

Übungsblatt 3 zur Vorlesung 'Elektrodynamik und Wellenoptik'

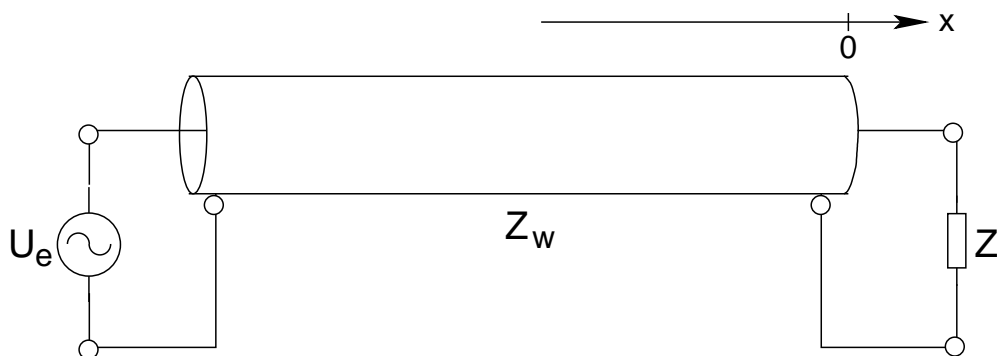
Humboldt-Universität zu Berlin, WS 2008/2009,
Prof. Dr. T. Lohse, Prof. Dr. M. Müller-Preußker

Ausgabe: Montag, den 27. Oktober 2008, in der Vorlesung

Rückgabe: Donnerstag, den 6. November 2008, in der Vorlesung

Aufgabe 1: Reflexion am Kabelende (30 %)

Gegeben sei ein Koaxialkabel mit $\hat{C} = 100 \text{ pF/m}$, $\hat{L} = 0,25 \text{ }\mu\text{H/m}$, $\hat{R} = 0$:



Das Kabelende bei $x = 0$ wird mit einem (komplexen) Wechselstromwiderstand Z abgeschlossen. Am Kabeleingang erzeugt eine Wechselspannungsquelle eine harmonische Welle der Form $U_0 e^{i(\omega t - kx)}$. Diese wird mit einem Reflexionskoeffizienten ρ bei $x = 0$ reflektiert und erzeugt eine rücklaufende Welle mit $U_0 e^{i(\omega t + kx)}$. Am Kabeleingang mögen durch einen geeigneten Abschluss keine weiteren Reflexionen entstehen.

- Wie lauten Spannungs- und Stromverlauf $U(x,t)$ bzw. $I(x,t)$?
- Berechnen Sie ρ als Funktion von Z_w und Z . Wählen Sie Z so, dass keine Reflexion entsteht.
- Ein kurzer Rechteckimpuls der Höhe U_0 wird am Eingang eingespeist, und das um die Laufzeit verzögerte Signal an einem Oszilloskop beobachtet, welches am Kabeleingang angeschlossen ist. Wie sieht das reflektierte Signal (Form, Höhe) im Vergleich zum Eingangssignal aus, falls das Kabel offen bleibt, bzw. kurzgeschlossen wird? Fertigen Sie auch eine Skizze der zu erwartenden Bilder am Oszilloskop an.

Aufgabe 2: Experimentieraufgabe (10 %)

Führen Sie das folgende kleine Experiment durch: Geben Sie ein- zwei Tropfen Milch in einen mit Wasser gefüllten Glaskrug, und durchleuchten Sie diesen nach Durchmischung in einem abgedunkelten Raum mittels einer starken Lampe. Beobachten Sie nun den Krug unter verschiedenen Winkeln relativ zur Strahlachse des einfallenden Lichts. Was sehen Sie? Erklären Sie Ihre Beobachtungen.

Aufgabe 3: Energieerhaltungssatz (30 %)

Leiten Sie analog zum Vakuumfall, ausgehend von den allgemeinen Maxwell-Gleichungen, den Energieerhaltungssatz für das elektromagnetische Feld in einem homogenen, aber anisotropen Isolator her. Es gelte demnach

$$D_k(\vec{x}) = \epsilon_0 \sum_l \epsilon_{kl} E_l(\vec{x}),$$
$$B_k(\vec{x}) = \mu_0 \sum_l \mu_{kl} H_l(\vec{x}),$$

wobei ϵ_{kl} und μ_{kl} die räumlich konstanten, symmetrischen Dielektrizitäts- bzw. Permeabilitäts-tensoren seien. Wie sehen in diesem Fall die Ausdrücke für die Feldenergie und für den Poyntingvektor aus?

Aufgabe 4: Lorentz-Kraft (30 %)

- Eine elektromagnetische Welle treffe auf ein Elektron, das sich mit der Geschwindigkeit \vec{v} bewege. Ausgehend von den retardierten Lösungen für die elektromagnetischen Potentiale begründe man, dass die auf das Elektron wirkende magnetische Kraft bei geringen Geschwindigkeiten $|\vec{v}| \ll c$ klein gegenüber der elektrischen Kraft ist (c bezeichne die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum).
- Beim LHC (CERN) werden Protonenstrahlen bei sehr hoher Energie auf einer annähernd kreisförmigen Bahn mit Umfang 27 km gehalten. Dazu werden sehr starke supraleitende Ablenkmagnete eingesetzt. Die Protonen sind hochrelativistisch. Jedes Proton hat die Energie $E = 7 \text{ TeV}$, eine Geschwindigkeit $v \approx c$ und eine (effektive) Masse $m = \frac{E}{c^2}$. Wie groß ist das Magnetfeld in den Ablenkmagneten? Wie groß müssten die elektrischen Felder sein, wenn die Protonen durch elektrostatische Ablenkeinrichtungen auf der Bahn gehalten werden sollten?