

Verluste durch das Dielektrikum des Ferrits ?

Die Frage, ob das Dielektrikum des Ferrits ursächlich für die Verluste in einer Ferritantenne sein könnte, wenn man den Draht direkt auf den Ferritstab wickelt, kann man vielleicht beantworten, wenn man das Dielektrikum untersucht. Hier wurde versucht, mit Hilfe einer kreisförmigen Ferritscheibe einen Kondensator anzufertigen, an dem man Messungen vornehmen konnte.

Es kam das LCR-Messgerät hp4284A zum Einsatz, das die Kapazität C und den „dissipation factor“ D(eigentlich der $\tan(\delta)$) anzeigte.

Die Ferritscheibe hatte einen Durchmesser von 42 mm, die Dicke war 7 mm. Beide Flächen wurden blasenfrei mit Alu-Folie beklebt. Daran waren kurze Drähte angeschlossen. Die Messungen erfolgten unmittelbar an den Messeingängen des hp4284A.

Inwieweit nun der durch die Wicklung unerwünschte Kondensator die Güte der Ferritantenne(Schwingkreis) beeinflusst, hängt von zwei Faktoren ab:

- 1) Von der Größe der Eigenkapazität
- 2) Vom Verlust dieses Kondensators

Es zeigte sich eine ungewöhnlich starke Abhängigkeit der Kapazität und des $\tan(\delta)$ von der Messfrequenz, wie man an den folgenden drei Messergebnissen sehen kann:

Messfrequenz	Messspannung V_m [V]	C [F]	D
1 kHz	0.956	$428 \cdot 10^{-9}$	2.8
20 kHz	0.946	$7.32 \cdot 10^{-6}$	0.52
1 MHz	0.937	$404 \cdot 10^{-12}$	5.22

Eigenkapazität

Primär wäre die erste Lage der Wicklung dem Einfluss des Dielektrikum Ferrit am stärksten ausgesetzt. Hier würde eine Steigerung des Epsilons durch das Ferrit zu einer Erhöhung der Kapazität zwischen den Windungen erfolgen. Um diesen Einfluss nachzuweisen, wurden ein Ferritstab und zum Vergleich ein Papierzylinder gleichen Durchmessers bewickelt. Die Ankopplung eines Oszillografen an die Spulen erfolgte sehr lose mit einem Tastkopf 10M. Mit einer Windung als Einkoppelspule wurde die Eigenfrequenz der Spule gesucht, danach jeweils eine Messung der Induktivität vorgenommen.

1) Ferrit:

50 Wdg 0,3mmCuL direkt auf den Ferritstab gewickelt:

$L = 216 \mu\text{H}$; Resonanzfrequenz bei 2,93 Mhz $\rightarrow 13,66 \text{ pF}$ errechnet

2) Luftspule gleicher Wicklungsart:

$L = 6,19 \mu\text{H}$; „ „ „ 14,04 Mhz $\rightarrow 20,76 \text{ pF}$ errechnet

Zieht man von beiden ca. 5pF Streukapazität(Tastkopf + Umgebung), so kommt man zu einer Abschätzung der Eigenkapazität, die Rätsel aufgibt:

Bei der Luftspule ist sie höher als auf dem Ferrit!

Als Erklärung bleibt nur eine Fehlmessung bei der Ermittlung der Induktivität. Diese erfolgte bei 1kHz verlässlicher als mit einem anderen Instrument, das mit einer sehr hohen Messfrequenz arbeitet. Hier liegt eine Schwierigkeit beim Messen der Parameter, wenn Ferrit im Spiel ist. Die Frequenzabhängigkeit des Epsilon beim Ferrit spielt eine wesentliche Rolle.

Fazit

So konnte also ein verlässlicher Nachweis nicht erreicht werden. Es bleibt daher eine ungefähre Abschätzung der Eigenkapazität des Versuchsmusters anzunehmen, die vielleicht bei 10 pF ist. Immerhin gibt der Verlustfaktor $\tan(\delta)$ Aufschluss. Er ist bei der Messung mit dem hp4284A > 5 festgestellt worden. Da dabei die Messfrequenz ebenfalls in der Nähe der Anwendungsfrequenzen(Ferritantenne für Mittelwellenempfang) lag, besagt dieser Messwert, dass hier durchaus Verluste am Schwingkreis auftreten könnten. Legt man die bei 1kHz gemessene Induktivität von $L = 216 \mu\text{H}$ zugrunde, dann sollte ein Schwingkreis für die Mittelwelle bei 1MHz 117pF haben. Mit dem Anteil von 10% würde also eine zusätzlich Dämpfung durch die schädliche Eigenkapazität mit dem $\tan(\delta)$ des Ferrits von >5 wirksam sein. Eine mehrlagige Wicklung mit dem lackierten Draht würde ja ebenfalls noch eine schädliche Eigenkapazität hinzufügen, deren $\tan(\delta)$ allerdings sehr viel geringer wäre, wie die nachstehende Tabelle zeigt.

Isolationsmaterial	Dielektrizitätskonstante (Er)	Verlustfaktor Tan delta bei 10kHz
Polyvinylchlorid (PVC)	4,0 - 8,0	0,01 - 0,05
Polyethylen (PE)	2,6	0,0002
Polypropylen (PP)	2,25	0,0004
Polytetrafluoroethylen (PTFE)	2,1	0,002
Luft	1,0006	nahe 0
Vakuum	1,0000	0

Diesen Verlust darf man im Vergleich vernachlässigen, denn er ist ja um Größenordnungen kleiner. Ist der verbleibende Schwingkreiskondensator z.B. ein Luftdrehko, dann gilt das erst recht. Übrigens gibt ein Hersteller für seine Ferrittransformatoren einen Hinweis für deren günstigste Anwendungsfrequenz:

$$\tan\text{-delta} = 150 * 10^{-6} \text{ bei } 50 \text{ Mhz}$$

Es machte nicht viel Sinn, wenn man jetzt eine theoretische Ableitung der kapazitiven Gesamtverluste errechnen wollte. Festzuhalten ist, dass der Anteil der schädlichen Eigenkapazität durch das Ferrit nicht sicher bestimmt werden konnte, wohl aber eine Rolle spielt. Deshalb aber aus den Versuchen abzuleiten, dass überwiegend die dielektrischen Verluste für die Dämpfung des Schwingkreises bei direkter Bewicklung des Ferritstabes verantwortlich sind, wäre wohl eine gewagte These.