

Ein Vergleich der Signalstärke zwischen Rahmenantennen und Kurzdrahtantennen für MW und LW Empfang

Dipl.-Phys. Jochen Bauer

21.01.2012

Zusammenfassung

Rahmenantennen mit einer gesamten Drahtlänge wesentlich kleiner als $\lambda/4$ werden aufgrund ihrer kompakten Abmessungen gerne als Zimmerantennen verwendet. Weitere in der Praxis positiv bemerkte Eigenschaften dieser Rahmenantennen sind die Richtwirkung und Unempfindlichkeit gegenüber lokalen elektrischen Störfeldern. Der große Nachteil von Rahmenantennen ist die im Vergleich zu einer ebenfalls zimmergeeigneten Kurzdrahtantenne mit Hilfsserde (und einer Gesamtlänge ebenfalls wesentlich kleiner als $\lambda/4$) sehr geringe Signalspannung. Dieser Nachteil wird in der Regel dadurch ausgeglichen, dass die Rahmenantenne als Induktivität in einem auf die gewünschte Empfangsfrequenz abgestimmten Schwingkreis verwendet wird, wodurch allerdings die Abstimmung von zwei Empfangskreisen (Antenne und Empfänger) notwendig wird. Im folgenden sollen die Signalspannungen dieser beiden Antennentypen quantitativ aus den Grundgesetzen der Elektrodynamik hergeleitet und verglichen werden.

Signalspannung der Kurzdrahtantenne mit Hilfsserde

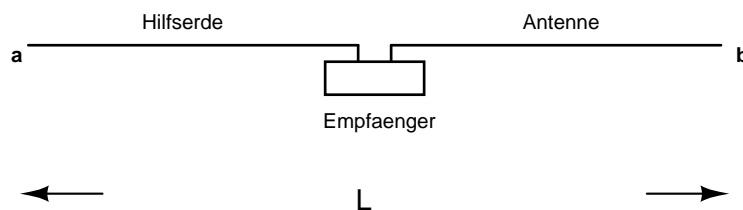


Abbildung 1: Kurzdrahtantenne mit Hilfsserde

Die idealisierte Anordnung ist in Abbildung 1 dargestellt. An einem Empfänger mit unendlich hoher Eingangsimpedanz ist eine Drahtantenne und ein genau

so langer Draht als Hilfserde angeschlossen. Die beiden Drähte sollen keine Induktivität und keine Kapazität besitzen und in der Gesamtlänge L (Antenne + Hilfserde) wesentlich kleiner als $\lambda/4$ sein.

Die Funktionsweise dieser idealen Kurzdrahtantenne ist wie folgt: Das E-Feld einer einfallenden elektromagnetischen Welle (Fernfeld) erzeugt eine Spannung U_{ab} zwischen den Punkten a und b im Raum. Diese Spannung wird zu jedem Zeitpunkt t von der Anordnung rückwirkungsfrei gemessen und näherungsweise ohne Zeitverzögerung (da $L \ll \lambda/4$) an den Empfänger geführt. Die Spannung U_{ab} zwischen zwei Punkten a und b in einem elektrischen Feld ist zu jedem Zeitpunkt durch das Wegintegral

$$U_{ab}(t) = \int_a^b \vec{E}(\vec{x}, t) \cdot d\vec{x}$$

gegeben. Da die Ausdehnung L der Anordnung deutlich kleiner als $\lambda/4$ sein soll, kann das E-Feld in diesem Bereich näherungsweise als räumlich homogen betrachtet werden, so dass

$$U_{ab}(t) = \vec{E}(t) \cdot \vec{ab}$$

Um die Signalspannung am Empfänger zu maximieren wird die Antennenanordnung parallel zum Richtungsvektor des E-Feldes ausgerichtet. In diesem Fall ist dann

$$U_{ab}(t) = |\vec{E}(t)|L$$

und die Amplitude \hat{U}_{ab} der Signalspannung ist dann gegeben durch

$$\hat{U}_{ab} = \hat{E}L \tag{1}$$

wobei \hat{E} die (skalare) Amplitude des E-Feldes am Ort des Empfängers ist.

Signalspannung der Rahmenantenne

Die idealisierte Anordnung mit einer Rahmenantenne ist in Abbildung 2 dargestellt. Ein Draht ist zu einer Leiterschleife gebogen und an den Enden an einen Empfänger mit unendlich hoher Eingangsimpedanz angeschlossen. Der Draht selber soll wiederum keine Induktivität oder Kapazität besitzen und in der Länge wesentlich kleiner als $\lambda/4$ sein. Eine Windungszahl größer als eins ist möglich, allerdings soll auch hierbei die kapazitive und induktive Kopplung zwischen den Windungen vernachlässigbar sein und die Gesamtlänge des Drahtes ebenfalls wesentlich kleiner als $\lambda/4$ sein. Die gesamte Anordnung schließt die Fläche A ein.

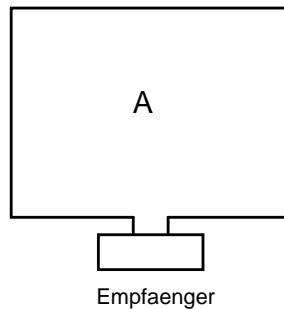


Abbildung 2: Rahmenantenne

Die Signalspannung dieser Anordnung ist in der Herleitung etwas umfangreicher. Wir gehen aus vom Induktionsgesetz der Maxwell-Gleichungen im SI-System in der Integralform [2]

$$\oint_{\partial A} \vec{E} \cdot d\vec{x} = - \iint_A \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{A}$$

mit dem Wegintegral über den Rand ∂A der Fläche A auf der linken Seite und dem Flächenintegral über die Fläche A auf der rechten Seite. Die linke Seite entspricht der in einer gedachten Leiterschleife induzierte Spannung U_i , die rechte Seite stellt die zeitliche Änderung des magnetischen Flusses durch die von der gedachten Leiterschleife umschlossene Fläche dar. Auf unsere idealisierte Rahmenantenne übertragen bedeutet dies, dass die Signalspannung aufgrund des B-Feldes der einfallenden elektromagnetischen Welle durch

$$U_i(t) = - \iint_A \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{A}$$

gegeben ist. Da die Ausdehnung der Anordnung wesentlich kleiner als $\lambda/4$ ist, kann das B-Feld im Bereich des Empfängers wieder näherungsweise als räumlich homogen betrachtet werden, und man erhält

$$U_i(t) = - \frac{d}{dt} \vec{B}(t) \cdot \vec{A}$$

mit dem Flächenvektor \vec{A} , der senkrecht auf der Fläche steht und dessen Betrag dem Flächeninhalt A entspricht. Um die Signalspannung auch hier zu maximieren wird die Rahmenantenne so ausgerichtet, dass der Flächenvektor \vec{A} parallel zum Richtungsvektor des B-Feldes orientiert ist (d.h. die Rahmenantenne wird wie bekannt senkrecht zu den Feldlinien des B-Feldes orientiert). In diesem Fall ist dann

$$U_i(t) = -A \frac{d}{dt} |\vec{B}(t)|$$

Wenn nun die übliche sinusförmige Zeitabhängigkeit der B-Feldstärke am Ort des Empfängers vorliegt, also

$$|\vec{B}(t)| = \hat{B} \sin(\omega t)$$

mit der (skalaren) Amplitude \hat{B} des B-Feldes und damit

$$\frac{d}{dt}|\vec{B}(t)| = \hat{B}\omega \cos(\omega t)$$

ist, so gilt für die Amplitude der Signalspannung (ohne negatives Vorzeichen)

$$\hat{U}_i = A\hat{B}\omega$$

für eine ideale Rahmenantenne mit einer Windung, bzw.

$$\hat{U}_i = nA\hat{B}\omega \quad (2)$$

für eine ideale Rahmenantenne mit n Windungen. Wie bei der idealen Kurzdrahtantenne auch erfolgt bei der idealen Rahmenantenne keine Rückwirkung auf die elektromagnetische Welle.

Vergleich der Signalspannungen

Um die Signalspannungen der Kurzdrahtantenne (1) und der Rahmenantenne (2) vergleichen zu können, kann in dem Ausdruck der Signalspannung der Rahmenantenne die skalare Amplitude \hat{B} des B-Feldes der einfallenden elektromagnetischen Welle mit Hilfe der skalaren Amplitude des E-Feldes der einfallenden elektromagnetischen Welle ausgedrückt werden. Der Zusammenhang zwischen beiden folgt aus den Maxwell-Gleichungen und ist gegeben durch [1]

$$\hat{E} = c\hat{B} \quad (3)$$

mit der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

$$c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0\epsilon_0}} \quad (4)$$

Dies gilt näherungsweise auch in Luft. In der Elektrotechnik ist dieser Zusammenhang als Wellenwiderstand des Vakuums bekannt. Dieser ist definiert als

$$Z_0 = \frac{\hat{E}}{\hat{H}}$$

und mit $\hat{B} = \mu_0\hat{H}$ und (3) sowie (4) folgt

$$Z_0 = \frac{\hat{E}}{\hat{H}} = \frac{c\hat{B}}{\frac{1}{\mu_0}\hat{B}} = \mu_0c = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \approx 376,73\Omega$$

Einsetzen von (3) in den Ausdruck (2) für die Signalspannung der idealen Rahmenantenne ergibt mit $\omega = 2\pi f$ und $c = f\lambda$

$$\hat{U}_i = \frac{2\pi n A}{\lambda} \hat{E}$$

und damit folgt für das Verhältnis der Signalspannungen

$$\frac{\hat{U}_i}{\hat{U}_{ab}} = \frac{2\pi n A}{\lambda L}$$

Aus der obigen Gleichung läßt sich bereits erahnen, dass für Wellenlängen im Mittel- und Langwellenbereich (200m bis 2km), für die diese beiden Antennentypen Anwendung finden, das Verhältnis stark zu ungunsten der Rahmenantenne sein wird.

Nimmt man eine Fläche von $A = 1\text{qm}$ und eine Windungszahl von $n = 5$ für die Rahmenantenne, sowie eine Gesamtlänge von $L = 6\text{m}$ für die Kurzdrahtantenne an, so ergibt sich am unteren Ende des Langwellenbereiches mit $\lambda = 2000\text{m}$ ein Verhältnis von $\hat{U}_i/\hat{U}_{ab} = 2.6 \cdot 10^{-3}$, d.h. die Signalspannung der Kurzdrahtantenne ist ungefähr um den Faktor 382 größer als die Signalspannung der Rahmenantenne. Am oberen Ende des Mittelwellenbereiches mit $\lambda = 200\text{m}$ ergibt sich (von den praktischen Problemen der parasitären Kapazitäten bei einer derartig großen Rahmenantenne einmal abgesehen) ein Verhältnis von $\hat{U}_i/\hat{U}_{ab} = 26 \cdot 10^{-3}$, d.h. die Signalspannung der Kurzdrahtantenne ist immer noch ungefähr um den Faktor 38 größer als die Signalspannung der Rahmenantenne.

Abschließende Bemerkungen

Den in der Praxis genutzten Vorteilen der Rahmenantenne, nämlich die geringe Empfindlichkeit gegenüber lokalen elektrischen Störfeldern und die Richtwirkung steht der Nachteil der geringen Signalspannung gegenüber. Dieser Nachteil kann jedoch behoben werden, wenn die Rahmenantenne als Induktivität in einem Schwingkreis eingesetzt wird, der auf die Empfangsfrequenz abgestimmt wird. Aufgrund der hohen Güte der Rahmenantenne als Spule ergibt sich im Resonanzfall eine brauchbar hohe Eingangsspannung für den Empfänger. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass nun zwei auf die selbe Frequenz abgestimmte Schwingkreise (Antennenschwingkreis und Eingangsschwingkreis des Empfängers) vorliegen. Die Kopplung des Antennenschwingkreises und Eingangsschwingkreises des Empfängers darf daher nur lose erfolgen, da bei zu fester (überkritischer) Kopplung die bekannte Doppelhöcker-Resonanzkurve entsteht. Alternativ können Antennenschwingkreis und Eingangsschwingkreises des Empfängers über eine dazwischen liegende Verstärkerstufe entkoppelt werden. Die erforderliche doppelte Abstimmung, also die Abstimmung von Antennenschwingkreis und Eingangsschwingkreis läßt sich nicht eliminieren, da bei der gewollten hohen Güte des

Antennenschwingkreises dessen Bandbreite für eine feste Abstimmung auf die Mitte des zu empfangenden Frequenzbandes zu klein ist.

Literatur

[1] http://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetische_Welle

[2] <http://de.wikipedia.org/wiki/Maxwell-Gleichungen>