

Die Verlängerung von KW - Antennen durch Endkapazitäten

**Mitteilungen aus dem Institut
für Umwelttechnik
Nonnweiler-Saar
Dr. rer. nat. Schau
DL3LH**

Vorwort:

Elektrisch kurze Antennen mit kleiner effektiver Höhe haben einen sehr kleinen Strahlungswiderstand und einen relativ hohen Blindwiderstand. Zur Verlängerung der Antenne gibt es mehrere Möglichkeiten.

1. Man bringt zur Erhöhung des Strommomentes an der Spitze der Antenne eine zusätzliche Kapazität gegen Erde an
2. Man bringt im Fußpunkt der Antenne eine Verlängerungsspule an /2/
3. Man schaltet 2 Antennen parallel /2/

Alle drei Möglichkeiten vermindern die Reaktanz im Fußpunkt oder bringen diese zum Verschwinden, erhöhen den Strahlungswiderstand mit dem Vorteil eines besseren Wirkungsgrades der Antenne und Reduzierung der Verluste auf der Antennenzuleitung.

Die Anordnung mit einer Endkapazität ist wegen der vernachlässigbaren Verluste und der einfachen Ausführung die bessere Methode. Wird direkt vor der Endkapazität eine Spule eingefügt, kann die Wirkung der Endkapazität vergrößert werden. Da diese Spule in einem Bereich geringer HF-Ströme liegt, sind deren Verluste gering.

1. Verlängerung der Antenne durch eine Kapazität

Zur Berechnung der erforderlichen Endkapazität kann man sich die Antenne als eine mit einer Kapazität abgeschlossene Doppelleitung /10/ vorstellen. Wird diese Leitung mit einer reinen Kapazität

$$\underline{Z}_2 = 1 / j\omega C \quad (\text{Gl 1})$$

abgeschlossen, ist der komplexe Reflexionsfaktor

$$\underline{r} = (\underline{Z}_2 - \underline{Z}_0) / (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_0) \quad (\text{Gl 2})$$

durch folgende Beziehung gegeben

$$\underline{r} = (1 - j\omega C Z_0) / (1 + j\omega C Z_0) \quad (\text{Gl 3})$$

wobei der Wellenwiderstand in erster Näherung als reell angenommen wird.

Der Absolutwert von (Gl 3) ist gleich Eins, da Nenner und Zähler konjugiert komplexe Zahlen sind. (Gl 3) kann daher auch in der Form

$$\underline{r} = 1 e^{-j\varphi} \quad (\text{Gl 4})$$

geschrieben werden. Für den Winkel φ kann sehr einfach der Zusammenhang

$$\varphi = 2 \arctan(\omega C Z_0) \quad (\text{Gl 5})$$

gefunden werden.

Der Reflexionsfaktor nach (Gl 2) ist allgemein das Verhältnis von rücklaufender zu hinlaufender Spannung auf einer Leitung

$$\underline{r} = \underline{U}_r / \underline{U}_h \quad (\text{Gl 6})$$

und der Betrag des Reflexionsfaktors

$$r = |\underline{U}_r| / |\underline{U}_h|. \quad (\text{Gl 7})$$

Die Spannung auf der Leitung ist von der Ortskoordinate x und von der Zeit abhängig.

Es gilt allgemein mit Einführung des Reflexionsfaktors nach (Gl 6) /2/

$$u(x,t) = U_h e^{j\omega t} (e^{-j\beta x} + e^{-j\varphi} e^{j\beta x}) \quad (\text{Gl 8})$$

oder

$$u(x,t) = U_h e^{j(\omega t - \varphi/2)} (e^{-j(\beta x - \varphi/2)} + e^{-j(\beta x + \varphi/2)}). \quad (\text{Gl 9})$$

mit der Phasenkonstanten

$$\beta = 2\pi / \lambda. \quad (\text{Gl 10})$$

Durch Anwendung der Zusammenhänge zwischen trigonometrischen und Exponentialfunktionen, kann (Gl 9) folgendermaßen umgeformt werden

$$u(x,t) = 2 U_h e^{j(\omega t - \varphi/2)} \cos(\beta x - \varphi/2)$$

$$u(x,t) = 2 U_h e^{j(\omega t - \varphi/2)} \cos 2\pi/\lambda (x - \lambda\varphi/4\pi). \quad (\text{Gl 11})$$

Wird im Argument der Kosinusfunktion die Beziehung für die Änderung der Ortskoordinate

$$d = \lambda/2\pi * \varphi/2$$

eingeführt und weiterhin (Gl 5) verwendet, so erhält man

$$d = \lambda/2\pi \arctan(\omega C Z_0). \quad (\text{Gl 12})$$

Wir erhalten also aus (Gl 11) die gleichen stehenden Wellen wie im Falle einer offenen Leitung mit dem Unterschied, dass sich das Spannungsmaximum nicht an der Stelle $x = 0$, sondern an der Stelle $x = d$ befindet. Die Leitung ist also um den Abschnitt d verlängert worden. Die Zusammenhänge zeigt Bild 1.

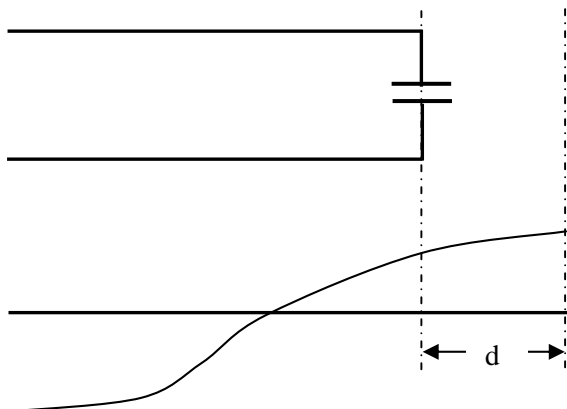


Bild 1 Verlängerung einer Leitung mittels Kapazität nach (Gl 12, 12a)

Der Arkus ist der Bogen, dessen Tangens gleich dem ist, was in (Gl 12) in der Klammer steht. Er kann von 0 bis $\pi/2$ variieren. Die Verlängerung nach (Gl 12) liegt daher immer zwischen Null und $\lambda/4$. Sie kann niemals größer $\lambda/4$ sein.

Für die Umrechnung zwischen Grad- und Winkelmaß ist die Beziehung $\alpha^\circ/360^\circ = \alpha/2\pi$ ganz hilfreich.

Aus (Gl 12) können wir die Verlängerung der Leitung als Funktion der angefügten Kapazität berechnen. Dazu muss der Wellenwiderstand Z_0 bekannt sein.

Dieser ergibt sich nach [2] für eine vertikale Antenne zu

$$Z_0 = 60 [\ln(2l/d) - 0.65] \Omega \quad (\text{Gl 13})$$

und ist von der Länge l der Antenne und dem Durchmesser d abhängig.

Entsprechend (Gl 13) erhält man den Wellenwiderstand einer vertikalen Antenne gegen das Spiegelbild, d.h. den Wellenwiderstand des freischwebenden, senkrechten Dipols und wegen der Inkonzanz des Wellenwiderstandes nach Siegel und Labus [14]

$$Z_0 = 120 [\ln(2l/d) - 1] \Omega. \quad (\text{Gl 14})$$

also, nicht den doppelten Wert von (Gl 13).

Das Verhältnis

$$s = l/d \quad (\text{Gl 15})$$

wird als Schlankheitsgrad der Antenne bezeichnet.

Wird in (Gl 12) der Zusammenhang zwischen Winkel- und Gradmaß eingeführt, wird die Verlängerung

$$d = \lambda * \alpha^\circ/360^\circ \quad (\text{Gl 12.a})$$

Beispiel 1.1

Bei der Betriebsfrequenz $f = 7.05$ MHz wird eine Vertikalantenne mit dem Drahtdurchmesser $d = 2$ mm und der Länge $l = 10$ m und durch eine Spitzenkapazität von $C = 40$ pF verlängert.

Der Schlankheitsgrad berechnet sich nach (Gl 15) zu $l/d = 10 \text{ m} / 2 \text{ mm} = 10000 / 2 = 5000$. Mit (Gl 13) erhalten wir den Wellenwiderstand der Vertikalantenne $Z_0 = 60 [\ln(2l/d) - 0.65] \Omega = 60 [\ln(10000) - 0.65] \Omega = 60 [9.21 - 0.65] \Omega = 513.62 \Omega$.

Die Verlängerung ergibt sich aus (Gl 12) zu $d = 42.55 \text{ m} / 2\pi * \arctan(513.62/564.37) = 5.00$ m. Die Antenne wird durch die Spitzenkapazität von $l = 10$ m auf $l = 15$ m verlängert.

Eine Übersicht über die mögliche Verlängerung für eine Vertikal-Antenne der Länge 10 m und einem Drahtdurchmesser $d = 2$ mm zeigt folgende Tab.

C/pF	1.9 MHz	3.6 MHz	7.05 MHz	14.2 MHz
5	0.77	0.77	0.77	0.76
10	1.54	1.53	1.52	1.44
20	3.07	3.03	2.89	2.49
30	4.57	4.45	4.06	3.17
40	6.04	5.77	5.00	3.60
50	7.47	6.98	5.75	3.90

Tab. 1 Verlängerung einer Vertikalantenne als Funktion der Kopf-Kapazität

2. Vergrößerung der Spitzenkapazität durch eine vorgeschaltete Induktivität

Wird der Endkapazität eine kleine Induktivität vorgeschaltet, so kann die verlängernde Wirkung der Kopfkapazität vergrößert werden. Diese ergibt sich zu

$$C_{\text{neu}} = C_0 / (1 - X_L \omega C) \quad (\text{Gl 15})$$

wobei der Nenner nicht Null werden darf.

Werte von C_{neu} / C_0 bis etwa maximal 5 sind noch sinnvoll, um die Verluste klein zu halten.

Beispiel 2.1

Eine Antenne für die Frequenz $f = 3.6$ MHz ist mit einer Endkapazität von 40 pF verlängert. Der Endkapazität ist eine Spule von $L = 20$ μ H vorgeschaltet. Mit (Gl 15) berechnet sich die neue Kapazität $C_{neu} = 40 \text{ pF} / (1 - 452.389/1105) = 1.693 * 40 \text{ pF} = 67.72 \text{ pF}$.

3. Abschätzung der Spitzenkapazität

Die Kapazitäten verschiedener Leiteranordnungen gegen Erde können /11/ entnommen werden. Es eignen sich Drähte, Scheiben, Kugeln und Leitersterne.

Nach /12/ ergibt sich in erster Näherung bspw. für die Kapazität einer Kugel die zugeschnittene Größen-Gleichung

$$C / (\text{pF}) = 55.6 D / (\text{m}) \tag{Gl 16}$$

wobei der Kugeldurchmesser D natürlich immer kleiner sein muss als die Höhe h über Grund. Endkapazitäten von $C = 30$ pF werden erreicht durch:

- a. 5 m waagerechter Draht
- b. 2 x 2.5 m waagerechter Draht als T
- c. 2 x 2.5 m waagerechter Draht als Stern
- d. Kreisscheibe aus Draht mit 85 cm Durchmesser
- e. Bei Unter-Dach-Antennen Alu Folie von etwa 1m^2

Beispiel 3.1

Eine Vertikal von $l = 10$ m elektrischer Länge und einen Drahtdurchmesser $d = 20$ mm wird bei der Frequenz $f = 3.6$ MHz mit einer Kugel von einem Durchmesser von $D = 0.5$ m verlängert. Nach (Gl 16) ergibt sich eine Kapazität gegen Erde von $C = 27.8$ pF.

Der Wellenwiderstand der vertikalen Antenne wird nach (Gl 13) $Z_0 = 60 [\ln (2l/d) - 0.65] \Omega = 60 [\ln (20 \text{ m} / 20 \text{ mm}) - 0.65] \Omega = 513.62 \Omega$.

Die Verlängerung berechnet sich nach (Gl 12) zu $d = 4.14$ m. Die elektrische Gesamtlänge ist $l = 14.14$ m.

Für die praktische Ausführung der Antenne muss der übliche Verkürzungsfaktor $k = 1/\sqrt{\epsilon_r}$ (nur für den Draht) berücksichtigt werden.

4. Der horizontale Draht

Für eine vertikale Antenne berechnet sich der Wellenwiderstand aus (Gl 13). Beim horizontal aufgespannten Draht oder Dipol muss der Wellenwiderstand neu berechnet werden. Dieser ergibt sich ebenfalls aus der Beziehung

$$Z_0 = \sqrt{L/C} \tag{Gl 17}$$

Dabei sind L und C die Beläge des waagrecht gespannten Drahtes. Mit der Lichtgeschwindigkeit

$$v_0 = 1 / \sqrt{L * C} \tag{Gl 18}$$

und bekanntem Kapazitätsbelag, kann durch Umstellen der (Gl 17) die Induktivität

$$L = 1 / (C * v_0)^2 \tag{Gl 19}$$

und der Wellenwiderstand

$$Z_0 = 1 / C * v_0 \tag{Gl 20}$$

berechnet werden.

Nach Küpfmüller bestimmt sich die Kapazität eines einzelnen Drahtes der Länge b mit dem Durchmesser d und der Höhe h zu

$$b / C = 1.8 \ln (2b/d) (A / B) \tag{Gl 21}$$

mit $A = \sqrt{(\sqrt{b^2 + (4h)^2} - b)}$

und $B = \sqrt{(\sqrt{b^2 + (4h)^2} + b)}$.

Wenn $(4a)^2$ klein gegen b^2 gilt die Näherung

$$C = b / [1.8 \ln (4h/d)] \text{ in pF} \tag{Gl 22}$$

dabei ist **b in cm** einzusetzen.

Beispiel 4.1

Ein Draht der Länge $b = 10$ m und einem Durchmesser $d = 2$ mm ist in einer Höhe $h = 10$ m über leitender Erde gespannt. Mit der Näherung (Gl 22) berechnet sich die Kapazität für 10 m Drahtlänge zu $C = 1000 \text{ cm} / [1.8 \ln (40000/2)] \text{ pF} = 56 \text{ pF}$ pro 10 m oder 56 pF pro 1000 cm. Mit (Gl 20) berechnet sich ein Wellenwiderstand $Z_0 = 594.21 \Omega$.

Wird der parallel zur Erdoberfläche liegende Draht mit einer Endkapazität nach Beispiel 3.1 verlängert, so berechnet sich die Verlängerung bei der Frequenz $f = 3.6$ MHz zu $d = 4.74$ m. Sie ist also etwas größerer als bei der vertikalen Antenne nach Beispiel 3.1.

Wird ein Dipol mit 2 x 10 m verwendet, so ist die elektrische Gesamtlänge jetzt $l_{ges} = 29.48$ m. Die Resonanzfrequenz hat sich also von $f = 7.5$ MHz auf $f = 5.08$ MHz reduziert. Über die technische Ausführung von Endkapazitäten sei auf /15/ verwiesen.

DL3LH, Walter
schau@rs-systems.info
www.rs-systems.info



Literatur bei www.ham-on-air:

- | | |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| /1/ „Antennen Tuning I, II, III, IV, V“ | /9/ „Faltdipol für 160 – 10 m“ |
| /2/ „Die Antenne macht die Musik“ | /10/ „Die Doppelleitung bei KW“ |
| /3/ „Pi – Filter mit Verlusten“ | /11/ „Kurze Antennen“, Gerd Janzen |
| /4/ „Passive Netzwerke zur Anpassung “ | /12/ „Lehrbuch der Hochfrequenztechnik“
Zinke/Brunswig, Springer Verlag |
| /5/ „Theoretische Grundlagen von
Endstufen“ | /13/ „Einführung in die theoretische
Elektrotechnik“ Karl Küpfmüller,
Springer Verlag |
| /6/ „Das T-Filter,, Teil I und Teil II | /14/ Scheinwiderstand von Antennen
Jahrb. der drahtl. Tel. 41, (1933) 17. |
| /7/ „Antennenmesstechnik I bis IV“ | /15/ „Endkapazitäten im Eigenbau“
Jürgen Rose, DK5XX |
| /8/ „Der Kondensator,, | |

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.