

Укороченные антенны для мобильной работы.

Штыревая нагруженная КВ антенна.

Перевод статьи J. S. BELROSE,* VE3BLW из журнала QST сентябрь 1953 г.

Работа мобильной радиостанции на 75 метровом диапазоне становится весьма популярной и в Канаде, и в Соединенных Штатах. При этом используется много типов антенн, типа простых штырей с катушкой у основания, штыри с катушкой в центре, с катушкой на вершине, имеющие диски, металлические шары, или горизонтальные диски, и свернутые антенны. Несколько статей были напечатаны в журнале QST в номерах 1, 2, 3 о КВ антеннах для мобильного использования. Однако, работа короткой вертикальной антенны достаточно хорошо еще не понята большим количеством тех, кто используют эту антенну. Я хотел бы попробовать объяснить, на математическом уровне, работу различных модификаций укороченных антенн.

Основная частота вертикального излучателя - самая низкая частота, для которой реактивное сопротивление является нулем в общепринятой точке ввода - между нижним концом излучателя и землей. На этой частоте, электрическая длина антенны - 90 градусов, или четверть длины волны.

Вертикальные излучатели, которые являются короткими электрически, имеют низкое сопротивление излучения и относительно высокое емкостное реактивное сопротивление. На частотах около рабочей частоты антенну можно рассмотреть как цепь с сосредоточенными постоянными, которая состоит из сопротивления и емкости соединенных последовательно, как показано в рис. 1.

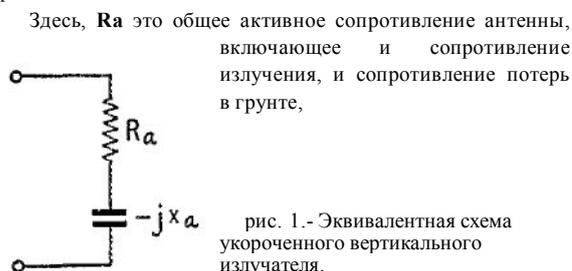


рис. 1.- Эквивалентная схема укороченного вертикального излучателя.

а X_a - емкостное реактивное сопротивление антенны на рабочей частоте. Ясно, что для этой антенны, чтобы можно было передавать мощность, емкостное реактивное сопротивление антенны должно быть скомпенсировано подходящей катушкой индуктивности. Катушка индуктивности является дополнительным сопротивлением, и цель проекта состоит в том, чтобы на практике получить самое высокое отношение сопротивления излучения к сопротивлению потерь.

В дальнейшем, я предполагаю проанализировать КПД антенны, ширину полосы и практическое исполнение антенн с катушками в основании и в центре штыря.

* 376 Tillbury St., Ottawa 3. Canada.

¹ Oberlies, "Installing a Practical 75-Meter Mobile Antenna," QST, Dec., 1949.

² Swafford, "Improved Coax Feed for Low-Frequency Mobile Antennas," QST, Dec., 1951.

³ Wrigley, "Folded and Loaded Antennas," QST, April, 1953.

Многие из тех, кто имеет мобильные радиостанции для работы на 75-метров, не понимают, что, если бы вся выходная мощность от передатчика была бы подведена к укороченному штырю без потерь, то почти 100 процентов из этого были бы излучены в эфир. Проблема в подведении мощности к антенне - определенно состоит в обеспечении устранения потерь в системе. В этой статье VE3BLW обсуждает различные точки в антенном контуре, где эти потери имеются и как они могут быть минимизированы.

Вопрос о наилучшем диапазоне, для распространения поверхностной волны над землей, уже обсуждался, и доказано математически, что лучший диапазон это использование 160 метров, а не 75 метров.

Определение КПД антенны

Полную полезную мощность, излученную антенной можно рассмотреть как мощность, которая была бы рассеяна в эквивалентном сопротивлении с током антенны, текущим, в некоторой контрольной точке. Обычно, ток измеряют на входе антенны, и поэтому сопротивление излучения отнесено ко входу антенны..

$$P_r = I_a^2 R_r \text{ Ватт,}$$

Где, P_r = излучаемая мощность

$$I_a = \text{Ток антенны}$$

$$R_r = \text{Сопротивление излучения.}$$

КПД антенны - это отношение сопротивления излучения к полному сопротивлению антенны.

$$\text{КПД} = \eta = \frac{R_r(100)}{R_r + R_g + R_o} \%,$$

Где, R_r = Сопротивление излучения,

R_g = сопротивление потерь в грунте,

R_o = сопротивление потерь в настроенной катушке.

При определенных условиях, сопротивлением потерь в изоляторе и сопротивлением потерь провода можно пренебречь. Так как сопротивление потерь обычно больше чем сопротивление излучения, то необходимо осторожно подходить к проектированию укороченных антенн, чтобы получить антенную систему годную к употреблению.

Сопротивление излучения

Сопротивление излучения вертикальной антенны длиной меньше четверти электрической длины волны может быть увеличено при помощи нагрузки излучателя и при увеличении его высоты. Для коротких излучателей, это можно показать как в ⁽⁴⁾.

$$R_r = 0.01215A^2 \text{ Ом,}$$

где A = площадь распределения тока в антенне в град-ампер.

⁴ Laport, Radio Antenna Engineering, p. 23, McGraw-Hill (1952).

На рисунке представлено распределение тока на укороченном вертикальном излучателе. Ток будет иметь некоторое значение I_0 у основания антенны, и ноль наверху излучателя. Если антенна очень коротка – длина меньше 30 градусов – распределение тока можно принять за линейное. См. рис. 2.

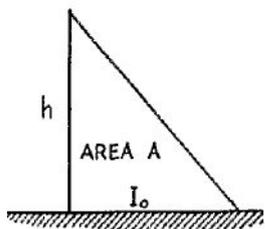


Рис.2 — Распределение тока на укороченной вертикальной антенне.

Например, $h = 2,79$ м (110 дюймов)
 $f = 3,81$ МГц (78,6 м)

тогда, $G_v =$ электрическая длина антенны в градусах

$$= \frac{2,79 (360)}{78,6} = 12,8 \text{ град.}$$

Итак, $A = \frac{G_v}{2}$ град-ампер (для $I_0 = 1$)

$$= 6,4 \text{ град.-ампер,}$$

и, $R_r = 0,01215(6,4)^2 = 0,5 \text{ Ом}$

Теперь рассмотрим эффект от внесения удлинительной катушки в середину антенны, как показано на рис. 3. Если индуктивность удлинительной катушки – ноль, то распределение тока будет соответствовать кривой (1), рис. 3. Это – соответствует виду простого нагруженного катушкой в основании излучателя, как показано на рис. 2. Если индуктивность увеличивать от нуля и выше, то распределение тока будет соответствовать кривой (2) рис.3. При некоторой величине индуктивности, L_0 входное сопротивление антенны, измеренное между основанием антенны и землей – будет чисто активным сопротивлением без реактивной составляющей. При этой величине индуктивности L_0 , мы имеем область максимального тока на нижней части антенны h_2 .

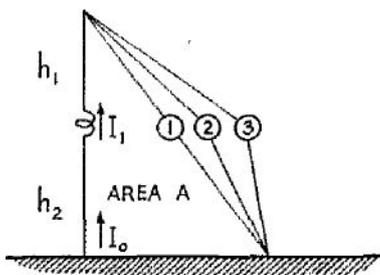


Рис. 3 — Распределение тока в антенне с катушкой в середине.

Это соответствует кривой (3) на рис. 3. Для этого состояния, ток, текущий через L_0 ,

$$I_1 = I_0 \cos G_2,$$

Где, ($G_2 =$ Электрическая длина части h_2 антенны в градусах.

(аналогично $G_1 =$ Электрическая длина части h_1 антенны в градусах.)

Например, $h_1 = h_2 = 1,4$ м (55 дюймов),

и $G_1 = G_2 = 6,4^\circ$ (для 3.81 МГц).

И тогда, $I_1 = I_0 \cos 6,4^\circ = 0,995 I_0$

$$A = \frac{G_2}{2} \left(1 + \frac{I_1}{I_0}\right) + \frac{G_1 I_1}{2 I_0}$$

$$= \frac{6,4}{2} (1 + 0,995) + \frac{6,4(0,995)}{2} =$$

$$= 9,57 \text{ град-ампер,}$$

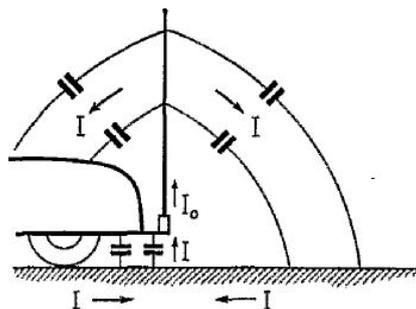
и, $R_r = 0,01215 (9,57)^2 = 1,11 \text{ Ом.}$

Ясно, что значительное увеличение в сопротивлении излучения может быть получено, при установке индуктивности в центре излучателя.

Сопротивление потерь в грунте

Ток, текущий в основании антенны должен быть возвращен к этому основанию токами, индуцированными в земле ниже излучателя. Эти токи проходят через кузов автомобиля и через емкость между автомобильным кузовом и землей. Так как размеры автомобильного кузова значительно меньше, чем четверть длины волны, то только часть этих токов будет индуцирована непосредственно кузовом, а основной ток пройдет через землю и емкость между корпусом автомобиля и землей. Так как земля не без потерь, то может присутствовать весьма большое сопротивление потерь R_g . Контуры токов показаны на Рис. 4.

Рис. 4 — Контуры токов в вертикальном излучателе, установленном на автомобиле.



Раньше авторы пренебрегали этим сопротивлением потерь. Это сопротивление сильно зависит от расположения антенны, типа автомобиля, на котором антенна установлена, и до некоторой степени, от земли под антенной. Значение 10 - 12 Ом было измерено автором для 8 - 16 -футовых (2,4 м - 4,8 м) антенн на 3,8 мегагерцах.

Сопротивление настроечной катушки

Чтобы укороченная антенна могла излучать мощность, емкостное реактивное сопротивление антенны должно быть скомпенсировано посредством подходящей настроечной катушки. Чтобы оценить требуемую индуктивность, мы должны знать емкостное реактивное сопротивление антенны на рабочей частоте. Реактивное сопротивление короткой вертикальной антенны, типа показанного на рис. 2,

$$-jX_a = -\frac{jZ_0}{\text{tg } G_v} \text{ Ом,}$$

$$Z_0 = 138 \log_{10} \frac{2h}{a} \text{ Ом,}$$

$h =$ средняя высота излучателя над землей,

$a =$ средний радиус излучателя,

и $G_v =$ электрическая длина излучателя.

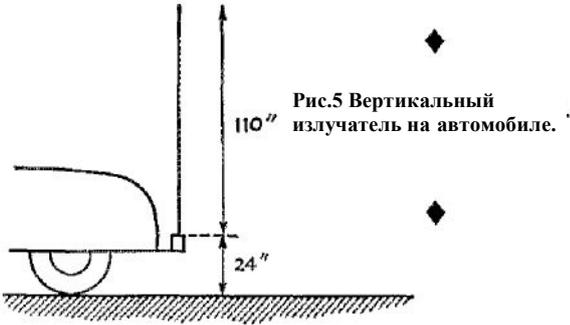


Рис.5 Вертикальный излучатель на автомобиле.

Например, вычислим реактивное сопротивление антенны с катушкой в основании, показанной на рис.5

$$\text{Здесь } h = \frac{110 + 24}{2} = 67 \text{ дюймов,}$$

$$a = 0.125 \text{ дюймов,}$$

$$Z_0 = 138 \log_{10} \frac{2(67)}{0,125} = 418 \text{ Ом,}$$

и $G_v = 12.8^\circ$ (на 3.81 МГц.)

(Добавьте 5% для учета краевого эффекта)

$$-jX_a = -j \frac{418}{\text{tg } 13.4^\circ} = -j 1752 \text{ Ом}$$

Настроечная катушка в 73.4 мкГн. должна обеспечить эквивалентную положительную реактивность на 3,81 МГц. Если катушка имеет добротность $Q = 300$, то

$$R_0 = \frac{1752}{300} = 5.85 \text{ Ом}$$

Теперь рассмотрим двух секционную антенну, показанную на рис. 3. Во-первых, мы вычислим реактивное сопротивление верхней секции. Его мы должны скомпенсировать противоположным по знаку сопротивлением катушки индуктивности, и, наконец, рассчитаем входное реактивное сопротивление антенны, утя нижнюю часть как открытую линию передачи, увенчанную результирующей реактивностью нагрузочной катушки и верхней секцией. Если антенна находится в резонансе, то реактивное сопротивление у основания антенны равно нулю, отсюда можно показать, что реактивное сопротивление катушки должно быть следующим:

$$jX_{L_0} = jZ_0 (\text{ctg } G_1 - \text{tg } G_2) \text{ Ом,}$$

где, $Z_0 =$ характеристическое сопротивление антенны (см. выше),

$G_1 =$ электрическая длина верхней секции антенны.

$G_2 =$ электрическая длина нижней секции антенны.

Например, предположим, что мы имеем антенную систему, показанную на рис. 6.

$$\text{Здесь } h = \frac{110 + 24}{2} = 67 \text{ дюймов}$$

$$a = 0.125 \text{ дюймов,}$$

$$Z_0 = 418 \text{ Ом (см. выше), и}$$

$$G_1 = G_2 = 6.4^\circ \text{ (на 3,81 МГц.)}$$

(Добавьте 5% для учета краевого эффекта)

$$jX_{L_0} = j418 (\text{ctg } 6.71^\circ - \text{tg } 6.71^\circ)$$

$$= j3500 \text{ Ом,}$$

$$\text{или } 146.3 \text{ мкГн. на 3.81 МГц.}$$

Если используется катушка с Q-фактором 300, то сопротивление потерь катушки

$$R_0 = \frac{3500}{300} = 11.7 \text{ Ом}$$

Полоса пропускания антенны

Для частот около резонанса, антенну можно рассмотреть как последовательный контур с Q-фактором

$$Q = \frac{X_a}{R_t}$$

R_t — общее активное сопротивление антенны.

Рабочая полоса пропускания антенны — приблизительно равна

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q} = \frac{f_0 R_t}{X_a}$$

Для вертикального штыря с катушкой у основания было вычислено,

$$R_t = R_r + R_b + R_0 = 0.5 + 10 + 5.85 = 16.35 \text{ Ом}$$

$$\Delta f = \frac{3,81(10)^6}{1752} \cdot 16,35 = 35,4 \text{ КГц}$$

Для штыря с катушкой в середине

$$R_t = 1.11 + 10 + 11.7 = 22.81 \text{ Ом.}$$

$$\Delta f = \frac{3,81(10)^6}{1752} \cdot 22,81 = 24,8 \text{ КГц}$$

Нужно помнить, что полоса пропускания 5 КГц требуется для работы в телефоне AM с двумя боковыми полосами. Полоса пропускания обеих антенн, описанных выше, подходит.

Однако, близость соседних металлических объектов может внести значительные искажения в схему. При этом, очень небольшое изменение в рабочей частоте позволит не

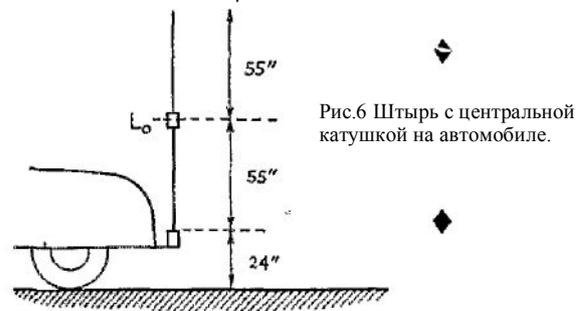


Рис.6 Штырь с центральной катушкой на автомобиле.

настраивать повторно антенну.

Теоретический КПД антенны

Для получения КПД антенны надо разделить сопротивление излучения на общее сопротивление:

$$\eta = \frac{R_r (100)}{R_r + R_g + R_0} \%$$

Для 110 дюймового штыря с катушкой в основании,

$$\eta = \frac{0,5 (100)}{0,5 + 10 + 5,85} \% = 3,1\%$$

Для 110 дюймового штыря с катушкой в центре,

$$\eta = \frac{1,11 (100)}{1,11 + 10 + 11,7} \% = 4,86\%$$

Ясно, что это небольшое, но заслуживающее внимания улучшение антенны получено применением катушки в центре штыря. Однако, это усовершенствование получено за счет уменьшения рабочей полосы пропускания, и увеличения проблем на изготовление механической детали.

Определение оптимального местоположения удлинительной катушки.

Предположим, что мы имеем 16-футовую штыревую антенну. Антенна установлена на бампере, основной изолятор ее, находится на 2 фута выше от земли. Средний радиус излучателя - 0.18 дюймов. Мы решаем нагрузить эту антенну, устанавливая удлинительную катушку последовательно с антенной, и хотели бы знать, куда эта катушка должна быть помещена для обеспечения максимального КПД антенны.

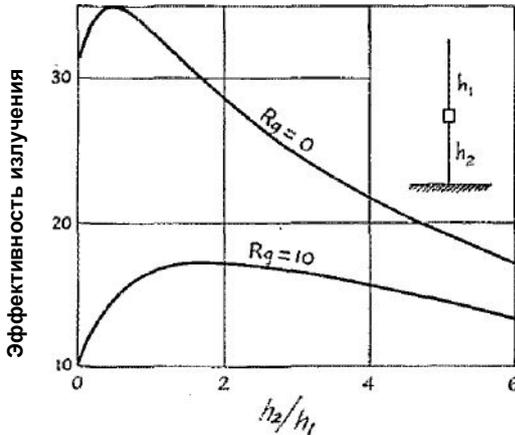


Рис.7 — График оптимального положения катушки.

Если мы выбираем катушку, с добротностью 300, и сопротивление потерь в земле 10 омов, график на рис. 7 показывает расчетное изменение КПД антенны с отношением h_2/h_1 . Отношение $h_2/h_1 = 0$, конечно, случай нагруженной в основании антенны. Замечено, что лучшее местоположение "для катушки находится приблизительно в центре излучателя (или $h_2/h_1 = 1$). Показана также кривая без сопротивления потерь в земле. Отмечено, что оптимальное местоположение катушки несколько смещено к точке ввода, поскольку здесь уменьшено сопротивление потерь в земле.

Полезные измерения сопротивления излучения

Фактическое измерение сопротивления излучения антенны на частоте 3.81 МГц трудно, и требует применение оборудования, обычно не доступного среднему радиолюбителю. Однако, чтобы показать, что измерения могут быть предприняты, чтобы доказать теорию, мы обзавелись этим, и я думаю, что короткое обсуждение вовлеченных принципов было бы в порядке вещей.

Напряженность поля поверхностной волны (то есть для излучателей на поверхности земли) для укороченного излучателя может быть выражена через мощность излучения, расстояние, и коэффициент распространения для земли между передатчиком и приемником по следующим выражениям:

$$P_r = \frac{F_0^2}{34.6} \text{ Ватт,}$$

$$\text{и } F_0 = Fkd \text{ мВ/м,}$$

где, F_0 = неослабленная напряженность поля на расстоянии в одну милю в мВ/м.

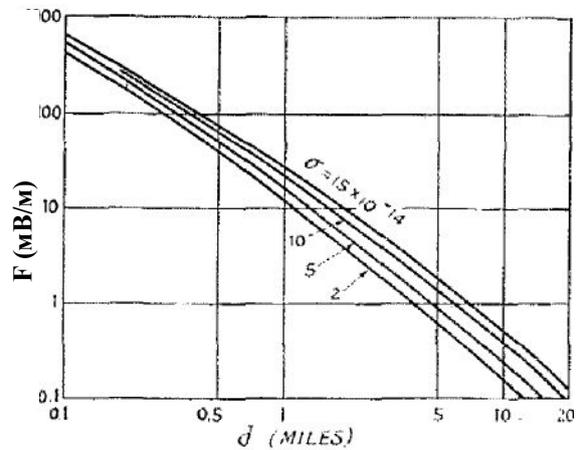
k = коэффициент распространения, чтобы принять во внимание проводимость земли, диэлектрическую постоянную земли, и дифракцию из-за искривления земли,

d — расстояние в милях,

F = напряженность поля, полученная на расстоянии d ,

P_r = Мощность излучения.

Первый шаг необходимый, чтобы фактически измерить сопротивление излучения антенны, должен определить, как земля влияет на электрическое поле. Чтобы определить это, мы должны сделать несколько измерений напряженности поля на расстоянии, по крайней мере, до 10 миль от передатчика. Этим способом может быть подготовлен график, показывающий зависимость напряженности поля от расстояния. После этого сравните с набором теоретических кривых, показанных на Рис. 8, сделанных Нортеном⁶. На рис. 8 несколько кривых показывают в пределах от плохой земли ($\sigma = 2 \times 10^{-14}$) до хорошей земли ($\sigma = 15 \times 10^{-14}$). Коэффициент распространения, k , является отношением, расстояния d , неослабленной напряженности поля обратного расстояния, разделенной на фактическую напряженность поля, предсказанную кривой для



специфической проводимости земли.

Рис. 8 — График изменения напряженности поля поверхностной волны с расстоянием для плохой и хорошей земли. σ = проводимость земли. Частота = 3.8 мегагерц. диэлектрическая постоянная земли $\xi = 15$.

Как только мощность излучения найдена, тогда сопротивление излучения,

$$R_r = \frac{P_r}{I_a^2}$$

где I_a — ток у основания антенны. Это очевидно, так как излученную фактическую мощность можно рассмотреть как являющуюся реальной мощностью рассеянной в мнимом сопротивлении излучения.

Измерения на Фактической Антенне

Была построена секционная 16-футовая антенна.

$h_1 = 6.86$ футов

$h_2 = 9.29$ футов

$a = 0.18$ дюйма

$f = 3.81$ МГц

⁶ Norton, "The Calculation of Ground-Wave Field Intensities Over a Finitely-Conducting Spherical Earth," *Proc. I.R.E.*, 29, 623 (1941).

Устройство согласования

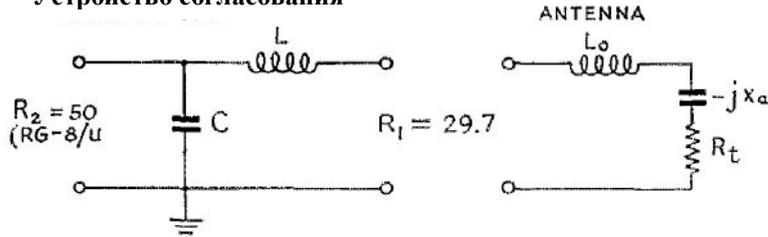


Рис. 7 Согласование с помощью катушки

Антенна была установлена на бампере Dodge-Sedan 1940 года. Антенное крепление установлено на расстоянии 2 1/2 фута от земли. Предположим, что мы проектируем подходящую катушку так, чтобы входной импеданс на 3.81 мегагерце был активным сопротивлением.

$$Z_0 = 138 \log_{10} \frac{2(9.35)(12)}{0.18} = 427 \text{ Ом}$$

$$G1 = 9.63^\circ$$

$$G2 = 12.95^\circ$$

$$jXL_0 = j427 (\text{ctg}10.1^\circ - \text{tg}13.6^\circ)$$

$$= j2297 \text{ Ом}$$

$$L_0 = 96 \text{ мкГн на } 3,81 \text{ МГц}$$

Катушка 2 дюйма в диаметре с 66 витками эмалированного провода №14. Индуктивность была равна 97.6 миллигенри с катушкой добротностью 170. Это было установлено. Резонансная частота, 3.81 мегагерц с входным сопротивлением 29.7 Ом. Это было измерено измерительным радиомостом тип 916-A, приемник Eddystone-750, и генератором A.V.O.. Оборудование было с батарейным питанием и изолировано от земли.

Чтобы вычислить сопротивление излучения, обратитесь к рис. 3. Замена в соответствующих значениях,

$$A = \frac{12.95}{2} (1 + 0.975) + \frac{9.63}{2} (0.975) =$$

$$= 17.19 \text{ град -ампер}$$

$$R_r = 0.01215 (17,19)^2 = 3.58 \text{ Ом}$$

При этом сопротивление потерь в грунте будет

$$R_g = 29.7 - \frac{2297}{170} - 3.58 = 12.5 \text{ Ом}$$

Чтобы проверить результаты расчетов, была измерена напряженность поля на расстоянии 0.284 мили от антенны, используя измеритель напряженности поля Stoddart тип NM-20-A. Предварительные измерения показали проводимость земли $\sigma = 10 \times 10^{-14}$.

Результаты следующие:

$$f = 3.81 \text{ МГц}$$

$$F = 3,5 \text{ мВ/м}$$

$$d = 0.284 \text{ миль}$$

$$k = 2.06 (\text{см. рис. 8 при } \sigma = 10 \times 10^{-14}),$$

$$I_a = 0.185 \text{ А}$$

$$F_0 = Fkd = 3.5(2.06)(0.284) = 2.04 \text{ мВ/м}$$

$$P_r = \frac{F_0^2}{34,6} = \frac{(20.4)^2}{34,6} = 0.121 \text{ Вт}$$

$$R_r = \frac{P_r}{I_a^2} = \frac{0.121}{(0.185)^2} = 3,5 \text{ Ом}$$

Соотношение измеренного значения с расчетным для сопротивления излучения лучше, чем обычно полученное экспериментально, из-за многих вовлеченных параметров. Отмечено, что мощность излучения - 0.121 ватта. Подводимая мощность к антенне была обеспечена единственной электронной лампой Тип GAQ5 и -

$$P_{in} = (0.185)^2 29.7 = 1.01 \text{ Вт}$$

Это соответствует КПД антенны 12 %.

Настройка и Согласование Штырей с нагрузкой в центре.

Рассмотрим метод согласования антенны с передатчиком, и метод, настройки антенны с использованием, G.D.O. и измерителя КСВ. (оборудование, обычно доступное среднему любителю).

Во-первых, позвольте рассмотреть то, что сопутствует согласованию. Если мы рассматриваем 16-футовую антенну, только что рассчитанную, то входное сопротивление в резонансе есть чисто активное сопротивление и равняется 29.7 Ом. Мы должны преобразовать эту низкую величину к 50 Ом так, чтобы антенна могла питаться стандартным коаксиальным кабелем (RG-8/U или RG-58/U). Это может быть сделано при помощи LC согласующим устройством - как показано на рис. 9.

Здесь,

$$2\pi fL = \sqrt{R_1(R_2 - R_1)}$$

$$\frac{1}{2\pi fC} = R_2 \sqrt{\frac{R_1}{R_2 - R_1}}$$

Итак, индуктивность L, может быть, получена, если добавить небольшое количество индуктивности к L0 центральной удлинительной катушки, чуть больше

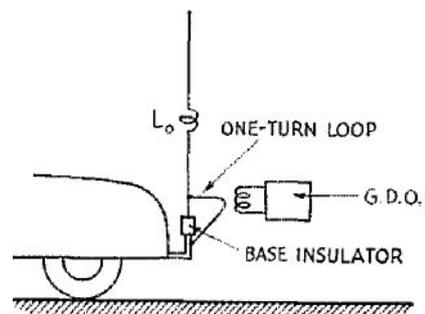


Рис. 10 - Настройка антенны в резонанс чем необходимо для резонанса, таким образом, делая входное сопротивление антенны индуктивным. Точное согласование с 50 Омами может быть получено, регулируя конденсатор С, и индуктивность, L0 центральной нагрузки.

Сначала, настройте в резонанс антенну, используя g.d.o. как показано на рис. 10. мощность подана в антенну от 50 Омного выхода передатчика. В моем случае выходная схема согласования - П- контур См. рис. 11. Медленно увеличивайте конденсатор С, добиваясь резонанса каждый раз, а катушку в центре штыря регулируйте на максимальный ток. При небольших отклонениях от значения $C = 690$ нФ в антенне будет максимальный ток и в передатчике не будет эффектов расстройки и датчик КСВ также укажет минимум для этой регулировки.

(Примечание: L и C рис. 9 могут быть полностью изменены. Вместо конденсатора С может использоваться маленькая катушка. Катушка должна иметь индуктивность 2.45 мкГн. - то есть, 60.6 омов. Антенна должна быть настроена немного с емкостной нагрузкой. То есть настройте антенну в резонанс как прежде, и затем отмотайте несколько витков от L_0 , чтобы добиться резонанса снова после установки соответствующей маленькой катушки. Этот метод имеет некоторые преимущества, и его использование нужно иметь ввиду.)

Резюме

В заключение, я надеюсь, что я ясно обозначил факторы, влияющие на работу антенны и также соображения по поводу согласования антенны на 50 или 70 Ом так, чтобы она могла питаться стандартным коаксиальным кабелем. Показано, что некоторое улучшение может быть получено нагрузкой антенны в центре штыря – увеличение в 1.5 раза по мощности. Но это не всегда может быть заслуживающим внимания, так как механическая проблема установки в центре штыря хорошей катушки с высокой - Q трудна для решения. Отношение диаметра к длине катушки должно быть 2/1, если возможно.

Размещение проволочного диска, как показано на рис. 12, может быть использовано, чтобы обеспечить существенное сокращение размера требуемой катушки нагрузки.

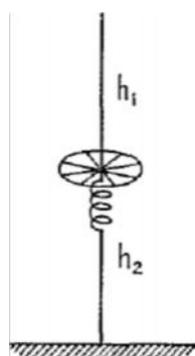


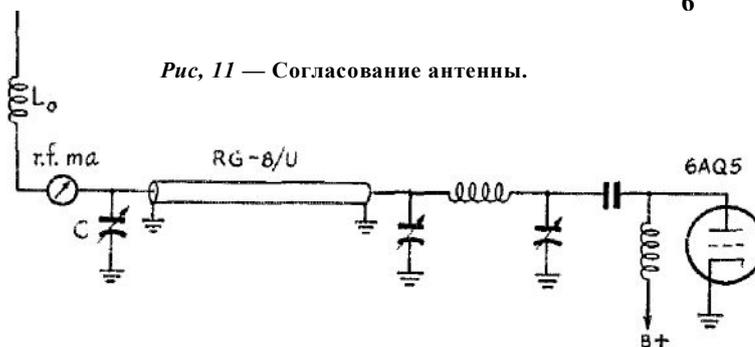
Рис. 12— Добавление емкости.

Например, кольцо диаметром 1 фут из провода № 12 с восемью спицами, имеет эквивалент емкости необходимой для длины излучателя h_1 в экспериментальной 16-футовой антенне. Однако, это чувствует автор, что такие средства не применимы к мобильным антеннам, так как подобные тяжелые детали могут выглядеть скорее достопримечательностью после удара о дерево на скорости 50 миль в час.

Выбор Оптимальной Частоты

Позвольте рассмотреть, было ли бы лучше

Рис. 11 — Согласование антенны.



использовать 1.9 мегагерц, а не 3.8 мегагерц. На первый взгляд, можно было бы сказать нет, так как эффективность антенны будет намного ниже. Однако, более низкий фактор распространения поверхностной волны с лихвой компенсирует это. Изменение фактора распространения с частотой и расстоянием показан на рис. 13 для хорошей земли ($\sigma = 10 \times 10^{-14}$).

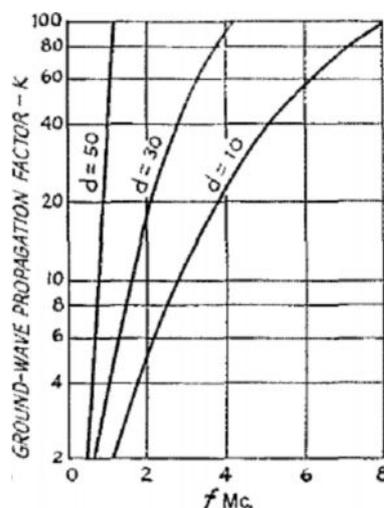


Рис.13 — График показывает изменение Фактора распространения "k", с частотой и расстоянием для хорошей земли (то есть, проводимость $\sigma = 10 \times 10^{-14}$, и диэлектрической постоянной $\xi = 15$). Расстояние d измеряется в милях.

Если мощность передатчика 50 ватт, антенна как показано на рис. 5, Q-фактор катушки 300, и сопротивление потери земли 10 омов, результаты для передачи более чем 10, 30, и 50 миль показаны в сопровождающих таблице.

Характеристики антенны		
Частота	Rr,	КПД
3,8	0,5	3,1%
1,9	0,142	0,67%
Transmission Characteristics		
Расстояние миль	Частота (МГц.)	Напряженность поля (мВ./м.)
10	3,8	37
	1,9	74
30	3,8	3,1
	1,9	7,3
50	3,8	0,18
	1,9	0,25

Замечено, что на всех расстояниях полученная напряженность поля лучше на 1.9 МГц чем на 3.8 мегагерцах. Также интересно обратить внимание, что атмосферный шумовой уровень проходит широкий минимум около 2 мегагерц., который является другим фактором в пользу использования 1.9 мегагерц. Напряженность поля, требуемая для связи изменяется со временем дня, сезона, частоты, и местоположения. Для частот около 1.9 мегагерц. приблизительно требуются 0.5 мкВ./м в полдень для связи в АМ в Онтарио. Много больше требуется ночью - 30 мкВ./м в 20:00 летом, и 100 мкВ./м в то же самое время зимой. Эти оценки были взяты из графика, данных в ⁶ Laport.

Было бы интересно, если бы несколько любителей решили, что 75-метровый диапазон в телефоне слишком переполнен и переместились бы вниз к 160 метрам. Я буду держать пари, как много скоро передвинутся бы вниз после взаимного сравнения передачи в канале на расстояниях до 50 миль. Это, конечно, является так, только если нет никакой отраженной волны, типа прохождения летнего дня. Обычно мобильные операторы в телефоне режиме при низкой мощности связываются в КВ любительском диапазоне поверхностной волной.

⁶ Laport, *Loc. cit.*, p. 542-555.

Замечания переводчика.

Данная статья хотя и написана довольно давно, в 1953 году, но дает полезные сведения о теории работы мобильной штывровой антенны, которые не устарели и теперь. Однако, несмотря на ряд достоинств, статья не лишена некоторых ошибок, впрочем, широко распространенных и в наши дни. Рассмотрим эти ошибки.

В начале статьи приведен рисунок, показывающий распределение тока на укороченном штывре без нагрузки или, без настроенной катушки.

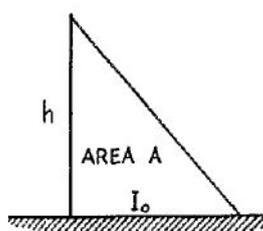


Рис.2 — Распределение тока на укороченной вертикальной антенне.

В этом рисунке пока нет никакой ошибки.

f – рабочая частота

h – высота антенны,

I_0 – ток на входе антенны,

Гипотенуза этого треугольника показывает распределение тока по длине антенны.

Как и должно быть, минимум тока или его узел находится на верхнем конце антенны, т.к. верхний конец антенны является разомкнутым концом линии. А чему же равен ток в основании антенны I_0 ? В статье этот ток $-I_0$, как бы мельком, обозначен равным единице, т.е. $I_0 = 1$. Хорошо, согласимся с этим.

Ток в любой точке антенны определяется формулой

$$I_x = I_{mx} \sin \alpha x.$$

Ток I_0 у основания антенны длиной h равен

$$I_0 = I_{mx} \sin \alpha h$$

(Асеев Б.П. Колебательные цепи., Стр. 295, Связьиздат, М., 1955.)

$$\text{Где } \alpha = \frac{2\pi}{\lambda}$$

I_{mx} – максимальный ток антенны, т.е. ток в пучности, или ток в основании антенны, длиной равной четверти длины волны. Т.о. если ток I_0 , в данном случае, принят за единицу, тогда ток I_{mx} должен быть рассчитан согласно этой формуле.

$$I_{mx} = \frac{I_0}{\sin \alpha h} = \frac{1}{\sin (2,79 * 360^\circ)} = \frac{1}{0,2212} = 4,52 \text{ A}$$

78,6

Далее в статье рассматривается картина распределения тока в антенне с настроенной катушкой в середине. Вот она.

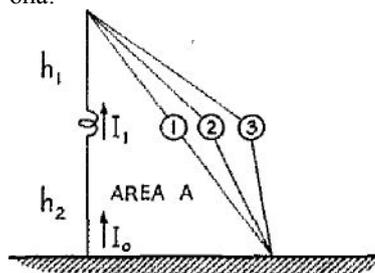


Рис. 3 — Распределение тока в антенне с катушкой в середине.

Здесь правильной является только линия под номером 1, которая соответствует ситуации при индуктивности катушки равной $L = 0$, т.е. без катушки. Действительно, эта картина соответствует рис.2, который мы уже рассмотрели.

Кривая 2 должна соответствовать ситуации $L > 0$. Кривая 3 – это предельный случай, когда L равна некоторому значению, соответствующему резонансу, когда реактивности в антенне скомпенсированы и входное сопротивление является чисто активным. В этом случае ток на входе антенны должен быть равен своему максимальному значению- I_{mx} , т.е. току в пучности, или току на входе четвертьволнового диполя, при этом он совсем не равен току I_0 , а равен тому значению, которое мы только что получили. Исходя из этого, линия под номером 3 должна выглядеть следующим образом: рис.14

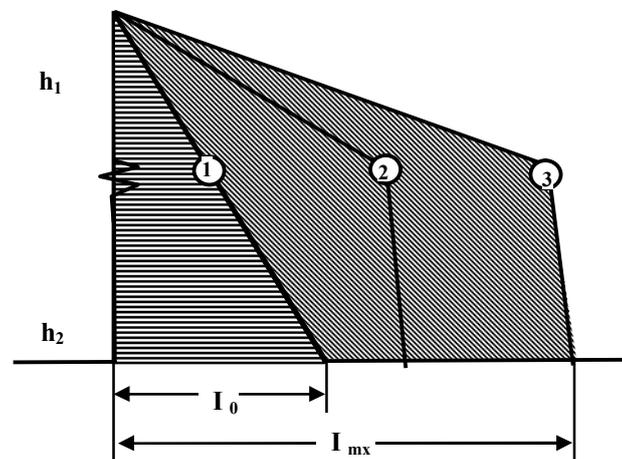


Рис.14 – Распределение тока в антенне с катушкой посередине с учетом различия в токах I_0 и I_{mx} .

А кривая 2 должна занять промежуточное значение.

Эта ошибка принципиальная и влечет за собой значительные изменения в дальнейших расчетах. Для начала рассчитаем величину R_r для антенны с катушкой в основании.

Здесь распределение токов будет следующим (цифра 3 на рис. 15)

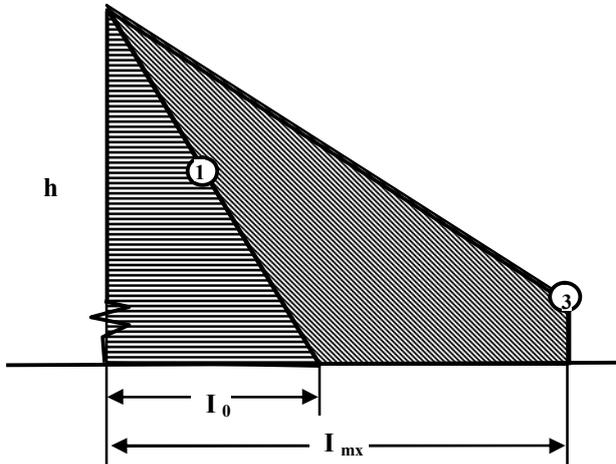


Рис. 15:

(1) – Распределение тока в антенне без катушки.
(3) - Распределение тока в антенне с катушкой в основании с учетом различия в токах I_0 и I_{mx} .

$$h = 2,4 \text{ м}$$

$$G = 12,8^\circ$$

$$A = \frac{I_{mx} * G}{2} = \frac{4,52 * 12,8}{2} = 28,93 \text{ град*ампер}$$

$$R_r = 0.01215(28.93)^2 = 10.17 \text{ Ом}$$

Вычислим сопротивление излучения для антенны с катушкой посередине.

G_2 = Электрическая длина части h_2 антенны в градусах.

G_1 = Электрическая длина части h_1 антенны в градусах.

Например, $h_1 = h_2 = 1,4 \text{ м (55 дюймов)}$,
и $G_1 = G_2 = 6,4^\circ$ (для 3.81 МГц).

$$A = (I_{mx} * G_2) + \frac{(I_{mx} * G_1)}{2} =$$

$$= 4,52 * 6,4 + \frac{4,52 * 6,4}{2} =$$

$$= 28,92 + 14,46 = 43,38 \text{ град* ампер}$$

$$\text{и, } R_r = 0.01215 (43,38)^2 = 22,86 \text{ Ом}$$

В отличие от результата, полученного в статье ($R_r = 1,11 \text{ Ом}$), величина сопротивления излучения, полученная мною, гораздо больше. Отсюда и изменения в расчетах КПД антенны будут следующие.

КПД антенны без катушки.

$$\eta = \frac{0,5 (100)}{0,5 + 10} \% = 4,77 \%$$

КПД для антенны с катушкой в основании

$$\eta = \frac{10,17 (100)}{10,17 + 10 + 5,85} \% = 39\%$$

КПД для антенны с катушкой в середине

$$\eta = \frac{22,86 (100)}{22,86 + 10 + 11,7} \% = 51\%$$

Мы видим, что КПД, рассчитанные с учетом исправления ошибок значительно отличаются от полученных ранее, и позволяют сделать более однозначный выбор.

Полученные значения КПД впечатляют, но и они, на мой взгляд, нуждаются в уточнении.

На самом деле, распределение тока в антенне, с катушкой в основании должно несколько отличаться от распределения на рис.15. Более точная картина изображена на рис.16. В самом деле, не понятно,

почему распределение тока в антенне от ее верхнего конца до катушки должно отличаться от распределения тока на том же участке при отсутствии катушки в антенне. По сути дела, распределение тока на участке антенны от ее конца до катушки должно повторять распределение тока на том же участке без катушки.

Процессы образования стоячей волны в однопроводной линии, как известно, рассматриваются начиная от конца линии, в данном случае – разомкнутого. Т.о. различные неоднородности линии не могут повлиять на параметры волны, стоящей перед ними, т.е. ближе к концу линии. Эти неоднородности линии влияют только на параметры стоячей волны на участках линии, расположенных ближе к началу линии, т.е. к ее входу. Ток в любой точке антенны I_x рассчитывается по уже приведенной формуле:

$$I_x = I_{mx} \sin \alpha x.$$

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda}$$

x – расстояние от верхнего конца антенны до искомой точки.

Ток I_0 у основания штыря антенны рассчитывается по следующей формуле:

$$I_0 = I_{mx} \sin \alpha h$$

h – расстояние от верхнего конца антенны до ее основания (до катушки).

Но, поскольку, включение в антенну катушки превращает ее в антенну, электрически равную четверть волновому штырю, то на входе антенны ток должен быть равен I_{mx} .

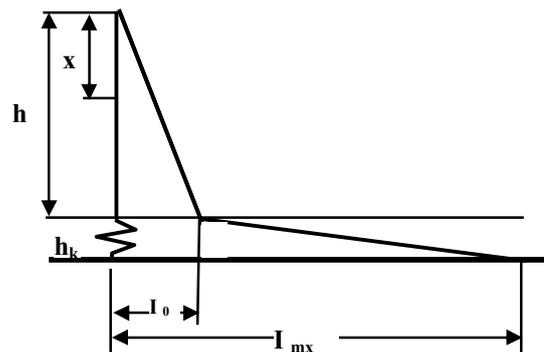


Рис.16 – Распределение тока в антенне с катушкой в основании.

Тогда сопротивление излучения антенны с катушкой в основании будет равно:

$h_k = 0,07$ м - высота катушки

$G_k = 0,32^\circ$

$$A = I_0 * G + \frac{G_k * I_{mx}}{2} = 1 * 12,8 + \frac{0,32 * 4,52}{2} =$$

$$= 12,8 + 0,7232 = 13,52 \text{ град*ампер}$$

$$R_r = 0,01215 (13,52)^2 = 2,22 \text{ Ом}$$

И тогда КПД антенны с катушкой в основании равен

$$\eta = \frac{2,22 (100)}{2,22 + 10 + 5,85} \% = 12,29 \%$$

Также необходимо пересчитать КПД антенны с катушкой посередине, поскольку картина распределения тока в такой антенне выглядит так:

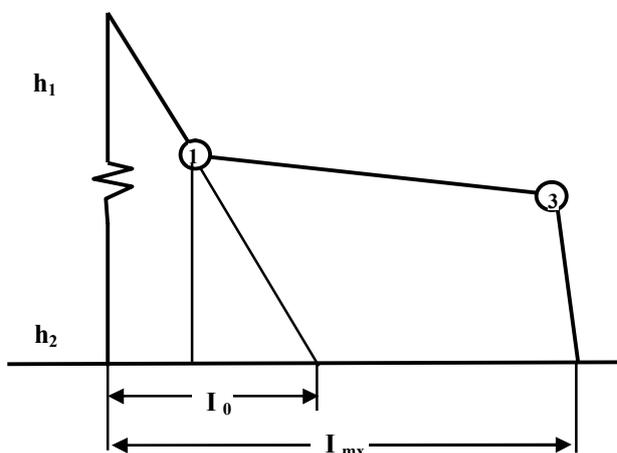


Рис.17 – Распределение тока в антенне с катушкой в середине.

$$A = \frac{I_0 * (G_1 + G_2)}{2} + \frac{(I_{mx} - I_0) * G_2}{2} - \frac{I_0 * G_2}{2} =$$

$$= \frac{1(12,8)}{2} + \frac{(4,52 - 0,5) * 6,4}{2} - \frac{6,4}{2} = 28,93$$

$$R_r = 0,01215(28,93)^2 = 10,16 \text{ Ом}$$

И КПД антенны с катушкой посередине равен:

$$\eta = \frac{10,16 (100)}{10,16 + 10 + 11,7} \% = 32 \%$$

$$R_{вх} = 10,16 + 10 + 11,7 = 31,86 \text{ Ом}$$

Полученные значения КПД, конечно, меньше, полученных в предыдущих расчетах, но наиболее реально отражают истинное положение вещей.