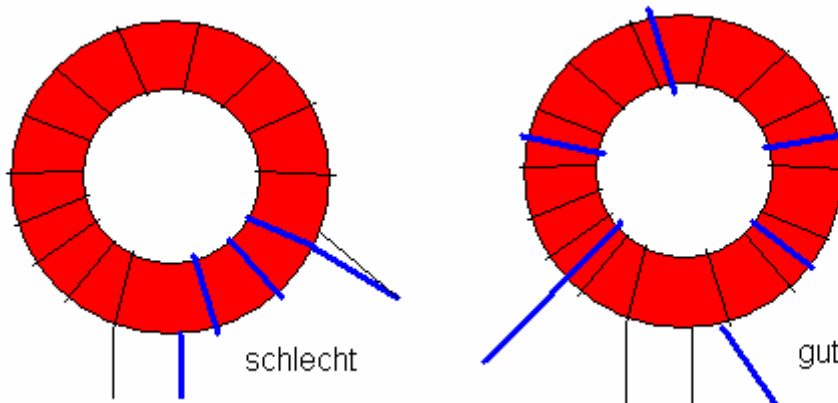


Bei Verwendung der Spule 2 mit dem sehr schlechten Koppelfaktor von $k = 0,35$ wird die Durchlasskurve vom Pol regelrecht zerrissen, ein solches Filter ist unbrauchbar (Bild 3c).



Das Ergebnis ist eindeutig, die bifilare Wickeltechnik ist die bessere Lösung. Bei Spulen auf Pulvereisenkernen kommt der Wickeltechnik also eine besondere Bedeutung zu. Wenn Anzapfungen erforderlich sind, sollten die Teilwicklung nie räumlich getrennt auf dem Kern angeordnet werden. Bessere Ergebnisse erreicht man mit bifilaren Wicklungen wie Spule 1 oder trifilaren oder quadrofilaren Wicklungen.

Es ist auch möglich, eine Teilwicklung über den ganzen Kern zu verteilen und die andere Teilwicklung darüber zu legen, ebenfalls über den ganzen Kern verteilt. (Bild 4) Das macht sich aber bei einer geringen Windungszahl, z.B. drei Windungen, eher schlecht. In diesem Fall werden drei Teilwindungen mit je drei Windungen angeordnet, die jeweils 120 Grad über den Kern verteilt sind. Sie werden parallel geschaltet und wirken dann wie eine Wicklung mit nur drei Windungen, jedoch mit erheblich verbesserter Kopplung zur anderen Wicklung. Das ist aber aufwändig und konstruktiv eher schwierig zu verwirklichen.



Auch bei Verwendung von Ferriten sollte man den Koppelfaktor zwischen den Teilwicklungen beachten, wenn angezapft oder eine Koppelwicklung verwendet wird. So lässt sich bei Doppellochkernen aus Ferrit der Koppelfaktor durch einen einfachen Trick verbessern: die Teilwicklung wird doppelt ausgeführt und dann parallelgeschaltet. Sie wirkt dann besser. Das Ergebnis ist eine Verbesserung der Breitbandigkeit und Verringerung der Verluste. (Bild 5)

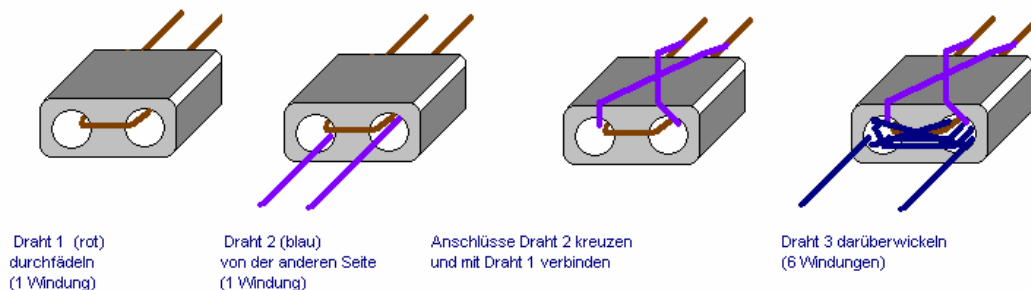


Bild 1: Spule 1 und Spule 2

Bild 2: Bandpassfilter für das 80-m-Band

Bild 3a: Simulation des Bandpassfilters ideal, $k = 1$

Bild 3b: Simulation des Bandpassfilters mit Spule 1, $k = 0,87$

Bild 3c: Simulation des Bandpassfilters mit Spule 2, $k = 0,35$

Bild 4: richtige Anordnung von Koppelspulen

Bild 5: Trafo 1:6 mit „Schweinenase“