

26 Der Energiefluss im Transformator

Thema

Es ist üblich, in der Vorlesung den Energiestrom im elektromagnetischen Feld in einigen typischen Situationen zu diskutieren, etwa für ein zweiadriges Kabel, Abb. 1. Die elektrischen Feldlinien sind blau, die magnetischen rot und die Energiestromdichtepfeile grün.

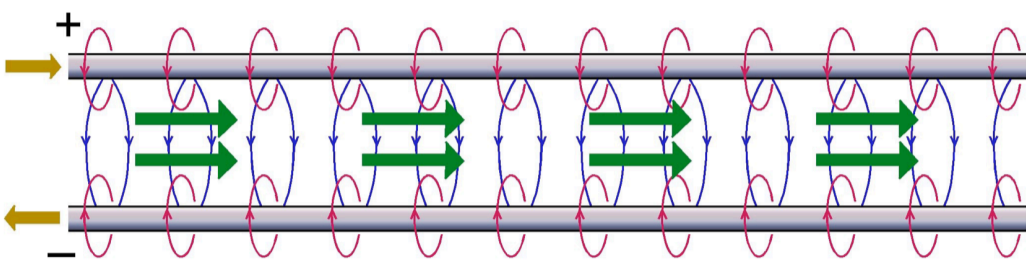


Abb.1. Energiefluss für ein zweiadriges Kabel. Blau: elektrische Feldlinien, rot: magnetische Feldlinien, grün: Energiestromdichte

Wir untersuchen den Energiefluss in einer anderen häufigen Anwendung: dem Transformator. Transformatoren werden gewöhnlich kompakt gebaut, Primär- und Sekundärspule werden übereinander gewickelt. Dabei drängt sich die Frage, wie die Energie aus dem Primärkreis in den Sekundärkreis kommt, nicht auf. Wir wollen daher für unseren Transformator eine andere Geometrie wählen, nämlich so, dass Primär- und Sekundärspule weit voneinander entfernt sind, Abbildung 2, und wir fragen, wie die Energie von links nach rechts kommt.

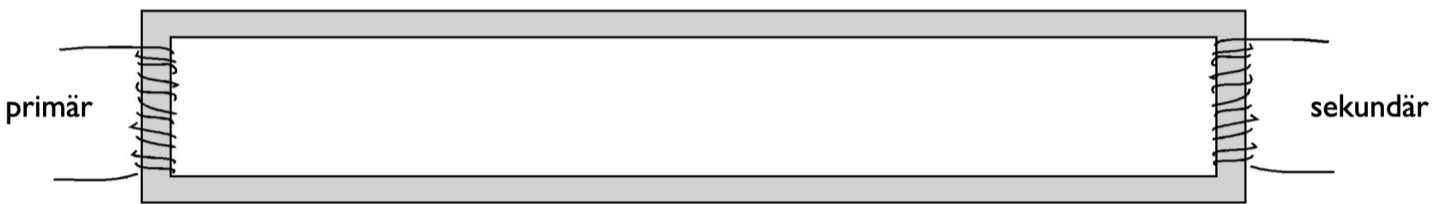


Abb. 2. Wir wählen für den Transformator eine Geometrie, bei der die Energie eine lange Strecke zurückzulegen hat.

So wie im Fall des Kabels von Abbildung 1 die Energie nicht im Leiter fließt, weil dort \mathbf{E} , und damit auch die Energiestromdichte $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$ gleich null ist, so fließt auch keine Energie im Eisenkern des Transformators, da dort $\mu \gg 1$, und daher \mathbf{H} gleich null ist. Auch hier wird die Energie außerhalb des Eisenkerns durch das Feld transportiert.

Das Induktionsgesetz sagt uns, dass die \mathbf{E} -Feldlinien um die Schenkel herumlaufen (Linke-Hand-Regel). Das \mathbf{H} -Feld bekommen wir mit Hilfe des Ampereschen Gesetzes:

$$\oint \vec{H} d\vec{s} = I$$

Als Beispiel betrachten wir zwei Integrationswege, Abbildung 3. Wir sehen, dass nur das Wegstück außerhalb des Eisenkerns, das die beiden Schenkel verbindet, zum Integral beiträgt.

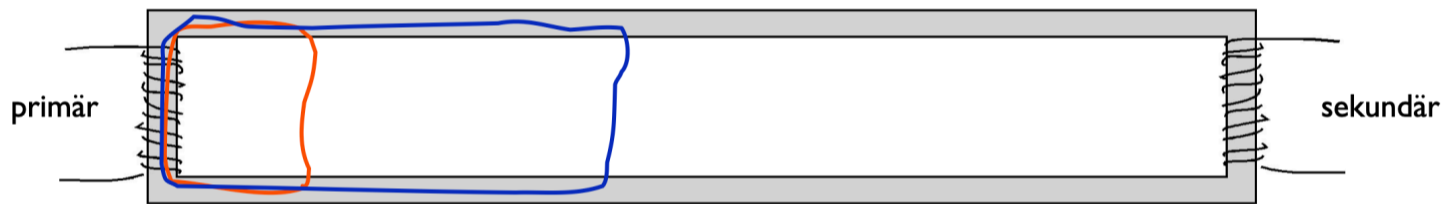


Abb.3. Die \mathbf{H} -Feldstärke im Eisenkern ist null. Zum Integral im Ampereschen Gesetz trägt jeweils nur das Wegstück außerhalb des Eisenkerns bei.

Wir haben also ein \mathbf{H} -Feld, dessen Feldlinien an der Oberfläche des einen Schenkels beginnen und an der des anderen enden, so wie die elektrischen Feldlinien in Abbildung 1.

In Abbildung 4 sind elektrische und magnetische Feldlinien schematisch dargestellt. Wieder sind die \mathbf{E} -Feldlinien blau, die \mathbf{H} -Feldlinien rot. Die \mathbf{H} -Feldlinien haben über die ganze Strecke von der Primär- zur Sekundärspule praktisch dieselbe Gestalt. Die grünen Pfeile stehen für die Energieströmung.

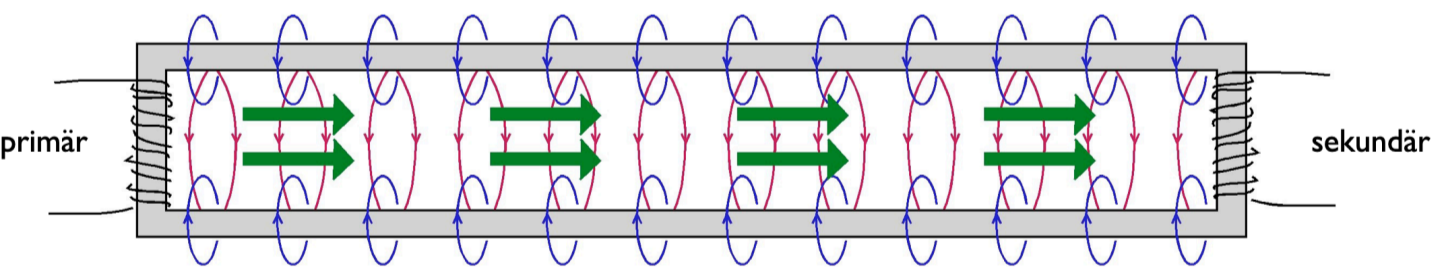


Abb.4. Die Felder haben dieselbe Gestalt, wie im zweiadrigen Kabel von Abbildung 1, nur sind elektrisches und magnetisches Feld vertauscht.

Das Gerät

Der Transformator wird aufgebaut aus zwei Spulen und mehreren Eisenkernstücken aus der Sammlung, Abbildung 5. Stellt man das Ganze senkrecht aufeinander, braucht man die Eisenkernstücke nicht einmal zu befestigen.

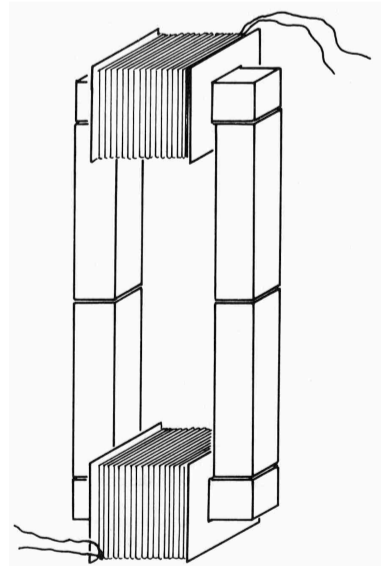


Abb.5. Mit Spulen und Weicheisenstücken aus der Sammlung wird ein ungewöhnlicher Transformator aufgebaut.

Der Versuch

Man zeigt zunächst, dass der Transformator funktioniert, so wie die Transformatoren, die man schon besprochen hat.

Uns interessiert aber vor allem das magnetische Feld zwischen den Schenkeln. Wir messen es mit der Hall-Sonde der Sammlung in verschiedenen Höhen, und stellen fest, dass es überall nahezu gleich ist.

Was man daraus lernen kann

Das Ergebnis ist nicht aufregend. Es wird erst interessant, wenn man sich klarmacht, dass dieses unspektakuläre \mathbf{H} -Feld nicht ein unerwünschtes Streufeld ist, also etwas, das es in einem irgendwie idealisierten Transformator gar nicht gibt. Es ist vielmehr das Feld, das den Energiestrom von links nach rechts ermöglicht. Man hätte ja glauben können, dass die Energie irgendwie durch den Eisenkern geht.