

Ergänzung zum Beitrag in FA 12/14, S. 1293 ff. „VLF-Empfänger für Signale des Maschinensenders SAQ“

Die Quellenspannung einer Magnetantenne lässt sich unter anderem aus dem elektrischen Feld errechnen. Diese hier dargestellte Ergänzung veranschaulicht am Beispiel des Maschinensenders SAQ sehr eindrucksvoll, warum Magnetantennen bei tiefen Frequenzen nur geringe effektive Höhen aufweisen.

■ Induktionsgesetz

Nach dem Induktionsgesetz ist die in einer Spule induzierte Spannung um so höher, je größer die Windungszahl und die Flussänderung sind und je kürzer die Zeit ist, in der die Flussänderung erfolgt. Für eine Rahmenantenne lässt sich die Quellenspannung U_q nach

$$U_q = N \cdot A \cdot 2 \pi \cdot f \cdot B \quad (1)$$

berechnen.

■ Feldkomponenten im Fernfeld

Die Quellenspannung der Magnetantenne lässt sich auch aus der elektrischen Feldstärke ableiten. Wesentlich ist dabei die Tatsache, dass im Fernfeld der Wellenwiderstand der beiden in Phase liegenden, rechtwinklig zur Ausbreitungsrichtung aufeinanderstehenden Feldkomponenten $Z_0 = 377 \Omega$ beträgt. Es gilt:

$$Z_0 = \frac{E}{H} \quad (2)$$

Die elektrische Feldstärke E ist also 377 mal (120π) so groß wie die magnetische Feldstärke H . Die magnetische Flussdichte B

$$B = \mu_0 \cdot H \quad (3)$$

ergibt sich aus der magnetischen Feldstärke H und der magnetische Feldkonstante $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$. Mit den Formeln 2 und 3 sowie den Konstanten Z_0 und μ_0 ist es nun möglich, bei Kenntnis eines der Werte von E, H oder B , die beiden anderen zu bestimmen. Im Fernfeld entspricht die elektrische Feldstärke

$$E = 1 \text{ mV/m}$$

der magnetischen Feldstärke

$$H = 2,653 \cdot 10^{-6} \text{ A/m}$$

bzw. einer magnetischen Flussdichte

$$B = 3,334 \cdot 10^{-12} \text{ T.}$$

Die Quellenspannung einer quadratischen Schleifenantenne mit einer Windung $N = 1$ und einer Kantenlänge von 1 m beträgt

nach Formel 1 für das Signal des Maschinensenders SAQ bei einer Feldstärke von 1 mV/m

$$U_q = 0,360 \cdot 10^{-6} \text{ V} = 0,36 \mu\text{V.}$$

Der gleiche Wert ergibt sich wie zu erwarten, wenn man

$$U_q = \frac{E \cdot N \cdot A \cdot 2 \pi}{\lambda} \quad (4)$$

benutzt. Aus

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (5)$$

lässt sich dazu die Wellenlänge $\lambda = 17430 \text{ m}$ der Empfangsfrequenz berechnen. Dabei ist c die Lichtgeschwindigkeit, für die die Näherung $c \approx 300 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ ausreicht.

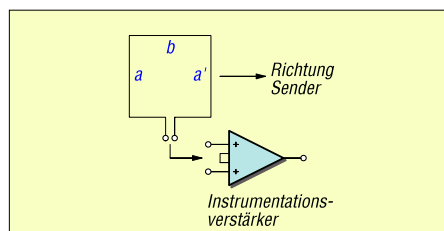


Bild 1: Die vertikal orientierte elektrische Feldkomponente induziert nur in den senkrecht angeordneten Schleifenstrecken Spannungen.

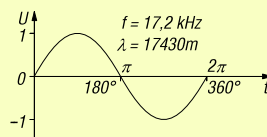


Bild 2: Die Frequenz von SAQ Grimeton beträgt 17200 Hz, das entspricht einer Wellenlänge von $\lambda = 17430 \text{ m}$. Diese Strecke entspricht einem Winkel von 360° bzw. einem Bogenmaß von 2π .

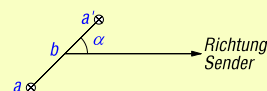


Bild 3: Die sich mit den Formeln 1 und 4 errechnete Quellenspannung stellt sich nur bei einer optimalen Ausrichtung mit $\alpha = 0^\circ$ zum Sender ein. Bei anderen Ausrichtungen muss das Ergebnis mit $\cos \alpha$ multipliziert werden.

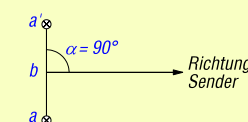


Bild 4: Bei der Konstellation mit $\alpha = 90^\circ$ ($\cos \alpha = 0$) ist $U_q = 0 \text{ V}$, da die Beträge und Phasenlage der induzierten Spannungen in a und a' identisch sind.

■ Bestimmung der Quellenspannung

Praktisch kann man sich die durch Formel 4 beschriebenen Zusammenhänge wie folgt vorstellen: Eine nicht abgeschirmte, optimal zum Sender ausgerichtete, horizontal angeordnete quadratische Schleife wird symmetrisch abgeschlossen betrieben. Dies ist beispielsweise mit einem Instrumentationsverstärker möglich, siehe Bild 1.

Durch das vertikal ausgerichtete elektrische Feld werden nur in den senkrechten Schleifenenden (a und a') Spannungen induziert. Diese betragsgleichen Spannungen weisen gegeneinander eine geringfügige Phasenverschiebung auf [1]. Die Zusammenhänge sind in Bild 2 dargestellt.

Die Wellenlänge der 17,2-kHz-Schwingung von SAQ beträgt 17430 m. Eine ganze Schwingung entspricht einem Winkel von 360° oder im Bogenmaß dargestellt 2π . Die Phasenverschiebung von a zu a' wird durch den Abstand b , der Länge der horizontalen Schleifenenden bestimmt. Der Faktor β

$$\beta = b \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \quad (6)$$

kennzeichnet den für die Quellenspannung wirksamen Unterschied von a zu a' . Für U_q gilt demnach

$$U_q = \frac{E \cdot a \cdot b \cdot 2 \pi}{\lambda} \quad (7)$$

bei Rahmenspulen mit einer Windung. Das Produkt von a und b ergibt die Schleifenfläche A . Handelt es sich bei der Antenne um eine Rahmenantenne mit einer Windungszahl $N > 1$, so muss N in die Formel integriert werden, wie in Formel 4. Wir erhalten so die Formeln 8, mit der sich die effektive Höhe h_{eff}

$$h_{\text{eff}} = \frac{N \cdot A \cdot 2 \pi}{\lambda} \quad (8)$$

der Magnetantenne bestimmen lässt. Liegt b nicht in Flucht zum Sender (Bild 3), ist das Ergebnis der Formel 4 mit $\cos \alpha$ zu multiplizieren. Steht b im 90° -Winkel ($\cos \alpha = 0$) zum Sender (Bild 4), sind die induzierten Spannungen in a und a' phasen- und betragsgleich. Sie heben sich auf und die resultierende Quellenspannung ist 0 V.

wolfgangfriesse@t-online.de

Literatur

[1] Fricke, H., Lamberts, K., Schuchhardt, W.: Elektrische Nachrichtentechnik. Teil 1 Grundlagen, Teubner-Verlag, Stuttgart, 1971