

Nichtreziproke Wellenausbreitung durch Faraday-Rotation?

von Ulrich Schreiber, DF1DM, Dahlmannstr. 22, D-3400 Göttingen

EINLEITUNG

Zu den Erfahrungen eines EME-Amateurs gehört es, daß bei Verabredungen zweier Stationen mit vergleichbaren Ausrüstungen keine Verbindung zustande kommt, obwohl die eine Station von der anderen gut aufgenommen werden kann (1). Dies führt zu der Vermutung, daß auf dem Ausbreitungsweg ein nichtreziprokes Element für diesen Effekt verantwortlich ist. Im Nachfolgenden sollen einige Überlegungen für einen derartigen Mechanismus dargestellt werden.

NICHTREZIPROZITÄT DURCH FARADAY-ROTATION

In Amateurkreisen werden üblicherweise horizontal linear polarisierte elektromagnetische Wellen abgestrahlt, welche die Ionosphäre passieren, die allgemein als ein Plasma angesehen werden kann, welches von einem Magnetfeld (Erdmagnetfeld) durchsetzt ist, das in Ausbreitungsrichtung einen nichtverschwindenden Gleichanteil besitzt. Welchen Einfluß dies hat, zeigt sich bei der Zerlegung der linear polarisierten Welle in eine positiv- und eine negativ-zirkulierende Komponente (2). Jede dieser Teilwellen erfährt eine andere relative Phasenänderung auf ihrem Weg durch das Plasma. Am Ausgangspunkt $z = 0$ sei das elektrische Feld einer linear polarisierten Welle gegeben durch:

$$\text{Formel (1)} \quad \underline{E} = A \underline{E}_0 e^{i\omega t}$$

Durch Zerlegung in eine positiv- zirkular polarisierte Welle (E_+) und in eine negativ- zirkular polarisierte Welle (E_-) erhält man für diesen Ausdruck:

$$\text{mit:} \quad \underline{E} = \underline{E}_+ + \underline{E}_- \quad (2)$$

$$\underline{E}_+ = \frac{E_0}{2} (A_x - iA_y) e^{i\omega t} \quad (2a)$$

$$\text{und} \quad \underline{E}_- = \frac{E_0}{2} (A_x + iA_y) e^{i\omega t} \quad (2b)$$

Hat nun die Welle unter dem Einfluß des Magnetfeldes die Entfernung $z = d$ zurückgelegt, erhält man für die beiden Komponenten:

$$\underline{E}_+ = \frac{E_0}{2} (A_x - iA_y) e^{i(\omega t - K_+ d)} \quad (3a)$$

$$\underline{E}_- = \frac{E_0}{2} (A_x + iA_y) e^{i(\omega t - K_- d)} \quad (3b)$$

Wird daraus wieder die ursprünglich vorhandene linear polarisierte Welle zusammengesetzt, ergibt sich:

$$\underline{E} = \frac{E_0}{2} A_x (e^{-iK_+ d} + e^{-iK_- d}) e^{i\omega t} - \frac{E_0}{2} A_y (e^{-iK_+ d} - e^{-iK_- d}) e^{i\omega t} \quad (4)$$

Durch ausmultiplizieren von: $\exp(-i(K_+ + K_-) \frac{d}{2})$ und unter der Zuhilfenahme der Umformungsformel ($e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$) hat man dann:

$$\underline{E} = E_0 e^{-i(K_+ + K_-) \frac{d}{2}} e^{i\omega t} \left[A_x \cos \frac{(K_+ - K_-)d}{2} A_y \frac{(K_+ - K_-)d}{2} \right] \quad (5)$$

Also wieder eine polarisierte Welle, deren E-Feldvektor mit der x-Achse einen Winkel von:

$$\Theta = \arctan \frac{E_y}{E_x} = - \arctan \tan \frac{(\kappa_+ - \kappa_-)d}{2} = \frac{d}{2} (\kappa_- - \kappa_+)$$

bildet. Im praktischen Anwendungsfall einer EME-Verbindung ist $\kappa_+ > \kappa_-$, was einer Rotation der Polarisationssebene der elektromagnetischen Welle und dem Magnetvektor entgegen dem Uhrzeigersinn (in Ausbreitungsrichtung gesehen) gleichkommt. Führt man die obigen Rechnungen für eine in umgekehrter Richtung sich ausbreitende Welle aus, so stellt man fest, daß deren Polarisationssebene sich bezüglich der Richtung des magnetischen Gleichfeldes im gleichen Drehsinn ändert, wie die oben betrachtete elektromagnetische Welle.



Abb. 1 Veranschaulichung der Nichtreziprozität der Faraday - Rotation.

Dies liegt daran, daß durch die Richtungsumkehr in dem obigen Formalismus κ_+ und κ_- gegeneinander ausgetauscht sind, was zu einem Vorzeichenwechsel führt. Dieser Wechsel wird allerdings durch die Vorzeichenumkehr in der Ausbreitungsrichtung wieder aufgehoben, was die Nichtreziprozität der Faraday-Rotation begründet. Eine häufige technische Anwendung dieses Effekts stellen die Einwegleitungen von Mikrowellensystemen dar.

Dieser Effekt dürfte auch für die eingangs beschriebenen Beobachtungen bei EME-Verbindungen verantwortlich sein. Das abgestrahlte Signal erfährt bei seinem Weg durch das Plasma der Ionosphäre unter Anwesenheit des Erdmagnetfeldes eine Drehung in seiner Polarisationssebene. Dabei kann das empfangene System, wenn die Polarisationsrichtungen zwischen Signal und Empfangsantenne einigermaßen günstig sind, die sendende Station noch "gut" aufnehmen. Da das in umgekehrter Richtung abgestrahlte Signal eine Faraday-Rotation mit gleichem Drehsinn erfährt, ist es ohne weiteres möglich, daß dieses Signal am Orte der ersten Station wegen ungünstiger Lage der Polarisationssebenen nicht mehr detektierbar ist.

Sollten sich diese Vorstellungen als richtig erweisen, was man durch geeignete Experimente sicherstellen müßte, hätte das deutliche Auswirkungen auf Planung und Aufbau einer EME-Station. Man müßte im idealen Fall getrennte Antennen für Empfang und Sendung vorsehen, wobei die Empfangsantenne in der Polarisationsrichtung veränderlich ist. Erschwerend ist noch der Umstand, daß der Winkel, um den das Signal aus der Polarisationssebene herausgedreht wurde, nicht konstant bleibt. Das würde bedeuten, daß man auch während eines QSO's die Empfangsantenne dauernd nachzuregeln hat, wobei die Sendeantenne nicht verändert werden darf, weil man sonst unter Umständen seinen QSO-Partner vor unlösbare Justieraufgaben stellt. Eine goldene Regel scheint es in dieser Problematik nicht zu geben. Ich empfehle hierzu noch die Überlegungen von V. Grassmann aus DUBUS 2/86 ("Verschlechterung des Signal- Rauschabstandes durch Drehung der Polarisationssebene").

(1) DJ7UD persönliche Mitteilungen

(2) Principals and applications of electromagnetic fields, Mc Graw- Hill Book Company © 1961.

Nonreciprocal Wave Propagation by Faraday - Rotation ?

by Ulrich Schreiber, DF1DM, Dahlmannstr. 22, D-3400 Göttingen

INTRODUCTION

It is a common experience for EME- amateurs, that a sked of two almost equally equipped stations is not successful, even though one of the two partners can copy the other with ease (1). This leads to the idea, that a nonreciprocal element on the propagation path could be responsible for such a mechanism. Here some ideas are presented, which could explain the observed effect.

THE NONRECIPROCALITY OF FARADAY - ROTATION

Ham radio amateurs often prefer to use horizontally linear polarized electromagnetic waves. The ionosphere, these waves pass through, can be taken as a plasma, that holds a magnetic field (geomagnetic field), which always has a component parallel to the wavevector of the traversing electromagnetic wave. The influence this has on the el. mag. wave can be illustrated by separating the linear polarised wave into a positive- and a negative- circular component (2). Each of these component- waves will suffer a relative change in phase in propagating through the plasma. At the starting point ($z=0$) the electric field of a linear polarized wave is given by equation 1. This can be written in the form of equation 2, where E^+ and E^- represent the positive and the negative circular polarised waves (eq. 2a, 2b). At $z=d$ these waves have the characteristics found in equation 3a, 3b. Recombining these two waves (eq. 4) and taking out a factor of $\exp(-i(k+k)d/2)$ gives a linear polarised wave, whose plane of polarisation, spans an angle Θ (eq. 6) with respect to the x - axis. In the case of an EME-QSO where $k^+ \gg k^-$, this means, that the plane of polarisation rotates counterclockwise. Carrying out these calculations for a wave travelling in the opposite direction reveals, that the plane of polarisation continues to rotate in a counterclockwise sense about the dc-magnetic field. This is because of two changes in sign in the above discussed formalism. One change comes from the wave now travelling into the $-z$ direction. Another change of sign is caused by the interchange of k^+ and k^- . So after all, it can be seen that the same result is obtained for both directions, which illustrates the nonreciprocity of the Faraday-rotation (fig.1). There are quite a few technical applications of this effect, for example the one-way circuit of some microwave devices.

It can well be, that this effect is also responsible for the observations described in the introduction. The transmitted signal rotates in the plane of polarisation on its way through the plasma of the ionosphere. The receiving system on the other end, depending upon the actual plane of polarisation, may copy the transmission with a more or less sufficient quality. Assuming now, that the direction of transmission is reversed, it could well be, that nothing is detectable at the other end, because of bad angle of the rotated wave to the receiving antenna system.

In case these ideas prove to be right (some adequate experiments should be carried out), they would have consequences for the design of an EME-station. There should be a separate antenna system for receiving and for transmitting. The receiving antenna should be rotatable in the plane of polarisation. But the fact that the angle of rotation is not constant over the time must be taken into account. In practise, this could mean that the receiving antenna must be adjusted every now again. At the moment there doesn't seem to be a golden rule for solving this dilemma. For further reading, I propose the article of V. Grassmann (DF5AI), which was published in DUBUS 2/86 (p. 155) "Deterioration of signal/noise ratio by rotation of the polarisation plane".

(1) DJ7UD personal notes (2) Principals and applications of electromagnetic fields, Mc Graw-Hill Books Company (1961)